

**ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Сборник трудов  
XVII Международной научно-практической конференции**



1 – 10 октября 2020 года  
Россия, г. Сочи

УДК 681.3 + 681.5  
И 66

И 66      Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции. / под.ред. С.У.Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2020, с.472.

ISSN 2500-1248

Представлены материалы шестнадцатой международной научно-практической конференции. Сборник отражает современное состояние инноватики в образовании, науке, промышленности, социально-экономической сфере и медицине с позиций внедрения новейших информационных и коммуникационных технологий.

Представляет интерес для широкого круга специалистов в области современных информационных и коммуникационных технологий, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, связанных с инновационной деятельностью.

**Редакционная коллегия:**

Авдеюк О.А., Васильев А.Г., Витязев В.В., Wójcik W., Голованова Н.Б., Горбунов А.П., Иванов И.А. (отв. ред.), Кечиев Л.Н., Климов К.Н., Кофанов Ю.Н., Кравец А.Г., Кудж С.А., Кулагин В.П., Касејко Р., Ловцов Д.А., Нефедов В.И., Панков В.Л., Пожидаев Е.Д., Рагуткин А.В., Саенко В.С., Сигов А.С., Соколов В.В., Стукач О.В., Тимошенко А.В., Халютин С.П., Харьков В.П., Черемисина Е.Н., Чернова Н.И., Шелупанов А.А., Увайсов С.У.(гл. ред.), Юрков Н.К.

ISSN 2500-1248

© Оргкомитет конференции ИНФО-2020

## МЕРОПРИЯТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

### Планарное заседание

---



#### *Фундаментальные проблемы инноватики*

Рассматриваются результаты фундаментальных исследований в различных областях научной и практической деятельности.

### Секционные заседания

---



#### *Современные технологии в информационном обществе*

Посвящена применению информационных и коммуникационных технологий в образовании и социально-экономической сфере. Рассматриваются вопросы: управления образовательным процессом в высшем, среднем и начальном образовании; дистанционного обучения; применения ИКТ для повышения качества преподавания; применения ИКТ для управления, регулирования и повышения качества социальных и бизнес-процессов; и другие.



#### *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования в науке, технике и технологиях*

Рассматриваются вопросы использования современных ИКТ при проведении научных исследований и разработке новых видов техники и технологий в промышленности.



#### *Энергетика и энергосберегающие технологии*

Посвящена вопросам разработки новых видов источников энергии и их практического применения, использования альтернативных источников энергии в жизни и деятельности человека, повышения их эффективности.



#### *Антенны, СВЧ техника, технологии и производство радиоэлектронных систем*

Рассматриваются вопросы электромагнитной совместимости, излучения, приема и распространения электромагнитных волн, управления полями с помощью различных физических явлений, численного электродинамического моделирования, исследования, разработки и создания антенн, СВЧ-устройств, материалов и компонентов проектирования спецоборудования для радионавигации, радиолокации, телевидения, радиоастрономии, радиоуправления, радиоэлектронной борьбы и телекоммуникаций.



#### *Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций*

Рассматриваются экологические, технологические, экономические и информационные и правовые проблемы развития строительного материаловедения, возникающие при создании новых энергоэффективных строительных материалов, изделий, конструкций и технологий, нормативной документации, соответствующей современным социальным требованиям жизни и деятельности общества. Задачами работы секции являются: развитие современного материаловедения, создание и информатизация современной правовой, нормативной базы при исследованиях, производстве и эксплуатации новых строительных материалов и технологий; увеличение доли энергоэффективных строительных материалов, изделий и конструкций в строительстве.

## Круглые столы, семинары, мастер-классы

### Контакты оргкомитета:

**E-mail:** [conf@diag.ru](mailto:conf@diag.ru)

[www.diag.ru](http://www.diag.ru)

### **НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ**

**Сигов А.С.**, профессор, доктор физико-математических наук, академик РАН, президент РТУ МИРЭА.

### **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

#### **Председатель**

**Кудж С.А.**, профессор, доктор технических наук, ректор РТУ МИРЭА.

Васильев А.Г., проф.	Москва, директор ИРТС РТУ МИРЭА
Витязев В.В., проф.	Рязань, зав. каф., РГРТУ
Голованова Н.Б., проф.	Москва, заместитель первого проректора РТУ МИРЭА
Горбунов А.П., проф.	Пятигорск, ректор ПГУ
Гусейн-заде Н.Г., проф.	Москва, заведующий отделом, ИОФ РАН
Kasęko Piotr, prof. dr hab., inż.	Lublin, Rektor of Lublin University of Technology
Карпенко А.П., проф.	Москва, зав. каф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Klaban Vladimír, Prof. Ing., CSc	Brno, RAŠÍNOVA VYSOKÁ ŠKOLA s.r.o.
Kokes Josef, Assoc. prof., CSc.	Prague, prorektor of VSMIEP Prague
Kuzaev G.A., Prof.	Nordheim, Prof. radio group of Norwegian Institute of Science and Technology
Мещеряков Р.В., проф.	Москва, ИПУ РАН
Муромцев Д.Ю., проф.	Тамбов, проректор по научно-инновационной деятельности ТГТУ
Новиков Н.Н., проф.	Москва, ген. директор НАЦОТ
Панков В.Л., проф.	Москва, советник по УМР РТУ МИРЭА
Пожидаев Е.Д., проф.	Москва, Научный руководитель лаборатории, НИУ ВШЭ
Prachař Jan, Ing., PhD.	Prague, Evropský polytechnický institut
Рагуткин А.В.	Москва, проректор по инновационному развитию РТУ МИРЭА
Романенко Ю.А., проф.	Серпухов, с.н.с. ВА РВСН
Соколов В.В., проф.	Москва, советник, РТУ МИРЭА
Тимофеев Г.А., проф.	Москва, руководитель "НУК РК", МГТУ им. Н.Э. Баумана
Тимошенко А.В., проф.	Москва, проректор по учебной работе РТУ МИРЭА
Халютин С.П. проф.	Москва, ген. дир. ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Черемисина Е.Н., проф.	Дубна, директор Института системного анализа и управления университета «Дубна»
Чернодаров А.В., проф.	Москва, гл.н.с. ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Шашурин Г.В., доц.	Москва, декан, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шелупанов А.А., проф.	Томск, президент ТУСУР
Шмид А.В., проф.	Москва, генеральный директор "ЕС-Лизинг"

### **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

#### **Председатель**

**Увайсов С.У.**, профессор, доктор технических наук, зав. каф., РТУ МИРЭА

#### **Заместитель председателя**

**Юрков.Н.К.**, профессор, доктор технических наук, зав. каф., ПензГУ

#### **Ученый секретарь конференции**

**Иванов И.А.**, кандидат технических наук, доцент, РТУ МИРЭА



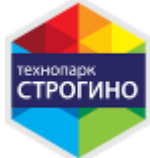


Абрамов О.В., проф.	Владивосток, зав. отд. РАН Дальневосточное отд. ИАПУ
Аверченков В.И., проф.	Брянск, БГТУ
Авдеюк О.А., доц.	Волгоград, декан ФЭВТ ВолгГТУ
Битюков В.К., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Бушмелева К.И., проф.	Сургут, зав. каф., СурГУ
Воробьев Г.А., доц.	Пятигорск, директор института, ПГУ
Воруничев В.С.	Москва, зам.дир. ИРТС РТУ МИРЭА
Wójcik Waldemar, Prof. dr hab., inż.	Lublin, director of the Institute of Electronics and Information Technology of Lublin University of Technology

Галкин В.А., проф.	Сургут, СурГУ
Горшков П.С., доц.	Москва, упр. директор ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Гродзенский С.Я., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Гусаков Д.В.	Уфа, УГАТУ
Дрейзин В.Э., проф.	Курск, Юго-западный государственный университет
Замуруев С.Н., проф.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА
Исаева З.У.	Махачкала, директор медицинского центра «Ваш доктор»
Исмагилов Ф.Р., проф.	Уфа, зав. каф., УГАТУ
Касимов А.О., доц.	Алматы, АУЭС
Кечиев Л.Н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Климов К.Н., г.н.с.	Москва, ПАО «НПО «АЛМАЗ»
Костин М.С., доц.	Москва, зам.дир. ИРТС РТУ МИРЭА
Косякин Ю.В., доц.	Тула, инспектор ТулГУ
Кофанов Ю.Н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Кравец А.Г., проф.	Волгоград, ВолгГТУ
Кулагин В.П., проф.	Москва, зав.каф. РТУ МИРЭА
Куликов Г.В., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Курылев А.С. проф.	Астрахань, АГТУ
Левин В.А., магистр	Прага, Чешская республика
Ловцов Д.А., проф.	Москва, зам. по науч раб дир ИТМиВТ им. С.А. Лебедева РАН
Львов Б.Г., проф.	Москва, рук. департамента, НИУ ВШЭ
Макарова И.Л., доц.	Сочи, зав. каф. СГУ
Мартынов В.В., проф.	Уфа, зав.каф. УГАТУ
Минзов А.С., проф.	Москва, НИУ МЭИ
Мурашкина Т.И., проф.	Пенза, ПГУ
Назаренко М.А., доц.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА
Нефедов В.И., проф.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА
Никишина Е.Е., доц.	Москва, зам.дир. ИРТС РТУ МИРЭА
Нурмагомедова Р.А.	Сочи, представитель оргкомитета ИНФО
Остринская А.Д.	Сочи, директор пансионата «Фрегат»
Парамонов А.А., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Переляев С.Е., проф.	Москва, ИПН им.А.Ю.Ишлинского РАН
Проскураев А.Ю., доц.	Муром, Муромский институт (филиал) ВлГУ
Сасенко В.С., проф.	Москва, начальник лаборатории, НИУ ВШЭ
Саушев А.В., проф.	Санкт-Петербург, зав. каф., ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова
Старых В.А., проф.	Москва, рук. департамента НИУ ВШЭ
Стукач О.В., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Теплов С.В.	Москва, ген. директор КП Технопарк «Строгино»
Трусов В.А., доц.	Пенза, ПГУ
Харьков В.П., проф.	Москва, советник ген. дир. ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Чернова Н.И., проф.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА

### **КООРДИНАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

Иванов В.С., РТУ МИРЭА  
 Лышов С.М., АО «Корпорация «ВНИИЭМ»  
 Милованова Н.В., РТУ МИРЭА  
 Панасик Д.С., ПАО "РКК "Энергия"  
 Увайсова С.С., НИУ ВШЭ  
 Увайсова А.С., МГТУ им. Н.Э. Баумана

<b>Основной организатор</b>	
МИРЭА - Российский технологический университет	
<b>Спонсоры</b>	
Экспериментальная мастерская НаукаСофт	
<b>Поддержка</b>	
Российская академия наук	
Министерство науки и высшего образования РФ	
<b>Организационные партнеры</b>	
Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского	
Брянский государственный технический университет	
Государственный университет «Дубна»	
Московский Союз научных и инженерных общественных объединений	
Национальная ассоциация центров охраны труда	
Пансионат «Фрегат»	
Пензенский государственный университет	

Политехнический институт Сургутского государственного университета	
Постпредство РД при Президенте РФ	
Технопарк Строгино	
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники	
Institute of Electronics and Information Technology of Lublin University of Technology	

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

Журнал «Датчики и системы»  
 Журнал «Измерительная техника»  
 Журнал «Информационные технологии»  
 Журнал «Качество. Инновации. Образование»  
 Журнал «Методы менеджмента качества»  
 Журнал «Надежность и качество сложных систем»  
 Журнал «Правовая информатика»  
 Журнал «Приборы»  
 Журнал «Прикаспийский журнал управления и высокие технологии»  
 Журнал «Проблемы управления»  
 Российский технологический журнал  
 Журнал «Стандарты и качество»  
 Журнал «Технологии ЭМС»  
 Журнал «Тяжелое машиностроение»  
 Информационный портал «РАРИО»  
 Przegląd Elektrotechniczny

## ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

### ОБРАТНЫЙ МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД НА СЛУЖБЕ ЮРИДИЧЕСКОЙ ЛИНГВИСТИКИ

Голев Н.Д., Мельникова В.С.  
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»  
+7 (906) 928-55-71, ngolevd@mail.ru

В статье рассматриваются практические вопросы языка закона, выдвигается гипотеза, согласно которой такие параметра текста, как ясность, доступность, однозначность в понимании рядового носителя языка коррелируют с параметром степени переводимости текста (в отношениях прямо пропорциональной зависимости). Предлагаются новые подходы к перлокутивной экспертизе текста законов, которые учитывают понимание этих текстов рядовыми носителями русского языка. В качестве переводящего устройства предлагается использовать программы машинного перевода с дальнейшим сопоставлением исходного варианта и варианта, полученного путем обратного машинного перевода. Анализ сходства предлагается проводить с использованием программ сравнения текста на схожесть. В статье представлены результаты исследования, целью которых является разработка и апробирование методики измерения простоты-сложности текста закона. Исследование показало, что перевод способен выявить вариативность переводческой интерпретации текста. Оригинальная методика мониторингового этапа экспертизы, использующая перлокутивные возможности обратного машинного перевода, может быть отождествлена с интерпретацией текста рядовым (среднестатистическим) гражданином, читающим закон и вникающим в его смысл. Обратный перевод открыто демонстрирует вариативность интерпретации, тем самым он дает возможность сопоставления исходного текста и его двойного перевода.

Ключевые слова: юридический язык, юридическая лингвистика, текст закона, рядовой гражданин, ясность, доступность, простота, субъективное измерение простоты-сложности, объективное измерение простоты-сложности, искусственный интеллект, программы перевода, программы сравнения текстов на схожесть.

Reverse engineering translation at the service of legal linguistics. Golev N.D., Melnikova V.S., Kemerovo State University

The article discusses practical issues of the language of law, proposes a hypothesis according to which such text parameters as clarity, accessibility, unambiguity in understanding an ordinary native speaker are correlated with the degree of text translatability (in a relationship directly proportional). New approaches to the perlocutionary examination of the text of laws are proposed that take into account the understanding of these texts by ordinary native speakers of the Russian language. It is proposed to use machine translation programs as a translation device with further comparison of the original version and the version obtained by reverse machine translation. Similarity analysis is proposed to be carried out using similarity text comparison programs. The article presents the results of a study whose purpose is to develop and test a methodology for measuring the simplicity and complexity of the text of a law. The study showed that translation is able to reveal the variability of the translation interpretation of the text. The original technique of the monitoring stage of the examination, using the perlocutive capabilities of reverse machine translation, can be identified with the interpretation of the text by an ordinary (average) citizen reading the law and delving into its meaning. The reverse translation openly demonstrates the variability of interpretation, thereby it makes it possible to compare the source text and its double translation.

Keywords: legal language, legal linguistics, text of law, ordinary citizen, clarity, accessibility, simplicity, subjective measurement of simplicity-complexity, objective measurement of simplicity-complexity, artificial intelligence, translation programs, text comparison programs for similarity.

Одним из наиболее важных направлений юридической лингвистики является совершенствование текста закона. Главными требованиями к нему становятся не только правильность и точность, но и ясность, доступность, понятность. В настоящее время они достигаются путем ручной работы законодателей, при этом оценка названных качеств юридического текста осуществляется во многом на субъективной основе – на их общей и профессиональной культуре, языковой интуиции и личного опыта. На такой базе выявляется, насколько сложен (понятен, доступен) текст законопроекта для рядового законопослушного гражданина. Современное состояние науки предъявляет к юрислингвистике требование перехода на более высокий уровень измерения качества текста законопроектов и законов, перехода от субъективных методик к более объективным. Говоря о качественно ином уровне измерения качества, имеем в виду формализованное описание юридического языка и дальнейшую формализацию работы с текстом закона,



прежде всего использованием компьютерных технологий. Цель нашего исследования: разработать и апробировать методику машинного измерения простоты – сложности юридического текста.

Разработка и апробация методики автоматического измерения простоты-сложности текста закона осуществляется нами по следующему плану: 1) обоснование актуальности и необходимости предпринимаемого нами исследования как шага на пути к ясности и простоте юридического языка; 2) разработка методик оценки текста на «ясность» и «доступность»; 3) теоретическое обоснование применения обратного машинного перевода для экспертизы текстов законопроектов; 4) проверка достоверности результатов, полученных техническими методами: верифицировать результаты, полученные путем обратного машинного перевода, с помощью программы сравнения текстов на схожесть. Последнее необходимо по той причине, что компьютер, выполняя содержательные задачи, может ошибаться в виду наличия неопределённости (семантической диффузности) текста в целом и его отдельных компонентов, неоднозначности как исходного, так и переведенного текста.

Для преодоления того препятствия на практике, необходимо предварительно теоретическим и экспериментальным путем выяснить, в какой мере успешно система перевода справляется с реальными ситуациями. Возможным способом проверки качества перевода является опрос. Но получение системной оценки от рядовых граждан трудоемко для надежной оценки качества текста. Так, если все предложение переведено правильно, кроме одного слова, то это хороший перевод или нет? Возможно, да. А вот если система перевела половину предложения правильно, а половину предложения нет, то тут уже вряд ли респондент может сказать, что это приемлемый перевод. Таким образом, приходим к выводу, что такая бинарная оценка «хорошо\плохо» не совсем подходит для объектов с такой сложной структурой, как юридический текст. Необходимо разработать шкалу оценивания.

В его разработке мы исходим из гипотезы о прямопропорциональной зависимости свойств понятности и переводимости текста: шкала « понятный – плохо понятный – непонятный» коррелятивна шкале «переводимый – плохо переводимый – непереводаемый».

Объектом нашего непосредственного исследования является текст закона, метод – использование обратного машинного перевода. Мы полагаем, что с помощью машины можно отыскивать в тексте помехи понимания для машинных программ и как следствие – прогнозировать появление таковых помех для рядового потребителя текста закона. Проверке этой гипотезы посвящено наше исследование. Идея совершенствования машинного перевода путём улучшения его качества заложена в основу данной статьи.

Теоретическая значимость заключается в том, что предложенная методика позволит исследователям разрабатывать разнообразные типологии значимых единиц и текстов языка-транслатума и на их основе выявить и описать факторы, влияющие на повышение и понижение степени переводимости. Практическая значимость результатов нашего научного исследования вытекает из понимания роли различных факторов, повышающих или понижающих степень переводимости текстов, что позволяет рассчитывать, что в отдаленной перспективе появится возможность создания автоматического алгоритма повышения качества текста законопроекта, которое мы связываем с эффектом понятности, путем перебора вариантов текста-транслатума, оценки каждого из них на шкале схожести с дальнейшим выбором оптимального варианта.

Поставив задачу исследования таких свойств текста, как ясность и доступность текста для его адресата, исследователь вступает в область изучения перлокутивной функции речевого продукта – его воздействия на адресата. Очевидно, что без учета перлокутивного эффекта законодательные акты не могут быть квалифицированы как качественные или некачественные, без знания этого обеспечить в полной мере законопослушание невозможно. Мы полагаем, что законодателей далеко не в последнюю очередь должно интересовать, как слово закона отзовется в сознании рядового гражданина. К сожалению, в юридической практике отсутствуют исследования обыденного толкования и уяснения (понимания) законодательных текстов.

Нужно заметить, что выключение перлокутивной функции из научного изучения функционирования юридического языка имеет в себе потенциал нарушения взаимодействия между народом и властью, которые являются самыми главными участниками правовой коммуникации.

Для подтверждения\опровержения гипотезы необходимо соотнесение двух видов текстов по разным степеням: 1) расположение по степени понятности и 2) - по степени переводимости. Понятность юридического языка должна подвергаться измерению и, как следствие, изменению непонятного текста в сторону понятности. Под измерением будем понимать оценку текста закона на ясность, простоту, доступность, читабельность (удобочитаемость). Измерение нужно осуществлять для того, чтобы выяснить, необходимо ли в дальнейшем упрощать законодательный текст, или для того, чтобы проверить, достаточно ли текст закона был изменён. В науке существуют примеры измерения понятности текста, например, формулы удобочитаемости, которые широко распространены в зарубежных исследованиях, но, к сожалению, не в России. Известен способ измерения сложности-простоты текста с помощью вычисления индексов удобочитаемости. На английском языке это термин выглядит так: «readabilityindexes», под ним понимаются математические формулы, которые используют для оценки сложности-понятности

читаемости, понимания любого текста. Например, известен тест Рудольфа Флеша, тест Питера Кинкайда, формула Дэйла-Чалла, тест Колмана-Лиану, SMOG-тест и т. д. В этих формулах зачастую берутся за основу измерения стандартные метрики текста, например, число букв, слогов, слов, предложений. Становится возможным дать численную оценку сложности-простоты текста, в некоторых случаях также можно определить и предположительный возраст аудитории, ожидаемый уровень образования. Также к примерам измерения понятности текста можно отнести метод анкетирования и опроса, создание специальных тестов для разного уровня образования (школьники/студенты/специалисты), субъективную оценку простоты\сложности. Процесс изменения текстов будет следующим звеном после его измерения (в случае необходимости). Под изменением текста понимаем его правку согласно подходам, рекомендациям и правилам, которые позволили бы упростить текст, не потеряв, разумеется, при этом семантического смысла и единства. Изменения юридических текстов можно осуществлять с помощью словарей простого языка, книг-инструкций о том, как правильнее переписывать сложные тексты, апробации текстов на рядовых гражданах методом опроса, нельзя также пренебрегать специальными программами, в которых автоматический происходит замена сложных словесных оборотов.

В конкретно-исследовательской части работы для получения объективных результатов измерения степени сложности (понятности текста закона) мы поставили задачу пропустить через обратный машинный перевод и программу сравнения текстов на схожесть материал и создать таблицы для наглядного представления полученных данных. В качестве иллюстративного материала была выбрана статья 32 ЛК РФ «Заготовка и сбор недревесных лесных ресурсов» [4]. В первую очередь текст данного закона был переведён Гугл-переводчиком на немецкий язык и обратно. В итоге получили такой вариант текста: *1. Сбор и сбор недревесных лесных ресурсов является предпринимательской деятельностью в связи с вывозом, хранением и вывозом соответствующих лесных ресурсов из леса. 2. Недревесные лесные ресурсы, собранные и собранные в соответствии с настоящим кодексом, включают в себя водопады, пни, кору, древесную кору и кустарники, хворост, ветки, ель, пихту, сосновую лапу, ель или другие хвойные деревья для новогодних праздников, мох, лесные отходы, тростник, Тростник и аналогичные лесные ресурсы. (с изменениями, внесенными федеральными законами от 22 июля 2008 г. N 143-ФЗ от 18 апреля 2018 г. N 77-ФЗ) (см. текст в предыдущем издании) 3. Граждане, юридические лица, занимающиеся заготовкой и сбором недревесных лесных ресурсов, имеют право возводить навесы и другие некапитальные здания и сооружения в предоставленных им лесных участках. (с изменениями, внесенными Федеральным законом от 18 декабря 2018 г. N 471-ФЗ) (см. текст в предыдущем издании).* Далее произвели операцию выявления схожести/различий исходного текста и ОМП с немецкого языка через программу сравнения текстов на схожесть [3]. Проверка показала, что тексты схожи на 0.6%. Все расхождения были классифицированы: 1). по уровням, количеству и качеству (глубине смысловых изменений) несходных единиц. 2) по уровням, количеству и качеству (глубине смысловых изменений) совпадающих единиц.

Из результатов проведенного исследования можно сделать вывод о том, что, во-первых, такие параметры текста, как ясность, доступность, однозначность в понимании рядового носителя языка коррелятивны параметру степень переводимости текста (в отношениях прямо пропорциональной зависимости). И, во-вторых, - предложенные нами методики способны показать степень сложности-доступности текстов. Для успешной реализации методики предлагаем внести в оценку качества перевода элемент ранжирования, то есть соотнесение двух списков текстов 1) расположенный по степени понятности и 2) по степени переводимости. Степень понятности предлагаем выявлять через опрос. Исследование показало, что перевод способен выявить вариативность переводческой интерпретации текста, обусловленную как субъективным фактором, присутствующим в любой интерпретационной деятельности, так и объективным – вариативностью смыслов и синонимических средств в самом языке (и в переводимом, и в «переводящем»). Обратный перевод эксплицитно демонстрирует вариативность интерпретации, тем самым он дает возможность сопоставления исходного текста и его интерпретационного рефлекса. Исследование показало, что перевод способен выявить вариативность переводческой интерпретации текста. Оригинальная методика мониторингового этапа экспертизы, использующая перлюкутивные возможности обратного машинного перевода, может быть отождествлена с интерпретацией текста рядовым (среднестатистическим) гражданином, читающим закон и вникающим в его смысл. Очевидно, что происходящие в данном направлении процессы приведут к качественным изменениям не только правовых текстов, но и всей общественной жизни, которую они регулируют.

#### Благодарности

Статья выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 2020 – 2022 гг 20-412-420004 p\_a Лингвистический мониторинг социальной напряжённости в Кузбассе.

#### Литература

1. Голев, Н. Д. Язык закона и лингвистическая экспертиза законопроекта в свете правовой коммуникации / Н. Д. Голев // Динамика языковых и культурных процессов в современной России. – 2016. – № 5. – С. 132-136.

2. Мельникова, В. С. «Обратный машинный перевод как перлокутивная экспертиза текста закона» / В. С. Мельникова // Материалы симпозиума в рамках XIV (XLVI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей», посвящённой 45-летию Кемеровского государственного университета. – Кемерово : Изд-во КемГУ, 2019. – 398 с.

3. Сравнение текстов на схожесть [Электронный ресурс] : Сравнение текстов. – Режим доступа: [http://www.majento.ru/index.php?page=seoanalyze%2Fsravnenie\\_tekstov\\_na\\_shojest](http://www.majento.ru/index.php?page=seoanalyze%2Fsravnenie_tekstov_na_shojest) (дата обращения: 30.03.2020).

4. Федеральный закон от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 27.12.2018). Заготовка и сбор недревесных лесных ресурсов [Электронный ресурс] : СПС КонсультантПлюс: Лесной кодекс Российской Федерации. Статья 32. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64299/df3c2a90d7db3ac9d3fdb5df5bf2c876924a16c1/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/df3c2a90d7db3ac9d3fdb5df5bf2c876924a16c1/) (дата обращения: 17.01.2020).

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Кунижев И.Р., Иванов И.А.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
+7 (926) 592-26-01, [irkunizhev@edu.hse.ru](mailto:irkunizhev@edu.hse.ru)

Данная работа посвящена разработке лабораторного стенда с описанием структуры и принципа работы, позволяющего производить расчет надежности, в частности безотказности, радиоэлектронной аппаратуры, который может быть использован так же в обучающих целях. Основные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики при работе с надежностью радиоэлектронной аппаратуры – это достоверность и точность расчетов, причем данные расчеты необходимо проводить за малые промежутки времени.

Ключевые слова: надежность, радиоэлектронная аппаратура, лабораторный стенд.

Development of the software and hardware complex for assessing the radio-electronic equipment reliability within the framework of the laboratory stand. Kunizhev I.R., Ivanov I.A. National Research University Higher School of Economics

This article is devoted to the development of a laboratory stand with a description of the structure and principle of operation, which makes it possible to calculate the reliability, in particular the reliability, of electronic equipment.

The main problems that developers face when working with the reliability of electronic equipment are the reliability and accuracy of calculations and these calculations must be carried out in short periods of time.

Keywords: reliability, electronic equipment, laboratory stand.

### Введение

В современном мире быстрыми темпами развивается электроника и стало важным правильно оценивать значения надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Существующие методы оценки не совершенны, их нужно постоянно развивать. С этой целью предлагается разработка лабораторного стенда, который даст возможность количественно оценивать показатели надёжности у РЭА, в частности безотказность.

Предприятия, разрабатывающие и производящие радиоэлектронную аппаратуру для различной электронной техники, особенно те, что эксплуатируются в жестких условиях, сталкиваются с проблемами обеспечения надежности, в частности, безотказности. Подтверждение этому можно заметить во время этапов приемо-сдаточных испытаний РЭА, и во время эксплуатации, а именно – техника отказывает в работе. Касаемо области обеспечения надежности, а также оценке характеристик показателей надежности достаточно перспективным направлением является имитационное моделирование [1]. Для его проведения существует достаточно популярный метод Монте-Карло, который связан таким показателем надежности на этапе проектирования РЭА как безотказность [2]. Для его реализации существуют программные методы, например АСОНИКА-К-СИ, в которой отсутствуют высокая степень быстродействия и точности, потому что используются вычислительные мощности электронно-вычислительных машин (ЭВМ) [3, 4]. В то же время, они могут вызывать значительную погрешность численной оценки различных

характеристик безотказности, например, таких как, вероятность безотказной работы (ВБР) или вероятность отказа [5].

#### Обзор существующих решений

На данный момент используется такой способ обеспечения надежности РЭА как резервирование [6]. Данный способ сводит оценку характеристик безотказности к структурной схеме надежности [4] или к анализу дерева отказов [7, 8]. Однако стоит отметить, что расчет характеристик безотказности РЭА возможно проводить с помощью логической схемы.

В реальных условиях, рассматриваемый объект исследования может быть представлен в виде функциональной схемы, структурной схемы расчета надежности и логической схемы (рис. 1) [3].



Рисунок 1 – Различные представления объекта исследования

На момент написания статьи актуальными являются такие способы оценки характеристик безотказности, как структурная Reliability block diagrams (RBD) и логическая схема [3]. В первом случае расчет характеристик безотказности РЭА производится с помощью ранее названного программного обеспечения (ПО) АСОНИКА-К-СИ [4]. Что касается второго способа, то оценки безотказности резервирования РЭА осуществляется при помощи ПО LabVIEW. Стоит упомянуть, что в работе [3] исследуется логическая схема, которая была получена из структурной схемы надежности. В данном случае также используется только вычислительные мощности ЭВМ.

При способе оценки с помощью ПО LabVIEW используется генератор случайных чисел, который вызывается специальной функцией под названием “Random Number (0-1) Function” [9]. Она дает возможность генерировать случайные числа, согласно равномерному закону распределения случайных чисел с плавающей запятой двойной точности в интервале от 0 до 1.

В процессе исследования были получены результаты зависимости ВБР от количества испытаний, сравнение которых между АСОНИКА-К-СИ и VI-модуль работы [2] приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты работы программ для оценки ВБР

№ п/п	Число испытаний	Время эксплуатации, ч	ВБР $P_{РЭА}$	Источник расчетов
1	$10^3$	10 <sup>3</sup>	0.291	АСОНИКА-К-СИ
			0.275	VI-модуль работы
2	$10^5$		0.307	АСОНИКА-К-СИ
			0.301	VI-модуль работы
3	$10^9$		0.308	АСОНИКА-К-СИ
			Ошибка	VI-модуль работы

Согласно таблице 1, ВБР, рассчитанная в АСОНИКА-К-СИ, во время увеличения числа испытаний в  $10^4$  раз не изменяется, что показывает неизменность случайной величины данного программного обеспечения. Стоит отметить, что обе программы имеют недостатки, а именно: ВБР представляется с точностью только до трёх знаков после запятой, что может не давать достаточную точность согласно техническому заданию (ТЗ). LabVIEW, приведенное в [3], затрачивает для  $10^3$  испытаний 10 секунд времени, а для  $10^5$  испытаний около 10 минут и т.д. В то же время, основным недостатком обеих программ является то, что после  $10^5$  испытаний происходит период повторения случайных чисел, что является недопустимым в рамках данной работы. Для решения этой проблемы предлагается использовать VI-модуля на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) с уже разработанным в статье [10] генератором случайных чисел. В качестве ПЛИС используется

устройство Xilinx Zynq-7010 [11], которая интегрирована в многофункциональную платформу NI myRIO-1900 и имеет поддержку NI LabVIEW. осуществляется с помощью модуля LabVIEW FPGA осуществляется программирование ПЛИС.

#### Описание принципа работы лабораторного стенда

Так как лабораторный стенд можно использовать в обучающих целях, то она способна работать в 2 состояниях:

1. Когда в виде входных данных используется логическая схема, составленная на ПО LabVIEW.
2. Когда в виде входных данных используется макетная плата, с собранной на ней логической схемой, составленной из логических элементов.

Независимо от выбора способа работы лабораторного стенда есть необходимость преобразования структурной схемы расчета надежности (рис. 2) в логическую схему.

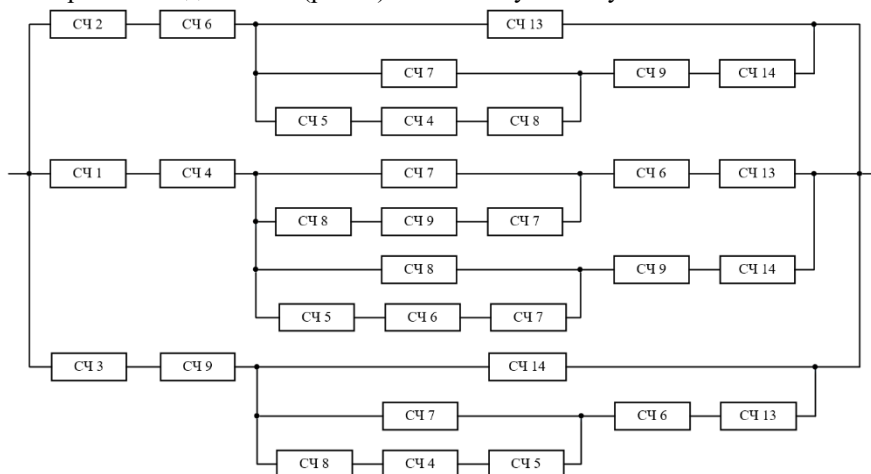


Рисунок 2 – Структурная схема расчета надежности

Данное преобразование осуществляется следующим способом: если элементы структурной схемы соединены последовательно, то они заменяются логическим элементом «И», который будет иметь столько входов, сколько будет заменено элементов в схеме. Если элементы в схеме соединены параллельно, то они заменяются логическим элементом «ИЛИ», который в плане входов аналогичен с предыдущим типом соединения. На рисунке 3 отображена схема, которую можно получить в результате преобразования.

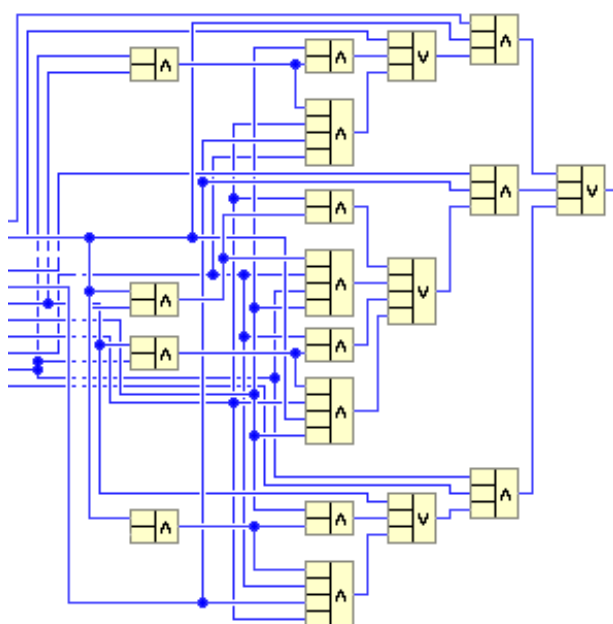


Рисунок 3 – Логическая схема в LabVIEW

Далее собранная схема подключаются к платформе NI MyRIO, как, например, для случая 2, и с помощью математического аппарата, описанном в предыдущем пункте, производится расчет. Полученные данные отображаются на компьютере.

#### Заключение

В заключение стоит отметить, что ранее разработанный программно-аппаратный VI-модуль на базе технологии FPGA позволяет проводить расчет характеристик надежности РЭА на с высокой точностью (до 18 знаков после запятой), скоростью (10 секунд на 1 миллион испытаний) и достоверностью. Важно отметить, что лабораторный стенд, работающий на базе программно-аппаратного VI-модуля, позволяет не только решать проблемы предприятий, но и обладает обучающей функцией.

#### Литература

1. Жаднов В. В., Тихменев А. Н. Имитационное моделирование в задачах оценки надежности отказоустойчивых электронных средств // Надежность. 2013. № 1. с. 32-43
2. G. Fishman, Monte Carlo: Concepts, Algorithms, and Applications, New York: Springer, 1995
3. Zhadnov V. V., Korolev P., Соснин А. И., Седов К. Д. Laboratory Bench for Predicting the Reliability of Wireless Devices Based on the NI MyRIO Platform, in: 2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Tomsk : Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), 2019. P. 1-5.
4. Zhadnov V. V., Iofin A. A. Comparative Characteristics of the PC Asonika-K and Reliability Calculations Programs, in: Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: Proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th Anniversary of Lviv Polytechnic National University. Lviv : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2014. P. 226-228
5. K.M. Uma Maheswari, Rajdeep Kundu, Harsh Saxena "PSEUDO RANDOM NUMBER GENERATORS ALGORITHMS AND APPLICATIONS" International Journal of Pure and Applied Mathematics, vol. 118, no. 22, pp. 331-336, 2018
6. Макаров А.П., and Соловьев В.А.. "Анализ автоматизированных методов расчета показателей надежности радиоэлектронной аппаратуры" Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», vol. 1, 2018, pp. 122-128.
7. V. I. Patrushev, Reliability and Effectiveness in Equipment. Reliability Project Analysis (in Russian), Moscow, Russia: Mashinostroenie, 1988.
8. A. V. Stroganov et al., "The Review of Computer Software for Reliability Prediction of Complex Technical System" (in Russian), Components & Technologies, no. 5, pp. 183-190, May 2007
9. Nasser Kehtarnavaz, Namjin Kim Digital Signal Processing System-Level Design Using LabVIEW. Elsevier, 2011. 304 с.
10. DSPA: вопросы применения цифровой обработки сигналов. [Электронный ресурс], URL: <http://media-publisher.ru/wp-content/uploads/DSPA-1-2020.pdf>
11. National Instruments. (2016, May). User Guide And Specifications NI MyRIO-1900 [Online]. Available: URL: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА «ОТКРЫТАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ СРЕДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК»

Абрамов А.В., Голдовский Я.М., Желенков Б.В., Сафонова И.Е.  
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»

В статье представлена формальная постановка научной задачи разработки открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок и частные задачи исследования, включая формулы расчета экономической эффективности проекта.

Ключевые слова: научная задача, открытая интегральная цифровая среда обеспечения транспортных перевозок, программно-аппаратная система, проект, модель, экономическая эффективность.

Formulation of the development problem and economic efficiency of the project "Open integral digital environment for providing transportation". Abramov A.V., Zhelenkov B.V., Goldovsky Y.M., Safonova I.E. Russian university of transport (MPT).

The article presents a formal formulation of the scientific task of developing an open integrated digital environment for ensuring transport transportation and particular research objectives, including formulas for calculating the economic efficiency of the project.

Keywords: scientific problem, open integrated digital environment for ensuring transportation, software and hardware system, project, model, economic efficiency.

Открытая интегральная цифровая среда обеспечения транспортных перевозок (ОИЦСОТП) - это сложная программно-аппаратная система [1, 2].

Решение научной задачи имеет вид:

$$Z = \langle X_{ICCS}, X_{pr}^{BAZ}, F_m \rangle, \quad (1)$$

где  $Z$  – общая задача разработки аппаратно-программной системы ОИЦСОТП;  $X_{ICCS}$  – объект исследования;  $X_{pr}^{BAZ}$  – базовый вариант технического решения, принятый в процессе разработки открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок,  $F_m$  – методы исследования.

Объектом исследования является открытая интегральная цифровая среда обеспечения транспортных перевозок; предмет исследования включает подходы, методы и модели анализа, исследования, моделирования и разработки открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок.

Объект исследования - это множество:

$$X_{ICCS} = \{M, K, X_{pr}, U, OGR, X_r, F_0, F_k, Ef\}, \quad (2)$$

где  $M$  – комплекс моделей реализации ОИЦСОТП;  $K$  – вектор критериев оценки качества ОИЦСОТП;  $X_{pr}$  – параметры, которые необходимо учесть в процессе разработки (это параметры относящиеся к программа-аппаратной платформе, параметры, имеющие отношение к транспортным средствам, к маршрутам транспортных средств, и организационные-управленческие параметры);  $OGR$  – ограничения в техническом задании;  $U$  – условия реализуемости ОИЦСОТП, учитывающие имеющиеся ресурсы (программные, аппаратные и т.д.);  $X_r$  – область технически реализуемых решений;  $F_0$  – начальные условия разработки ОИЦСОТП;  $F_k$  – правило, ставящее в соответствие  $X_{pr}^{BAZ}$  значения критериев оценки качества ОИЦСОТП;  $Ef$  – экономическая эффективность всего проекта.

Базовым вариантом ОИЦСОТП -  $X_{pr}^{BAZ}$  является тройка:

$$X_{pr}^{BAZ} = \{X_{pr}, X_{pr}^{Dim}, X_{pr}^{Nid}\}, \quad (3)$$

где  $X_{pr}$  – параметры создаваемой ОИЦСОТП;  $X_{pr}^{Dim}$  – числовые значения дискретных параметров;  $X_{pr}^{Nid}$  – непрерывные параметры.

Условия:

$$F_m(X_p) \text{ и } X_{pr}^{BAZ} \subseteq X_p \subseteq X_r, \quad (4)$$

где  $X_p$  – множество целесообразных тех решений.

Методы исследования  $F_m$  определяются сущностью поставленных теоретических и практических задач по разработке открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок.

При моделировании перевозок в России в основном используются программные комплексы PTV Vision, AIM Sun и другие [1, 2, 3]. Как показывает практика, в современных условиях существующие решения для построения традиционных аппаратно-программных систем меньших масштабов оказываются непригодными [2, 3, 4].

Можно решить задачу разработки ОИЦСОТП посредством комплекса моделей:

$$M = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_n\}, \quad (5)$$

где в скобках указаны конкретные математические модели.

В состав комплекса могут входить как аналитические, так и имитационные модели.

Основополагающими свойствами комплекса моделей являются свойства:

- интеграции;
- эволюционности;
- дуальности;
- универсальности;
- развитие для пополнения моделями.

Требования:

- адекватность;
- уточнение моделей и корректность;
- возможность обработки «больших данных»;
- эффективное и надежное ПО;

- наглядность.

Модели можно представить в виде [3, 4]:

$$\text{модель}_{\text{номер\_модели}}\{\text{список входных параметров}\} \Rightarrow \text{выходные параметры}, \quad (6)$$

$$\text{или} \quad M_i: \{X_{pr}^{вх}\} \Rightarrow X_{pr}^{вых}, \quad (7)$$

Выходные параметры одной модели/моделей могут являться входными параметрами для другой или других моделей.

Для комплекса моделей реализации открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок существуют ограничения:

- на применение модели/моделей,
- ограничения ТЗ - *OGR* (ограничения на стоимостные, вероятностно-временные, структурные и другие характеристики, указанные в ТЗ на разработку ОИЦСОТП).

Ограничения на применение модели:

- область применения: для решения широкого спектра частных задач по разработке ОИЦСОТП;
- ограничение на параметры моделей

$$0 < X_{pr} \leq 3000.$$

Единицы измерения  $X_{pr}$  – стандартные (система СИ), булевы и безразмерные величины. Свойства  $X_{pr}$ : независимость, допустимость, ограниченность (размерностью задач).

Эффективность функционирования открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок может оцениваться с помощью интегрального критерия  $K$ , который включает производительность системы, надежность, безопасность, расширяемость, масштабируемость, управляемость, совместимость. Наряду с перечисленными могут дополнительно учитываться и организационные критерии для частных задач [2, 6].

Исследование позволяет сделать вывод о том, что разработку открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок целесообразно проводить на основе теории построения сложных систем [3, 4]:

- 1) определение критериев ОИЦСОТП,
- 2) математическое моделирование,
- 3) выбор базового варианта технического решения из множества альтернативных.

Необходимо создать комплекс мер, которые позволяли бы на ранних этапах разработки ОИЦСОТП получить наиболее целесообразное техническое решение, которое не потребует в будущем серьезных изменений. Для этого существуют различные подходы [2, 4]. Для разработки открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок целесообразно использовать принцип иерархии и многоуровневого моделирования [1, 4, 6].

Для многоуровневого характера представления ОИЦСОТП характерно:

- ограниченность размерности конкретных задач;
- полное описание разрабатываемой ОИЦСОТП на последующих уровнях.

Многоуровневое представление ОИЦСОТП позволяет:

- 1) эффективно решать общие стратегические задачи,
- 2) осуществлять декомпозицию ОИЦСОТП-системы на отдельные составляющие и решать необходимые частные задачи;
- 3) принимать оптимальные технические решения;
- 4) проводить расчеты большинства параметров и характеристик;
- 5) рассчитывать отдельные элементы, так и всю ОИЦСОТП в целом;
- 6) требуется меньше вычислительных ресурсов для реализации ОИЦСОТП.

Следовательно, научную задачу создания открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок, т.е. общую задачу (1) целесообразно представить множеством частных задач:

$$Z = \langle Z_1, Z_2, \dots, Z_m \rangle, \quad (8)$$

где  $Z$  – общая задача разработки ОИЦСОТП;  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  – частные задачи.

Частные задачи, решаемые при разработке открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок следующие:

1. Анализ требований к сетевой инфраструктуре интегральной цифровой среды.
2. Исследование серверной части для клиент-серверной архитектуры обработки данных в интегральной цифровой среде.
3. Анализ современных технологий маршрутизации в инфокоммуникационных сетях.
4. Анализ уязвимостей архитектуры программно-конфигурируемых сетей.
5. Анализ систем хранения и обработки данных в интегральной цифровой среде.
6. Стандарты обмена информацией в интегральной цифровой среде.
7. Анализ и систематизация требований к характеристикам грузов.



8. Анализ алгоритмов построения маршрутов доставки грузов с учетом их характеристик и иных требований.

Экономическая эффективность проекта ОИЦСОТП. Перед разработкой открытой интегральной цифровой среды обеспечения транспортных перевозок необходимо провести технико-экономическое обоснование проекта и рентабельность его использования [5].

Согласно представленным в [5] рекомендациям существуют виды эффективности экономической: коммерческая; бюджетная эффективность. В этой работе приводится описание методики расчета эффективности проекта, которая включает 4 этапа:

- 1) анализ и оценка инвест-издержек;
- 2) оценка затрат текущих;
- 3) расчет показателей эффективности проекта ОИЦСОТП (коммерческой);
- 4) оценка показателей бюджет-эффективности.

Нужно сравнивать и учитывать разные показатели для сравнения проектов, например – чистый дисконтированный доход, доходность-индекс, срок окупаемости и другие показатели [5, 6].

Чистый дисконтированный доход:

$$NPV = \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t) \frac{1}{(1+E_H)^t} \quad (9)$$

где:  $E_H$  - дисконт-норма для различных временных периодов;  $R_t$  – стоимостная оценка результатов на конкретном временном шаге;  $Z_t$  – стоимостная оценка затрат для конкретного периода времени;  $(R_t - Z_t)$  – эффект, достигаемый на  $t$ -ом шаге.

Если чистый дисконтированный доход меньше нуля, то проект не эффективный.

Доходности индекс:

$$PI = \frac{1}{KD} \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t^*) \frac{1}{(1+E_H)^t} \quad (10)$$

где:  $Z_t^*$  - текущие затраты на конкретном временном периоде и их стоимостная оценка;  $KD$  – капитальные вложения, т.е. сумма дисконтированных кап.вложений.

Доходности индекс является относительным показателем, поэтому его целесообразнее использовать при выборе одного проекта из ряда альтернативных, имеющих примерно одинаковые значения  $NPV$  [5, 6].

Срок окупаемости инвестиций (PP) [5, 6]:

$$\sum_{t=1}^{PP} \frac{R_t - Z_t^*}{(1+E_H)^t} = \sum_{t=1}^{PP} \frac{KD_t}{(1+E_H)^t} \quad (11)$$

Следует отметить, что для оценки проектов инвестиционных иногда используют другие показатели [6], но для проекта «Открытая интегральная цифровая среда обеспечения транспортных перевозок» наиболее целесообразно применять эти показатели.

Таким образом, представленная формальная постановка задачи включает не только технические критерии и параметры разрабатываемой программно-аппаратной системы ОИЦСОТП, но методики и формулы расчета экономической эффективности всего проекта.

#### Литература

1. Сафонова И.Е. Тельнов Г.Г. Иерархический моделирующий комплекс как базовое средство решения задачи оптимизации маршрутных транспортных сетей // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 295-300.
2. Голдовский Я.М., Желенков Б.В., Сафонова И.Е. Необходимость создания цифровой интегральной среды для обеспечения транспортных перевозок // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции. / под.ред. С.У.Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019, с.548. с.39-42.
3. Сафонова И.Е. Тельнов Г.Г. Процесс управления транспортными потоками маршрутного пассажирского транспорта на территории регионов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 300-302.
4. Safonova I., Zhelenkov B., Goldovsky Y., Dmitrieva E. Formation and optimization of transport networks in the conditions of the digital integral environment for transportation // Communications - Scientific Letters of the University of Zilina / COMMUNICATIONS. 2020. V. 22. № 2, pp. 115-122.
5. Оценка экономической эффективности проекта [сайт]. URL: <https://www.economy-web.org/?p=430> (дата обращения: 30.07.2020).
6. Андрашитов Д.С., Галаев С.А., Зайцев М.А., Казеев И.М., Кубова Р.М., Маликов С.Н., Рудько А.С., Сафонова Е.И. Модели и технологии управления в социально экономических системах: монография

/под общ.ред. Д.С. Андрашитова; Московск. ун-т им. С.Ю. Витте. – М.: изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте, 2017. – 142 с.

## SAP HANA: СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РАБОТЫ С БОЛЬШИМИ ДАННЫМИ

Васильчук А.Н., Бушмелева К.И.  
БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет»  
alex.hack89@gmail.com, bkiya@yandex.ru

Объем и сложность создаваемых данных растет огромными темпами. Очевидно, что для эффективной работы с большими данными необходимо наличие современных инструментов. В данной статье рассмотрен один из таких инструментов – платформа SAP HANA.

Ключевые слова: Big Data, SAP HANA, SAP HANA Predictive Analysis Library (PAL).

SAP HANA is a modern big data tool. Vasilchuk A.N., Bushmeleva K.I., Surgut State University.

The volume and complexity of the data generated is growing at an enormous rate. It is obvious that modern tools are needed to work effectively with big data. This article discusses one such tool – the SAP HANA platform.

Keywords: Big Data, SAP HANA, SAP HANA Predictive Analysis Library (PAL).

В настоящее время технологии больших данных (Big Data) являются одним из ключевых драйверов развития информационных технологий.

Большие данные характеризуются следующими основными параметрами, которые сокращенно обозначают как «три V» или «3V»:

- Объем (Volume) – сколько данных содержит набор?
- Разнообразие (Variety) – насколько отличаются друг от друга разные типы данных?
- Скорость (Velocity) – с какой скоростью генерируются и обрабатываются данные?

Со временем к «трем V» были добавлены «четвертое V» и «пятое V»:

- Достоверность (Veracity): насколько точны данные?
- Ценность (Value): какую ценность имеют данные?

Также выделяют и другие «V»: Variability (изменчивость данных с течением времени), Venue (источники данных), Validity (валидность данных) и др.

Перечисленные свойства отличают большие данные от данных, встречающихся в традиционных средствах управления данными. Соответственно, привносимые ими изменения проявляются почти во всех аспектах: сборе данных, хранении и обслуживании данных, поиске, обмене, передаче и визуализации. Кроме того, большие данные требуют применения специализированных средств извлечения информации [1]. Перед компаниями возникает непростая задача выбора такого программного обеспечения или целой платформы. В настоящее время одним из решений для компании может стать использование платформы SAP HANA.

SAP HANA (англ. High-Performance Analytic Appliance) – это высокопроизводительная программная платформа для хранения и обработки данных, которая совмещает высокую скорость обработки транзакций и аналитических запросов. Платформа SAP HANA сочетает в себе функционал СУБД и функционал сервера приложений [2]. В отличие от классических дисковых СУБД SAP HANA является IMDB (in memory database) СУБД, что значительно увеличивает скорость операций с таблицами.

В SAP HANA реализована как классическая построчная технология хранения данных, так и поколоночная (рисунок 1). Технология поколоночного хранения данных, имеет ряд преимуществ перед построчным:

- в память загружаются только необходимые столбцы таблиц;
- любой столбец может выступать в роли индекса;
- возможность эффективного сжатия данных;
- более удобная реализация параллельной обработки данных.

**Table**

	Country	Product	Sales
Row 1	India	Chocolate	1000
Row 2	India	Ice-cream	2000
Row 3	Germany	Chocolate	4000
Row 4	US	Noodle	500

The diagram illustrates two storage methods for the data in the table above:

- Row Store:** Data is organized by rows. Each row contains the Country, Product, and Sales values for that specific row. For example, Row 1 contains India, Chocolate, and 1000.
- Column Store:** Data is organized by columns. Each column contains the Country, Product, and Sales values for all rows. For example, the Country column contains India, India, Germany, and US.

Рисунок 1 – Принцип построчного и по столбчатому хранения

Все объекты уровня базы данных в SAP HANA хранятся в схемах. Схема – объект БД, который представляет собой логический контейнер для объекта и служит как пространство имен (объекты с одним именем могут существовать в разных схемах), а также для разграничения полномочий.

В SAP HANA существуют следующие объекты БД:

- таблица;
- индекс;
- представление;
- процедура;
- функция;
- табличный тип;
- последовательность;
- триггер;
- синоним.

Так же в SAP HANA присутствует возможность графического моделирования. Графические модели данных позволяют создавать оптимизатору более производительные запросы по сравнению со скриптовыми (разработанными с использованием SQL).

Графические представления в SAP HANA бывают трех видов:

- Attribute view – предназначены для создания измерений analytic view. Для Attribute view определяется набор таблиц, соединяемых операцией JOIN.
- Analytic view – представляет собой аналог OLAP-куба. В Analytic view определяется основание данных, к которому присоединяются атрибуты в виде Attribute view.
- Calculation view – предназначен для построения гибких моделей данных. Бывает двух видов: графический и скриптовый.

SAP HANA создавалась как нечто большее, чем просто СУБД. Платформа включает в себя необходимый аналитический функционал, а также имеет возможность интеграции инструментов анализа с данными, получаемыми из различных источников (рисунок 2).

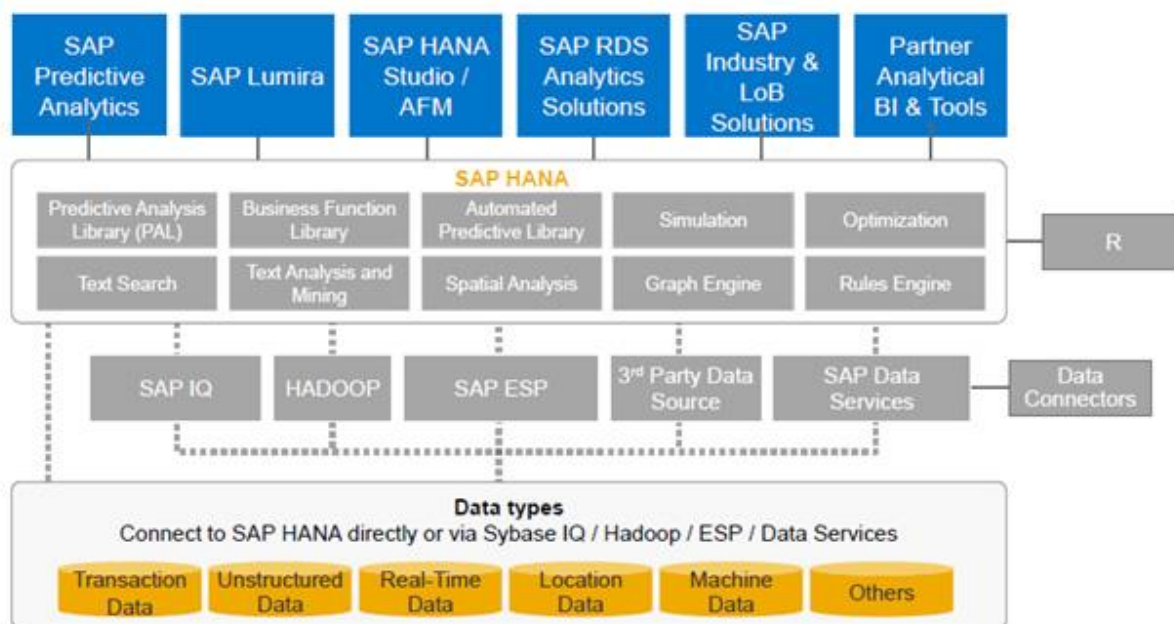


Рисунок 2 – Архитектура аналитических решений на базе платформы SAP HANA

В ядро SAP HANA встроена библиотека Predictive Analysis Library (PAL), которая предназначена для построения высокопроизводительных предиктивных приложений [3]. PAL является библиотекой для выполнения in-методу процессов анализа данных и статистических расчётов (рисунок 3), а также призвана обеспечить высокую производительность на больших наборах данных в задачах аналитики в реальном времени.

PAL включает в себя следующие категории классических и универсальных алгоритмов [3, 4]:

- кластеризация (DBSCAN, метод k-средних, метод k-медиа, метод k-медоидов, самоорганизующиеся карты Кохонена и др.);
- классификация (градиентный бустинг и деревья решений, метод k-ближайших соседей, логистическая регрессия, наивный байесовский классификатор, случайный лес, метод опорных векторов);
- регрессия (экспоненциальная регрессия, множественная регрессия, полиномиальная регрессия и др.);
- ассоциации (Apriori, FP-Growth, KORD);
- временные ряды (ARIMA, auto ARIMA, линейная регрессия с затухающим трендом и сезонностью, экспоненциальное сглаживание, двойное экспоненциальное сглаживание, тройное экспоненциальное сглаживание и др.);
- статистика (оценка Каплана-Мейера, многовариативная статистика, квантиль, критерий Граббса и др.);
- гибридные методы.

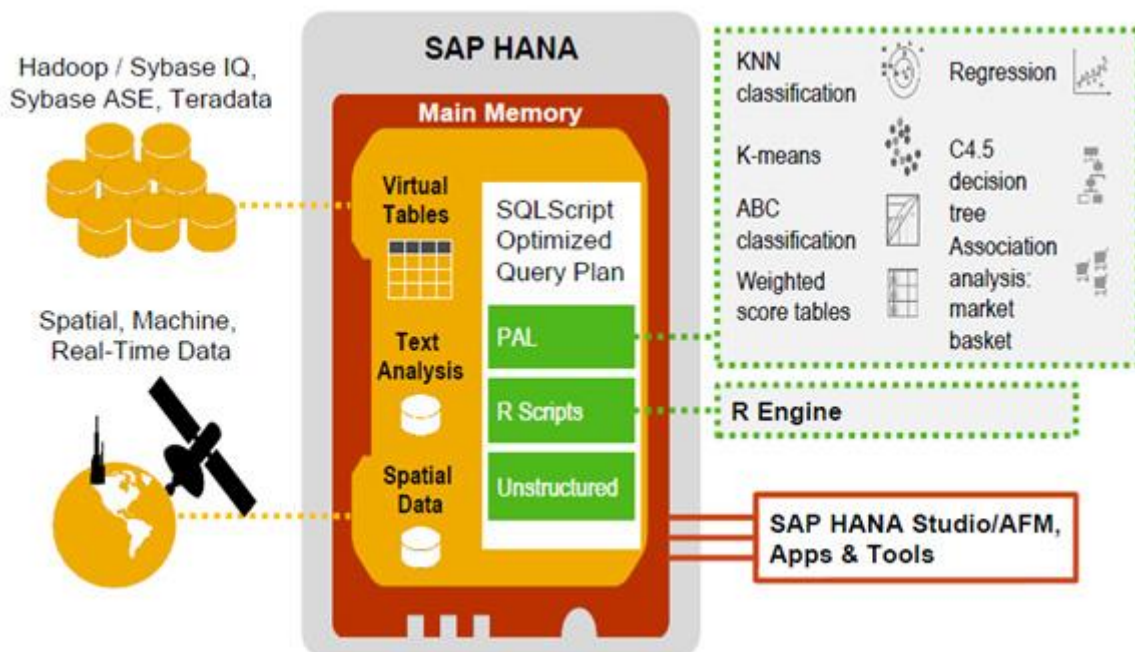


Рисунок 3 – Структура библиотеки Predictive Analysis Library

В заключении хотелось бы отметить, что представленные в данной статье платформа SAP HANA и библиотека SAP HANA PAL успешно покрывают вопросы, связанные с большими данными, и используется в ведущих нефтегазодобывающих компаниях не только нашей страны, но и мира.

#### Литература

1. Силен Дэви, Мейсман Арно, Али Мохамед Основы Data Science и Big Data. Python и наука о данных. — СПб.: Питер, 2017. — 336 с.: — (Серия «Библиотека программиста»).
2. SAP HANA Master Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://help.sap.com>.
3. SAP HANA Predictive Analysis Library [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://help.sap.com>.
4. SAP HANA Developer Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://help.sap.com>.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВЕРСИИ УПРАВЛЕНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ В АРХИТЕКТУРЕ СИСТЕМЫ КОСВЕННОГО МОНИТОРИНГА НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ АКТИВНОСТИ

Бушмелева К. И., Гавриленко Т.В., Никифоров А.В.  
Сургутский государственный университет  
[bkiya@yandex.ru](mailto:bkiya@yandex.ru), [nikiforov\\_av@surgu.ru](mailto:nikiforov_av@surgu.ru)

Статья посвящена применению инверсии управления и внедрения зависимостей при проектировании и создании информационной системы косвенного мониторинга несанкционированной активности в вычислительной системе. Использование данных методик автор описывает в статье на примере разработанной архитектуры информационной системы. Также автор затрагивает перспективы разрабатываемой информационной системы в сфере информационной безопасности и возможность ее внедрения в комплекс классических средств обеспечения информационной безопасности.

Ключевые слова: мониторинг, косвенный мониторинг, несанкционированная активность, активность, вычислительные системы, системы, защита информации, информации, инверсия управления, внедрение зависимостей, модель, алгоритм.

Using inversion of control and dependency injection in the architecture of the system for indirect monitoring of unauthorized activity. Bushmeleva K.I., Gavrilenko T.V., Nikiforov A.V., Surgut State University

The article is devoted to the application inversion of control and dependency injection in the design and creation of an information system for indirect monitoring of unauthorized activity in a computer system. The author describes the use of these methods in the article on the example of the developed information system architecture. The author also touches on the prospects of the information system being developed in the field of

information security and the possibility of its implementation in the complex of classical means of ensuring information security.

Keywords: monitoring, indirect monitoring, unauthorized activity, activity, computer systems, systems, information protection, information, inversion of control, dependency injection, model, algorithm.

#### Введение

Создание качественной архитектуры информационной системы (ИС) имеет большое значение. Если на этапе разработки проигнорировать данный аспект, то модификация ИС с целью решения проблемы устаревания с большей вероятностью будет затруднена. Одной из причин такого затруднения может стать сильная зависимость реализаций компонентов системы друг от друга в исходном коде.

Решить данную проблему при написании исходного кода ИС можно применив инверсию управления (ИУ, Inversion of control, IoC) [2], а именно используя внедрение зависимостей (ВЗ, Dependency injection, DI) [2].

На примере создания архитектуры системы косвенного мониторинга несанкционированной активности в вычислительных системах (ВС) автор в данной статье рассматривает применение ИУ и ВЗ для решения проблемы кроссплатформенного использования [1].

Причины использования инверсии управления и внедрения зависимостей в архитектуре системы косвенного мониторинга несанкционированной активности в вычислительной системе

Существует две причины (требования) для использования ИУ и ВЗ в архитектуре системы косвенного мониторинга несанкционированной активности в вычислительных системах:

1. Наличие двух различных методов сбора косвенных параметров ВС (программный и аппаратный) [1].
2. Обеспечение работоспособности системы косвенного мониторинга на различных операционных системах.

Во-первых, реализация алгоритмов сбора косвенных параметров ВС отличается в зависимости от выбранного метода, поэтому требуется обеспечить интеграцию обоих методов в систему без сильных изменений в исходных кодах основной логики системы.

Во-вторых, система косвенного мониторинга должна работать на операционных системах семейства Windows, Linux и MacOS, поэтому некоторые компоненты в исходном коде будут содержать платформу-зависимый код для обеспечения работы системы мониторинга.

Реализация инверсии управления и внедрения зависимостей в архитектуре системы косвенного мониторинга несанкционированной активности в вычислительной системе

На рис. 1 представлена архитектура системы косвенного мониторинга несанкционированной активности со всеми компонентами (модулями) и связями между ними.

Из рис. 1. видно, что система состоит из двух подсистем:

1. Сбора и управления.
2. Хранения и анализа.

Каждая из подсистем содержит модули различного назначения. Подсистема сбора и управления содержит модули:

1. Мониторинга сетевого трафика.
2. Мониторинга аппаратного обеспечения.
3. Мониторинга программного обеспечения.
4. Управления ВС.

А подсистема хранения и анализа содержит модули:

1. Хранения данных (база данных содержащая косвенные параметры работы ВС).
2. Принятия решений о наличии несанкционированной активности (СПР).

Для выполнения требований, вдвинутых ранее к архитектуре системы и возможности применить ИУ, а именно ВЗ требуется, чтобы каждый модуль имел стандартизированный интерфейс управления. Такой подход позволит отвязать логику управления системой и взаимодействие модулей друг с другом от конкретных реализаций в исходном коде. Также ВЗ позволит использовать различные реализации стандартизированных интерфейсов модулей системы, что делает возможным использование модулей с различной внутренней логикой, но общим интерфейсом взаимодействия. Например, модуль хранения данных предоставляет методы для чтения и записи, но его внутренняя реализация может быть основана на хранении данных в БД или обычном текстовом файле. Исходя из сказанного выше можно сделать вывод, что ВЗ позволяет создать систему, которая может использовать два метода мониторинга и способно работать кроссплатформенно.

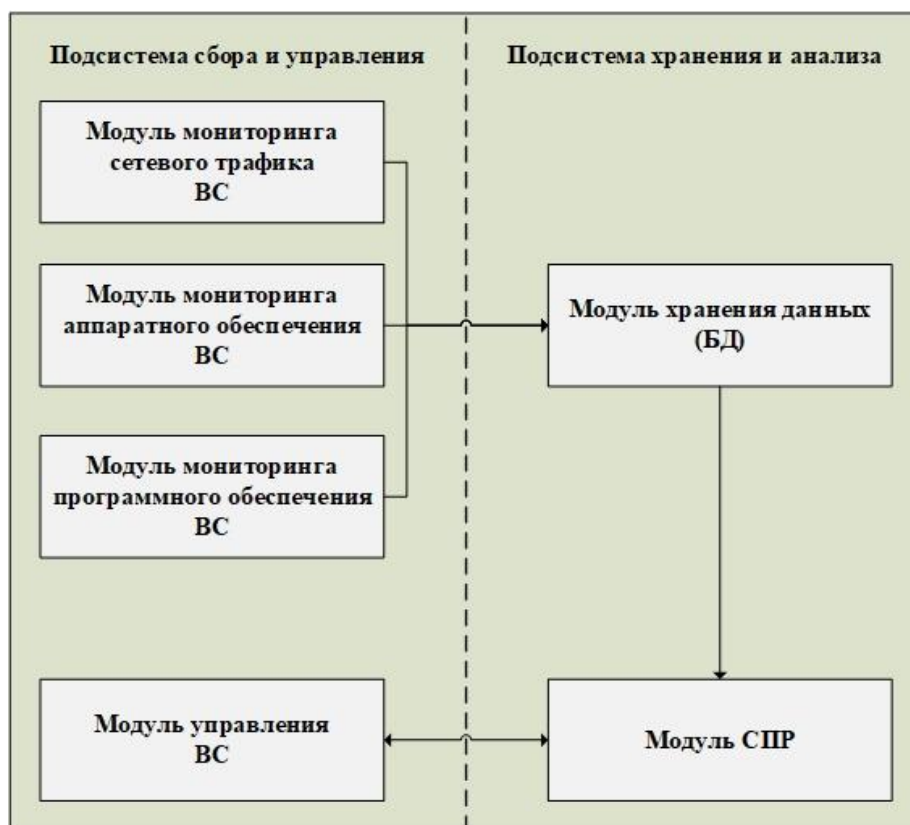


Рисунок 1 – Архитектура системы косвенного мониторинга несанкционированной активности

Еще одним преимуществом данного подхода является возможность использовать систему как клиентское приложение, так и клиент-серверное приложение. Такое возможно благодаря тому, что ВЗ позволяет использовать различные реализации стандартизированных интерфейсов и динамическую загрузку модулей системы. Динамическая загрузка модулей поддерживается всеми языками программирования, поэтому данное решение позволит внести дополнительную гибкость в разрабатываемую систему. Однако, чтобы система могла быть одновременно клиентским приложением, так и клиент-серверным приложением требуется соблюдение правильной компоновки интерфейсов в исходных кодах библиотек. В табл. 1 приведен принцип компоновки интерфейсов по библиотекам.

Таблица 1 – Компоновка интерфейсов по библиотекам

Модуль	Библиотека
Мониторинга сетевого трафика	Сбора и управления
Мониторинга аппаратного обеспечения	Сбора и управления
Мониторинга программного обеспечения	Сбора и управления
Управления ВС	Сбора и управления
Хранения данных	Хранения и анализа
Принятия решений о наличии несанкционированной активности (СПР)	Хранения и анализа

Если не соблюдаются описанные принципы компоновки в исходном коде, то при создании системы можно столкнуться со следующими проблемами:

1. Избыточность кода для клиент-серверной архитектуры на стороне клиента.
2. Избыточность кода для клиент-серверной архитектуры на стороне сервера.
3. Увеличение объема файлов информационной системы для клиент-серверной архитектуры на стороне клиента.
4. Увеличение объема файлов информационной системы для клиент-серверной архитектуры на стороне сервера.

Описанные выше проблемы не касаются варианта с полностью клиентским приложением, но лишают возможности создания гибкого, эффективного и расширяемого приложения. Однако при соблюдении описанных принципов компоновки модулей открываются возможности не только для создания системы способной работать в вариантах клиент и клиент-сервер, но также появляется

дополнительная возможность интеграции с уже готовыми системами информационной безопасности, имеющимися в организациях. Возможность интеграции с уже готовыми системами становится возможной для обоих вариантов благодаря ВЗ, динамической загрузке модулей и принципам компоновки модулей по библиотекам. Также принципы компоновки, описанные выше можно применить не только для модулей, представленных в текущей версии архитектуры системы, но и для любых дополнительных модулей, которые мы захотим добавить в будущем. Причем новые модули могут служить как целям интеграции с имеющимися в организации системами, так и добавлять новые функции, связанные с мониторингом, анализом, принятием решений и управлением вычислительной системой.

Все сказанное выше открывает большие перспективы для развития данной системы и апробации выбранных решений в рамках производства или организаций.

#### Заключение

Использование ИУ и ВЗ в архитектуре системы косвенного мониторинга несанкционированной активности в ВС сильно облегчит написание кода ИС и позволит применять динамическую загрузку компонентов в зависимости от метода сбора косвенных параметров и операционной системы. Также данный подход позволит интегрировать разработанную систему в контур информационной безопасности любой организации за счет гибкого механизма развёртывания системы, описанного в статье.

Созданная на основе описанной в статье архитектуры система будет применена для получения косвенных параметров работы ВС с целью накопления их в базе данных. Полученные данные подвергнутся анализу с целью выявления закономерностей в работе ВС. Данные закономерности будут применены при создании модели или алгоритма способного определить несанкционированную активность в ВС. Полученная модель или алгоритм лягут в основу модуля СПР, что позволит системе работать в реальном времени на ВС для определения несанкционированной активности.

Сочетание полученной системы и классических средств обеспечения информационной безопасности позволит повысить эффективность защиты от несанкционированной активности на вычислительных системах пользователей и организаций.

#### Литература

1. Гавриленко Т.В., Никифоров А.В. Методы косвенного мониторинга несанкционированной активности в вычислительных системах // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований. – 2020. – Том. 3-4 (20). – С. 38-45.
2. Уваров А.Н. Инверсия управления и внедрение зависимостей // Символ науки. – 2019. – № 10-1 (22). – С. 28-32.

### ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНОКЛИМАТИЧЕСКИМ КУОРТОМ

Богданова М.В.<sup>1,2</sup>, Богданова В.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия», <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»  
+7 (915) 1136963, bogdanovamv2009@yandex.ru

Статья посвящена цифровой трансформации системы управления интегрированного горноклиматического курорта. Рассмотрены пути повышения конкурентоспособности горноклиматических курортов. Раскрыты преимущества цифровой системы управления, построенной на базе пакета Power BI.

Ключевые слова: интегрированный горноклиматический курорт, эффективность, цифровой системы управления, пакета Power BI.

Digital transformation of mountain climate resort management system. <sup>1,2</sup>Bogdanova M.V., <sup>2</sup>Bogdanova V.G., <sup>1</sup>Russian State University of Justice, <sup>2</sup>State University of Management.

The article is about digital transformation. The ways of increasing the competitiveness of mountain climate resorts are considered. The advantages of a digital control system built on the basis of the Power BI package are revealed.

Keywords: integrated mountain resort, efficiency, digital management system, Power BI package.

В настоящее время осуществляется планомерная цифровая трансформация систем управления горноклиматических курортов, в том числе отечественных курортов («Роза Хутор», «Курорт Красная Поляна» и др.) [1]. Дальнейшее повышение эффективности системы управления горноклиматических курортов и улучшения качества оказываемых услуг возможно на основе ее цифровой трансформации. При



этом трансформация осуществляется путем внедрения современных цифровых технологий, использующих, в частности, развитые программные цифровые платформы продвижения туристских продуктов и брендов, цифровые средства навигации, комплексы типа Power BI (Power Business intelligence - комплексное обеспечение бизнес-анализа компании Microsoft, объединяющее несколько программных продуктов, имеющих общий технологический и визуальный дизайн, соединителей (шлюзов), а также web-сервисов) [2] и др.

Комплексное рациональное использование информационных и цифровых ресурсов обеспечивает повышение конкурентоспособности, прибыльности и раскрытие потенциала туристского продукта российского горнолыжного сектора [1].

Инновационная онлайн система управления горноклиматическим курортом отражает оперативную информацию по объему и качеству оказанных услуг, долгосрочным и среднесрочным прогнозам и другой маркетинговой информации. Основные компоненты цифровой системы управления, в частности, интегрированного горноклиматического курорта представлены на рисунке 1.

Конфигурация сбора и обработки данных на основе пакета Power BI в онлайн системе управления горноклиматическим курортом представлена на рисунке 2. Основные компоненты:

- SKIDATA – программа управления и мониторинга;
- POS (ресторанные системы) - это облачная касса для кафе, ресторанов, магазинов. POS-система Poster помогает упорядочить бизнес-процессы, автоматизировать заведение, оптимизировать затраты, минимизировать кражи и увеличить продажи;
- PMS (Property Management System ) – это система управления отелем или гостиницей, которая позволяет вести своевременное управление номерным фондом, контроль загрузки, проводить бронирование номерного фонда (включая прямые клиентские и OTA онлайн-бронирования);
- «1С:Предприятие» предназначено для автоматизации бухгалтерского и управленческого учётов (включая начисление зарплаты и управление кадрами), экономической и организационной деятельности предприятия.

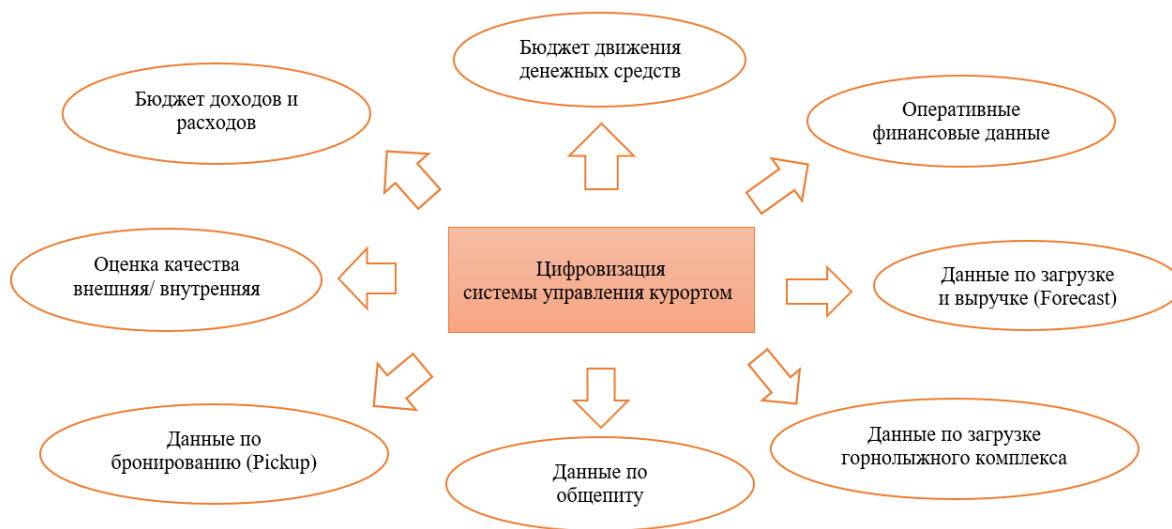


Рисунок 1 – Основные компоненты цифровой системы управления интегрированного горноклиматического курорта

Программный пакет бизнес-анализа Power BI является инструментом, позволяющим представлять анализируемую информацию в виде согласованных, визуально иммерсивных, интерактивных аналитических сведений. Пакет Power BI позволяет получать своевременную многоаспектную информацию для принятия обоснованных (рациональных) управленческих решений [5].

В частности, возможно применение следующих информационных панелей:

- финансовые интерактивные панели (dashboards), на которых размещены визуальное данные доходов и расходов, с линией трендов;
- операционные интерактивные панели (dashboards), содержащие данные по качеству, эксплуатации, загрузки в таких разрезах как объекты, дата, время, направления, подразделения и прочие;
- интерактивные маркетинговые панели (dashboards), ориентированные на «Портрет гостя»;
- специализированные интерактивные панели по направлениям бизнеса, по бизнес единицам индивидуально.

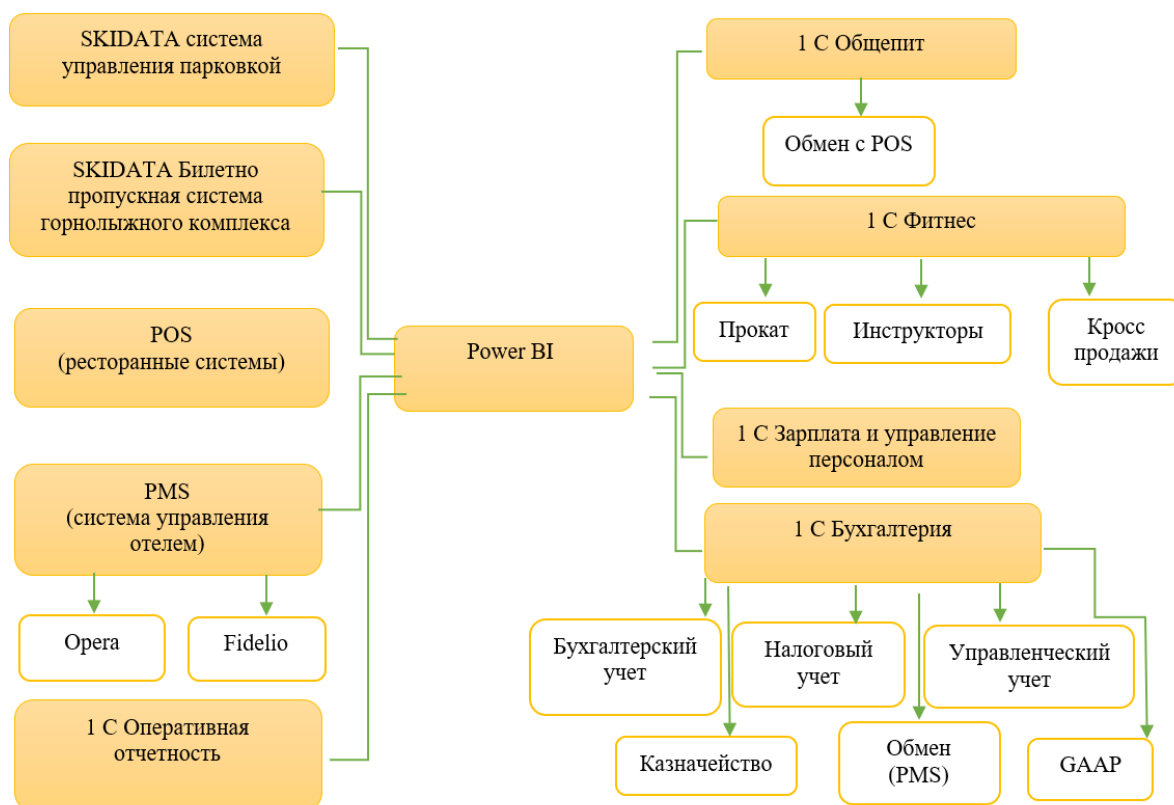


Рисунок 2 – Конфигурация сбора и обработки данных в онлайн системе управления горноклиматическим курортом

Использование инновационной онлайн системы управления позволяет оценить оперативную ситуацию на курорте и построить прогнозы, эффективно использовать маркетинговые бюджеты, создавать конкурентоспособный туристский продукт.

Имитационное моделирование [4], практическое внедрение современных цифровых технологий в системе управления интегрированного курорта [3], а также анализ массивов полученных оперативных данных [5] показали получение временного выигрыша до 30% в процессах управления и повышение на 15 –20% конкурентоспособности курорта, определяемой интегрированным показателем, учитывающим такие параметры как: общая протяженность трасс, км; количество подъемников, ед.; перепад высот, м; стоимость ски-пасса, евро/нед.

#### Литература

1. Распоряжение правительства Российской Федерации «О Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года от 20.09.2019 № 21229-р // Парламентская газета. – 2019–20 сен.
2. Официальный сайт Microsoft Power BI [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://powerbi.microsoft.com/ru-ru/> (дата обращения: 15.06.2020).
3. Богданова В.Г. Анализ развития горнолыжных курортов в мире // Научное обозрение. Серия 1. Экономика и право. – 2019. – № 5. – С. 161 – 169. DOI: 10.26653/2076-4650-2019-5-15.
4. Богданова В. Г., Богданова М.В., Паршинцева Л.С. Статистические методы как основа маркетинговых исследований/ В.Г. Богданова, М.В. Богданова, Л.С. Паршинцева // Вестник Университета (Государственный университет управления). – 2018. – № 4. – С. 78 – 83.
5. Богданова М.В., Паршинцева Л.С. Современные средства электронной обработки социально-экономической информации / М.В. Богданова, Л.С. Паршинцева // Вестник университета. – 2017. – №5. – С. 10 -15.

## РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Аралбаев Т.З., Галимов Р.Р., Арзамасков А.О., Бобров К.В.  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»  
+7 (922) 555-42-44, [rin-galimov@yandex.ru](mailto:rin-galimov@yandex.ru)

В работе представлены результаты разработки система защиты беспилотного летательного аппарата (БПЛА) от сетевых атак. Актуальность исследований обусловлена ростом количества применения БПЛА коммерческого уровня, использующих стандартные каналы связи на базе Wi-Fi сетей. Для защиты от несанкционированного доступа (НСД) к системе управления беспилотника предлагается использовать дополнительный уровень контроля на основе навигационного ключа с использованием аппаратно-программной платформы Arduino. Разработанное решение предполагается использовать в учебном процессе в рамках изучения вопросов информационной безопасности квадрокоптеров.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, навигационный ключ, защита от несанкционированного доступа, Arduino.

Development of hardware and software means of protecting unmanned aircraft in the educational process, Aralbaev T.Z., Galimov R.R., Arzamaskov A.O., Bobrov K.V., Orenburg State University

The paper proposes a system for protecting an unmanned aerial vehicle (UAV) from network attacks for unauthorized access (UAV). The relevance of the work is due to the increase in the number of commercial-level UAVs using standard communication channels based on Wi-Fi networks. To protect the unmanned device from tampering, it is proposed to use an additional level of protection based on the navigation key. The proposed solution allows you to track the deviations of the unmanned aerial vehicle from the controlled area and, in the absence of a prolonged response, makes an emergency landing of the UAV. The developed solution is supposed to be used in the educational process in the study of information security issues of quadcopters.

Keywords: UAV navigation key, protection against unauthorized access, the Arduino.

### Введение

Последние годы наблюдается рост количества используемых беспилотных летательных аппаратов в таких областях, как мониторинг дорожного движения и экологической ситуации, доставки грузов. Так по прогнозам уже к 2025 году будет эксплуатироваться не менее 100000 беспилотных устройств в России. Широкое распространение БПЛА определяет важность вопросов их безопасной эксплуатации. Особенно актуальна данная задача для устройств коммерческого класса, использующих стандартные каналы связи стандарта Wi-Fi и характеризующихся недостаточной защищенностью от сетевых атак [1]. Перехват или вмешательство в канал управления БПЛА приводит к значительному ущербу вследствие потери оборудования или информационных ресурсов устройства. Данное обстоятельство обуславливает необходимость акцентирования внимания вопросам защиты беспилотных устройств и подготовки специалистов в данной области.

Обзор литературы и источников в Интернете показал, что вопросам изучения информационной безопасности БПЛА уделено не достаточное внимание. В частности, в работе [2] предлагаются методы изучения информационной системы БПЛА. Средства изучения уязвимости канала связи коммерческого дрона представлены в статье [3]. Несмотря на достоинства данных работ, необходимо отметить, что в них не рассмотрены вопросы разработки аппаратных средств защиты в рамках учебного процесса, отличающегося от промышленного производства задачами учебного процесса, квалификацией разработчиков из числа студентов и доступной элементной базой.

### Постановка задачи

Целью работы является повышение эффективности учебного процесса по дисциплинам информационной безопасности (ИБ) на основе элементной базы платформы Arduino.

В работе представлены результаты разработки средств защиты дрона коммерческого класса Parrot Beboor II с учетом возможности использования в учебном процессе кафедры вычислительной техники и защиты информации Оренбургского государственного университета. Разработанная модель угроз данного БПЛА [4] определила актуальность задачи обеспечения защиты от несанкционированного доступа к квадрокоптеру по беспроводному каналу связи. Обеспечению безопасности БПЛА от сетевых атак посвящено множество работ. В статье [5] предлагается использование криптографических методов защиты. Авторы работы [3] предлагают динамически изменять параметры сетевого протокола, чтобы усложнить злоумышленнику сбор информации о параметрах сети. Несмотря на достоинства данных подходов, имеются ряд недостатков: высокие требования к вычислительным ресурсам для выполнения математических вычислений, и наличие уязвимостей программном обеспечении квадрокоптеров. В связи

с этим, существует необходимость в разработке методов защиты беспилотных летательных аппаратов, дополняющих стандартные решения.

#### Аппаратно-программные средства защиты БПЛА от НСД

Для защиты беспилотного летательного аппарата использован метод мониторинга отклонения от контролируемой зоны на основе данных глобальной спутниковой системы навигации [6].

На рисунке 1 представлена структурная схема аппаратной части системы защиты от НСД БПЛА, разработанная в лабораторных условиях учебного заведения. Обработка данных о координатах дрона осуществляется микроконтроллером (МК) на борту БПЛА, независимо от её информационной системы. Аналогично обмен информацией между МК и модулем оповещения оператора происходит по дополнительному каналу. Использование независимой дублирующей системы мониторинга снижает риск реализации угрозы НСД со стороны злоумышленника. Стационарная часть реализована на базе персонального компьютера с беспроводной сетевой картой и программой оповещения оператора, в частности, может использоваться стандартный ноутбук.

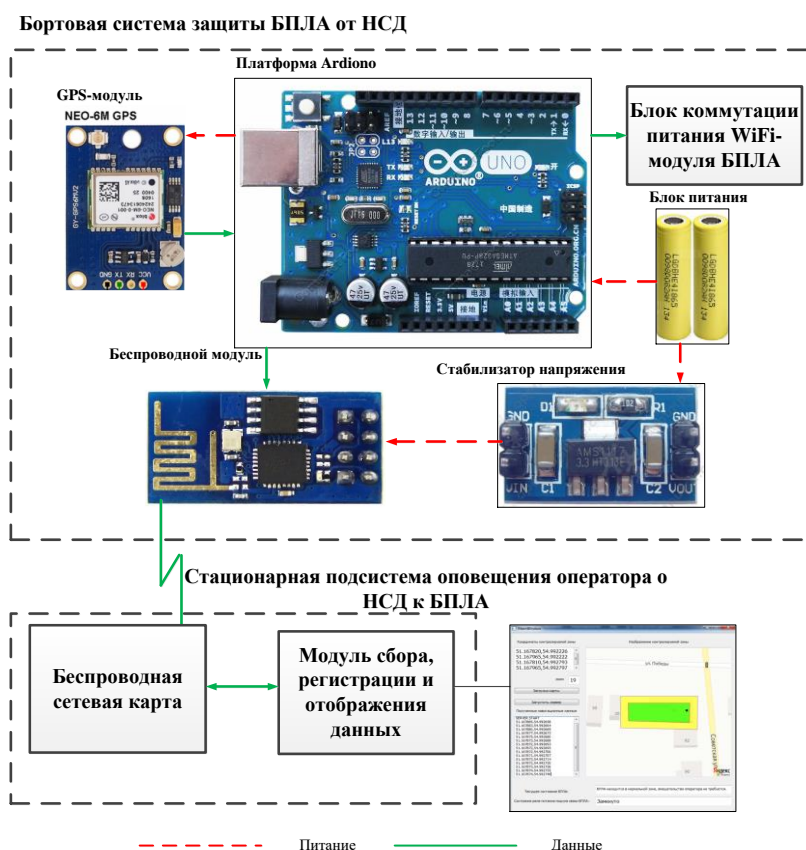


Рисунок 1 – Структурная схема системы защиты от НСД к БПЛА

Для разработки аппаратной части системы защиты выбрана платформа Arduino, характеризующаяся простотой изучения и использования, низкой стоимостью, наличием большого количества плат расширений. Все это позволяет быстро проектировать цифровые устройства для решения различных задач, в том числе и в области ИБ [7]. Кроме того, устройства на платформе Arduino обладают небольшой массой и габаритами, что позволяет их разместить на квадрокоптере без ухудшения его полетных характеристик.

Основу бортовой системы защиты представляет устройства Arduino Uno на базе МК Atmega328, осуществляющего предварительную обработку навигационных данных от GPS-модуля Neo-6m на основе ассоциативно-мажоритарного подхода [6]. При обнаружении отклонения местоположения квадрокоптера от контролируемой зоны система мониторинга отправляет координаты оператору через беспроводной модуль Wi-Fi ESP8266-01 и сообщение о возможном инциденте НСД. Если в течение заданного интервала времени оператор не сможет вернуть БПЛА в контролируемую зону, то в этом случае бортовая часть системы защиты определяет атаку НСД. Для противодействия данной атаке МК выполняет команду на размыкание реле питания Wi-Fi-модуля беспилотного летательного аппарата. Это позволяет разорвать соединение злоумышленника к каналу управления дроном. Стандартной реакцией большинства БПЛА на ситуацию разрыва соединения является либо аварийная посадка, либо автономный возврат к начальной

позиции маршрута. Спецификация аппаратных средств системы защиты квадрокоптера представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Спецификация программно-аппаратного комплекса

Устройство	Название	Количество
Платформа Arduino	Arduino Uno R3	1
GPS-модуль	GY-NEO-6MV	1
Стабилизатор напряжения	Стабилизатор напряжения	1
Модуль беспроводной связи	ESP8266-01	1

Основу стационарной части системы защиты представляет программа для оповещения оператора об инциденте отклонения БПЛА от контролируемой зоны. Обмен данными между МК системы защиты от НСД и программой осуществляется по протоколу транспортного уровня TCP. Для снижения энергопотребления в проекте используется МК с низкой производительностью. В связи с этим для распределения вычислительной нагрузки TCP-сервер реализуется в стационарной части системы. На рисунке 2 «а» и 2 «б» представлены схема алгоритма модуля оповещения оператора БПЛА в стационарной части системы и экранная форма главного окна.

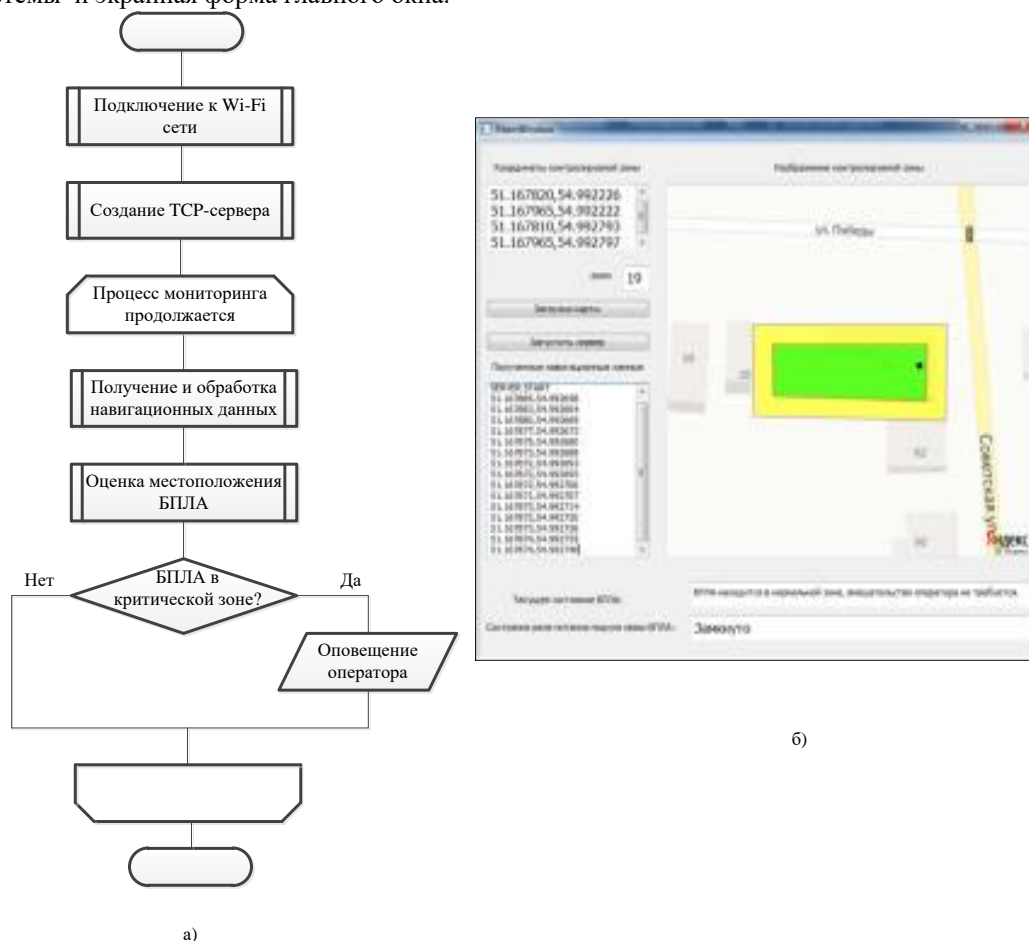


Рисунок 2 – Программа мониторинга отклонения БПЛА: а) – схема алгоритма; б) – экранная форма главного окна

На первом этапе программа подключается к заданной резервной Wi-Fi-сети бортовой системы защиты от НСД с использованием пароля. При успешном подключении запускается TCP-сервер. Далее осуществляется сбор и обработка навигационных данных, оценка отклонения от контролируемой зоны. При выходе за пределы БПЛА за пределы контролируемой зоны выдается сообщение оператору БПЛА.

На рисунке 2 б) представлена экранная форма программы мониторинга отклонения местоположения квадрокоптера во время проведения эксперимента на территории ОГУ по проверке работоспособности системы. В верхней части указаны координаты контролируемой зоны, которая

прорисовывается на карте в виде зеленого четырехугольника и определяется в программе как «нормальная». Желтым цветом выделена «допустимая» зона местоположения беспилотного летательного аппарата с учетом погрешности навигационного оборудования, а остальная область – «критическая». Если аппарат перемещается из нормальной или допустимой зоны в критическую и продолжает дальнейшее отдаление, можно сделать вывод о том, что злоумышленник перехватил управление дроном через канал связи. Текущее местоположение квадрокоптера обновляется на экране с интервалом времени в 1 секунду и отображается в виде черного прямоугольника. Ноутбук с программой мониторинга местоположения находился на расстоянии до 70 метров от БПЛА. Проведенные испытания показали корректность работы системы контроля местоположения БПЛА с погрешностью до 2.5 метров. Полученные результаты подтверждают возможность использования данной системы защиты от дистанционных атак злоумышленника с целью вмешательства в процесс управления и угона в экспериментальных условиях.

Достоинством данного решения является повышение защищенности квадрокоптера, что позволяет получить экономический эффект за счет снижения рисков раскрытия конфиденциальных данных и потери оборудования. К некоторым недостаткам, можно отнести не возможность противодействовать атакам класса GPS-спуфинг – подмены сигналов глобальной спутниковой навигационной системы с целью генерации ложных координат. Но в целом данные атаки требуют использование специализированного дорогостоящего оборудования, что снижает вероятность их реализации со стороны злоумышленников.

Разработанный прототип системы защиты БПЛА от НСД позволяет повысить уровень защищенности за счет использования дополнительного уровня защиты доступа. Взаимодействие с бортовой системой системы защиты осуществляется только в одном направлении: от бортовой части системы защиты квадрокоптера к программе мониторинга. Это позволяет минимизировать возможности вмешательства со стороны злоумышленника на данную систему. В дальнейшем данное решение может быть дополнено модулями обнаружения и защиты от атак класса GPS-спуфинга.

#### Заключение

Представленный подход позволяет также снизить риск выхода БПЛА за пределы контролируемой зоны по причинам техногенного и природного характера, связанных с неисправностями самого летательного аппарата и климатическими условиями. Использование серийных аппаратно-программных в виде платформы Arduino позволяет получить обучающимся дополнительные навыки по исследованию и разработке систем защиты для беспилотных летательных аппаратов на основе доступной элементной базы в условиях учебного процесса.

#### Литература

1. Прогнозы и тренды в области беспилотников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotrends.ru/robopedia/prognozy-i-trendy-v-oblasti-bespilotnikov> - 20.08.2020.
2. Аралбаев Т.З. Методики начального изучения беспилотного мобильного объекта как объекта информатизации в условиях кафедры вуза / Аралбаев Т. З., Галимов Р. Р., Абрамова Т. В., Каменева Е. В., Халин Г. А. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием) - Оренбург : ОГУ, 2019. - . - С. 1805-1812.
3. Gudla, C. Defense Techniques Against Cyber Attacks on Unmanned Aerial Vehicles / C. Gudla, Md. Rana, A. Sung // International Conference on Embedded Systems, Cyber-physical Systems, & Applications. - Hattiesburg: The University of Southern Mississippi, 2018. - P. 110-116
4. Халин Г.А. Анализ уязвимостей беспилотных мобильных объектов информатизации/ Г.А. Халин/ Шаг в науку, 2019-№2- С. 87-90.
5. Rani, Chaitanya & Modares, Hamidreza & Sriram, Raghavendra & Mikulski, Dariusz & Lewis, Frank. (2015). Security of unmanned aerial vehicle systems against cyber-physical attacks. The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology. 13. 10.1177/1548512915617252.
6. Аралбаев Т.З. Метод защиты информационных ресурсов беспилотного летательного аппарата от несанкционированного доступа на основе навигационного ключа/ Т.З. Аралбаев, Р.Р. Галимов, М.А. Гетьман, Г.А. Халин//Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: сборник материалов IX Всероссийской конференции с международным участием. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. –С. 115-119.
7. Елисеев, Н. Arduino – это очень серьезно. Большие возможности маленьких устройств/ Н. Елисеев, И. Шахнович// ЭЛЕКТРОНИКА, 2016. -№3. –С. 1-12.

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПОИСКОВОГО ОБРАЗА ОБЪЕКТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОЦЕССА ПАТЕНТНОГО ПОИСКА ПРИ СОЗДАНИИ НОВОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Григорьев Д.В.  
ООО «Союзпатент»  
+7 (916) 388-54-31, grigoryev@sojuzpatent.com

В статье предложен подход к формированию цифровых поисковых образов (ЦПО) для автоматизации процесса патентного поиска при создании новых образцов авиационной техники. Для выполнения патентных исследований на широких технологических ландшафтах предлагается применять структурно-функциональный подход к анализу и моделированию объектов поиска. В качестве первого этапа анализа проведена классификация предметной области «Система электроснабжения летательного аппарата».

Ключевые слова: патентные исследования, патентный поиск, патентный ландшафт, цифровой поисковый образ патента, ЦПО, СЭС ЛА.

Formation of a digital search image of an object for the patent search process when creating a new models of aviation technology. Grigoryev D.V., LLC «Sojuzpatent».

The article is devoted to the study of an approach to the formation of digital search images (DSP) of objects to automate the patent search process when creating new models of aviation technology. To carry out patent research on broad technological landscapes, it is proposed to apply a structural-functional approach to the analysis and modeling of search objects. As the first stage of the analysis, the classification of the subject area "Aircraft power supply system" was carried out.

Keywords: patent research, patent search, patent search, patent landscape, digital search image of patent, DSP, aircraft power supply system.

В текущих условиях разработки перспективной авиационной техники (АТ), предъявляются повышенные требования к скорости разработки решений, проработке альтернативных вариантов реализации, существует потребность в широкой кооперации. Кооперация осуществляется не только на внутренних рынках Российской Федерации, но и в мировом масштабе. И, как следствие, создание конкурентной АТ возможно только с применением лучших, конкурентоспособных решений, необходимо использование наработок сторонних организаций, в том числе из смежных областей науки и техники.

Осуществление патентных поисков по широким технологическим ландшафтам, как основной способ получения подобной информации из патентных источников, крайне затруднен [1]. При проведении патентных исследований по *технологическим ландшафтам* основной проблемой является огромное количество патентных документов, удовлетворяющих критериям отбора при формальном поиске по ключевым словам [2]. Технологические ландшафты описываются объемными облаками ключевых слов, что и обуславливает большое количество результатов отбора.

При необходимости проведения патентного поиска по *смежным областям* науки и техники использование поиска по ключевым словам затруднено в связи с большим количеством возвращаемых результатов поиска, либо эффективность поиска падает в связи с ограниченным охватом патентных документов [3].

В качестве примера приведем некоторые патенты, имеющие непосредственное отношение к сфере прикладных решений в авиации и не имеющих в своих описаниях никаких отсылок к авиационным и близким терминам. На Рисунке 1 приведен патент № RU 2531907 С1, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПОСТОЯННОГО ТОКА. Данное устройство применяется в беспилотном ЛА «Орион», который является, на текущий момент, новейшим образцом АТ. Это единственный перспективный БПЛА с взлетной массой 1200 кг, из которых 200 кг приходится на полезную нагрузку в виде целевого оборудования.

Данный патент, как и другие, не мог бы быть обнаружен при проведении классического поиска по облаку тематических ключевых слов из области авиации [4].

С целью исключения подобных ситуаций и проведения полного патентного поиска по широким и смежным технологическим ландшафтам, предлагается использование структурно-функционального подхода для описания объекта поиска и автоматизации его проведения. Структурно-функциональный подход – это разновидность системного подхода, который ориентируется на выявление структуры системы, т.е. совокупности устойчивых отношений и взаимосвязи между её элементами, и их роли (функции) относительно друг друга [5].

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ  ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ		(19) <b>RU</b> (11) <b>2 531 907</b> (13) <b>C1</b> (51) МКК H02J 1/00 (2006.01) H02H 3/00 (2006.01)	RU 2 5 3 1 9 0 7 C 1
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ (21) (22) Заявка: 2013108719/07, 28.02.2013 (24) Дата вступления в силу заявки: 28.02.2013 Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 28.02.2013 (45) Опубликован: 27.10.2014 Бюл. № 30 (56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2481374С1, 28.05.2012, RU 2267849С1, 10.01.2008, RU 2183042С2, 27.05.2002, EP 0669470А1, 12.01.1983 Адрес для переписки: 125167, Москва, ул. 4-я 8 Марта, 6А, ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»		(72) Автор(ы): Дерех Андрей Ярославович (RU), Жмуров Борис Владимирович (RU), Халютин Сергей Петрович (RU), Харьков Виталий Петрович (RU) (73) Патентообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью «Экспериментальная мастерская НаукаСофт» (RU)	
(54) ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПОСТОЯННОГО ТОКА (57) Реферат: Исползованы: в области электротехники, коммутационными элементами, при этом коммутирующий элемент или блок полупроводникового электронного ключа содержит датчики тока и напряжения, датчики параметров внешней среды, подключенные к микроконтроллеру, взаимодействующему через информационную мультииндексную шину с устройством управления, что позволяет выполнять диспетчеризацию и коммутацию каналов генерирования и потребления электроэнергии в соответствии с информацией о контрольных значениях тока, напряжения и параметров (например, температура электронного ключа) внешней среды, хранящихся в памяти микроконтроллера. 2 ил.			
(57) Реферат (продолжение): Исползованы: в области электротехники, коммутационными элементами, при этом коммутирующий элемент или блок полупроводникового электронного ключа содержит датчики тока и напряжения, датчики параметров внешней среды, подключенные к микроконтроллеру, взаимодействующему через информационную мультииндексную шину с устройством управления, что позволяет выполнять диспетчеризацию и коммутацию каналов генерирования и потребления электроэнергии в соответствии с информацией о контрольных значениях тока, напряжения и параметров (например, температура электронного ключа) внешней среды, хранящихся в памяти микроконтроллера. 2 ил.			

Рисунок 1 – Применение патента в СЭС БПЛА «Орион»

Для решения задачи автоматизации патентных исследований, предлагается после проведения первичного полного поиска в автоматическом режиме по цифровым поисковым образам (ЦПО) предметной области (преселекции), проводить вторичный отбор результатов (постселекцию) по ключевым словам, уточняющим пространство поиска (Рисунок 2).

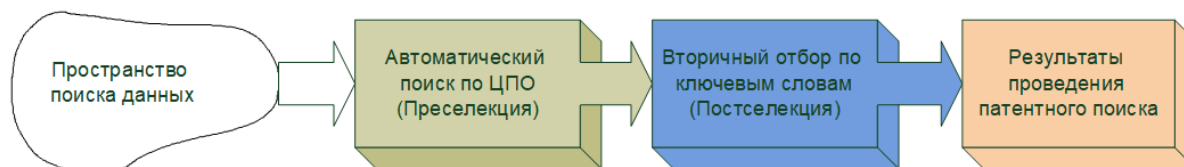


Рисунок 2 – Предлагаемая схема процесса проведения патентного поиска по технологическим ландшафтам

Критерий отбора для автоматического поиска будет определяться как ЦПО, получаемый с помощью предварительно проведенного концептуального описания предметной области поиска.

Для концептуального описания ЦПО использована методология, разработанная на кафедре АСУ ВВС ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского [6, 7]. Описание ЦПО представляется в виде схемы базы данных предметной области по которой осуществляется «ландшафтный поиск». Для ее построения необходимо разработать, следующую последовательность моделей:

$$МФ \rightarrow Мил \rightarrow Мк \rightarrow Мл \rightarrow Мф \quad (1)$$

Здесь МФ — функциональная модель процессов, Мил — информационно-логическая (инфологическая) модель, Мк — концептуальная модель, Мл — логическая модель и Мф — физическая модель проектируемой базы данных предметной области.

На первом этапе построения концептуального описания ЦПО необходимо провести классификацию предметной области поиска.

Рассмотрим процесс анализа и классификации предметной области поиска «Система электроснабжения летательного аппарата» (СЭС ЛА). Это сложная предметная область, которую можно формализовать, анализируя её при помощи структурно-функционального подхода.



СЭС ЛА подразделяется на подсистемы:

- Генерирующую
- Распределяющую

На следующем Рисунке 3 приведена структурная схема части распределительной сети СЭС ЛА.

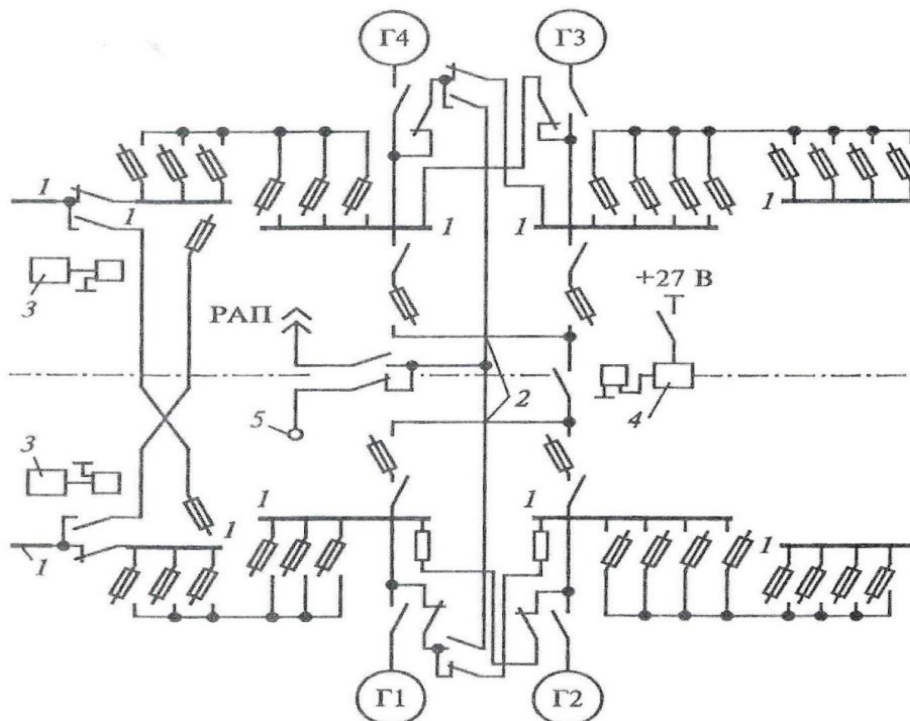


Рисунок 3 – Структурная схема распределительной сети переменного тока ЛА

Элементы СЭС подразделяются на классы:

- Генераторы переменного тока
- Генераторы постоянного тока
- Аккумуляторы
- Элементы защиты сети
- Коммутационная аппаратура
- Преобразователи переменного тока в постоянный
- Преобразователи постоянного тока в переменный
- Провода
- Распределительные устройства

Классы элементов СЭС ЛА в свою очередь делятся на виды элементов:

**Генераторы переменного тока:**

- Трехфазные синхронные генераторы
- Генераторы переменного тока с жидкостной системой охлаждения

**Генераторы постоянного тока:**

- Бесконтактные генераторы постоянного тока

**Аккумуляторы:**

- Свинцово-кислотные АБ
- Никель-кадмиевые АБ
- Серебряно-цинковые АБ

**Элементы защиты цепи:**

- Автоматы защиты сети
- Предохранители малоинерционные

Каждый класс элементов в процессе проектирования и эксплуатации можно характеризовать и описать определенным набором атрибутов. Так, в Таблице 1 приведены характеристические атрибуты некоторых классов элементов СЭС ЛА:

Таблица 1 – Характеристические атрибуты некоторых классов элементов СЭС ЛА

Наименование класса элементов	Характеристические атрибуты
<p><b>Класс «Аккумуляторы»</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Масса</li> <li>- Объем</li> <li>- Чистый вес изделия</li> <li>- Номинальное напряжение</li> <li>- Номинальная емкость</li> <li>- Рабочая температура</li> <li>- Рабочее атмосферное давление</li> <li>- Время восстановления</li> <li>- Интенсивность отказов</li> <li>- Показатель эргономичности</li> <li>- Весовой коэффициент эргономичности</li> <li>- Модульное исполнение</li> <li>- Дополнительная масса</li> <li>- Норма расхода материалов на изделие</li> <li>- Стоимость</li> </ul>
<p><b>Класс «Генераторы переменного тока»</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Масса</li> <li>- Объем</li> <li>- Чистый вес изделия</li> <li>- Частота вращения</li> <li>- Номинальное линейное напряжение</li> <li>- Номинальное фазное напряжение</li> <li>- Номинальный фазный ток генератора</li> <li>- Номинальная мощность</li> <li>- Время работы при 150% нагрузке</li> <li>- Время работы при 200% нагрузке</li> <li>- Рабочая температура</li> <li>- Рабочее атмосферное давление</li> <li>- Время восстановления</li> <li>- Интенсивность отказов</li> <li>- Показатель эргономичности</li> <li>- Весовой коэффициент эргономичности</li> <li>- Модульное исполнение</li> <li>- Норма расхода материалов на изделие</li> <li>- Стоимость</li> </ul>
<p><b>Класс «Генераторы постоянного тока»</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Масса</li> <li>- Объем</li> <li>- Чистый вес изделия</li> <li>- Номинальное линейное напряжение</li> <li>- Номинальное фазное напряжение</li> <li>- Номинальный фазный ток генератора</li> <li>- Номинальный ток</li> <li>- Номинальная мощность</li> <li>- Частота вращения</li> <li>- Время работы при 150% нагрузке</li> <li>- Время работы при 200% нагрузке</li> <li>- Рабочая температура</li> <li>- Рабочее атмосферное давление</li> <li>- Время восстановления</li> <li>- Интенсивность отказов</li> <li>- Показатель эргономичности</li> <li>- Весовой коэффициент эргономичности</li> <li>- Модульное исполнение</li> <li>- Норма расхода материалов на изделие</li> <li>- Стоимость</li> </ul>

На основе полученной классификации предметной области будет построена полная концептуальная модель, исчерпывающим и непротиворечивым образом описывающая её.

Предлагаемый подход, в котором определение цели патентного поиска осуществляется с помощью построения полной информационной модели предметной области, имеет следующие преимущества перед классическим подходом:

- во-первых возможность производить полный автоматический поиск по технологическому ландшафту предметной области, не используя специально задаваемых ключевых слов;
- во-вторых уточняющим поиском с использованием ключевых слов специалист, проводящий поиск, может сужать область поиска и получать более точные результаты (уменьшать количество результирующих патентных документов кратко).

Таким образом, один раз построив с помощью высококвалифицированных специалистов предметной области полную информационную модель предметной области и используя её для формирования ЦПО, мы получим возможность производить патентный поиск в автоматическом режиме без привлечения патентных специалистов и, в общем случае, без привлечения квалифицированных специалистов предметной области.

Построение подобных полных информационных моделей – задача высокой сложности, но в перспективе, построив полные информационные модели предметных областей какого-либо направления, например, систем и агрегатов летательного аппарата, появится возможность проведения **автоматического патентного поиска** по широким и смежным технологическим ландшафтам направления авиационной промышленности.

#### Литература

1. Conceptual Layout Of An Automated System For Monitoring Of Intellectual Property Rights Violations. Gorshkov P.S., Lyaluk I.N., Grigoryev D.V. — Prague.
2. Е. И. Артемьев, М. М. Богуславский, Р. П. Вчерашний. Патентоведение. Учебник. М.: Машиностроение, 1984. – с. 352
3. Кравец Л. Г. Вторжение искусственного интеллекта в систему интеллектуальной собственности // Патенты и лицензии. — 2020. — № 5. — С. 50.
4. ГОСТ 15.011—96 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения работ. Введен в действие 30.01.1996.
5. Новосельцев В.И. Системный анализ: современные концепции (издание второе, исправленное и дополненное). – В.: Кварта, 2003. – 360 с.
6. Ветошкин В.М. Основы теории концептуального проектирования баз данных для автоматизированных систем. — М.: ВВИА, 2002. — 356 с.
7. Ветошкин В. М. Базы данных — М.: ВВИА, 2005. - 388 с.

#### ПОДСИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ТРЁХФАЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ И ГАЗО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ

Гришин Е.С.  
ФГАОУВО "БФУ им. И. Канта"

Аннотация. В данной работе описывается исследование поведения трёхфазного моделирования тепловых и газо-гидродинамических процессов при лазерной сварке и лазерной термической обработке образцов толщиной стенки 10 мм. Описывается методика физико-математического моделирования, показывается расчёт температурного поля, формируемого в движущихся заготовках, описан лазерный стыковой сварочный процесс трубной заготовки толщиной 10 мм. На основании результатов исследования строится модель подсистемы непрерывного контроля качества выпускаемой продукции, которая позволяет заблаговременно предупредить оператора производственной линии о выпуске продукции ненадлежащего качества.

Ключевые слова: моделирование, ANSYS, лазерная сварка, машинное обучение, контроль качества продукции, предиктивная диагностика.

Subsystem for continuous quality control of manufactured products using intelligent algorithms based on data from three-phase modeling of thermal and gas-hydrodynamic processes in laser welding. Grishin E.S., Immanuel Kant Baltic Federal University

Annotation. This paper describes the study of the behavior of three-phase modeling of thermal and gas-hydrodynamic processes during laser welding and laser heat treatment of samples with a wall thickness of 10 mm. The technique of physical and mathematical modeling is described, the calculation of the temperature field formed

in moving workpieces is shown, the laser butt welding process of a pipe workpiece with a thickness of 10 mm is described. Based on the results of the study, a model of the subsystem of continuous quality control of manufactured products is being built, which allows to warn the operator of the production line in advance about the release of products of inadequate quality.

Keywords: simulation, ANSYS, laser welding, machine learning, product quality control, predictive diagnostics.

Развитие лазерных технологий требует выполнения фундаментальных исследований по созданию физических моделей процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом. Особый интерес представляет моделирование тепловых и газо-гидродинамических процессов при лазерной сварке. На основе данных исследований автором предлагается модель непрерывного контроля качества лазерной сварки.

Подсистема непрерывного контроля качества продукции разработана с возможностью ввода, хранения и использования технологических карт для контроля фактических параметров технологического процесса. Наиболее характерные дефекты шва при изготовлении труб, которые могут быть определены анализом параметров технологического процесса: пористость сварного шва, несплавления, холодные и горячие трещины, пикообразования в корне шва. Для каждого дефекта определены причины их образования.

Основная причина образования пор в расплавленном металле сварного шва и корневых дефектов при лазерной сварке кроется в большой загрязнённости основного металла газами и неметаллическими включениями. Качество используемого материала (стали), его загрязнение и неметаллические включения определяется ГОСТ. В процессе производства их уже невозможно определить перечисленными наблюдаемыми характеристиками. Получить более качественный сварной шов без пор при ширине обратного валика 1,5-2,0 мм (для высоколегированной стали) возможно при увеличении проходящей мощности от 0-10% до 20-30%. Улучшению условий дегазации корневой части сварочной ванны и снижению пористости швов при сквозном проплавлении способствует обеспечение проходящей мощности излучения на уровне 10-25% от падающей мощности. Ширина обратного валика при этом должна быть не менее 0,5-1,0 мм, и при мощности излучения от 1 до 30 кВт, как правило, составляет 1,0-2,0 мм.

Пористость повышается при занижении скорости сварки до 8-10 мм/с и ниже. Низкая скорость сварки также способствует зарождению кристаллизационных трещин. Опытным путём показано, что максимальная глубина проплавления от скорости сварки и мощность излучения хорошо аппроксимируются линейной зависимостью. Также показано, как фокусировка пучка «над поверхностью» образца на расстоянии более 2 мм позволяет получить качественный шов, жертвуя глубиной проплавления в 1,5-2 раза.

Горячие трещины – хрупкие межкристаллитные разрушения металла сварного шва и зоны термического влияния, возникающие в твёрдожидком состоянии при завершении кристаллизации, а также в твёрдом состоянии при высоких температурах на этапе преимущественного развития межзёрненной деформации. Факторы их появления:

- Температурный интервал хрупкости (ТИХ) в период кристаллизации металла шва;
- Минимальная пластичность в ТИХ  $n_{min}$ ;
- Темп высокотемпературной сварочной деформации  $a$ .

Интенсивность этих деформаций количественно определяется величиной темпа деформации:

$$\alpha = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta T} = tg\beta, \text{ где } \Delta \varepsilon - \text{приращение высокотемпературной деформации за время охлаждения } \Delta T.$$

Холодные трещины – локальные хрупкие разрушения материала сварного соединения, возникающие под действием остаточных сварочных напряжений. Характерны:

- Наличие инкубационного периода до образования очага трещин;
- Образование трещин при значениях напряжений, составляющих менее 0,9 кратковременной прочности материалов в состоянии после сварки.

В виду указанных факторов образования холодных трещин, их можно определить только путём испытаний изделия согласно [1].

Увеличение скорости сварки при несквозном проплавлении приводит к снижению пикообразования в корне шва. Уменьшение пикообразования и пористости в шве достигается отклонением лазерного луча от вертикали на 15-17 градусов по направлению движения луча.

Также показано, что с увеличением толщины свариваемого металла необходимо увеличивать подводимую мощность лазерного излучения, а интенсивность излучения не должна превышать  $(0,1 - 6,0) \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$ .

Таким образом, чтобы снизить вероятность появления дефектов сварного шва необходимо наблюдение за следующими характеристиками технологического процесса: толщина кромки заготовки,

скорость движения заготовки, мощность излучения лазера, интенсивность излучения лазера, угол отклонения луча лазера по вертикали, скорость остывания изделия.

Зависимость величин для конкретных марок стали было выражено функционально при помощи машинного обучения на основе данных моделирования тепловых и газо-гидродинамических процессов при лазерной сварке с использованием программного обеспечения ANSYS. Методика моделирования данных процессов следующая: штрипс, используемый при изготовлении труб, получают из стального листа, материал которого – конструкционная, криогенная, коррозионностойкая сталь 12X18H10T, принадлежит к аустенитному классу. После стандартной термической обработки, состоящей из закалки с 1050°C с охлаждением в воде, сталь имеет поликристаллическую структуру твердого раствора с ГЦК решеткой (аустенит). Не претерпевает каких-либо превращений при нагреве под горячую пластическую деформацию, а также и при охлаждении до -196°C. При длительных выдержках в интервале (450÷ 650)°C наблюдается выделение карбидов хрома типа Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, что вызывает появление склонности стали к межкристаллитной коррозии с минимальным инкубационным периодом при 600°C и равным (8÷10) часов (испытание в кипящей 65%-ной азотной кислоте, три цикла по 48 часов). Стали 12X18H10T и 12X18H9T хорошо свариваются всеми видами ручной и автоматической сварки. Далее был произведен анализ химического состава сталей, их механических свойств, сводные данные, необходимые для физико-математического моделирования и других расчетов сводные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – сводные данные для физико-математического моделирования

Параметры	Значения	Размерность
Толщина трубной заготовки	2,0 – 10,0	мм
Диаметр трубной заготовки под сварку (трубы)	108,0 – 325,0	мм
Материал заготовки (штрипса)	12X18H9T, 12X18H10T	-
Мощность лазерного излучения	1,0 – 10,0	кВт
Диаметр пятна нагрева	0,2 - 6	мм
Скорость движения заготовки при сварке	0,2 – 3,0	м/мин
Плотность стали при 20 °C	$7,9 \cdot 10^3$	кг/м <sup>3</sup>
Температура солидус стали 12X18H10T	1400	°C
Температура ликвидус стали 12X18H10T	1455	°C
Модуль упругости при 20 °C	$18 \cdot 10^{-4}$	Н/мм <sup>2</sup>
Удельное электросопротивление при 20 °C	$0,75 \cdot 10^6$	Ом · м

Изучение температурного поля заготовки, подвергнутого лазерному облучению, определения зоны заливки жидкого металла для гарантированного металлургического или диффузионного соединения расплава с твердой заготовкой является одной из задач исследования. На поверхность расчетной области воздействует луч лазера, перемещающийся с постоянной скоростью вдоль оси OX (рисунок 1).

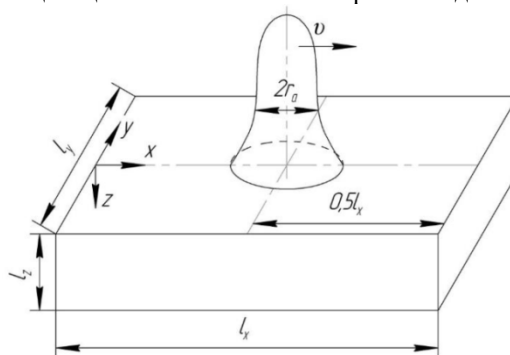


Рисунок 1 – Расчетная область, используемая при моделировании тепловых процессов

Начиная с начального момента облучения поверхности образца, перемещающегося с постоянной скоростью  $v$  (при разработке модели будем полагать, что движется не тепловой источник, а образец, т.е. рассматривать задачу в системе координат, связанной с тепловым источником) происходит повышение его температуры. После некоторого промежутка времени  $\Delta t$ , зависящего от теплофизических свойств материала, устанавливается квазистационарное состояние, при котором нагреваемая зона или зона расплавленного металла характеризуется неизменными размерами и перемещается вместе с источником теплового воздействия.

В общем случае нестационарное распределение температуры  $T(x, y, z, t)$  в металлическом образце, движущемся со скоростью вдоль оси OX (рис. 8.1), описывается нелинейным уравнением теплопроводности:

$$c\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t} + v\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \lambda \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (1)$$

Где  $c$  – в рассматриваемой модели эффективное значение теплоемкости материала, учитывающее наличие фазовых переходов и структуру покрытия,  $\rho$  – плотность материала,  $\lambda$  – эффективное значение теплопроводности.

**Начальные и граничные условия.** Для решения тепловой задачи, включающей уравнение (1), использовались следующие начальные и граничные условия:

1. В начальный момент времени  $t = 0$  температура тела составляет  $T = T_0$ , где  $T_0$  – температура тела до начала лазерного воздействия.

2. На поверхности тела при  $z = 0$ , где происходит поглощение лазерного излучения,  $\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = -q + \alpha(T - T_c)$ , где  $q$  – плотность мощности лазерного излучения, поглощаемой материалом,  $\alpha$  – коэффициент теплообмена с окружающей средой, имеющей температуру  $T_c$ .

3. На поверхностях  $x = 0$  и  $x = l_x$   $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ .

4. На поверхностях  $y = \pm 0,5 l_y$  и  $z = l_z$ .  $T = T_0$ .

**Численный метод решения нелинейного уравнения теплопроводности.** Для численного решения начально-краевой задачи, включающей уравнение теплопроводности (1) с начальными и граничными условиями, использовался метод разделяющихся переменных. Рассмотрим трёхмерное дифференциальное уравнение параболического типа

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v\frac{\partial T}{\partial x} = \sigma\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right), \quad (2)$$

Схема расщепления для уравнения (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{T_{j,k,m}^{n+1/3} - T_{j,k,m}^n}{\Delta t} + v\frac{T_{j,k,m}^{n+1/3} - T_{j-1,k,m}^{n+1/3}}{h_x} &= \sigma \frac{T_{j+1,k,m}^{n+1/3} - 2T_{j,k,m}^{n+1/3} + T_{j-1,k,m}^{n+1/3}}{h_x^2} \\ \frac{T_{j,k,m}^{n+2/3} - T_{j,k,m}^{n+1/3}}{\Delta t} &= \sigma \frac{T_{j,k+1,m}^{n+2/3} - 2T_{j,k,m}^{n+2/3} + T_{j,k-1,m}^{n+2/3}}{h_y^2} \\ \frac{T_{j,k,m}^{n+1} - T_{j,k,m}^{n+2/3}}{\Delta t} &= \sigma \frac{T_{j,k+1,m}^{n+1} - 2T_{j,k,m}^{n+1} + T_{j,k-1,m}^{n+1}}{h_z^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

Подсхемы в схеме (3) являются аналогами неявной разностной схемы для одномерного дифференциального уравнения параболического типа; они абсолютно устойчивы и решаются с помощью метода прогонки. В работе принимался нормальный закон распределения плотности мощности излучения по радиусу  $r$ :

$$q(r) = q_0 e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2}, \quad \text{где } q_0 = \frac{AP}{\pi r_0^2}.$$

Здесь  $A$  – поглощательная способность ( $A = 1 - R$ , где  $R$  – коэффициент отражения),  $P$  – полная мощность лазерного излучения,  $r_0$  – радиус пятна фокусировки.

Создание лазерного комплекса для непрерывной сварки труб из нержавеющей и жаропрочных хромоникелевых сталей различных диаметров (20÷50 мм), особенно включая большие (108÷325 мм) с различными толщинами до 10 мм, требует проведения предварительных расчетов для определения типа лазерного источника достаточной мощности для осуществления сварочного процесса. При разработке технологического процесса сварки этих сталей необходимо учитывать особенности присущих этим материалам свойств. В частности, относительно высокий показатель коэффициента линейного расширения, обуславливающего существенную литейную усадку металла, вследствие чего при сварке отмечается повышенная деформация стали, которая может наблюдаться и после проведения сварочных работ. В тех случаях, когда между соединяемыми конструкциями значительной толщины не оставляют зазора, появляется высокая вероятность образования трещин. Лазерная сварка нержавеющей стали обеспечивает отсутствие эффекта разупрочнения в зоне отпуска термически упрочненной стали, появления холодных и горячих трещин, высокую скорость остывания шва, наименьшие параметры зерна.

Математическое моделирование процесса нагревания пластины сфокусированным лазерным лучом проводили для значений мощности лазерного излучения в пределах (1÷6) кВт с шагом 1 кВт, диаметра лазерного пятна  $2 \cdot 10^{-4}$  м и значений скорости движения трубной заготовки относительно лазерного луча 0,2 м/мин и в пределах (0,5÷3,0) м/мин – с шагом 0,5 м/мин, толщина стенки - 10 мм. На первом этапе моделируем сварочный процесс двух пластин с целью определения необходимых технологических параметров без учета дополнительного рассеивания излучения за счет искривления

поверхности. Основной целью данных исследований является определение мощности излучения при задаваемых скоростях движения подложки при остальных постоянных параметрах. Литературный обзор [2,3] показывает, что ориентировочная мощность излучения источника для толщины 10 мм может колебаться в пределах (2÷6) кВт. В ходе исследований теплофизических процессов в лазерной стыковой сварке были получены результаты при мощности лазера от 1 до 6 кВт. Далее будет представлен результат исследования для мощности 6 кВт и сводная таблица для мощностей от 1 до 6 кВт.

На основе расчета оценим возможности получения стыковой сварки при скорости перемещения заготовки до 0,35 м/мин и плотности мощности излучения  $W = 19,098 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup>. Данные расчета распределения температурного поля в перемещающейся относительно лазерного источника трубной заготовке представлены на рисунке 2.

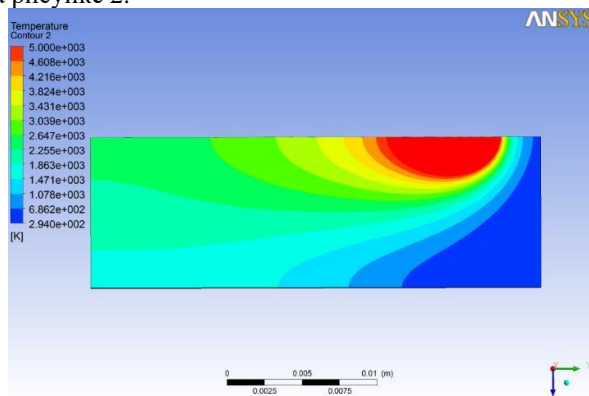


Рисунок 2 – Температурное поле пластины, формируемое лазерным источником в условиях движения заготовки.  $W = 19,098 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup>,  $V = 0,35$  м/мин. (а – фронтальное сечение)

Дальнейшее увеличение скорости перемещения заготовки приводит к последующей деформации зоны расплава. Она вытягивается по направлению движения. Передний край зоны расплава в нижней части заготовки существенно смещен в направлении противоположном движению на величину соизмеримую с линейным размером ванны расплава. Температура заготовки и расплава вдоль центральной линии шва представлена на рисунке 3.

Полученные результаты являются ориентировочными для выбора источника излучения и показывают, что с помощью лазерного оборудования, генерирующего луч мощностью 6 кВт и при данной апертуре осуществление лазерной сварки трубной заготовки с толщиной стенки 10 мм возможно при скоростях ее движения до 0,35 м/мин.

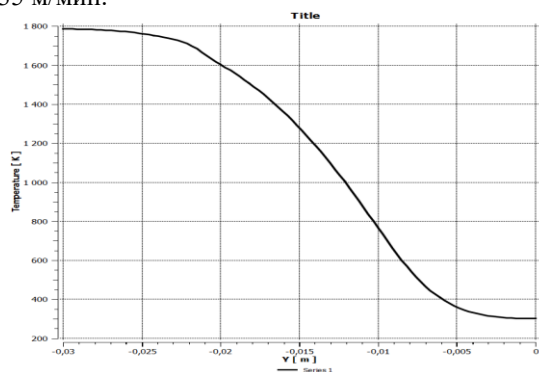


Рисунок 3 – График изменение температуры нижней (тыльной) поверхности заготовки (вдоль линии по центру) при скорости движения заготовки  $V = 0,35$  м/мин

Проведенные расчеты позволили определить граничные значения и ориентировочные области возможного и гарантированного получения сварочного шва посредством проведения лазерной стыковой сварки трубных заготовок толщиной стенки 10 мм, которые наглядно представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Соответствия мощности лазерного источника и скорости перемещения заготовки

Мощность лазерного излучения P, кВт	Плотность мощности W, $\cdot 10^{10}$ Вт/м <sup>2</sup>	V, м/мин				
		0,12	0,20	00,25	00,30	0,35
1,0	3,183	-	-	-	-	-
2,0	6,366	+	-	-	-	-

3,0	9,549	-	+	-	-	-
4,0	12,732	-	-	+	-	-
5,0	15,915	-	-	-	+	-
6,0	19,098	-	-	-	-	+

Данные расчеты, представленные в таблице 2, позволяют с достаточно высокой степенью приближения определить основные параметры сварочного процесса, выбрать мощность лазерного источника в привязке к необходимой скорости движения трубной заготовки толщиной 10 мм. На основании данных моделирования была обучена модель, позволяющая получать промежуточные значения, которые в дальнейшем используются в правилах диагностики. Подсистема диагностики построена на основе продукционной модели представления знаний экспертных интеллектуальных систем с прямым логическим выводом. В системе диагностики используется предиктивный вывод о возможных зарождениях дефектов, влияющих на качество выпускаемой продукции. Задачей предиктивного вывода является заблаговременное определение типа и степени развития дефекта шва, который в дальнейшем влияет на качество продукции. Используемые характеристики описываются в технологической карте производственной линии. Технологическая карта выбирается оператором в начале производственного цикла. В режиме реального времени формируются правила диагностики, в которых используются наблюдаемые характеристики, сопоставленные с характеристиками технологической карты, загружаются обученные модели для марки стали, указанной в технологической карте. Подробные описания правил диагностики и механизма работы подсистемы предиктивного вывода представлены в работе [4].

Разработанная диагностическая подсистема непрерывного контроля качества выпускаемой продукции с использованием интеллектуальных алгоритмов позволяет заблаговременно предупредить оператора производственной линии о выпуске продукции ненадлежащего качества, что оказывает в целом для производства положительный экономический эффект.

#### Литература

1. ГОСТ 10006-80. Трубы металлические. Метод испытания на растяжение <http://docs.cntd.ru/document/gost-10006-80> (дата обращения 02.09.2020);
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки / М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 664 с.;
3. Панченко В.Я. Глубокое каналирование и филаментация мощного лазерного излучения в веществе / Интерконтакт Наука, 2009. – 265 с.;
4. Гришин Е.С. Разработка интеллектуальных алгоритмов подсистемы непрерывной диагностики и контроля состояния оборудования в составе АСУТП предприятия по производству труб из нержавеющей стали / Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Инновации в технике и технологиях (ИТТ-2020)». В процессе публикации.

## АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТЕЙ ГРАЖДАН В ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Гришмановская О. Н., Бушмелева К. И., Гришмановский П. В.  
Сургутский государственный университет  
[grishmanovskaya\\_on@surgu.ru](mailto:grishmanovskaya_on@surgu.ru)

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к повышению информационной открытости различных сфер человеческой деятельности. Потенциал открытых данных заключается в возможности создания новых сервисов, которые способны улучшить качество жизни. Информационные сервисы, построенные на основе открытых данных, позволяют предоставлять гражданам актуальную и объективную информацию.

В данной работе представлены основные результаты исследования информационных потребностей граждан в сфере высшего образования, выполненного на основе анализа поисковых запросов пользователей сети Интернет. Сделан вывод об актуальности разработки моделей открытых данных образовательных организаций, их составе и структуре.

Ключевые слова: открытые данные, образование.

Analysis of Citizens' Needs for Open Data in Higher Education. Grishmanovskaya O. N., Bushmeleva K. I., Grishmanovskiy P. V. Surgut State University

Currently, there is a steady trend towards increasing information transparency in various spheres of human activity. The potential of open data lies in the ability to create new services that can improve the quality of



life. Information services built on the basis of open data make it possible to provide citizens with relevant and objective information.

This paper presents the main results of a study of the information needs of citizens in the field of higher education, carried out on the basis of an analysis of search queries of Internet users. The conclusion is made about the relevance of the development of open data models of educational organizations, their composition and structure.

Keywords: open data, education.

### Введение

Информационные сервисы, построенные на основе открытых данных, позволяют предоставлять гражданам актуальную и объективную информацию. Однако, их полезность определяется степенью соответствия содержания наборов открытых данных информационным потребностям общества. Оценить эти потребности можно посредством анализа поисковых запросов пользователей поисковых систем сети интернет.

### Анализ поисковых запросов

По поисковым запросам можно увидеть реальную ситуацию интересов, тенденций и представлений современного общества. В связи с тем, что происходит постоянное усовершенствование поисковых систем, даже неправильно введенный запрос будет обработан поисковой системой, ошибки будут исправлены, а также будут предложены варианты запросов, схожих с исходным не только по форме, но и по смыслу.

По данным liveinternet [1], десятка самых популярных поисковых систем в Рунете, то есть в русскоязычном пространстве России, Беларуси, Украины, Казахстана, стран СНГ, а также Дальнего зарубежья, довольно сильно отличается от всемирного рейтинга и представлена следующими системами:

1. Google – 53.9% (73,5 млн переходов)
2. Яндекс – 43.1% (58,7 млн переходов)
3. Search.Mail.ru – 2.7% (3,6 млн переходов)
4. Rambler – 0.1% (181 тыс. переходов)
5. Bing – 0.1% (147 тыс. переходов)
6. Tut.by – 0,01% (12 тыс. переходов)
7. Yahoo – 0,001% (6,5 тыс. переходов)
8. Поиск.ru – 0,0001%
9. Baidu – 0,0001%
10. Спутник – 0,0001%

На первые три позиции приходится 99,7% всего объема запросов пользователей Рунета с учетом среднесуточного количества переходов, причем подавляющее большинство принадлежит двум IT-гигантам – Google и Яндекс, которые делят аудиторию пользователей почти поровну. Обе лидирующие поисковые системы выполняют анализ поисковых запросов пользователей и ведут сбор статистики по тематическим рубрикам, ключевым словам и фразам. Эти возможности можно использовать для анализа информационных потребностей граждан в области образования.

С учетом возможностей поисковых систем по статистике ключевых слов Яндекса [2] можно определить востребованность слов или словосочетаний, например, «высшее образование», «вуз» «высшее учебное заведение» и др. у русскоязычных пользователей. Одна из задач – выявить смысловой контекст, в котором пользователи рассматривают высшее образование. Поэтому рассматриваются дополнительные слова к интересующему словосочетанию, которые вводятся в поисковую строку. Также данный сервис предлагает статистику по запросам, схожим по смыслу с исходным. В таблицах 1-3 показана статистика для приведенных выше запросов по состоянию на апрель 2020 г. (приведены только первые 10 позиций из выданных сервисом, если их было больше).

Таблица 1 – Статистика по запросу «высшее образование»

Исходный запрос			Похожие запросы		
Место	Текст запроса	Количество показов в месяц	Место	Текст запроса	Количество показов в месяц
1	высшее образование	587 058	1	государственный университет	577 787
2	диплом +о высшем образовании	128 820	2	средний образование	489 677
3	купить высшее образование	106 313	3	профессиональный образование	368 290

4	купить диплом +о высшем образовании	98 211	4	получать образование	174 833
5	науки +и высшего образования	49 518	5	средний профессиональный образование	117 507
6	министерство высшего образования	47 366	6	заочный обучение	89 890
7	высшее профессиональное образование	43 729	7	университет обучение	61 834
8	высшее государственное образование	42 198	8	образование университет	52 995
9	министерство науки +и высшего образования	40 469	9	образование специальность	39 627
10	учреждения высшего образования	35 199	10	университет информация	5 696

Таблица 2 – Статистика по запросу «высшее учебное заведение»

Исходный запрос			Похожие запросы		
Место	Текст запроса	Количество показов в месяц	Место	Текст запроса	Количество показов в месяц
1	высшее учебное заведение	82 252	1	государственный университет	577 787
2	студенты высших учебных заведений	11 126	2	какой вуз	91 764
3	какие высшие учебные заведения	9 365	3	вуз Москва	89 845
4	высшие учебные заведения России	7 497	4	образование университет	52 995
5	учебные заведения высшего образования	7 303	5	институт управление	52 606
6	высшее учебное заведение м	4 888	6	поступать вуз	47 601
7	учебник +для высших учебных заведений	4 882	7	государственный вуз	27 288
8	учебный год +в высшем учебном заведении	4 671	8	учебный институт	14 660
9	высшие учебные заведения г	4 594	9	заведение Краснодар	3 177
10	высшие +и средние учебные заведения	4 369	10	–	–

Таблица 3 – Статистика по запросу «вуз»

Исходный запрос			Похожие запросы		
Место	Текст запроса	Количество показов в месяц	Место	Текст запроса	Количество показов в месяц
1	вуз	1 492 001	1	учебный заведение	410 599
2	учебники +для вузов	120 840	2	балл егэ	356 575
3	какие вузы	91 681	3	проходной балл	176 752
4	вузы Москвы	89 808	4	Москва институт	172 378
5	студенты вузов	87 041	5	можно поступать	122 112
6	вузы 2020	70 625	6	куда поступать	121 889

7	вузы России	68 152	7	заочный обучение	89 890
8	обучение +в вузах	64 987	8	московский институт	86 797
9	ли вуз	56 389	9	университет Москва	84 322
10	дистанционные вузы	54 688	10	медицинский обучение	62 184

Приведенные данные с учетом слов-дополнений и похожих запросов показывают, что в первую очередь пользователей интересует сама возможность получения высшего образования, в том числе с учетом формы обучения и возможности получения диплома государственного образца, а также вопросы поступления, местоположение вузов и их отраслевая направленность.

К сожалению, данный бесплатный сервис Яндексa не позволяет увидеть и ранжировать по частоте все поисковые запросы пользователей в некоторой тематической области, а только предоставляет статистику для заданного текста запроса. Однако, сопоставляя полученные данные с результатами аналогичного исследования [3], проведенного в 2015 г., можно сделать вывод о растущей актуальности информации об образовании. Например, конкретное словосочетание «высшее образование» по данным на сентябрь 2015 г. было показано 268 059 раз, а на апрель 2020 г. – 587 058 раз, т.е. пользовательский интерес за 5 лет возрос примерно в 2 раза.

Статистика по ключевым словам Google доступна в трех сервисах поисковой системы: Adwords, Trends и Analytics (в 2018 г. сервис Google Adwords преобразован в сервис Google Реклама [4]). С точки зрения данного исследования, эти сервисы являются несколько более закрытыми и менее информативными [5].

Чтобы получить статистику по ключевым словам, необходимо, используя активный аккаунт Google, зарегистрировать рекламный кабинет в Google Ads и использовать инструмент «Планировщик ключевых слов». В результате для заданных ключевых слов будет показан прогноз, содержащий такую информацию, как количество кликов и показов, их стоимость и средняя цена за клик и т.п. Сервис показывает не частоту запросов как таковую, а адаптирует показатели под настраиваемую рекламную кампанию с заданными целями и параметрами (рис. 1). Анализ сводится к тому, чтобы предоставить пользователю возможную картину конверсий при определенной цене клика в случае продвижения сайта с использованием заданного ключевого слова [5]. Таким образом, через планировщик Google невозможно узнать точное количество показов, но можно оценить уровень конкуренции и, используя полученную информацию, сделать выводы о целесообразности создания контекстной рекламы по определенному запросу.

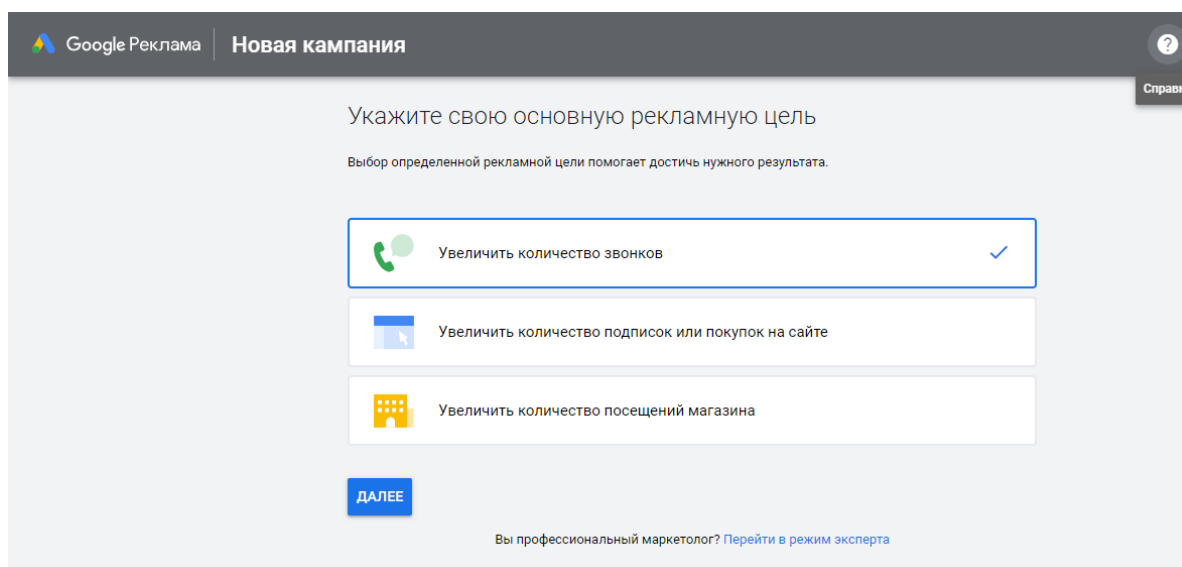


Рисунок 1 – Создание рекламной кампании в сервисе Google Реклама

В силу описанных специфики и назначения сервиса Google Реклама, получить статистику по конкретным поисковым запросам невозможно, но т.к. Google не на много опережает Яндекс по количеству обращений в одном сегменте сети Интернет, статистика по ключевым словам будет схожей с Яндекс [6].

Другой сервис – Google Trends – не показывает частотность запросов в абсолютном значении, но отображает динамику роста и падения популярности конкретного запроса или популярности запроса и соответствующей темы в сравнении. При этом максимальный пик в отображаемом периоде принимается за 100%, а абсолютные значения количества запросов недоступны.

Статистика ключевых слов также используется в работе сервиса Google Analytics, с помощью которого можно проследить, какие источники трафика дают максимальную конверсию, а также отследить действия посетителей сайта. Собрать ключевые фразы данный сервис также не позволяет. Его целевое назначение – дать возможность проследить целесообразность использования ключевых слов, чтобы сделать выводы о потребности расширения или изменения семантического ядра.

С учетом вышеперечисленного, Google ориентирован на коммерческое использование информации данных статистики, на продвижение сайтов, рекламной кампании организаций или отдельных лиц.

Кроме поисковых систем, существуют специальные сервисы для сбора и анализа ключевых слов и поисковых запросов, позволяющие получить в том числе значения их частотности, например [7], [8], [9] и др., но они являются платными и в данном исследовании не использовались.

#### Анализ других источников

С другой стороны, стоит обратить внимание на тематические сайты в сети Интернет, на которых уже представлены результаты обработки интересующей статистики, а также результаты непосредственного взаимодействия участников информационного сообщества.

Например, на сайте [vuzopedia.ru](http://vuzopedia.ru) [10] представлено более 50 тематических рубрик, сформулированных в виде часто задаваемых вопросов и отнесенных к следующим 7 основным категориям:

1. Процесс поступления после 11 класса
2. Процесс поступления после СПО
3. Вопросы о высшем образовании в целом
4. ЕГЭ
5. Обучение в вузе, от студентов/родителей
6. Профорентация
7. Прочее

Анализ информации данного сайта показывает, что наиболее актуальными являются вопросы, касающиеся процедуры поступления и ЕГЭ (соответственно 36 и 10 тематических рубрик), и только 5 рубрик посвящены общим вопросам об образовании, процессе обучения и образовательных организациях.

Похожий список вопросов рассматривается на сайте «Заочник.ру» [11], касающийся непосредственно поступления в вуз – состава и сроков подачи документов, баллов ЕГЭ и вступительных испытаний и т.д.

Информация этих и других подобных тематических ресурсов сети Интернет, безусловно, полезна с точки зрения проводимого исследования, но требует дополнительного анализа для составления перечня приоритетных данных для определения состава и структуры наборов открытых данных информационного сервиса.

#### Заключение

Проведенный анализ поисковых запросов пользователей и ресурсов сети интернет позволяет сделать вывод, что потребность граждан в информации об образовании со временем только увеличивается, что подтверждает актуальность создания информационного сервиса на основе открытых данных, который будет способен предоставлять всем заинтересованным сторонам актуальные и точные данные об образовательных организациях и их деятельности. В первую очередь, наиболее востребованными в обществе являются данные о наименовании, статусе и расположении образовательной организации, об образовательных программах и формах их реализации, а также условиях поступления. Следующим этапом является определение состава и структуры наборов открытых данных, предоставляемых информационному сервису образовательными организациями, с учетом выводов, сделанных авторами в предыдущем исследовании [12].

#### Литература

1. ТОП-10 поисковых систем мира и России в 2020 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://proficomment.ru/top-10-poiskovyx-sistem-mira-i-rossii/>, свободный.
2. Подбор слов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://wordstat.yandex.ru/>, свободный.
3. Силаева В.Л. Высшее образование в представлениях Интернет-пользователей (на примере поисковых запросов Яндекса) // Высшее образование в России. – 2015. – №11 – С.47-52.

4. Google AdWords официально переименован на Google Ads [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://gdetraffic.com/Novosti/Svezhie\\_novosti/Google\\_AdWords\\_ofitsialno\\_pereimenovan\\_na\\_Google\\_Ads](https://gdetraffic.com/Novosti/Svezhie_novosti/Google_AdWords_ofitsialno_pereimenovan_na_Google_Ads), свободный.
5. Почему важно знать статистику поисковых запросов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://blog.calltouch.ru/kak-uznat-statistiku-zaprosov-v-yandeks-i-google/>, свободный.
6. Самые популярные поисковые запросы в Яндекс и Google [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://web-ru.net/prodvizhenie-sajta/veb-analitika/samye-populyarnye-poiskovye-zaprosy-v-yandekse-i-google.html>, свободный.
7. Key Collector – ваш личный помощник при составлении семантического ядра [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.key-collector.ru/>, свободный.
8. Keyword Tool [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://keywordtool.io/>
9. Базы ключевых слов и поисковых запросов Пастухова [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pastukhov.com/>, свободный.
10. FAQ по поступлению и высшему образованию. Ответы на самые популярные вопросы абитуриентов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vuzopedia.ru/voprosy/top-questions>, свободный.
11. Часто задаваемые вопросы о поступлении в вуз [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://zaochnik.ru/blog/chasto-zadavaemye-voprosy-o-postuplenii-v-vuz/>, свободный.
12. Гришмановская О. Н., Гришмановский П. В., Бушмелева К. И. Состояние и перспективы открытых данных в сфере образования // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции «Качество. Безопасность. Диагностика. ИНО 2019» / под. ред. С.У. Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019 – 548 с. – С. 157-161

## РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ РЕГИОНА

Дугина Е.Л., Доржиева Е.В.

ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»

Статья посвящена исследованию роли и значения информационно-коммуникационных технологий в продовольственном обеспечении региона. Дана оценка уровня продовольственного обеспечения населения и продовольственной безопасности региона, предложены пути расширения зоны использования ИКТ в агросекторе: формирование цифровой платформы на основе технологии блокчейн и совершенствование деятельности информационно-консультационных служб в АПК.

Ключевые слова: продовольственное обеспечение, ИКТ в АПК, агросектор, информационно-консультационные службы.

Role of information and communications in regional food supply. Dugina E.L., Dorzhieva E.V., East Siberia State University of Technology and Management

The paper dwells on the research of role of information and communication technologies in the food supply of the region. An assessment of the level of food supply for the population and food security of the region is given, ways of expanding the area of using ICT in the agricultural sector are proposed: this is the formation of a digital platform based on blockchain technology and the improvement of information and consulting services in the agricultural sector.

Keywords: food supply, ICT in the agro-industrial complex, agricultural sector, information and consulting services.

Решение проблем продовольственного обеспечения и продовольственной безопасности является приоритетной задачей России на ее пути к устойчивому развитию, подразумевающему сохранение населения, улучшение его здоровья и повышение благополучия. Учитывая реалии XXI века, для решения данной задачи потребуются цифровая трансформация всего агропромышленного комплекса, достижение «цифровой зрелости» его ключевых отраслей и сфер, в том числе сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности, обеспечивающей и обслуживающей отраслей.

В рамках реализации столь глобальной цели и согласно Указу Президента РФ от 21 июля 2020 г. N 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» необходимо увеличить долю социально значимых услуг, доступных в электронном виде, до 95%, и обеспечить рост доли домохозяйств, обладающих возможностью широкополосного доступа к сети Интернет, до 97% [1].

Попытаемся применить данные меры к системе продовольственного обеспечения региона. В настоящее время уровень продовольственного обеспечения населения и продовольственной безопасности Республики Бурятия (РБ) соответствует допустимому значению (рис. 1) [2].

Критерий	Значение показателя	Количество баллов
Уровень продовольственной независимости (самообеспеченности) региона	$K_c = 0,6$	1
Уровень удовлетворения физиологических потребностей населения в основных продуктах питания	$K_{фп} = 0,76$	1
Уровень экономической доступности продовольствия:	-	-
- доля численности населения с доходами ниже величины прожиточного минимума	$K_б = 0,18$	2
- доля расходов на питание в структуре расходов домашних хозяйств на конечное потребление	$K_{п} = 0,4$	1
степень неравномерности распределения населения по уровню доходов (коэффициент Джини)	$K_{дж} = 0,44$	1
Итого:	-	6

Рисунок 1 – Итоговая оценка продовольственной безопасности РБ в 2018 г.

Для проведения исследований была выбрана методика Антамошкиной Е.Н., позволяющая перевести показатели в балльную оценку, что дает возможность учесть характеристики, которые в интегрированном виде показывают региональный уровень продовольственной обеспеченности [3]. Это позволило провести комплексный анализ продовольственной безопасности на основе оценки уровня экономической и физической доступности основных продуктов питания, а также самообеспеченности региона продовольствием. Продовольственная безопасность РБ по состоянию на 2018 г. оценивается шестью баллами из десяти возможных (считается, что 5-8 баллов - средний, допустимый уровень продовольственной безопасности. Однако следует учитывать, что речь идет о статистических данных 2018 г.; когда нам станут доступными статистические данные 2019-2020 гг., уровень продовольственной безопасности по предварительным оценкам должен существенно снизиться в связи с мировой рецессией, переходящей в экономический кризис, и нестабильной эпидемиологической обстановкой, существенно повлиявшими на экономическое развитие России и ее регионов).

Состояние продовольственного обеспечения региона рассматривается в контексте следующих факторов: численность населения, уровень его реальных доходов, доля расходов на питание, объем и уровень сельхозпроизводства, уровень развития инфраструктуры, развитость межрегиональных и международных продовольственных взаимосвязей. Проводится анализ регионального продовольственного баланса и устанавливаются предельные (критические) величины по доле производства, потребления, импорта. На рисунке 2 приведены результаты соотнесения показателей РБ с общепринятыми (рис. 2) [4].

Сопоставление предельно-допустимых величин по отдельным показателям устойчивого и эффективного продовольственного обеспечения позволяет сделать вывод, что в регионе достаточно высока доля импорта продовольствия во внутреннем потреблении, поскольку объемы производства основных видов продуктов питания местными товаропроизводителями недостаточны для покрытия потребностей предприятий и населения (коэффициент самообеспеченности ( $K_c$ ) по овощам, яйцу и мясу находился на низком уровне и составлял 0,3; 0,31 и 0,49 соответственно; по молоку – на допустимом ( $K_c = 0,57$ ), по картофелю – на высоком уровне ( $K_c = 1,32$ , т.е. республика в 2018 г. имела возможность поставлять картофель в другие регионы)). В 2020 г. ситуация будет ухудшаться из-за проблем, с которыми столкнулся малый и средний бизнес (в агропродовольственном секторе это крестьянские (фермерские) хозяйства, малые предприятия по выработке пищевых продуктов и др.).

Показатели устойчивого продовольственного обеспечения	Предельно критические значения в мировой практике	Величина данного параметра в Республике Бурятия	Вероятные социально-политические и экономические нарушения
Доля импорта продовольствия во внутреннем потреблении	25%	29,4%	Потеря продовольственной независимости
Качество продуктов питания	100%	по отдельным видам импортной продукции до 50%	Создание угрозы здоровью нации
Доля населения, имеющих доходы ниже прожиточного минимума	7-10%	17,9%	Угроза социальной стабильности в обществе
Уровень капиталовложений в основные фонды сельского хозяйства	30-50%	0,4%	Угроза деградации производства, начало деструктивных процессов
Объем произведенных продуктов питания	90-100%	60%	Угроза сбоя поставок и дефицита по отдельным видам продовольствия
Доля расходов населения на приобретение продовольственных товаров	30-40%	39,6%	Низкий уровень жизни и доходов населения региона

Рисунок 2 – Сопоставление значений продовольственного обеспечения в Республике Бурятия в 2018 г.

Региональный агробизнес использует устаревшую технико-технологическую базу: износ основных фондов в 2018 г. составил 41,5% (по России данный показатель – 40,9%); обеспеченность тракторами на 1000 га пашни – 1 шт., комбайнами на 1000 га посевов зерна – 3 шт., на 1000 га посадки картофеля – 11 шт. (по России в среднем обеспеченность тракторами – 3 шт., зерноуборочными комбайнами – 2 шт., картофелеуборочными – 15 шт.); внесено минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) на один га всей посевной площади 8 кг, органических удобрений – 0,7 т (по России в среднем – 56 кг и 1,5 т соответственно); энергетические мощности на 100 га посевной площади – 233 л.с. (по России – 200 л.с.). Можно сделать вывод, что состояние технической оснащенности регионального сельского хозяйства такое же, как по России в целом (за исключением объемов используемых удобрений). Однако по внедрению достижений НТП и цифровых технологий в агросекторе регион находится в числе отстающих. Так, в Госпрограмме «Комплексное развитие сельских территорий РБ», рассчитанной на 2020-2025 гг., в задачах, индикаторах и результатах цифровизация даже не упоминается. То же самое можно сказать о Госпрограмме «Развитие агропромышленного комплекса и сельских территорий в РБ», действующей с 2013 по 2022 г.: под инновационным развитием там понимается модернизация технологической базы агропромышленного комплекса Республики Бурятия и стимулирование приобретения сельскохозяйственными товаропроизводителями высокотехнологичных машин и оборудования.

Отсутствие финансовых средств и устаревшая материально-техническая база сильно усложняют переход к современным цифровым методам ведения агробизнеса. Поэтому в ближайшие годы из всех направлений применения цифровых технологий в АПК наиболее перспективным и реалистичным является увеличение доли услуг, доступных в электронном виде, и доли домохозяйств, обладающих возможностью широкополосного доступа к сети Интернет, что позволит внедрить технологию блокчейн. Создание цифровой платформы на его основе даст возможность выстроить цепочку поставок, объединяющую

поставщиков оборудования, семян, удобрений, кормов; сельхозпроизводителей, торговые сети, потребителей и прочие предприятия и организации, занимающиеся обслуживанием агросектора. Это приведет к повышению качества продуктов питания за счет прозрачности цепочки поставок (все операции с товарами – покупка, транспортировка - фиксируются в блокчейне, таким образом, покупатель, сканируя QR-код, получит полную информацию о продукте и будет защищен от контрафакта), а также к росту товарооборота и снижению цен в результате налаживания прямых контактов с потребителями, исключения промежуточных звеньев при сбыте продукции, повышения информированности участников рынка (тот же малый и средний агробизнес получит доступ к наукоемким и сложным техническим решениям, что будет способствовать распространению инноваций, росту продуктивности сельхозкультуры и животных, повышению конкурентоспособности аграрного производства).

В настоящее время развитие ИКТ идет преимущественно в крупных городах, тем не менее, по показателям использования ИКТ населением Республика Бурятия практически не отстает от среднероссийского уровня (табл. 1).

Таблица 1 – Использование ИКТ населением в 2010-2019 гг.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Доля домохозяйств, имеющих персональный компьютер, в общем числе домохозяйств, %										
РФ	54,5	60,1	66,5	71,4	71,0	72,5	74,3	74,4	72,4	69,4
РБ	52,7	52,0	59,0	69,7	65,8	69,5	68,8	72,6	66,3	54,4
Число персональных компьютеров на 100 домашних хозяйств, ед.										
РФ	63	75	86	100	113	125	127	124	125	125
РБ	60	61	68	95	104	93	129	120	129	128
Число мобильных телефонов на 100 домохозяйств, шт.										
РФ	228	237	244	250	257	256	245	245	247	250
РБ	227	241	237	223	219	227	259	266	256	270
Доля домашних хозяйств, имеющих доступ к сети Интернет, в общем числе домашних хозяйств, %										
РФ	48,4	56,8	63,8	69,1	69,9	72,1	74,8	76,3	76,6	76,9
РБ	34,7	44,3	43,0	60,1	58,2	59,7	61,6	77,5	78,6	83,7
Численность пользователей сети Интернет на 100 человек населения, чел.										
РФ	-*	-	-	64	67	70	73	76	81	83
РБ	-	-	-	63	61	63	74	80	85	63
Доля населения, являющегося активными пользователями сети Интернет, в общей численности населения, %										
РФ	-	-	-	61,4	64,9	68,3	71,5	74,1	79,3	81,4
РБ	-	-	-	60,6	59,4	62,1	72,3	77,5	83,7	60,6
Доля населения, использовавшего сеть Интернет для получения государственных и муниципальных услуг в общей численности обследуемого населения, %										
РФ	-	-	-	10,7	10,6	18,4	28,8	42,3	54,5	56,5
РБ	-	-	-	-	2,5	4,8	9,9	34,0	59,6	61,4
Доля домашних хозяйств, имеющих широкополосный доступ к сети Интернет, в общем числе домашних хозяйств, %										
РФ	-	-	-	56,5	64,1	66,8	70,7	72,6	73,2	73,6
РБ	-	-	-	-	51,0	54,4	59,2	76,6	68,6	74,0
Доля населения, использовавшего сеть Интернет для заказа товаров и (или) услуг, в общей численности населения, %										
РФ	-	-	-	15,3	17,8	19,6	23,1	29,1	34,7	35,7
РБ	-	-	-	-	13,0	25,1	19,4	60,1	49,1	34,9

\* Отсутствуют статистические данные.

В 2019 г. доля домохозяйств РБ, имеющих персональный компьютер, снизилась до 54,4%, что объясняется повсеместным переходом на смартфоны и использованием мобильного интернета для личных нужд (для рабочих используются ПК на предприятиях и в организациях). Так, число мобильных телефонов на 100 домохозяйств выросло до 270 шт. против 250 по РФ. Это повлекло за собой снижение численности пользователей сети Интернет на 100 человек населения и доли населения, являющегося активными пользователями сети Интернет. Отметим, что при использовании технологии блокчейн фермеру достаточно установить терминал цифровой платформы, функции которого вполне может современный смартфон [5].

Уменьшение доли населения РБ, использовавшего сеть Интернет для заказа товаров и (или) услуг до 34,9% (по России – 35,7% в 2019 г.) по сравнению с 60,1% в 2017 и 49,1% в 2018 гг. обусловлено



падением реальных доходов населения и увеличением доли расходов на продукты питания в структуре потребления домохозяйств.

Доля домашних хозяйств, имеющих доступ к сети Интернет, в общем числе домашних хозяйств, достигла в 2019 г. 83,7% против 76,9% по России, однако до запланированных к 2030 г. Указом Президента РФ 97% еще далеко. Как отмечает Кокова Э.Р., одной из проблем внедрения цифровых технологий в агробизнес является отсутствие у мелких и средних агропроизводителей ПК и доступа к сети Интернет. Так, в России из 275 тыс. чел. фермеров 3,3% использует ПК и только 1,1% пользуется в работе сетью Интернет, тогда как в Дании 80% фермеров применяют ПК при осуществлении своей предпринимательской деятельности [6].

Говоря о доле услуг, доступных в электронном виде, нельзя не отметить роль информационно-консультационных служб (ИКС) в расширении использования ИКТ в агросекторе: их задачей является предоставление консультаций и информации сельхозтоваропроизводителям, субъектам малого и среднего агробизнеса, формирование информационных ресурсов, проведение обучающих семинаров и конференций и др. В РБ лидерами в этой сфере являются ГБУ РБ «Информационно-методологический центр Республики Бурятия» (доля рынка - 37%), Министерство сельского хозяйства и продовольствия РБ (11%) и ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия» (10%) (рис. 3) [4].

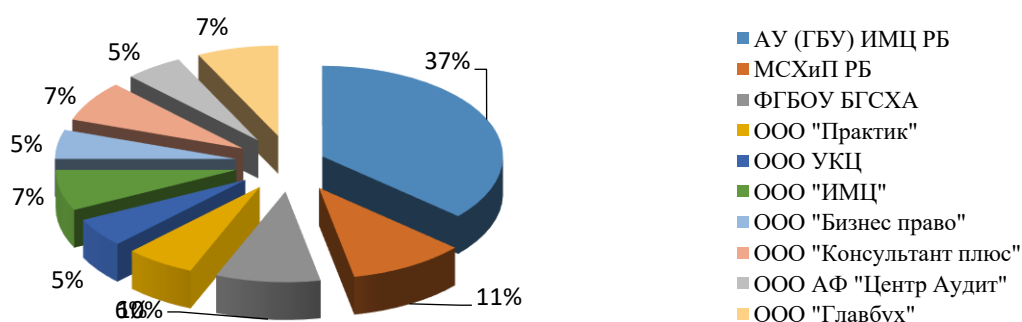


Рисунок 3 – Рыночная доля ИКС РБ

ИКС по определению не могут осуществлять свою деятельность без веб-сайта, на котором размещена информация о центре, список консультантов, услуги, публикации, различные базы данных, сведения о выставках, семинарах, ярмарках и т.д. [7]. Проанализируем структуру веб-сайта ГБУ ИМЦ РБ, являющегося филиалом государственной структуры и имеющего сеть филиалов в каждом районе республики (табл. 2).

Таблица 2 – Соответствие структуры веб-сайта ГБУ ИМЦ РБ структуре типового сайта ИКЦ

Общая информация об ИКС				Консультирование																			
информация об истории и направлениях деятельности центра	структура центра	контактная информация	список районных ИКЦ с адресами и сотрудниками	консультанты	тематика консультирования	On-line консультации	Обучение	Публикации	Разработки	Нормативно-правовая информация	Торговая площадка	Общая доска объявлений	Биржа труда	Рыночная информация	Коммерческая деятельность	Издательская деятельность	Выставочно-демонстрационная деятельность	Информационно-аналитическая деятельность	Информационные ресурсы	Новости	Гостевая книга	Форумы	Сервисы
+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-

+ раздел на сайте есть; - раздела не существует

Как видно из данных таблицы 2, разработчиками веб-сайта ГБУ ИМЦ РБ обратная связь с посетителями сайта не предусмотрена, что негативно сказывается на юзабилити (удобстве) веб-площадки, снижает поведенческие показатели и общую пользовательскую активность. Организация разнообразных каналов связи даст возможность собрать уникальную информацию о мнениях целевой аудитории, ее текущих проблемах, частых вопросах и затруднениях.

Кроме того, отметим небольшое количество продавцов на торговой площадке сайта: представлены 17 товаров в разделе «Молоко и молочная продукция», 3 – в разделе «Мясо и мясная продукция», 3 – в разделе «Сено, сенаж», 1 – в разделе «Фураж», 20 – в разделе «Племенной скот. КРС», 1 – в разделе «Товарный скот. Свиньи». Заявки покупателей отсутствуют. Это свидетельствует о том, что торговая площадка не выполняет свои функции. В целом веб-сайт нуждается в серьезной доработке с использованием услуг профессиональных веб-студий. На наш взгляд, только в этом случае можно увеличить посещаемость ресурса, повысить конверсию и получить эффективный инструмент ИКТ для планирования, организации и продвижения регионального агробизнеса.

#### Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N 474 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года" / Российская газета. - Федеральный выпуск № 159(8213). [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2020/07/22/ukaz-dok.html> (дата обращения: 26.08.2020).
2. Дугина Е.Л., Доржиева Е.В., Леванкова А.К., Спиридонов Р.В. Оценка продовольственной безопасности Республики Бурятия // Социально-экономическое развитие России и Монголии: проблемы и перспективы: Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2020. - С. 121-126.
3. Антамошкина Е.Н. Экономические индикаторы продовольственной безопасности на Юге России // Экономика и менеджмент инновационных технологий. - 2014. - № 3. - Ч. 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/03/3852> (дата обращения: 26.08.2020).
4. Дугина Е.Л., Кушнарева И.Г. Развитие информационно-консультативной деятельности в системе продовольственного обеспечения региона: монография. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. – 168 с.
5. Щетинина И., Стенкина М. Взаимодействия субъектов АПК в условиях цифровой экономики // АПК: экономика, управление. - 2017. - № 10. - С. 23-33.
6. Кокова Э.Р. Роль современных технологий в обеспечении продовольственной безопасности регионов // Вестник экспертного совета. - 2019. - №1 (16). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-sovremennyh-tehnologiy-v-obespechenii-prodovolstvennoy-bezopasnosti-regionov> (дата обращения: 26.08.2020).
7. Муратова Л. Г. Использование современных информационных технологий в деятельности информационно-консультационной службы агропромышленного комплекса // Никоновские чтения. - 2012. - №17. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennyh-informatsionnyh-tehnologiy-v-deyatelnosti-informatsionno-konsultatsionnoy-sluzhby-agropromyshlennogo> (дата обращения: 27.08.2020).

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСТУПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫХ ФОНДОВ

Савельев Б.А., Смагина И.А., Козлов Н.Ю., Кузнецов К.Д.  
АНО ВО «ИИТЭМ»  
+7(49624)3-72-49, [iitem@yandex.ru](mailto:iitem@yandex.ru)

Статья посвящена исследованию вопросов прозрачности и эффективности технических платформ, обеспечивающих работу благотворительных фондов для потенциальных пользователей. Основной проблемой является обеспечение прозрачности движения средств и возможность обработки большого числа транзакций.

Ключевые слова: децентрализованные платформы, смарт-контракты, масштабирование сети.

Modeling and development of distributed blockchain technology applications to optimize the income and distribution of charity funds. Savelyev B.A., Smagina I.A., Kozlov N.Yu., Kuznetsov K.D., ИИТЕМ.

The article is devoted to the study of issues of transparency and efficiency of technical platforms, that ensure the work of charitable funds for potential users. The main problem is ensuring the transparency of the movement of funds and the ability to process a large number of transactions.

Keywords: decentralized platforms, smart-contracts, network scaling.

По данным Федеральной службы государственной статистики, в России к концу 2018года уже было зарегистрировано 8677 благотворительных фондов [1]. Благотворительные программы подобных некоммерческих организаций охватывают самые различные проблемы и нужды человечества: поддержка научных исследований, развитие местных сообществ, помощь бездомным, правовая защита населения,

помощь одиноким пожилым людям и бездомным, социальная и психологическая помощь больным, лечение больных детей, - и это далеко не все сферы, в которые распределяются средства, собранные от людей благотворительными фондами. Россияне ежегодно жертвуют в среднем 160 миллиардов рублей на благотворительность [2].

Высока социальная значимость обеспечения прозрачности поступления и распределения средств, чтобы исключить мошенничество внутри фонда и повысить доверие к фонду для будущих вкладчиков.

Однако распределение денежных средств происходит не всегда должным и честным образом, и материальная помощь не всегда доходит до людей, нуждающихся в помощи.

Многих людей, готовых помогать другим, останавливает недоверие к организациям, которые занимаются сбором средств. Кроме того, в случае прозрачности механизма передачи средств нуждающиеся в этих средствах будут также уверены, что они получают все средства без каких-либо издержек.

Распределенные приложения функционирует в одно и то же время на нескольких ПК в сети, а также имеют все шансы храниться на серверах либо в облачных вычислениях, они могут запускаться в одно и тоже время на нескольких системах с целью исполнения одной задачи либо операции. Модель распределенного приложения может масштабироваться под любой благотворительный фонд.

Современные блокчейн технологии позволяют осуществлять прозрачные финансовые операции с антихакерской защитой. Все сведения, хранящиеся в блокчейне, существуют как общая регулярно проверяющаяся база данных. Данный метод применения сети обладает очевидными достоинствами.

База данных блокчейна, где находятся хранящиеся там записи на самом деле доступна и просто проверяема, однако для взломщика не существует централизованной версии этих данных, что обеспечивает ее защиту.

К настоящему времени создано множество разных средств разработки распределенных приложений и для создания приложения необходимо применение нескольких инструментов и технологий. Многие технические решения скрыты за большим количеством различных уровней абстракции, что позволяет проще программировать, не задумываясь о технических деталях, но при этом приходится использовать большое количество различных библиотек, которые обеспечивают необходимый уровень абстракции. При выборе инструментов разработки следует учитывать популярность применяемых решений, перспективы развития, количество справочных материалов и т.д.

На основе анализа рынка предлагаемых технических решений для разработки выбраны: язык Solidity для написания смарт-контрактов, RemixIDE в качестве среды разработки, MetaMask в качестве клиента, позволяющего взаимодействовать с сетью, библиотеки и фреймворки Node.js, Npm, Web3.js, Vue.js, Vue.cli, так как для каждого из этих инструментов имеется подробное описание: большая часть инструментов и технологий бесплатна и включает открытый исходный код.

Для работы благотворительного проекта создаются 2 контракта в одном файле .sol: Crowdfunding и Project.

Crowdfunding контракт действует как контейнер (фабрика) для всех проектов (контрактов). Функция startProject() создает новый контракт проекта в сети и записывает его адрес в хранилище Crowdfunding контракта. Проект договора конкретизируется через договор Crowdfunding и обрабатывает все методы, которые могут быть выполнены в каждом Crowdfunding проекта, такие как contribute(), getRefund () и т.д.

Каждый проект изначально устанавливается в состояние сбора средств. Изменить состояние проекта позволяет checkIfFundingCompleteOrExpired(). Каждый раз, когда кто-то вносит средства в проект, состояние меняется в зависимости от определенных условий, таких как «достигнут ли объем цели проекта» или «превышен ли установленный срок проекта». Скомпилированный код контракта отправляется в виртуальную машину Ethereum. Там же записывается код смарт-контракта.

Для создания приложения, через которое будет осуществляться взаимодействие с созданными смарт-контрактами, необходимо последовательно установить node.js, vue.js, VueCLI. Создается проект, устанавливается web3.js, запускается сервер node.js и приложение через браузер по адресу <http://localhost:8080>. Для организации взаимодействия веб-приложения с размещенным смарт-контрактом, используется web3.js. Пакет устанавливается в файл с именем web3.js внутри папки «контракты», далее загружается экземпляр web3, иницирующий расширение MetaMask, используемое для взаимодействия с контрактом. Для взаимодействия с блокчейн платформой устанавливается MetaMask, как расширение к браузеру, сразу после установки осуществляется регистрация.

Для тестирования приложения используется сеть Ropsten, так как в этой сети бесплатно тестируются приложения путем размещения созданного смарт-контракта в Remix и MetaMask запрашивает подтверждение размещения в сети Ropsten.

Далее используется ABI, позволяющий объединять откомпилированные модули компонента без перекомпиляции всего кода, определяя двоичный интерфейс.

Для работы приложения используются функции работы со смарт-контрактами: `getProjects()`, `returnAllProjects()`, `getDetails()`, `startProject()` и пр. Параметр `This.account` это текущий счет, который активен в `MetaMask`.

Данное приложение позволяет создавать новые проекты и просматривать существующие. Для того, чтобы создать проект для сбора средств нужно добавить проект. Созданный проект через некоторое время, необходимое для обработки в блокчейн сети, появится в списке открытых проектов. Пожертвовать средства может любой пользователь, не являющийся создателем проекта. В приложение необходимо добавить функции по переводу средств `fundProject()`.

Технология децентрализованного реестра снимает ряд проблем современного финансового рынка – недостаточная прозрачность операций, высокий входной барьер для осуществления операций, невозможность осуществлять большинство операций без контроля со стороны третьих лиц, а также отсутствие гарантий безопасности операций [3], что позволяет осуществлять платежи, имея математические доказательства корректности платежей при помощи электронно-цифровой подписи и других криптографических инструментов, таких как хэш-функция. Однако на текущий момент ни одна из существующих децентрализованных платформ не способна выдержать нагрузку, осуществляемую миллионами пользователей финансовых систем.

Поэтому разработка приложений и протоколов, позволяющих масштабировать децентрализованные платформы, является приоритетной для модернизации классических финансовых систем компаний-клиентов. Для реально функционирующей электронной платформы необходима разработка приложения, реализующего практически применимые методы масштабирования количества транзакций в секунду, при этом важным аспектом является стабильность работы и низкие затраты поддержку работоспособности сети.

Децентрализованные платформы, применяющие технологию блокчейн, являются совокупностью таких технологий и инструментов как: пиринговые сети, электронно-цифровая подпись, хэш-функции, деревья Меркла. Платформа `Ethereum` является наиболее подходящей для реализации поставленной цели. Возможность передачи и приема данных осуществляется при помощи клиентов, причем система имеет архитектуру клиент-клиент, что отличает ее от классической архитектуры клиент-сервер.

На идее платежных каналов разработано решение масштабирования количества транзакций – `Plasma` с использованием децентрализованной платформы, криптографических подписей и блокировки средств на уровне платформы для осуществления операций с последующей разблокировкой.

Платформы используются как основа и гарант безопасности средств, их преимущества в децентрализации и стабильности, при этом осуществляется централизованная передача данных с гарантией безопасного возврата средств, так как средства на момент централизованного перевода блокируются на самой централизованной платформе и не могут быть потеряны в случае нарушения функционала. К данным решениям относят платежные каналы и `Plasma`. Ключевой особенностью `Plasma` является отсутствие ограничения на количество участников в протоколе. Принцип работы заключается в том, что оператор в сети `Plasma` осуществляет переводы и синхронизацию блоков. Все транзакции внутри сети осуществляются благодаря оператору и оператор гарантирует корректность транзакций путем публикации данных и отправки в сжатом формате на платформу первого уровня. Для реализации такого подхода необходимо, чтобы платформа первого уровня позволяла блокировать средства пользователей и разблокировать в случае, если данная операция была верифицирована.

В сети `Ethereum` данная возможность реализована путем применения смарт-контракта как программного кода, который выполняется участниками сети строго по правилам платформы. Благодаря данной возможности любой участник сети может отправить средства на данный смарт-контракт. Для получения средств на `Plasma` участник переводит средства на контракт; для перевода в сети `Plasma` участник подписывает транзакцию и отправляет ее оператору. Оператор формирует блок из множества транзакций и отправляет его в сжатой форме на смарт-контракт. При желании вывести средства участнику необходимо предоставить доказательства владения данными средствами смарт-контракту путем указания своего адреса и подписи, подтверждающей владение данным адресом. Далее средства можно вывести из `Plasma`, однако же средства будут доступны для перевода на другие адреса сети `Ethereum` не моментально, а только через заранее фиксированный период времени, который позволит другим участникам сети удостовериться, что участник, совершающий вывод не пытается обмануть смарт-контракт, совершив атаку `double-spend`, которая позволит вывести уже потраченные средства из `Plasma`. Она возможна по причине того, что функционал поиска всех транзакций пользователя внутри сети `Plasma` невозможен внутри сети `Ethereum`, так как для масштабирования количества транзакций необходимо отказаться от записи каждой транзакции, а записывать лишь информацию о списке данных транзакций в сжатом виде. Смарт-контракт позволяет осуществить проверку наличия определённой транзакции, но не позволяет найти все транзакции пользователя. Для этого требуется использовать информацию, которую хранит оператор сети, это занимает определенный период времени, так как количество транзакций определенного пользователя может достигать нескольких сотен миллионов.

Каждый из участников сети имеет возможность в любой момент совершить транзакцию любому другому участнику и имеется возможность осуществлять переводы разного типа средств. Существенными ограничениями Plasma в большинстве реализаций является обязательное требование просматривать и верифицировать все транзакции круглосуточно ко всем участникам сети. Данное требование невозможно выполнить, если учитывать, что большинство пользователей не имеют ни возможности, ни желания их осуществлять.

Для создания приложения, осуществляющего метод масштабирования сети Ethereum, используется язык смарт-контрактов Solidity. Тестирование смарт-контрактов осуществляется JavaScript и Truffle. Для размещения контракта в сети Ethereum применяется Geth. Приложение реализует концепцию Plasma с применением нового дизайна, который использует дерево Меркла для сжатия данных, и состоит из смарт-контракта, веб части для клиента, серверной части для клиента, серверной части для оператора.

В состав базовых функций смарт-контракта входят:

1. Пополнение средств на произвольную сумму;
2. Вывод средств на произвольную доступную сумму;
3. Передача нового блока, включая всю информацию о транзакциях, в сжатом виде на смарт-контракт

Одной из наиболее существенных проблем является реализация дерева Меркла и вспомогательных операций. Благодаря данному алгоритму сжатия можно доказать факт наличия данных, имея лишь значение вершины дерева, хэш-сумму проверяемого значения, а также хэш-сумму одноуровневых вершин.

Принцип сжатия данных необходим ввиду невозможности передавать все данные на смарт-контракт, т. е. записывать данные на все клиенты децентрализованной сети. Стоимость записи даже 1 мб данных является существенной и может достигать нескольких десятков тысяч рублей. Необходимо отметить, что для доказательства корректности данных при выводе средств необходимо использовать историю операций. Операции с большим количеством данных занимают большее количество времени и имеют большую стоимость вычисления, поэтому необходимо максимально сжать существенные данные. Благодаря реализации алгоритма построения дерева Меркла обеспечивается возможность существенно сжимать данные и доказывать наличие или отсутствие элементов в уже существующем дереве.

В процессе разработки веб-интерфейса были применены: TypeScript и Angular.

Веб-интерфейс необходим для обеспечения доступности интерфейса для обычного пользователя и для безопасности сети. Согласно принципам децентрализации пользователь должен иметь право хранить свой приватный ключ самостоятельно, доступа к приватному ключу пользователей не должно быть у третьих лиц, в том числе у операторов протокола Plasma. Для осуществления транзакции в сети пользователь, подписывает транзакцию приватным ключом, хранящемся на стороне пользователя. Именно по данной причине для веб-интерфейса и серверной части клиента необходимо реализовать базовые операции пользователя:

- ⇒ пополнение средств на произвольную сумму;
- ⇒ перевод средств внутри сети на произвольную сумму;
- ⇒ вывод средств из смарт-контракта.

Для реализации интерфейса создаются приложения Angular с компонентами для каждой из данных функций.

Серверная часть клиента необходима для выполнения операций, которые затруднительно выполнять в веб браузере. Для того, чтобы пользователь был полноценным участником сети Plasma, необходимо реализовать проверку корректности блоков. Благодаря тому, что каждый клиент постоянно проверяет каждый блок из сети, оператор сети не может осуществить операцию по созданию фальшивой транзакции, так как любой из клиентов имеет возможность предупредить пользователя и автоматически вызвать операцию вывода средств из сети. Возможность реализовать все операции исключительно на уровне веб приложения, используя современный WebAssembly является альтернативой разработке веб приложений на JavaScript. Разработка ведется в Golang IDE, а для промежуточных версий используется технология Docker. Благодаря созданному контейнеру Docker любой пользователь имеет возможность использовать данный клиент на произвольной операционной системе.

Метод масштабирования реализуется:

1. Смарт-контрактом в сети Ethereum и все средства пользователей хранятся на данном контракте. Процессы вывода и ввода средств проводятся по заранее определенным формальным правилам, которые невозможно изменить.

2. Пользовательский клиент, состоящий из серверной части и веб части, позволяет осуществлять пополнение, ввод и вывод средств из проекта.

3. Оператор – серверная часть проекта, т.е. главный сервер, который обрабатывает все транзакции клиентов внутри сети Plasma, публикует данные о транзакциях в сжатом виде на смарт-контракт, что необходимо для возможности вывода средств пользователями.

Пользователь может вывести средства экстренно, независимо от работоспособности оператора, однако при этом необходимо доказать наличие доступа к средствам и отсутствие расходования их внутри сети. Если любой другой участник сети обнаружит транзакцию, подписанную пользователем, которая использует те средства, которые пользователь планирует вывести, то данный участник получает вознаграждение, а пользователь получает штраф.

Оператор сети Plasma является приложением, которое обязано хранить свое состояние [4]. Согласно дизайну протокола в сети может быть только один оператор, поэтому программное обеспечение оператора должно быть разработано таким образом, чтобы минимизировать количество ошибок. Оператор не может быть отключен от сети, так как он обязан обрабатывать все обращения произвольного количества клиентов сети Plasma. Таким образом, сервер является наиболее нагруженным компонентом всей системы Plasma. По данной причине необходимо использовать наиболее высокопроизводительный и стабильный язык для реализации сервера. Благодаря языку Go удалось реализовать данный сервис таким образом, чтобы минимизировать участки кода, которые могут привести к потере работоспособности в случае ошибки.

Передача данных между клиентом и сервером происходит через RESTHTTP протокол. Унификация кодовой базы части клиента и оператора позволяет использовать ту же самую библиотеку Gin для реализации RESTHTTP сервера.

Для реализации возможности обрабатывать транзакции одновременно с нескольких десятков тысяч клиентов необходимо использовать микросервисную архитектуру, в частности технологии Docker и Kubernetes. Благодаря данному подходу это решение почти не имеет ограничений по количеству пользователей.

#### Литература

1. Малков П.В., Баранов Э.Ф., Безбородова Т.С. [и др]. Россия в цифрах. - 2019: Крат.стат.сб./Росстат- М., Р76 2019 – С. 175-176.
2. Шпак А., Мисютин В., Слуцкая М.[и др].Важность личного доверия к исполнителям и ожидание конкретных результатов [Электронный ресурс] // Российский филантроп / Исследование центра управления благосостоянием и филантропии Московской школы управления СКОЛКОВО. – 2018. – URL: [https://common.skolkovo.ru/downloads/documents/SKOLKOVO\\_WTC/Research/SKOLKOVO\\_WTC\\_Russian\\_Philanthropist\\_Rus.pdf](https://common.skolkovo.ru/downloads/documents/SKOLKOVO_WTC/Research/SKOLKOVO_WTC_Russian_Philanthropist_Rus.pdf) (дата обращения: 02.03.2020).
3. Тронин С.А. Перспективы и риски технологии blockchain в проведении банковских транзакций // АНИ: экономика и управление – 2018. - №4(25). –с. 304-307
4. Poon J., Dryja T. The Bitcoin Lightning Network: Scalable Off-Chain Instant Payments // Lightning Network. – 2016

#### АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ СИСТЕМНЫХ ДИСКОВЫХ СТРУКТУР ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ларина Т.Б., Падалка М.Н.  
Российский университет транспорта (РУТ-МИИТ), г. Москва  
+7 (916) 427-23-34 , tblarina@gmail.com

В статье проводится анализ потенциальных уязвимостей служебных системных структур жестких дисков с MBR-структурой конфигурации, используемых на этапах инициализации и загрузки дисковых операционных систем. Показаны возможные источники и последствия уязвимостей, обосновывается необходимость их защиты. Анонсируется разрабатываемый программный защитный комплекс для автоматического резервирования и восстановления в случаях повреждения содержимого системных секторов.

Ключевые слова: компьютерная безопасность, защита данных, уязвимость, системные структуры жестких дисков, MBR, загрузка операционных систем.

Analysis of the vulnerabilities of system disk structures of operating systems. Larina T.B., Padalka M.N. Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

The article analyzes the potential vulnerabilities of the service system structures of hard disks with an MBR configuration structure used during the initialization and boot stages of disk operating systems. The possible sources and consequences of vulnerabilities are shown, and the need for their protection is justified. A software protection system is announced for automatic backup and recovery in cases of corruption of system sectors contents.

Keywords: computer security, data security, vulnerability, system structures of hard drives, MBR, booting of operating systems.

### Введение

Говоря о защите компьютерной информации, следует уделять особое внимание защите жесткого диска. Жесткий диск является основным устройством для размещения и функционирования операционной системы и долговременного хранения информации. Что делает его наиболее привлекательным компьютерным узлом для злоумышленников и основным источником проблем, связанных с доступом к данным.

Для резервного копирования, проверки целостности или восстановления поврежденных файлов или папок, то есть объектов файловых систем в разделах жесткого диска, существуют штатные и многочисленные сторонние программные средства, известные и доступные пользователю. Однако на жестком диске существуют важные системные структуры и исполняемые коды, не входящие ни в какие разделы, невидимые пользователю и файловым системам.

Проведем анализ этих системных структур для базовых жестких дисков с традиционной, так называемой MBR «разметкой». То есть, конфигурация жесткого диска определяется в Таблице разделов, размещенной в MBR секторе. Определим, какие именно дисковые структуры подвержены наибольшему риску, и нарушение которых приведут к наиболее катастрофическим последствиям.

#### Системные структуры вне разделов жесткого диска

В линейной адресации секторов - LBA-адресация, жесткий диск представляется в виде линейной последовательности секторов, каждый размером по 512 байтов. Линейная нумерация секторов начинается с нуля. Таким образом, информационный объем жесткого диска составит (N+1)секторов \*512 байтов, где N- линейный номер последнего сектора. Первые 63 сектора жесткого диска – это одна физическая дорожка, зарезервированы в системных целях. Они выведены из области деления жесткого диска на разделы и, соответственно, будут всегда скрыты от файловых систем и пользователей [1]. Эту системную дорожку часто называют «нулевая дорожка» или «MBR- дорожка» (рис.1).

MBR сектор	Сектора (1-62)	Область жесткого диска для создания разделов
0	1 ... 62	63 ... N
<b>Системная MBR-дорожка</b>		

Рисунок 1 – Структура жесткого диска в линейном представлении

Нулевой сектор в линейной адресации называют MBR-сектором. Он содержит две важнейшие для компьютера системные структуры: код Главного загрузчика и Таблицу разделов (рис.2). Завершающий двухбайтный код 55AA является признаком (сигнатурой) системного сектора. Таблица разделов содержит информацию о логической конфигурации жесткого диска и содержит записи о делении жесткого диска на разделы. Эта системная структура является ключевой при загрузке дисковой операционной системы и ее дальнейшей работе с разделами жесткого диска.

Главный загрузчик	Таблица разделов	Код 55AA
446 байт	64 байта	2 байта

Рисунок 2 - Содержимое MBR-сектора

Четыре 16-байтные записи в Таблице разделов позволяют создать на жестком диске до четырех разделов. Однако один из разделов можно сделать «расширенным»(extended), тогда его можно делить на неограниченное множество внутренних разделов – логических дисков. Наличие раздела расширенного типа позволяет преодолеть ограничения Таблицы разделов по количеству разделов.

Системная информация о внутреннем делении расширенного раздела организована в виде дополнительно выделяемых перед каждым логическим диском системных дорожек (рис.3).



Рисунок 3 – Организация расширенного раздела

Первый сектор каждой системной дорожки называют EPR-сектор (Extended Partition Record). Он содержит EPR-таблицу, состоящую из двух записей: первая содержит информацию о размещении логического диска и типе его файловой системы, вторая - задает координату EPR-сектора для следующего логического диска (рис.4). Таким образом, поиск логических дисков в расширенном разделе операционная система осуществляет последовательным проходом по цепочке ссылок EPR-секторов от начала расширенного раздела.

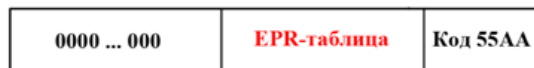


Рисунок 4 – Содержимое EPR-сектора

Использование системных структур в процессе загрузки операционной системы

Процесс загрузки любой операционной системы с жесткого диска можно разделить на три этапа: диагностика, инициализация загрузки и собственно загрузка операционной системы. Первые два этапа являются общими для загрузки любых операционных систем, они предшествуют их загрузке и не зависят от операционной системы. Этапы процесса загрузки дисковой операционной системы и участие в нем системных дисковых структур показаны на рисунке 5 [2].

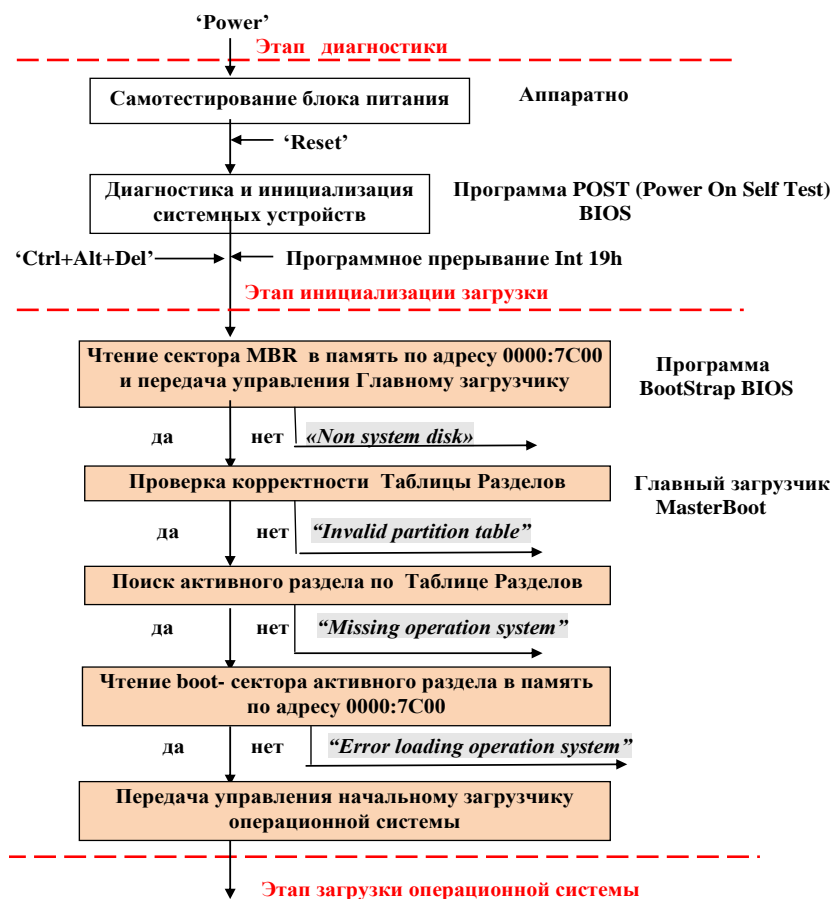


Рисунок 5 – Этапы процесса загрузки дисковой операционной системы

Первый этап диагностики начинается после включения компьютера нажатием кнопки Power. В процессе диагностики производится аппаратное самотестирование блока питания. После чего через аппаратное прерывание управление передается системной процедуре POST базовой системы ввода-вывода BIOS, которая выполняет тестирование всех устройств. На этом первый этап загрузки операционной системы завершается. Процедура BIOS POST программным прерыванием передает управление другой процедуре - BIOS BootStrap.

Второй этап - инициализацию загрузки выполняет процедура BIOS BootStrap. Она считывает содержимое MBR-сектора в оперативную память и передает управление коду Главного загрузчика (master boot). Алгоритм Главного загрузчика предусматривает поиск в Таблице разделов записи об активном



основном разделе, в ней содержится адрес сектора с кодом начального загрузчика операционной системы - boot-сектора операционной системы. Если активный раздел на жестком диске обнаружен, Главный загрузчик считывает boot-сектор операционной системы в оперативную память и передает управление начальному загрузчику операционной системы. На этом заканчивается этап инициализации загрузки и начинается третий этап – загрузка операционной системы.

Собственно загрузку операционной системы начинает код ее начального загрузчика из boot-сектора активного раздела. Этот маленький код должен обнаружить в корневом каталоге активного раздела жесткого диска файл, код которого продолжит загрузку операционной системы в память. Это может быть один или несколько файлов, что зависит от конкретной операционной системы. Код начальной загрузки операционной системы должен просто прочитать их содержимое в память и передать управление. Дальнейшие действия по загрузке операционной системы уже уникальны для конкретной системы или семейства операционных систем с идентичным механизмом и загрузочными файлами.

#### Выявление и анализ уязвимостей системных структур

Можно определить две группы уязвимостей системных структур, которые серьезно угрожают безопасности используемых компьютеров. К ним следует отнести:

- Полная потеря доступа к содержимому всего жесткого диска или к логическим дискам расширенного раздела в результате потери сведений о логической конфигурации жесткого диска или внутренней структуре расширенного раздела;
- Блокировка загрузки операционной системы или ее запуск с заложенными программными закладками.

Отличительными особенностями этих групп являются типы поражаемых системных структур и степень разрушительности.

##### 1. Уязвимость MBR-сектора

Первая группа уязвимостей связана с этапом инициализации загрузки операционной системы, а именно с системными структурами MBR-сектора. Эти уязвимости связаны с возможной модификацией, подменой или утратой кода MBR-сектора. Эта системная дисковая структура является наиболее незащищенной.

Этап инициализации загрузки является ключевым, так как на нем происходит определение конфигурации жесткого диска, и поиск активного раздела для загрузки операционной системы. Если этот этап завершится неудачно, дальнейший запуск компьютера будет невозможен. Извлечение данных с жесткого диска с нераспознанной конфигурацией практически невозможно без привлечения специальной аппаратуры и технологий.

Основная проблема MBR-сектора состоит в том, что его местоположение строго определено и известна точная структура его кода. Все это делает MBR-сектор крайне уязвимым к любому вредоносному воздействию. Содержимое MBR-сектора может быть модифицировано с помощью любого дискового редактора. И если код Главного загрузчика можно восстановить вручную тем же дисковым редактором, то убитое содержимое Таблицы разделов не позволит воссоздать сведения о текущей дисковой конфигурации и доступ к содержимому диска будет невозможен.

Другое важное обстоятельство уязвимости – то, что код Главного загрузчика из MBR-сектора выполняется в 16-разрядном реальном режиме работы процессора. Реальный режим позволяет осуществлять прямые программные обращения в память и к секторам диска, использовать системные прерывания и работать напрямую с контроллерами внешних устройств [3]. Таким образом, код Главного загрузчика может быть модифицирован на любой преступный алгоритм. При этом у нового кода есть достаточное место для своего размещения – это и последующие свободные 32 сектора MBR-дорожки. Все перечисленное открывает перед злоумышленниками широкие возможности для организации противоправной деятельности в отношении пользователей компьютеров.

В 32-х или 64-х разрядный защищенный режим процессор переводится современной операционной системой только на третьем этапе загрузки. Разработчики вычислительной техники и программного обеспечения частично защитили MBR-сектор от программного воздействия в среде 32-х и 64-х разрядных операционных систем защищенного режима. Блокируется использование программного прерывания Int 13h, позволяющего осуществлять прямые обращения к секторам жесткого диска. Но, с другой стороны оставлена возможность обращения к диску через системное API операционных систем. В операционной системе Windows, написав программу с использованием функций Create File, Read File, Write File и запустив ее в режиме администратора, можно проводить любые манипуляции с системными структурами жесткого диска. В Unix-подобных операционных системах существует утилита dd (Dataset Definition), которая позволяет обращаться к секторам жесткого диска через использование скриптов [4,5].

Отмеченные особенности позволяют злоумышленнику написать троянскую программу для любой операционной системы, которая будет загружать в MBR-сектор вредоносный код на низкоуровневом языке ассемблера. Последствия исполнения такого кода могут быть самыми различными – низкоуровневое

шифрование диска, блокировка загрузки операционной системы с целью вымогательства и так далее. Кроме того, никто не мешает злоумышленнику стереть содержимое Таблицы разделов и устроить атаку типа «Отказ в обслуживании». Риски увеличивает тот факт, что не все антивирусные программы позволяют следить за состоянием системных структур жесткого диска. Это затрудняет возможность распознать угрозу в случае срабатывания троянской программы.

Помимо потенциально возможных противоправных действий злоумышленников возможны системные ошибки при работе со специальными программами для конфигурирования жестких дисков. К ним относятся штатный менеджер дисков в Windows и продукты сторонних компаний, например Acronis Disk Director, Gnome Partition Editor и другие. К категории подобных программ относятся и специальные hex-редакторы, которые позволяют администраторам просматривать и модифицировать коды на жестком диске. Примерами таких программ являются WinHex, HxD, Acronis DiskEditor [2].

Таким образом, и в среде любых операционных систем есть достаточно возможностей для манипуляций с кодами системных секторов жестких дисков. При этом для просмотра или изменения этих структур достаточно прав администратора. Соответственно, существует реальная опасность умышленного или случайного их повреждения. Восстановить же системные структуры, определяющие геометрию и логическую конфигурацию жесткого диска – это задача, подвластная только профессионалам.

#### Уязвимость расширенного раздела

Другой блок уязвимостей связан со структурой расширенного раздела. Системные структуры внутри расширенного раздела не используются Главным загрузчиком при инициализации загрузки операционной системы, но имеет серьезную потенциальную уязвимость. Она может привести к нарушению доступности данных, содержащихся во всем расширенном разделе или в его отдельных логических дисках.

Доступ к логическим дискам внутри расширенного раздела осуществляется последовательно, по цепочке ссылок EPR-секторов. В случае потери такого сектора в начале или в середине цепочки доступ ко всем логическим дискам, следующим за ним, будет невозможен.

Например, при потере EPR-таблицы в первом EPR-секторе пользователь теряет доступ к логическому диску №1, на который непосредственно ссылается сектор и также потеряется ссылка доступа к EPR-сектору №2. Это приведет к потере информации о логическом диске №2 и следующих в цепочке EPR-секторах с информацией об их логических дисках. Иллюстрация описанной уязвимости показана на рисунке 6.



Рисунок 6 – Уязвимость расширенного раздела

Получить доступ к EPR-секторам можно через использование API операционных систем, а так же через дисковые менеджеры и hex-редакторы. Все перечисленное делает обнаруженную уязвимость не менее актуальной.

#### Предлагаемое решение проблемы уязвимости системных структур

Гарантированно защититься от всех перечисленных угроз можно, если заранее проводить резервное копирование информации из системных дисковых структур на внешние носители с возможностью их дальнейшего восстановления. Но, для реализации такого ручного способа защиты нужны профессиональные навыки низкоуровневого администрирования, знание форматов системных структур, владение дисковыми менеджерами и редакторами для работы с информацией в секторах жесткого диска, умение интерпретировать информацию на уровне hex-кодов. Что практически нереально не только для обычных пользователей, но и для большинства системных администраторов.

Все перечисленное приводит к необходимости разработки программного средства, которое будет автоматически решать эту задачу вне зависимости от квалификации персонала.

На кафедре «Вычислительные системы, сети и информационная безопасность» РУТ (МИИТ) разрабатывается специальный программный комплекс Disk Struct Saver, который позволяет выполнять автоматическое резервное копирование системных дисковых структур в файл внешнего носителя и, при необходимости, восстановление информации в системных структурах [6].

Программный комплекс позволяет производить сохранение и восстановление системных структур от одного до трех жестких дисков компьютера и имеет дружелюбный пользовательский интерфейс. Особенностью комплекса является обеспечение создания пользователю загрузочного носителя с операционной системой реального режима для использования прямых обращений к секторам жесткого диска в процессе работы программы. Дополнительный функционал комплекса должен обезопасить последний этап загрузки операционной системы с жесткого диска, обеспечив сохранение и возможность восстановления загрузочных секторов операционных систем.

#### Литература

1. Кулаков В.Г. Программирование на аппаратном уровне. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2003, -848 стр.
2. Ларина Т.Б. Дисковые структуры операционных систем. Учебное пособие. - М.:МИИТ, 2011, - 173 с.
3. Ларина Т.Б. Использование системного сервиса в ассемблерных программах. Учебное пособие. - М.:МИИТ, 2008, - 132 с.
4. The Win32 API reference documentation [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/api/> (дата обращения 21.04.2020)
5. IBM Developer Россия: Техническая библиотека [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/views/global/libraryview.jsp> (дата обращения 15.04.2020)
6. Падалка М.Н. Защита системных структур жестких дисков компьютеров транспортных предприятий. / Развитие транспортных систем: сборник научно-исследовательских работ студентов. /Сост. Е.В. Копылова. – М.: Белый ветер, 2020. - с. 117 – 126

#### ПАТЕНТНАЯ АНАЛИТИКА НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ВЕДУЩИХ ВУЗОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Мазур З.Ф., Мазур Н.З.\*

НОЧУ ДПО «Тольяттинский институт технического творчества и патентоведения», \*ООО «ВКО-ИНТЕЛЛЕКТ»  
+7 (902) 339-20-42, [tittip@yandex.ru](mailto:tittip@yandex.ru)

В статье проанализирована динамика получения патентов вузами Самарской области, составлены гистограммы по результатам исследования, выявлены вузы с наибольшей и наименьшей патентной активностью. Рассмотрена политика государства в отношении высших учебных заведений и изучены причины, влияющие на их научно-исследовательскую и инновационную деятельность.

Ключевые слова: патент, инновационная деятельность вузов, исследование, научная продуктивность, изобретательская активность.

Patent analysis of scientific achievements of leading universities of the Samara Region. Mazur Z.F., Monakhova V.P. NEPI APE «Togliatti Institute of technical creativity and patenting»

The article analyzes the dynamics of obtaining patents by universities of the Samara region, compiles histograms based on the results of the study, identifies universities with the highest and lowest patent activity. The policy of the state in relation to higher education institutions is examined and the reasons affecting their research and innovative activities are studied.

Keywords: patent, university innovation, research, scientific productivity, inventive activity.

#### Введение

Научно-исследовательская и инновационная деятельность вузов в идеальном результате оформляется в виде закрепления прав на объекты интеллектуальной собственности, т.е. патентов. Это делается не только с целью развития научной, образовательной и инновационной деятельности, реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, но и для повышения самофинансирования вузов от продажи патентов и лицензий. Данные средства используются в проведении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работах.

Именно в вузах происходит расширение знаний, развитие науки, можно сказать, что вузы являются одним из источников инновационного развития страны. Вузы, как ни один другой социальный институт, «могут автономно обеспечить весь инновационный цикл: от проведения научных исследований до внедрения инновационной продукции на промышленных предприятиях, а также могут обеспечить и эксплуатацию этой продукции подготовленными кадрами» [1].

Государство, последнее время не только поддерживает, но и стимулирует вузы к научно-исследовательской работе для повышения модернизации, экономики и технологического развития страны

в целом. Это проявляется в утверждении Указа Президента РФ № 899 «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации» [2]; Федерального закона № 217-ФЗ, который позволяет создавать при вузах малые инновационные предприятия [3]; Постановлении Правительства РФ № 218 направленного на кооперацию вузов и организаций [4], что дает бюджетное финансирование вузам на конкурсной основе в порядке очереди и т.д.

#### Постановка проблемы

В связи с расширением возможностей вузов на законодательном уровне стали набирать актуальность аналитические исследования научной продуктивности российских университетов. Так, например, аналитический центр «Эксперт» стал публиковать рейтинги изобретательской активности отечественных университетов с 2016 года. Последнее исследование 2019 года показало, что второй год подряд общее число полученных патентов сокращается. «Четкого ответа, с чем связана негативная динамика, нет. Вероятно, одной из причин мог стать отказ отдельных университетов от патентов в пользу практики ноу-хау. Другая возможная причина – смещение фокуса научных сотрудников с изобретений на публикации. Кроме того, есть основания полагать, что высшая школа стала более внимательно относиться к своей интеллектуальной собственности. В результате ряд учебных заведений изменили стратегию и сделали ставку не на число, а на ценность патента» [5] – говорится в статье АЦ «Эксперт».

#### Решение

На основе рейтинга изобретательской активности отечественных вузов от АЦ «Эксперт», мы решили провести подобное, но локальное исследование научных достижений ведущих вузов Самарской области. Для прослеживания патентной активности мы выбрали пять вузов: Тольяттинский государственный университет, Поволжский государственный университет сервиса, Самарский государственный медицинский университет, Самарский государственный аграрный университет и Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, так как они активно занимаются научно-инновационной деятельностью. Далее по патентной базе ФИПС проводился поиск патентов, патентообладателями которых являются вышеперечисленные университеты. Затем данные были записаны в таблицу и построены гистограммы, показывающие патентную активность ведущих вузов Самарской области.

Данное исследование основано на решении двух задач. Первая – проанализировать патентную активность ведущих вузов Самарской области с 2013 по 2019 гг. Вторая – выявить долю патентов, технические решения которых заключается в применении информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и определить соотношение общего количества патентов к патентам с применением ИКТ.

Тольяттинский государственный университет (ТГУ) с 2013 по 2019 гг. активно занимается патентованием своих разработок и получает не менее 10 патентов каждый год (Рис. 1).

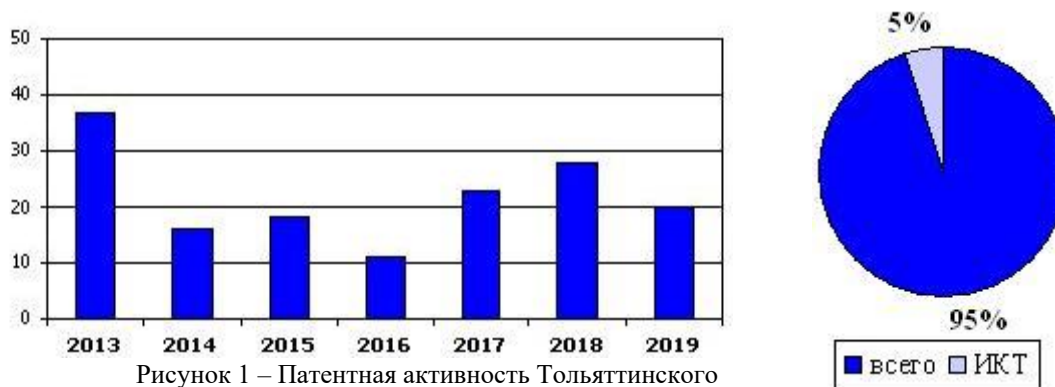


Рисунок 1 – Патентная активность Тольяттинского государственного университета (ТГУ)

К тому же, за последние три года количество получаемых патентов в год увеличилось в 2 раза. Причиной подъема в таком случае могут являться как рост перечня малых инновационных предприятий с участием ТГУ (25 МИП) [6], так и уменьшение накладных расходов по НИОКР и услугам научно-исследовательской части. Доля патентов, полученных на технические решения, применение которых основано на ИКТ, равна 5% от общего числа патентов ТГУ с 2013 по 2019 гг.

В нашем исследовании Поволжский государственный университет сервиса это университет с самой низкой патентной активностью, где ежегодно публикуется только один патент (Рис. 2). При этом в Поволжском университете есть студенческое конструкторское бюро и грантово-проектная деятельность. Такой результат можно объяснить направленностью университета не на разработку, а на обслуживание, диагностику и управление техническими объектами, что подтверждается регистрацией программ для

ЭВМ. Доля патентов, полученных на технические решения, применение которых основано на ИКТ равна 18% от общего числа патентов.

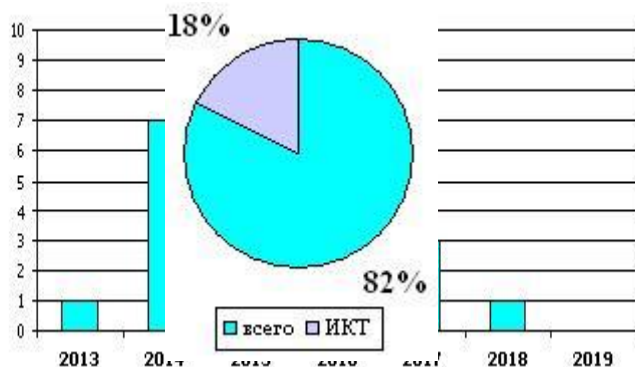


Рисунок 2 – патентная активность Поволжского государственного университета сервиса (ПВГУС)

Самарский государственный медицинский университет имеет достаточно большое количество патентов, т.е. в год публикуется не менее 40 патентов (Рис. 3). Спад на гистограмме 2013-2016 гг. можно объяснить изменениями и адаптацией к новой политике инновационной деятельности университета. Так, в конце 2014 года было подписано Соглашение о создании инновационного территориального кластера медицинских и фармацевтических технологий Самарской области и принята Программа развития Кластера на 2015-2020 гг [7] и организован Институт инновационного развития. Несмотря на достаточно большое количество получаемых патентов, применение ИКТ есть всего лишь у 4%.

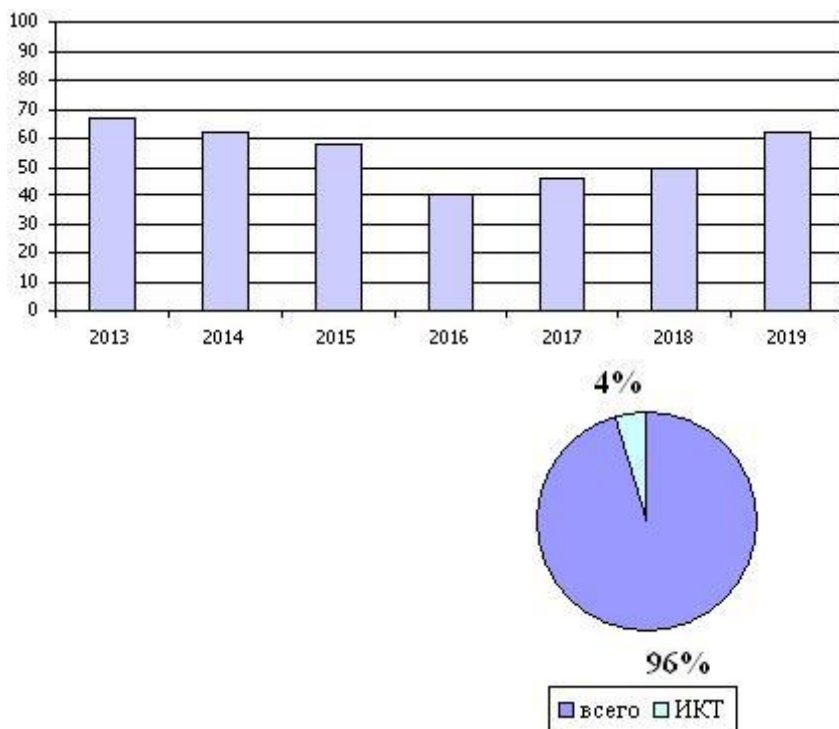


Рисунок 3 – патентная активность Самарского государственного медицинского университета (СамГМУ)

При Самарском государственном аграрном университете работает научный отдел, который осуществляет реализацию научно-исследовательской и инновационной деятельности университета; проводит мониторинг публикационной деятельности, а также способствует развитию и совершенствованию публикационной активности сотрудников университета; осуществляет патентно-лицензионную деятельность. Так, сотрудники активно участвуют в изобретательстве – ими получено более 200 авторских свидетельств и патентов на изобретение, 74 удостоверения на рационализаторское предложение [8], а патентная активность, по результатам нашего исследования, является стабильной, т.е. частота патентных публикаций университета – около 20 в год. Также университет выпускает ежегодный каталог инновационных разработок. Запатентованные технические решения с применением ИКТ – 11%

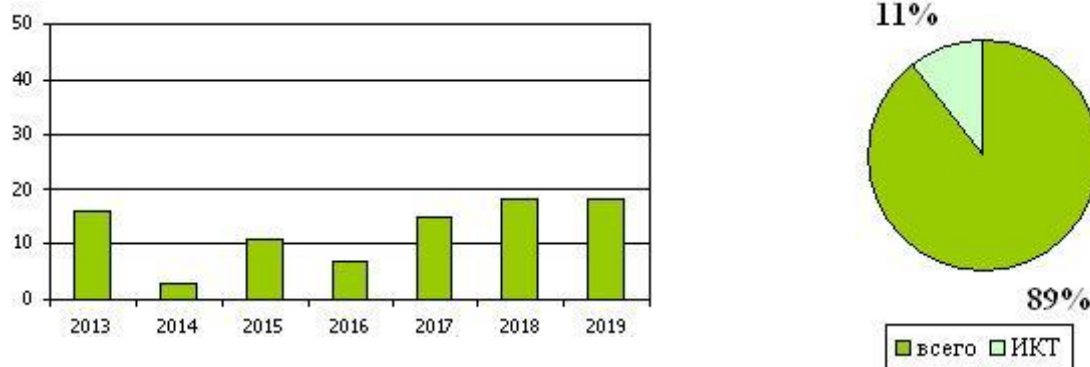


Рисунок 4 – патентная активность Самарского государственного аграрного университета (СамГАУ)

Самарский национальный исследовательский университет является активным участником ряда национальных стратегических инициатив, направленных на развитие научно-образовательного потенциала ведущих российских вузов. Пик патентной активности данного университета приходится на 2016 год (Рис. 5). На наш взгляд это влияние политики инновационного развития в вузе. Затем спад публикаций свидетельствует о переходе акцента с количества публикаций в качество патентов, т.е. университет старается избегать «пустых» патентов и переходить к управлению проектами, ориентируя их на потребности рынка.

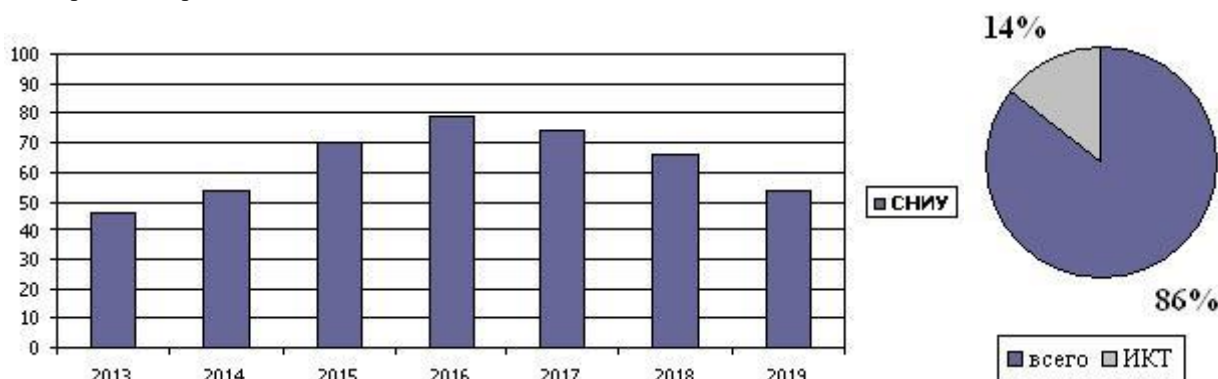


Рисунок 5 – патентная активность Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева (СНИУ)

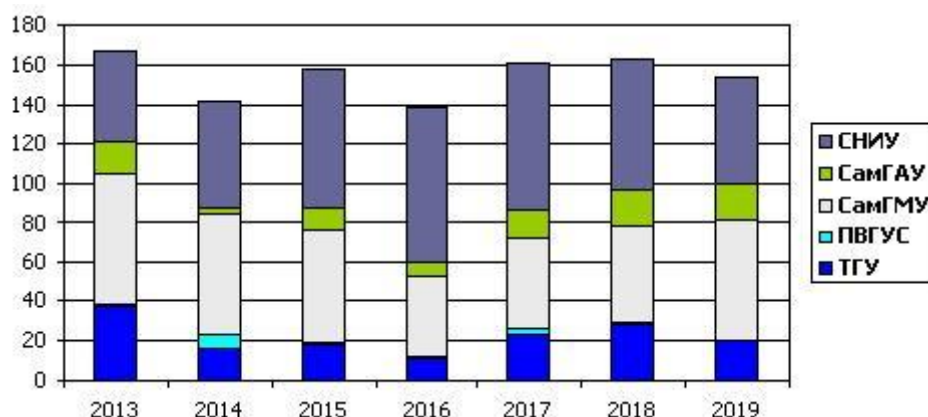


Рисунок 6 – совместная патентная активность ведущих вузов Самарской области

#### Выводы

В последней гистограмме, для получения общей картины, мы объединили все полученные данные по патентной активности ведущих вузов Самарской области (Рис. 6). Получившаяся гистограмма

показывает практически стабильную патентную активность по Самарской области в пределах от 140 до 160 патентов в год. Можно сказать, что законы, стимулирующие научно-исследовательскую и инновационную деятельность вузов, работают на стабильный результат, направлены на поддержание определенного количества патентов – ни резкого движения вверх, ни значительного падения вниз.

Таким образом, составив гистограммы и проанализировав данные патентной активности ведущих вузов Самарской области, мы выявили вузы с невысокими показателями. По нашему исследованию, такими вузами являются Поволжский государственный университет сервиса, Тольяттинский государственный университет и Самарский государственный аграрный университет, где количество патентов не превышает 20 в год. Этим вузам необходимо провести инвентаризацию научных работ, так как в них могут содержаться патентоспособные решения, а также усилить работу по подаче заявок на патенты и разработать патентную политику и стратегию. Наши рекомендации руководству вузов с невысокой патентной активностью – обратить внимание на мотивацию разработчиков новой техники и технологии, что поможет усилить патентную активность данных вузов.

#### Литература

1. Владимиров А.И. Об инновационной деятельности вуза. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2012. – С. – 37.
2. Указ президента РФ от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации (с изменениями на 16 декабря 2015 года) // <http://docs.cntd.ru/document/902287707>
3. Федеральный закон от 02.08.2009 № 217-ФЗ «О ведении гражданами садоводства и огородничества для собственных нужд и о внесении изменений в отдельные акты РФ» // [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_221173/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221173/)
4. Постановление Правительства РФ от 09.04.2010 № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, в рамках подпрограммы "Институциональное развитие научно-исследовательского сектора" государственной программы Российской Федерации "Развитие науки и технологий" на 2013 - 2020 годы // <http://www.p218.ru/aboutpr>
5. Рейтинг изобретательской активности вузов – 2019: [Электронный ресурс] // Аналитический центр «Эксперт». 2015- 2020. URL: <http://www.acexpert.ru/analytics/ratings/rejting-izobretatelskoj-aktivnosti-vuzov---2019.html>. (Дата обращения: 02.06.2020).
6. Список малых инновационных предприятий – 2020: [Электронный ресурс] // Тольяттинский государственный университет. 2020. URL: <https://www.tltsu.ru/uscience/scientific-innovative-activity/small-innovative-enterprises/> (Дата обращения: 02.06.2020).
7. Инновационный территориальный кластер медицинских и фармацевтических технологий Самарской области – 2020: [Электронный ресурс] // Самарский государственный медицинский университет. 2020. URL: <http://www.samsmu.ru/clusters/innocluster/> (Дата обращения: 02.06.2020)
8. Инженерный факультет : [Электронный ресурс] // Самарский государственный аграрный университет. 2020. URL: <http://www.ssaа.ru/87-podrazdeleniya/fakultety> (Дата обращения: 02.06.2020)

#### МЕТОД ЗАЩИТЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМНЫХ СТРУКТУР НА ЖЕСТКИХ ДИСКАХ

Ларина Т.Б., Падалка М.Н.  
Российский университет транспорта (РУТ-МИИТ), г. Москва  
+7 (916) 427-23-34 , [tblarina@gmail.com](mailto:tblarina@gmail.com)

В статье изложены результаты разработки программного комплекса для автоматического резервного копирования и восстановления содержимого системных структур жестких дисков компьютеров, участвующих в процессе загрузки дисковых операционных систем. Обеспечивается сохранение информации о логической конфигурации жестких дисков, исполняемые коды этапа инициализации загрузки операционных систем.

Ключевые слова: компьютерная безопасность, уязвимость, системные структуры жестких дисков, загрузка операционных систем.

Method of protecting and restoring system structures on hard disks. Larina T.B., Padalka M.N. Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

The article describes the results of the development of a software package for automatic backup and recovery of the contents of system hard disk structures of computers involved in the process of loading disk

operating systems. It provides saving information about the logical configuration of hard drives, executable codes of the boot initialization phase of operating systems.

Keywords: computer security, vulnerability, hard disk system structures, booting of operating systems.

#### Введение

Анализ уязвимостей системных структур жесткого диска и алгоритма загрузки дисковых операционных систем показывает на две большие категории угроз [1,2]. Это ошибки, вызванные действиями пользователя или системой и действием вредоносного программного обеспечения. К опасным уязвимостям системных дисковых структур следует отнести:

- потерю кодов в секторе MBR, что не позволит определить логическую конфигурацию жесткого диска с MBR-разметкой и выполнить загрузку операционной системы;
- ошибки Таблицы разделов, которые приведут к невозможности загрузки системы или повлекут потерю доступа к разделам диска с данными;
- потерю звена EPR-цепочки расширенного раздела, что повлечёт потерю доступа к данным во всех логических дисках внутри расширенного раздела, начиная с утраченного сектора.

Проблему защиты указанных системных структур можно гарантированно решить только с помощью резервного копирования информации из системных дисковых структур на внешние носители с возможностью их дальнейшего восстановления. Чтобы делать это вручную, требуются профессиональные знания форматов дисковых системных структур, навыки работы с дисковыми редакторами, умение интерпретировать информацию в секторах на уровне hex-кодов. Поэтому разработка программного средства для автоматического решения этой задачи является крайне актуальной.

#### Структура программного комплекса

На кафедре «Вычислительные системы, сети и информационная безопасность» РУТ (МИИТ) разработан специальный программный комплекс, предназначенный для работы с системными структурами жестких дисков. В состав комплекса входят три компонента: Disk Struct Saver, HD Locker и HD Opener.

Основной программой является низкоуровневая утилита Disk Struct Saver, которая выполняет автоматическое резервное копирование системных дисковых структур в файлы внешнего носителя и, при необходимости, восстановление информации в системных структурах [3].

Программа HD Locker реализует программный замок, при необходимости скрывающий доступ к информации на жестких дисках. Программа HD Opener открывает доступ к жесткому диску.

#### Функционирование утилиты Disk Struct Saver

Программа производит резервное копирование системных структур от одного до трех жестких дисков компьютера по выбору пользователя. Системные структуры каждого диска сохраняются в отдельные файлы, имена которых задаются пользователем. Программа написана на языке ассемблера для процессоров архитектуры x86 и имеет консольный интерфейс.

Для работы программы требуется загрузочный флэш носитель с операционной системой реального режима, поскольку низкоуровневый код программы использует системное программное прерывание INT13 для прямой записи и чтения секторов жесткого диска [4,5]. В программном комплексе предусмотрена возможность создания такого носителя с операционной системой Free DOS для пользователя.

Общий алгоритм утилиты показан на рисунке 1.





Рисунок 1 – Содержательный алгоритм программы Disk Struct Saver

Продемонстрируем работу программы Disk Struct Saver на реальном компьютере с двумя жёсткими дисками следующей логической конфигурации (рис.2):

- системный жесткий диск с одним основным активным разделом C: с каталогом операционной системы;
- пользовательский жесткий диск с двумя основными разделами – E: и G: и расширенным разделом с двумя логическими дисками – H: и F:.

Раздел	Флаги	Емкость	Свободно	Тип
<b>Диск 1 Системный HD</b>				
Системный диск (C:)	Осн.,Акт.	74,53 Гб	49,01 Гб	NTFS
<b>Диск 2 HD с пользовательскими данными</b>				
Диск для данных (E:)	Осн.,Акт.	65,08 Гб	65 Гб	NTFS
FAT16 (H:)		1,716 Гб	1,716 Гб	FAT16
FAT16 (G:)	Осн.	1,762 Гб	1,762 Гб	FAT16 (LBA)
FAT32 (F:)		5,96 Гб	5,948 Гб	FAT32
<b>Диск 3 Флешка с утилитой DSS</b>				
STARTUP (I:)	Осн.,Акт.	3,708 Гб	2,942 Гб	FAT16

Логические диски в расширенном разделе

Рисунок 2 – Логическая конфигурация жестких дисков для проведения экспериментов

После запуска программы запросим сохранение системных структур жестких дисков: системного диска - в файл f1, пользовательского диска – в файл f2 (рис.3).

```

C:\DSS>dss.exe
Welcome to the Disk_struct_saver!
Menu:
1-Save disk_struct in file
2-Download disk_struct from file
3-Exit
Input>>1  Режим сохранения дисковых структур
Input count of recovery disk (max - 3)
Input>>2  Количество дисков для обработки
Input file name!Max lenght - 6 symbols
Input>>f1
Disk structs was save in file
Input file name!Max lenght - 6 symbols
Input>>f2
Disk structs was save in file
Press Enter to exit
    
```

Рисунок 3 - Создание резервных копий дисковых структур

Теперь преднамеренно реализуем уязвимость системных структур расширенного раздела. Дисковым редактором испортим первый EPR сектор расширенного раздела, заполнив нулями его EPR-таблицу (рис.4).

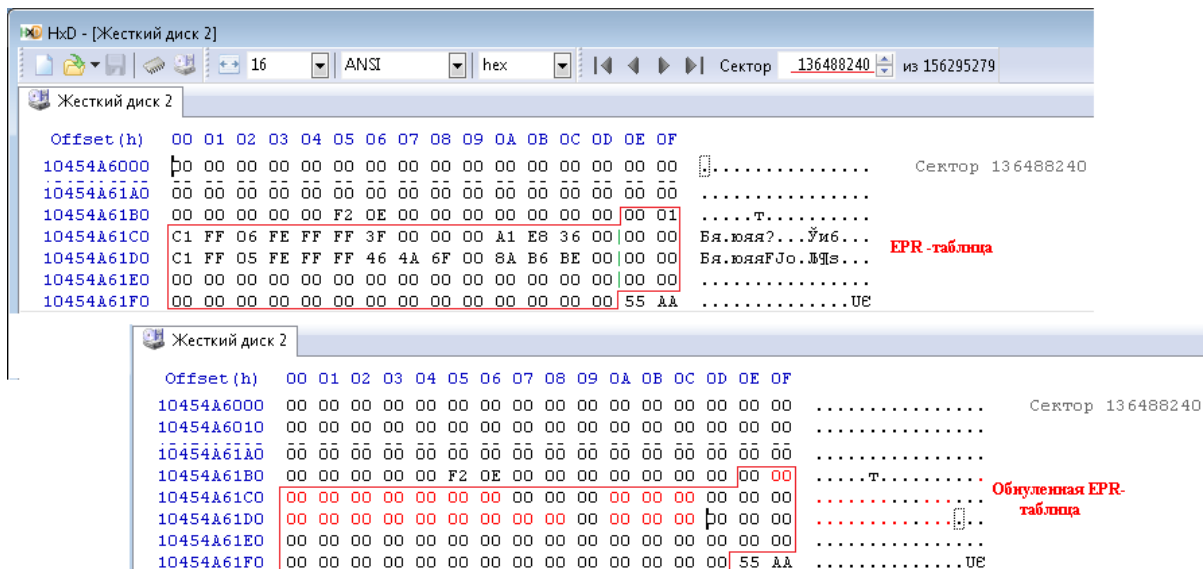


Рисунок 4 – Первый EPR сектор расширенного раздела с EPR – таблицей до и после ее обнуления

Ожидаемым результатом после перезагрузки компьютера будет потеря доступа ко всем логическим дискам в расширенном разделе (рис.5).

Раздел	Флаги	Емкость	Свободно	Тип	
<b>Диск 1</b>					
Системный диск (C:)	Осн.,Акт.	74,53 Гб	49,01 Гб	NTFS	
<b>Диск 2</b>					
Диск для данных (E:)	Осн.,Акт.	65,08 Гб	65 Гб	NTFS	
Незанято		1,716 Гб		Незанято	Логические диски в расширенном разделе после потери первого EPR-сектора
FAT16 (G:)	Осн.	1,762 Гб	1,762 Гб	FAT16 (LBA)	
Незанято		5,96 Гб		Незанято	
<b>Диск 3</b>					
STARTUP (I:)	Осн.,Акт.	3,708 Гб	2,942 Гб	FAT16	

Рисунок 5 – Потеря доступа к логическим дискам расширенного раздела

Теперь реализуем вторую уязвимость. Обнулим коды в MBR-секторе системного диска с помощью дискового редактора. Ожидаемым результатом будет невозможность загрузки операционной системы с жесткого диска (рис.6).

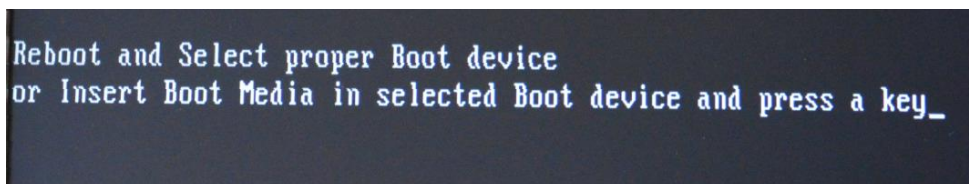


Рисунок 6 – Потеря активного раздела для загрузки операционной системы

Теперь произведём восстановление утраченных дисковых структур на обоих жестких дисках с помощью программы Disk Struct Saver. В режиме восстановления введём имена файлов с резервными копиями структур (рис.7).

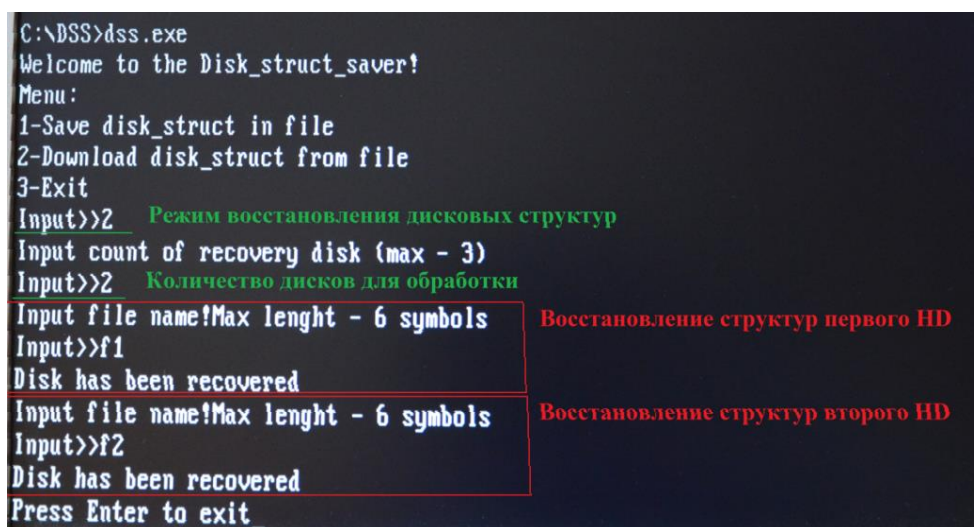


Рисунок 7 – Восстановление дисковых структур из файлов

Перезагрузим компьютер, выбрав восстановленный жесткий диск в качестве источника загрузки операционной системы. Как видно на рисунке 8, системные структуры были успешно перезаписаны и работоспособность компьютера восстановлена.

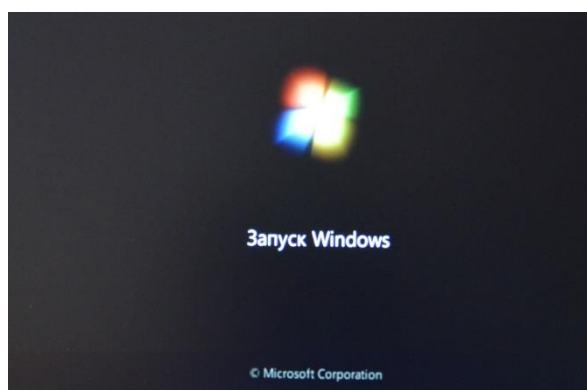


Рисунок 8 – Работоспособность компьютера после восстановления MBR-сектора

Доступ к логическим дискам внутри расширенного раздела так же был восстановлен (рис.9).

Раздел	Флаги	Емкость	Свободно	Тип
<b>Диск 1</b>				
Системный диск (C:)	Осн.,Акт.	74,53 Гб	49,01 Гб	NTFS
<b>Диск 2</b>				
Диск для данных (E:)	Осн.,Акт.	65,08 Гб	65 Гб	NTFS
FAT16 (H:)		1,716 Гб	1,716 Гб	FAT16
FAT16 (G:)	Осн.	1,762 Гб	1,762 Гб	FAT16 (LBA)
FAT32 (F:)		5,96 Гб	5,948 Гб	FAT32
<b>Диск 3</b>				
STARTUP (I:)	Осн.,Акт.	3,708 Гб	2,942 Гб	FAT16

Доступ к потерянным логическим  
дискам в расширенном разделе  
восстановлен

Рисунок 9 – Доступность логических дисков расширенного раздела

#### Заключение

В качестве перспективы развития комплекса планируется расширение его функционала следующими возможностями:

- сохранение и восстановление загрузочных секторов разделов операционных систем для защиты последнего третьего этапа загрузки операционных систем;
- реализация версии программы HD Locker для Unix подобных операционных систем;
- разработка версии комплекса для исполнения в 32-х и 64-разрядных режимах процессоров x86, GPT-разметкой жестких дисков и использованием API операционных систем.

#### Литература

1. Ларина Т.Б., Падалка М.Н. Анализ уязвимостей системных дисковых структур операционных систем. //Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции. /под. ред. С.У.Увайсова. – Москва, Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2020.
2. Ларина Т.Б. Дисковые структуры операционных систем. Учебное пособие. - М.:МИИТ, 2011, - 173 с.
3. Падалка М.Н. Защита системных структур жестких дисков компьютеров транспортных предприятий. / Развитие транспортных систем: сборник научно-исследовательских работ студентов. /Сост. Е.В. Копылова. – М.: Белый ветер, 2020. - с. 117 – 126
4. Кулаков В.Г. Программирование на аппаратном уровне. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2003, -848 стр.

#### РОЛЬ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ РАБОТЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Бушмелева К.И., Майоров В.В.  
Сургутский государственный университет  
bkiya@yandex.ru, maiorov64@list.ru

Рассмотрены принципы контроля знаний, основные причины оценки эффективности обучения на предприятии. Определены задачи ИТ-служб и преимущества дистанционного обучения.

Ключевые слова: Корпоративные системы дистанционного обучения, проверка знаний, качество обучения, профессиональные навыки, управление развитием персонала.

Role Of Distance Learning Of Personnel In Work In The Enterprise. Bushmeleva K.I., Maiorov V.V., Surgut State University.

The principles of knowledge control, the main reasons for assessing the distance learning effectiveness in the companies are discussed in the article.

Keywords: corporate systems of distance learning, knowledge test, quality of distance learning, professional skills, personnel development management.

В настоящее время технологии дистанционного обучения проникли практически во все сферы образования (школы, университеты, корпорации и др.). Тысячи компаний и университетов тратят большую часть своих ресурсов на такие проекты [1].

Существуют различные подходы к оценке эффективности различных систем обучения. Остановимся сначала на тех, которые позволяют оценить относительную эффективность на основе анализа технологий обучения.

Таким образом, можно выделить следующие основные процессы, определяющие эффективность исследуемой системы обучения в целом: методология формирования системы знаний, методология формирования профессиональных умений, рентабельность образовательного процесса и взвешенная стратегия ценообразования на обучение.

Применение информационных технологий к традиционной организации учебного процесса на производстве позволяет сделать обучение более управляемым и проводить тестовый контроль. Автоматизация процесса тестирования позволяет снизить трудозатраты за счет сокращения количества времени на формирование тестов и процесс контроля знаний. Компьютерный контроль знаний позволяет разгрузить преподавателя от рутинной проверки контрольных заданий, позволяет быстро и оперативно проводить опрос, обеспечивая хорошую обратную связь преподавателя с обучающимися.

Кроме того, компьютерное тестирование может проводиться так часто, как это необходимо учителю. Каждый испытуемый выполняет тестовые задания так быстро, как ему удобно. В конце теста делается объективная оценка, которая не зависит от настроения преподавателя, от его отношения к конкретному ученику, от впечатления от ответов на предыдущие вопросы и т. д. Тестирование должно быть простым и универсальным средством проведения контроля знаний в любом направлении, независимо от предмета тестирования.

В системах дистанционного обучения, используются следующие принципы контроля знаний:

- оценка действий студента и определение уровня его знаний по знаниям предметной области и правилам оценки действий студента;
- стандартизированный контроль знаний по выборке специальных заданий и его ответов на них (тест).

Классификация технологий тестирования может быть следующей: адаптивное тестирование; WWW-тестирование; мобильное тестирование.

Современное тестирование характеризуется интенсивной заменой классических тестов и классического тестирования так называемыми "адаптивными тестами" или "тестами с изменяющейся структурой".

Адаптивное тестирование определяется М. Б. Чельшковой, как "совокупность процессов генерации, представления и оценки результатов адаптивных тестов, обеспечивающая повышение эффективности измерений по сравнению с традиционным тестированием за счет оптимизации подбора характеристик заданий, их количества, последовательности и скорости представления применительно к особенностям подготовки теста" [2].

Адаптивное тестирование должно отвечать следующим требованиям:

1. Регулируемые пропорции легких, средних и сложных заданий в зависимости от количества правильных ответов испытуемых.
2. Регулируемые пропорции различных тематических разделов учебной программы в тесте.
3. Корректировка уровня сложности тестов с учетом семантической компетентности тестируемого.

Институт точной механики и оптики (Санкт-Петербург) разработал систему тестирования на базе портативных персональных компьютеров пользователей и удаленного сервера баз данных (тестов). Принципы обучения активно используются за рубежом и стали применяться в нашей стране (например, в интернет-университете информационных технологий <http://www.intuit.ru>).

Сформулированы некоторые правила, позволяющие перейти от методических положений к более конкретным критериям оценки сравнительной эффективности систем обучения.

Система обучения более эффективна по сравнению с другой, если учебная нагрузка студента в рассматриваемый период (семестр, год) в этой системе будет более равномерной, чем в сравниваемой. Это утверждение основано на том, что в большинстве случаев невозможно сформировать систему знаний с неравномерной тренировочной нагрузкой (например, только во время занятий). Система обучения является более эффективной, чем другая, если отношение количества часов занятий, формирующих навыки и профессиональные навыки, к общему количеству занятий больше, чем такое же отношение в сравниваемой системе. Иными словами, для формирования профессиональных навыков необходимо проводить достаточное количество практических занятий, тренингов, деловых игр и других мероприятий, в которых отрабатываются сложные профессиональные навыки. С учетом внедрения интерактивных сетевых заданий в технологии дистанционного обучения соотношение практических занятий к общему количеству часов становится достаточно высоким и приближается к показателям очной формы обучения. Особенности организации и проведения дистанционного обучения не позволяют повысить значение этого показателя до приемлемого уровня. В среднем отношение количества часов практических занятий к

общему количеству часов, отведенных на изучение дисциплины для различных форм обучения распределяется, следующим образом: очная-до 40%, заочная-до 10%.

Система обучения должна быть экономически эффективной при разумной ценовой политике.

Существует три основных причины оценки эффективности обучения в компаниях:

- обучение является бизнес-инструментом, одним из проектов, реализуемых организацией с целью повышения ее производительности и рентабельности;
- обоснование целесообразности затрат на обучение требует его количественного анализа;
- оценка эффективности помогает разработчикам совершенствовать учебные материалы, так как формальная оценка базы данных на предмет изменений крайне субъективна.

Оценка эффективности помогает выбрать оптимальный метод обучения [1]. Эти факторы включают: интерактивность, запоминаемость, гибкость в использовании, помощь и доступность.

Внедрение интерактивности в учебный процесс делает участие студента более активным, заставляет его стремиться к достижению максимальных результатов. Интерактивность также помогает учителям включать в курс более сложные материалы. Интерактивность может сочетаться с имитацией учебной среды, которую учащиеся должны испытать.

Чтобы лучше запомнить, учащиеся должны чувствовать важность изучаемого материала. Это также помогает структурировать названия изучаемых тем, обеспечивая сохранение необходимой информации в памяти. А это, в свою очередь, повышает вероятность того, что они будут применять свои знания в будущих реальных проектах. Кроме того, организация рубрик помогает избежать повторений, которые часто снижают эффективность электронного обучения.

Гибкость в использовании. Подобные системы должны предусматривать подготовку персонала с различным уровнем подготовки и различными возможностями. Необходимо, чтобы обучаемые могли легко перемещаться по учебному курсу, контролировать свое движение, а также могли вернуться в то положение, в котором они находились на предыдущем сеансе отсылки к учебному курсу.

По мере развития компании содержание курса редко остается неизменным, поэтому средства обучения должны позволять изменять содержание обучения. Возможность таких изменений должна быть включена в инструменты обучения с самого начала. Само изменение должно планироваться и контролироваться [1].

Поскольку электронное обучение обычно проводится индивидуально, необходимо, чтобы система обучения оказывала помощь учащимся. Им нужны инструкции по курсу, навигационные средства, подсказки для выполнения задач, ссылки для получения определений, поддержка в случае технических проблем и т.д.

Если учебные материалы доступны в Интернете, необходимо обеспечить, чтобы эти материалы можно было использовать вне работы. Для тех предприятий, которые испытывают трудности с доступом в Интернет, для студентов, которые хотят изучать материал дома, и для технического персонала, который нуждается в справочных материалах за пределами предприятия, вы можете предоставить версию учебного материала на компакт - диске.

Модель Киркпатрика, только обеспечивает основу для оценки производительности, но не предлагает никакого метода или решения. Поэтому для дальнейшего анализа следует использовать следующие дополнительные данные: эффективность использования средств; эффективность учебного процесса; соответствие требованиям к обучению.

Гибкий график тренировок. Сотрудники компании могут пройти обучение в любое время: на рабочем месте, дома или в отпуске. Просто зайдя в свой виртуальный офис, где собраны все необходимые материалы-текстовый и видеоконтент, задания и тесты. График обучения может быть быстро изменен в соответствии с текущей занятостью студента и его скоростью восприятия информации [1].

Качество обучения. Качество подготовки кадров значительно повышается за счет использования современных средств массовой информации, больших электронных библиотек и др.

Упрощается организация занятий. Нет необходимости арендовать или выделять помещение для обучения, оплачивать проезд и проживание сотрудников.

Автоматизация образовательных процессов. Для управления всей учебной деятельностью организации создается единая среда.

Среда электронного обучения позволяет обеспечить доступ к учебным курсам всем сотрудникам компании, из всех филиалов.

Электронное тестирование. Удаленная среда позволяет проводить онлайн тестирование и аттестацию персонала в территориально распределенных филиалах и офисах компании.

Информационные технологии сегодня предоставляют ответственному менеджеру по персоналу широкий спектр методов и приемов организации тестирования знаний на базе компьютера [2].

Онлайн-тестирование можно организовать очень быстро, именно тогда, когда оно наиболее актуально и востребовано.

Поэтому поиск специалистов по разработке и внедрению LMS является приоритетной задачей для менеджеров по персоналу.

Руководство современных компаний задает интенсивные темпы развития, требуя грамотных работников здесь и сейчас. Традиционное очное обучение накладывает ряд ограничений, которые тормозят развитие персонала. Дистанционное обучение предоставляет много новых возможностей.

Сегодня большинство динамично развивающихся компаний пытаются сократить расходы на персонал, не снижая при этом своей эффективности. Одним из путей оптимизации труда является повышение компетентности и профессионализма сотрудников. Для этого можно привлечь новых компетентных сотрудников со стороны или обучить собственные кадры. Сегодня на рынке труда ощущается нехватка квалифицированных специалистов, поэтому предприятия вынуждены чаще, систематичнее и рациональнее прибегать к внутреннему обучению. Однако традиционные внутренние методы обучения и развития персонала не всегда приемлемы — они не позволяют с относительно небольшими усилиями организовать одновременное и равноценное обучение в географически распределенной компании, донести до всех сотрудников знания в нужное время, не дожидаясь появления бюджета и соответствующего очного обучения, создать единое информационное пространство для учебной группы после проведения обучения. Эти задачи можно решить с помощью дистанционного обучения.

Дистанционное обучение характеризуется всеми атрибутами традиционного очного обучения: целями развития, содержанием, учебными материалами, формами проведения, системами мониторинга и оценки результатов [1].

Основными предпосылками внедрения дистанционного обучения в компании являются снижение стоимости обучения за счет командировочных расходов, аренды помещений, учебных материалов, постоянной оплаты труда тренера; отсутствие необходимого количества квалифицированных бизнес-тренеров; возможность обучения на рабочем месте (производстве); возможности обучения в территориально распределенных компаниях.

Задача ИТ – службы:

При внедрении дистанционного обучения ИТ-отделу необходимо создать единое интегрированное решение для управления корпоративным обучением, сочетающее очное и дистанционное обучение, интеграцию с кадровым делопроизводством, корпоративной картой компетенций и квалификаций, существующими средствами связи (почтовая служба, служба коротких сообщений, голосовая почта и др.).

Дистанционное обучение является одним из корпоративных сервисов, предоставляемых пользователям корпоративной системы, поскольку необходимо обратить внимание на эргономику портала электронного обучения, которая должна соответствовать корпоративному стилю (при переходе с корпоративных страниц информационного портала на портал электронного обучения пользователь не должен заметить никакой разницы). ИТ-сервис должен позаботиться о межпортковом взаимодействии на основе технологии единого входа (SSO): переход с разделов корпоративного сайта на портал дистанционного обучения должен осуществляться без повторной авторизации [2].

Дистанционное обучение предоставляет разработчикам тренингов широкие мультимедийные возможности, поэтому необходимо заранее ввести стандарты создания тренинга и установить ограничения по объему и ресурсоемкости обучения. В противном случае компания рискует вскоре получить жалобы пользователей на медлительность и плохую доступность системы. При проектировании дистанционного обучения ИТ-сервис должен учитывать распределение доступности обучающих сервисов для пользователей, так как нерационально приобретать сервер, способный одновременно обучать в системе всех сотрудников компании, скорее всего он будет работать только на 10-30% от возможного потенциала. ИТ-сервис должен обратить внимание на важную особенность данного вида обучения-доступ к системе внешних участников, а не сотрудников компании (тренеров, разработчиков курсов), поскольку доступ к информационному portalу не из корпоративной сети может представлять угрозу безопасности [3].

Открытость системы дистанционного обучения. Основными компонентами системы дистанционного обучения являются содержание учебных курсов и мониторинг результатов обучения, поскольку без первого невозможно обучение, а без второго оно теряет свой смысл.

Корпоративные системы дистанционного обучения обладают широкими аналитическими возможностями для оценки результатов обучения и составления дальнейшей программы развития персонала. После внешнего очного обучения системы дистанционного обучения также должны иметь возможность загружать результаты обучения, предоставленные поставщиком, для дальнейшего анализа. Для подготовки и проведения обучения с использованием виртуальных классов внешнему тренеру может быть предоставлен временный доступ к собственной системе дистанционного обучения.

Эффективное дистанционное обучение. Для обеспечения эффективности дистанционного обучения необходим комплексный подход к повышению квалификации персонала, при котором обучение является неотъемлемой частью, а не отдельной функцией.

Управление развитием персонала должно строиться в соответствии с концепцией развития, где цели компании раскладываются на личные цели сотрудников, достижение которых напрямую влияет на мотивацию. Среди личных целей можно выделить как развитие компетенций для обеспечения производственных потребностей, так и развитие с целью занятия более высокой должности.

Модель мотивации и развития должна быть прозрачной для каждого сотрудника. Персонал должен понимать, что не получив необходимого навыка, он не сможет качественно выполнить поставленную задачу и, соответственно, получит меньший бонус и не обеспечит желаемого продвижения по службе в будущем [1].

Преимущества дистанционного обучения. Основа и сущность дистанционного обучения заключается в независимости учебного процесса от наличия преподавателя и наличия бюджета. Система дистанционного обучения компании позволяет начать образовательный процесс в любое время, поскольку не требует непосредственного присутствия тренера и специальных средств, что позволяет сократить бюджет на обучение и, соответственно, общие корпоративные расходы на персонал.

Важным преимуществом системы дистанционного обучения является возможность участников общаться с учебной группой и преподавателем во время и после обучения в рамках учебных форумов.

Развитию дистанционного обучения в России в ближайшее время благоприятствуют тенденции совершенствования ИТ-составляющей: увеличение пропускной способности каналов связи, общее внедрение и совершенствование корпоративных информационных систем. Проводимая в настоящее время политика сокращения расходов на персонал и соответствующей оптимизации бюджета обучения с одновременной необходимостью территориальной независимости инструкторов и стажеров также является стимулом к внедрению систем дистанционного обучения [1].

Дистанционное обучение все чаще сочетается с очным обучением, в котором используются новые технологические решения, такие как обучающие видео, классы (обучение в виртуальных аудиториях с использованием видеоконференцсвязи). Такие решения позволяют хранить и многократно воспроизводить видеозапись учебного мероприятия, анализировать видео- и аудиозаписи тестов участников, предоставлять единый репозиторий результатов обучения с распределенным доступом, позволяя руководителям выбирать команду.

#### Литература

1. Эффективность систем дистанционного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bookcheba.com/obrazovatelnyie- tehnologii- sovremennyye/ effektivnost- sistem- distantsionno-45297.html> (дата обращения: 19.07.2020).
2. Обзор систем электронного документооборота [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.osp.ru/cio/2008/11/5604754> (дата обращения: 22.07.2020).
3. Система дистанционного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/turbo? text= http%3A%2F%2Fhr- elearning. ru%2Fsystema- distantsionno- obucheniya- per%2F&d=1> (дата обращения: 14.08.2020).

#### ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИДЕЙ ОГАС В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Меденников В.И.

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, ФИЦ ИУ РАН  
+7 (916) 680-73-29, [dommed@mail.ru](mailto:dommed@mail.ru)

Статья посвящена концептуальным проблемам актуализации проекта Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством в СССР (ОГАС) в настоящее время в век цифровой трансформации всей общественной жизни. Показано, что мировые тенденции цифровизации экономики смещаются в сторону данных идей. Проанализированы основные проблемы реализации Программы цифровой экономики на базе проекта ОГАС, хотя основные идеи данного проекта были опробованы еще в рамках программы «Электронизация народного хозяйства».

Ключевые слова: моделирование, цифровая платформа, информационные ресурсы.

Practical implementation of ogas ideas in the era of the digital economy. Medennikov V.I. Computer Center of A.A. Dorodnitsyn of FRC "Computer Science and Control" of RAS.

The article is devoted to the conceptual problems of the implementation of the idea of a nationwide automated system for collecting and processing information for accounting, planning and management of the national economy in the USSR (OGAS) at the present time in the age of digital transformation of all social life. It is shown that the global trends in the digitalization of the economy are shifting towards these ideas. An analysis



of the main problems of the implementation of the digital economy program on the OGAS project is given, although this approach was worked out within the framework of the "Electronization of the National Economy" program.

Keywords: modeling, digital platform, information resources.

#### Введение

09 августа этого года исполнилось 100 лет выдающемуся советскому ученому А.И. Китову, который совместно с академиком В.М. Глушковым предложили еще во второй половине прошлого века правительству страны создать общегосударственную автоматизированную систему сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством в СССР (ОГАС) [1]. Отторжение данного проекта от практической реализации обрек нашу страну на оригинальное, позадачное проектирование информационных систем (ИС) на долгие годы, а сам проект на забвение. Более того – привел к формированию крупных вертикально-интегрированных холдингов, замкнутых на внутренние ресурсы, в том числе и области цифровой экономики (ЦЭ), в которых дорогостоящее оборудование с низким уровнем загрузки (20-30%,) «разбросано» по многочисленным предприятиям. Поскольку цифровизация производства требует скорейшего перехода на современный станочный парк при малой загрузке существующего, то первый этап реализации стратегии цифровизации машиностроения в течение 10 лет предполагает добиться повышения в четыре раза уровня загрузки действующего оборудования с постепенным выводом из эксплуатации устаревшего станочного парка и созданием обрабатывающих центров для выполнения сложных операций, выполнение которых неэффективно или невозможно на существующем оборудовании. И лишь в последующие десять лет предполагаются уже массовые поставки современных цифровизированных станков. Для этого Минпромторг начал формировать единое информационное пространство для своевременного обмена данными между предприятиями.

Понимая важность интеграции и стандартизации информационных ресурсов (ИР) и ИС, Агентство Стратегических Инициатив после принятия Программы цифровой экономики инициировало специальную стратегию по онтологическому моделированию предметных областей большинства отраслей страны в целях эффективной интеграции их ИР и ИС в формируемое единое информационное пространство с последующей разработкой единых стандартов цифровой экономики [2]. Сессия закончилась неудачей в силу сильных корпоративных отраслевых интересов и отличий понимания данной проблемы. Осознают это и некоторые чиновники. Так, в начале 2017г. на обсуждении формирования стратегий реализации основных мероприятий Программы цифровой экономики Пушкин В.М., представитель Аналитического центра Правительства РФ, заявил: «мы не определились с тем, что делать с 5000 федеральных ИС, с 50 000 региональных ИС, которые никак не интегрированы между собой». Так же считает и Минасян К.А., член Коллегии ЕЭК, ответственная за информатизацию: «Мы до настоящего времени делали ИС фрагментарно, если будем делать так и дальше, то в дальнейшем придется все переделывать и вновь разрабатывать, как обычно бывало. С этого момента считаем, что страны за прошедшие годы насыщались вычислительной техникой с соответствующим обучением будущих потребителей ИКТ, теперь же настала пора все делать всерьез».

Забвение ОГАС у нас было настолько сильным, что для России стало откровением высокая оценка вклада идеологов ОГАС в развитие информатизации и интернет-технологий, пришедшая из-за рубежа. Так, недавно вышла книга Тусла Бенджамина Петерса «Как не создавать сеть нации: нелегкая история советского Интернета», с большим уважением повествующая об идеях этих выдающихся ученых-кибернетиков [3]. В США с большим интересом встретили книгу Петерса: «Данная книга ликвидировала пробел в развитии интернета», – заявил профессор Гарвардского университета Джонатан Зиттрейн.

В связи с этим в работе на основе системного осмысления предшествующего опыта информатизации России на примере АПК в комплексе с тенденциями цифровой трансформации развитых стран рассматривается эффективный научный подход к начавшейся цифровизации отраслей в России.

#### Постановка проблемы

Исходя из сильного корпоративного деления экономики страны, из двух полярных подходов к цифровизации: планового (Китай) и рыночного (США), не обладая необходимыми финансовыми средствами для следования по китайскому пути и нужным критическим количеством мощных ИТ-компаний, способных в результате конкурентной борьбы выработать цифровые стандарты, по американскому сценарию, в России приняли решение опереться в цифровой трансформации страны на ряд крупных госкорпораций и профильных ведомств.

Однако, такой подход у специалистов вызвал сомнения в эффективности такого решения:

- остальным непрофильным отраслям, например, АПК придется осуществлять цифровую трансформацию на устаревших, позадачных технологиях в условиях стихийной самоорганизации информационного пространства с непонятными последствиями использования на практике разработанных госкорпорациями цифровых стандартов и платформ ЦЭ;

- будут ли эффективно и по назначению использованы выделенные средства в условиях феодальной (корпоративной) раздробленности исполнителей Программы;

- весь исторический опыт говорит, что при такой корпоративной раздробленности исполнителей Программы без единого проекта формирования цифрового пространства страны на основе единых стандартов, без утверждения генерального конструктора Программы с соответствующей научно-производственной базой выполнение ее будет неэффективно. Интеграция отраслевых цифровых платформ будет очень трудоемка в дальнейшем.

Негативные последствия данного подхода уже ощущаются в настоящее время. Например, не дождавшись общепромышленных рекомендаций по формированию цифровых стандартов и платформ по прошествии трех лет принятия Программы, Минсельхоз России закладывает в концепцию национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство» позадачный подход к разработке подплатформ, которые планируются в основном лишь для решения задач самого Минсельхоза с цифровым разрывом с нижестоящими уровнями. Такой цифровой разрыв выражается в многократном дублировании ввода данных, в онтологической несовместимости информации разных уровней, в отсутствии их интеграции. При этом отсутствует методическое руководство разработкой информационных систем, хотя бы в виде формирования необходимых цифровых стандартов, отдавая проектирование их различным региональным компаниям.

Рыночный же подход к ЦЭ постепенно приводит к концепции интеграции данных и систем. Так, компания J'son & Partners Consulting [4] считает, что в настоящее время в сельском хозяйстве формируются две цифровые платформы (ЦП) на базе облачных технологий: платформы-агрегаторы экономической информации (платформы для сбора и накопления данных первичного учета) и прикладные платформы. При этом считается, что только при облачном подходе будет достигнута наибольшая эффективность цифровизации производства, поскольку в этом случае информация становится доступна для предприятий, как крупных, средних, так и мелких, а не только для отдельных агрохолдингов, что особенно актуально для России с ее большим количеством малых хозяйств. Данная концепция скажется на взаимоотношениях между производителями и партнерами цепочки добавленной стоимости (логистические, оптовые фирмы, розничные сети) за счет реализации облачных технологий модели прямых продаж, когда производитель «наблюдает» за всеми участниками цепочки, вплоть до конечного потребителя, соответственно, сроки, объем и номенклатуру спроса. В этом случае широкое внедрение таких цифровых технологий в любое производство дает возможность осуществить новый тип производственных отношений на предприятиях: от фазы контроля качества после фазы производства к принципу текущего контроля всех производственных операций.

#### Решение проблемы

Впервые ОГАС был предложен в 1962г. руководству страны с намерением сделать из нее общенациональную трехуровневую компьютерную сеть с удаленным доступом на основе телефонных сетей с доступом к каждому предприятию в режиме реального времени. К основному компьютеру в столице должны были подключиться 200 отраслевых, региональных компьютеров, а также через них 20 тысяч компьютерных центров, размещенных в ключевых производствах страны. Одновременно академик В.М. Глушков продумывал кадровое обеспечение разработки и внедрения ОГАС. Так, он способствовал созданию факультета управления и прикладной математики (ФУПМ) в МФТИ для этого, а также соответствующих отделов в профильных НИИ и ВУЗах.

Было бы несправедливо утверждать, что отказ от реализации ОГАС был полным. Отдельные компоненты были реализованы в специальных проектах. В гражданских же интересах данный проект начал реализовываться лишь в эпоху появления персональных компьютеров (ПК) и началом их массового внедрения в стране. Осознание масштаба данного явления двумя великими учеными академиками Н.Н. Моисеевым и А.А. Никоновым позволило договориться с руководством страны об открытии НИИ кибернетики АПК (ВНИИК), ядром которого стала большая команда из 50 выпускников МФТИ как раз факультета ФУПМ. Поэтому ВНИИК основной стратегией информатизации АПК выбрал идеи ОГАС, основными из которых предполагают формирование цифровой платформы единой системы сбора и хранения учетной и статистической отчетности, цифровой платформы типовых прикладных задач в виде ИС. Симбиоз идей ОГАС и системного научного подхода Н.Н. Моисеева к управлению сложными системами позволил ВНИИК применить к проектированию ИС АПК наиболее рациональный подход – разработка комплексных, функционально-полных, типовых ИС на эталонных объектах с последующим тиражированием отработанных, испытанных систем на остальные предприятия, получивший в настоящее время название архитектурного подхода.

Проблема тиражирования систем, ввиду понимания появления большого количества персональных компьютеров в АПК в ближайшие годы, была разрешена путем разработки технологии синтеза оптимальных информационных систем (ТСО ИС), ядром которой являлась математическая модель синтеза ИС [5]. Данная ТСО ИС позволила получить логические структуры (модели) баз данных, типовые

алгоритмы функциональных управленческих задач для большинства отраслей АПК и почти всех агропромышленных предприятий России. Например, на рис. 1 приводится агрегированная информационная модель растениеводства, в составе которой определено 946 атрибутов.



Рисунок 1 – Агрегированная концептуальная информационная модель в отрасли растениеводства

Полученные таким образом логические модели баз данных, типовые алгоритмы функциональных управленческих задач были протестированы, утверждены комиссией министерства и рекомендованы в качестве основного стандарта в АПК. Кроме того, на основе ТСО ИС был разработан еще один цифровой стандарт – универсальная форма представления первичной учетной информации: вид операции, объект операции, место осуществления, субъект операции, время осуществления, длительность осуществления, использованные средства производства, размер операции, вид и размер использованного ресурса (рис. 2).

С принятием Программы цифровой экономики модель ТСО ИС была доработана и обобщена до математической модели разработки ЦП в экономике [6]. ЦП, полученные с ее помощью, интегрируют в единой облачной базе данных (ОБД) информацию первичного учета, служащего основой в дальнейшем бухгалтерского, технологического и статистического учета, отраслей на базе представленной выше унифицированной формы сбора, хранения, передачи и применения ее, единых кодификаторов, нормативов, реестров всех ресурсов (материальных, трудовых, интеллектуальных). Полученные таким образом модели на сегодняшний день могут служить прообразом цифровых стандартов на информационные ресурсы (ИР) и приложения, о которых как раз говорится в [4].

Как уже указывалось выше, при переходе экономики страны на единую ЦП системы управления производством должны претерпеть существенную трансформацию, в частности, на универсальную форму представления первичной учетной информации – бухгалтерский учет. В этом случае при введении на предприятии такого стандарта бухгалтерский учет смогут вести программы-роботы. В целом по стране значительно уменьшится количество бухгалтеров, соответственно, высвободятся и ИТ-специалисты, необходимые для ускоренной цифровизации страны. Фирмы, внедряющие бухгалтерские системы, должны исчезнуть, как ненужные посредники. Информационные посредники сейчас нужны для настройки программного обеспечения на существующую в учете специфику предприятий, составляющую около 10%. Стандарты должны как раз нивелировать такую специфику. Именно эти 10% специфики вынуждают держать в организациях необходимое количество программистов для настройки на нее бухгалтерских систем. По информации Нуралиева Б.Г. – главы фирмы 1С при внедрении этой системы задействованы свыше 300000 ИТ-специалистов. Именно из-за наличия учетной специфики существующие в стране учет и отчетность громоздки и дорогие, значительно выше большинства развитых стран, что отрицательно сказывается на рентабельности и конкурентоспособности отечественного производства. Такая плачевная ситуация сохранится даже при внедрении самых современных цифровых технологий без внедрения указанных выше стандартов.

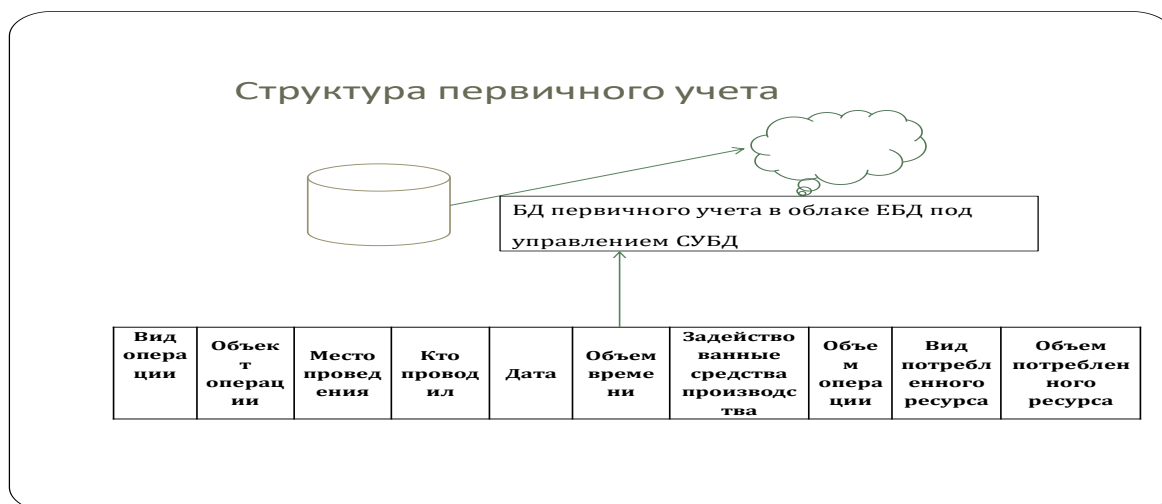


Рисунок 2 – Структура первичного учета

#### Заключение

В заключении следует отметить, что в настоящее время ко многим приходит осознание тупикового развития ЦЭ без активного привлечения науки, которая способна сформировать единую цифровую платформу страны. Наука и экономика словно двигаются на непересекающихся орбитах. Об этом начинает говорить и бизнес. Так, в [7] утверждается: «Задача государства – задавать векторы научного развития, определять стратегические приоритеты. У нас сейчас реализуется государственная программа «Цифровая экономика», и ее появление – очень правильный подход. Программа охватывает ключевые направления, от которых зависит будущее России. Но, увы, ни одно из них не выступает в связке с развитием науки».

#### Литература

1. Глушков В.М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. - М.: «Статистика», 1975. - 160 с.
2. Стратегическая проектная сессия [Электронный ресурс]. – URL: <http://onto.digital-economy.ru/> (дата обращения 17.07.2020).
3. Peters, Benjamin. How Not to Network a Nation: The Uneasy History of the Soviet Internet. The MIT Press, April 2016. - 360 с.
4. Цифровизации сельского хозяйства в России не хватает данных [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iksmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-xozyajstva.html#ixzz6KBD7IYEP> (дата обращения 22.07.2020).
5. Меденников В.И. Теоретические аспекты синтеза структур компьютерного управления агропромышленным производством. / Аграрная наука. - 1993. - N 2. - с. 16-18.
6. Ereshko F.I., Medennikov V.I., Muratova L.G. Modeling of a digital platform in agriculture. IEEE Xplore Digital Library. Eleventh International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2018. DOI: 10.1109/MLSD.2018.8551894.
7. Роль науки в цифровой трансформации [Электронный ресурс]. – URL: <https://plusworld.ru/journal/2019/plus-4-2019/rol-nauki-v-tsifrovoy-transformatsii/> (дата обращения 17.07.2020).

#### ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОНЯТИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Меденников В.И.

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, ФИЦ ИУ РАН  
+7 (916) 680-73-29, [dommed@mail.ru](mailto:dommed@mail.ru)

Статья посвящена проблеме стратегического управления в эпоху цифровой экономики, обострившей конкуренцию предприятий всех отраслей мира, с учетом новых возможностей к оценке эффективности производства на базе показателей качества и цены продукции. Дается анализ трансформации понятия эффективности в историческом разрезе. Приводится имитационная динамическая модель стратегического управления предприятий с учетом факторов внешней среды, требующей для

своего воплощения значительного объема структурированной информации, являющейся следствием формирования облачного единого информационного интернет-пространства цифрового взаимодействия страны.

Ключевые слова: стратегическое управление, имитационная динамическая модель, эффективность.

Interrelation of the concepts of efficiency and competitiveness in strategic management. Medennikov V.I. Computer Center of A.A. Dorodnitsyn of FRC "Computer Science and Control" of RAS.

The article is devoted to the problem of strategic management in the era of the digital economy, which has exacerbated the competition between enterprises in all sectors of the world, taking into account new opportunities for assessing production efficiency based on quality factors and product prices. The analysis of the transformation of the concept of efficiency in the historical context is given. A simulation dynamic model of strategic management of enterprises is given taking into account environmental factors, which requires a significant amount of structured information for its implementation, which is a consequence of the formation of a cloud-based unified information Internet space of digital interaction of the country.

Keywords: strategic management, dynamic simulation model, efficiency.

### Введение

В настоящее время мы являемся свидетелями ускоряющихся процессов неравновесности и неопределенности мирового общественного развития, связанных со структурными сдвигами в политике и экономике, усугубленных пандемией и идущей цифровой трансформацией. Следствием чего резко возрос динамизм внешней среды для всех категорий бизнеса, что, в свою очередь, пробудило значительный научный и практический интерес к проблематике стратегического управления, дающего шанс устойчивого развития компаний в условиях рынка на основе возможности количественной оценки различных вариантов их развития на некоторый длительный период времени. Особенно остро данная проблема встала в эпоху цифровой экономики, значительно обострившей конкуренцию во всем мире, существенным элементом которой становится в первую очередь качество, мобильность, другие составляющие, повышающие конкурентоспособность предприятий.

Таким образом, конкурентоспособность предприятия на рынке должна выражаться через качество и цену. Данная тенденция принимает все более устойчивый характер. В связи с этим в работе на основе теории стратегического управления, генезиса понятия эффективности в экономике рассматривается формализованное описание модели конкурентоспособности, являющейся целью такого управления с учетом качества и цены продукции, а также анализ необходимых условий его реализации при цифровой трансформации предприятий.

Актуальность данных исследований вытекает из одной из главных закономерностей развития мировой экономики, которая гласит, что нельзя стать лидером, не обеспечив лидерство в методах и системах стратегического управления.

### Постановка проблемы

Сложность выбора наиболее приемлемого стратегического варианта из различных альтернатив в ситуации динамически развивающейся экономики в условиях возрастающей как внешней, так и внутренней неопределенности, связанной с учетом большого числа противоречивых требований по различным сферам деятельности предприятий: финансовой, производственной, рыночных воздействий, в частности кадровых, отношений с государственными органами, поставщиками и потребителями и т.д., требует четкого определения критерия эффективности и цели разработки стратегии развития предприятий.

Теория стратегического управления в виде научного направления сформировалась в 1980 – 1990 гг. на базе теории управления фирмой, хотя данная терминология была известна еще в середине XX в. в результате нарастания у экономических агентов проблемы влияния на их деятельность факторов внешней среды. Методы и модели управления фирмой сформировались в начале прошлого века в результате работ Ф. Тейлора, Г. Ганта, Х. Эмерсона [1], а затем и работ А. Файоля, М. Вебера, Ч. Бернарда [2]. В этих работах планирование определялось как одна из основных функций управления фирмой, имевшая лишь краткосрочный характер и выражалась в виде бюджетирования и контроля. Такой подход был основан на предположении о стабильности как внешней деловой среды, так и ресурсного потенциала ее, исходя из общей ситуации в целом в экономике промышленно развитых стран того периода. Поэтому планирование бизнеса заключалось в скрупулезном, детальном формировании годового бюджета фирмы. Однако под влиянием научно-технической революции, появления транснациональных компаний возникла необходимость в долгосрочном планировании и управлении, нацеленном на будущее, что породило большое количество исследований отечественных и зарубежных, оформивших окончательно понятие стратегического управления. Среди первых зарубежных исследователей были А.А. Томпсон и А.Дж.

Стрикленд [3], М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури [4], И. Ансофф [5], Г. Минцберг, Б. Альстрэнд, Дж. Лэмпел [6] и др., а среди отечественных О.С. Виханский [7], Л.С. Шеховцева [8] и др.

В результате появилось большое количество моделей стратегического управления, носящих в основном, так называемый иконографический вид (в виде блок-схем и графов), и отличающихся одна от другой количеством и содержанием ряда последовательных этапов. Однако все они обладают единой логической цепочкой и в общем виде процесс формирования стратегического управления содержит следующие пять этапов: определение миссии и целей организации; стратегический анализ; выбор стратегии развития; реализация стратегии; контроль и оценка выполнения стратегий.

Так, на рис. 1 представлена одна из первых моделей стратегического управления, предложенная А. Томпсоном и А. Стриклендом [3], когда данное направление прочно вошло в практику многих ведущих мировых компаний.

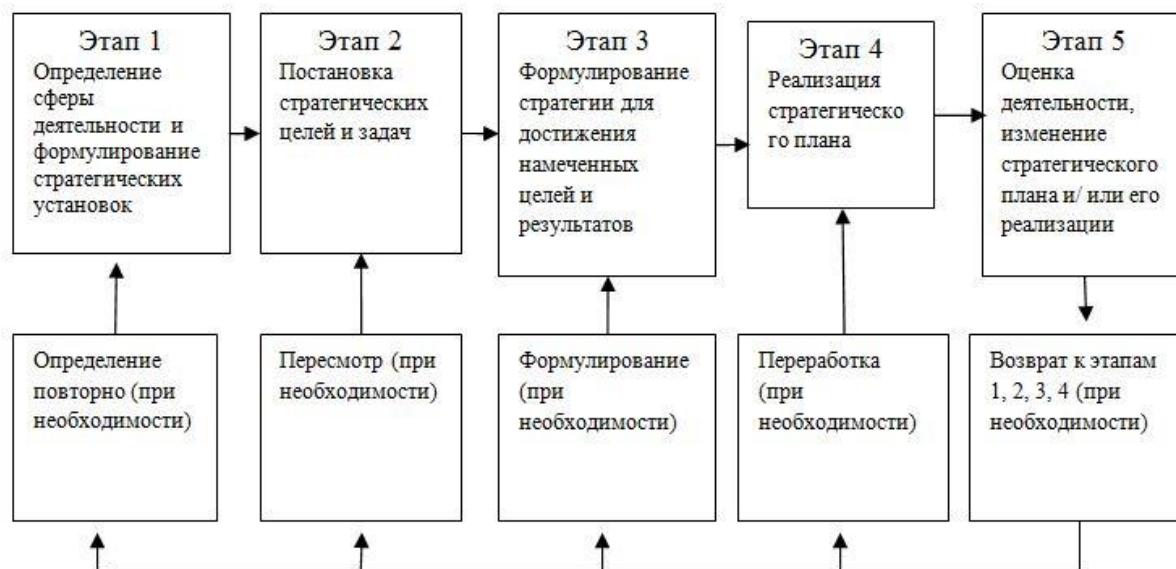


Рисунок 1 – Модель стратегического управления А. Томпсона и А. Стрикленда

Как обычно бывает в науке, теория стратегического управления появилась не на пустом месте, задолго до этого многими исследователями ставились задачи выявления закономерностей между производством, управлением им и эффективностью как самого производства, так и методов управления. Приведем лишь некоторые значимые. Так, экономист Г. Эмерсон [9] выявил функциональную зависимость между организацией производства и принципами управления, указывая на то, что эффективной является компания, производящая максимальное количество продукции при использовании 100 % ресурсов без потерь.

В XX в. Р. Коуз ввел понятие «внешние эффекты». Они могут как повышать эффективность, так и снижать ее. Внешние эффекты – это затраты или доход третьей стороны, не участвующей напрямую в процессе сделки [10].

С увеличением в доли производства услуг относительно материального производства появилась концепция общественного блага и субъективной ценности, в которых представлен товар не как предмет с физическими свойствами, а как носитель свойств, представляющих определенную ценность для потребителя (теория маржинализма) [11]. На основании работ маржиналистов, к которым помимо К. Менгера относятся У.С. Джевонс и Л. Вальрас, была сформирована теория бизнес-процессов, имеющих целью не производство товара, а удовлетворение потребностей клиента.

В 1963 году Р. Сайерт и Дж. Марч опубликовали труд «Поведенческая теория фирмы», где исследовали зависимость эффективности деятельности фирмы от процесса принятия экономических решений. Таким образом, впервые была выявлена зависимость технической эффективности деятельности предприятия, то есть эффективности процесса производства продукта от процесса управления предприятием.

Наконец, в 1987 г. Международная комиссия по окружающей среде и развитию, созданная Генеральной Ассамблеей ООН, выдвинула концепцию устойчивого развития, в основу которой положена идея экологически чистого развития. Оно охватывает не только вопросы защиты окружающей среды, но и целый ряд других проблем: финансовые, социальные, демографические. Устойчивость предприятия – это сбалансированное состояние материальных, экономических и трудовых ресурсов, которое достигается

при их эффективном использовании, обеспечивающее условия для расширенного воспроизводства и адаптации к изменениям факторов внутренней и внешней среды.

Такое большое количество работ, носящих в основном описательный характер, зачастую онтологически несовместимый, должно было привести к реализации известного принципа перехода количества в качество. И вот на I-ом Международном конгрессе Международной федерации по автоматическому управлению (1960) проявился интерес к обобщению традиционных задач управления, что в итоге знаменовало появление теории систем или, как ее иногда называют, общей теории. При этом понятие экономической эффективности от Д. Рикардо до устойчивого развития с множеством частных трактовок этого понятия было обобщено до понятия эффективности, как важной характеристики системы. В соответствии с теорией систем эффективность - результативность использования ресурсов в достижении какой-либо цели.

Тем не менее, доминирующим понятием до сих пор остается прежнее, выраженное в отношении полезных конечных результатов ее функционирования к затраченным ресурсам. Практически в любом традиционном экономическом справочнике имеется определение экономической эффективности, которая понимается как соотношение результата к затратам на его достижение.

Цифровая же экономика вносит существенные коррективы в понятия как общей эффективности, так и экономической. Например, развитием интернет-технологий начинает приобретать значительное влияние на продукцию многих отраслей в мире так называемый фактор «нормативные требования регулирующих органов и недавно появившиеся требования третьих лиц». Наиболее наглядно это проявляется в фармацевтической отрасли и производстве продовольствия в силу повышенного внимания к здоровью и качеству питания в мире. В остальных отраслях данный эффект проявляется с небольшим лагом и не столь очевидно, поэтому в связи с пандемией продемонстрируем проявление данного фактора на примере фармацевтики. Рынок предъявляет требования к медицинскому сообществу точнее идентифицировать заболевания и создавать целевые пакеты решений по защите здоровья населения, требует перехода от производства так называемых “безразмерных лекарств” к “целенаправленным терапевтическим решениям”.

Это с одной стороны. С другой – мировые тенденции в области нормирования и регулирования производства лекарственных средств (ЛС) ориентированы на глобальную гармонизацию требований к производству ЛС на протяжении всего жизненного цикла препарата от разработки до получения терапевтического эффекта. Таким образом, налицо ярко выражены два основных направления:

- увеличивающаяся социальная ответственность производителя ЛС, навязываемая государством и обществом в целом;

- акцент на обеспечение выпуска продукции надлежащего качества посредством организационно-управленческих мер по всем этапам – от разработки нового препарата до реализации готового продукта.

Что касается третьих лиц, то в последнее время востребована концепция, по которой каждый покупатель в онлайн-режиме может проверить сведения о качестве, безопасности и легальности продукции, а контролирующие органы получать доступ к полному спектру сведений о продукте. В АПК данная концепция получила название прослеживаемости продукции. Поэтому при разработке стратегии развития предприятия в целевых показателях эффективности должны быть не только прогнозные цены, но и качественные показатели, повышающие их конкурентоспособность. Ошибочность принятия за показатель конкурентоспособности только цену приводится в [12] при анализе стратегии одной из крупных компаний в стране.

#### Решение проблемы

Рост конкурентоспособности предприятий в цифровую эру в процессе его стратегического развития обеспечивается за счет включения в стратегию инновационной и инвестиционной составляющих, что подтверждается многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых. В этом случае инновационная и инвестиционная составляющие решают задачу адаптации предприятий к быстро меняющейся внешней среде. Таким образом, с точки зрения производителя продукции конкурентоспособность – это его способность сохранять и расширять рынки сбыта за счет целенаправленной деятельности как по отношению к качественным характеристикам продукции, так и по отношению к производителям-конкурентам. Обеспечению конкурентоспособности предприятия подчинены все решения, связанные с выходом на новые рынки сбыта, реорганизацией организационной структуры, модификацией и освоением новых видов продукции, изменением объемов ее выпуска, сменой основных производственных фондов, изменением хозяйственных связей и маркетинговой политикой.

Рассмотрим факторы внешней и внутренней среды, влияющие на конкурентоспособность предприятия. Исходя из целей нашего исследования, в качестве факторов внешней среды будем рассматривать: объем спроса продукции на рынке, нормативные требования регулирующих органов и требования третьих лиц, степень доступности ИКТ общего пользования, всевозможные риски (инвестиционные, партнерские, исследовательские, информационные, финансовые, шпионские, кадровые

и пр.). В качестве факторов внутренней среды: объем производства, инвестиции в высокотехнологические технологии и оборудование, степень цифровизации предприятия, качество человеческого капитала, материально-технические и финансовые ресурсы.

Интегральный фактор «степень цифровизации производства» зависит от многих условий, в основном, от степени развитости системы управления предприятием, от уровня автоматизации отношений с клиентами, от степени цифровизации технологических процессов, от степени использования сервисов облачных вычислений, от степени интеграции и типизации информационных систем, от степени информационной безопасности.

На одну из значимых ошибок при стратегических инвестициях указано в работах [13]. Исследования показали, что вложения в инновации, которые немислимы в настоящее время без ИКТ, наиболее эффективны, когда они соответствуют уровню двух других инвестиций в организационный и человеческий капиталы. В последующих работах [14] в этом направлении были установлены количественные взаимосвязи между этими группами инвестиций. Соотношения выглядят следующим образом. Улучшение качества персонала без внедрения ИКТ замечен рост прибыли компаний до 9%, а одновременным внедрением – до 26%. При внедрении же ИКТ без улучшения качества персонала происходит, наоборот, снижение прибыли до 11%.

Исходя из описанных соображений, запишем в общем виде динамику индикаторов качества и себестоимости произведенной продукции, влияющих на конкурентоспособность предприятия, в виде функциональной зависимости от комплекса факторов внешней и внутренней среды его функционирования в виде:

$$y_{ijk}^{t+1} = y_{ijk}^t + F_{ijk}^t (W_i^t y_i^m z_{ko}^t V_{ik}^t z_{kc}^t L_k^t M_k^t \Phi_k^t IN_k^{t-\tau} r_k^{t,T}), \quad (1)$$

где  $y_{ijk}^t$  – значение  $j$  – го индикатора конкурентоспособности  $i$  – ой продукции  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году,  $j \in J$ ,  $i \in I$ ,  $n \in N$ ,  $k \in K$ ,  $j=1$  отражает качество продукции,  $j=2$  – себестоимость,  $W_i^t$  – объем спроса  $i$  – ой продукции на рынке в  $t$ -м году;  $y_i^m$  – нормативные требования, требования третьих лиц по качеству  $i$  – ой продукции в  $t$ -м году;  $z_{ko}^t$  – затраты на ИКТ общего пользования  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году,  $V_{ik}^t$  – объем выпуска  $i$  – ой продукции  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году;  $z_{kc}^t$  – общие затраты на цифровизацию  $k$ -го предприятия в  $t$ -м году;  $L_k^t$  – инвестиции в качество человеческого капитала  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году;  $M_k^t$  – материально-технические ресурсы  $k$ -го предприятия в  $t$ -м году;  $\Phi_k^t$  – объем располагаемых финансовых ресурсов на инвестиционную деятельность  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году,  $IN_k^{t-\tau}$  – общие инвестиции в инновационное производство предприятия  $k$  – го предприятия, осуществленные в  $t-\tau$  году (считаем, что инвестиции начинают давать отдачу через  $\tau$  лет);  $r_k^{t,T}$  – интегральная оценка рисков на отрезке времени  $[t, T]$ .

Определим через  $y_{jk}^t$   $j$  – й индикатор конкурентоспособности  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году, где  $y_{jk}^t = \sum_{i=1}^I \alpha_i y_{ijk}^t$ , где  $\sum_{i=1}^I \alpha_i = 1$ ,  $0 \leq \alpha_i$ . Тогда назовем выражение  $y_{jk}^t$  интегральным индикатором конкурентоспособности  $k$  – го предприятия в  $t$ -м год:

$$y_k^t = \beta_1 y_{1k}^t + \beta_2 y_{2k}^t, \quad \text{где} \quad (2)$$

$\beta_1 + \beta_2 = 1$ ,  $0 \leq \beta_1$ ,  $0 \leq \beta_2$ . В этой ситуации, введя через  $c_{ik}^t$  – прогнозную или реальную цену  $i$  – ой продукции  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году на рынке, можно ставить задачу об увеличении интегрального индикатора конкурентоспособности  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году без учета рисков

$$y_k = \max(\beta_1 y_{1k} + \beta_2 y_{2k}), \quad (3)$$

при ограничениях:  $y_i^m \leq y_{ik}^t$  (требования по качеству  $i$  – ой продукции);  $\sum_{k=1}^K V_{ik}^t \leq W_i^t$  (суммарный объем выпускаемой продукции для продажи не должен превышать объема спроса  $i$  – ой продукции на рынке);  $f_{ik}^t(y_{i2k}^t) \leq c_{ik}^t$  (цена  $i$  – ой продукции  $k$  – го предприятия в  $t$ -м году на рынке не должна быть ниже ее себестоимости, выраженной через соответствующий индикатор конкурентоспособности);  $z_{ko}^t + z_{kc}^t + L_k^t + IN_k^t \leq \Phi_k^t$  (финансовые инвестиционные ограничения, при этом должны, как указывалось выше, соблюдаться комплиментарные ограничения, определенные для предприятий, которой принадлежит предприятие).

Задача (3) решается в имитационном режиме при различных прогнозных параметрах рыночных цен, а также факторов, входящих в выражение (1).

Заключение



Как видно, предложенная авторская имитационная динамическая модель стратегического управления организации с учетом факторов внешней среды для своего воплощения требует значительного объема структурированной информации. Для получения такого ее объема существует два пути. Первый путь предполагает масштабные анкетные опросы огромного числа предприятий, как это произошло для доказательства наличия экономического эффекта от внедрения ИКТ [13]. Второй путь – формирование некоторого облачного единого информационного интернет-пространства цифрового взаимодействия страны [15]. Проблемой номер один назвали отсутствие достаточного количества структурированных данных в стране разработчики технологий искусственного интеллекта, неожиданно столкнувшись с ней [16]. На Западе также постепенно приходят к пониманию необходимости формирования некоторого облачного единого информационного пространства цифрового взаимодействия участников цепочки добавленной стоимости [17]. В этом случае, по мнению французских экспертов, широкое внедрение цифровых технологий в любое производство позволяет перейти к новому типу производственных предприятий: от фазы контроля качества после фазы производства к принципу текущего контроля всех производственных операций [17].

#### Литература

1. Тейлор Ф.У. Принципы научного менеджмента. - М., 1991. - 49 с.
2. Файоль А. Общее и промышленное управление. - М., 1991. - 122 с.
3. Томпсон А., Стрикленд А. Стратегический менеджмент: искусство разработки и реализации стратегии. - М.: Банки и биржи, 1998. - 576 с.
4. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. - М.: Дело. 1997. - 704 с.
5. Ансофф И. Стратегическое управление. - М., 1989. - 519 с.
6. Минцберг Г., Альстрэнд Б., Лэмпел Дж. Школы стратегий. - СПб.: Питер. 2002. - 330 с.
7. Виханский О.С. Стратегическое управление: Учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Гардарики, 1998. - 296 с.
8. Шеховцева Л.С. Стратегический менеджмент. - Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2006. - 153 с.
9. Эмерсон Г. Двенадцать принципов производительности / пер. с англ. 2-е изд. - М. 1992. - 224 с.
10. Коуз Р. Фирма, рынок, право / пер. с англ. - М., 2007. - 224 с.
11. Менгер К., Бём-Баверк Е., Визер Ф. Австрийская школа в политической экономии. - М.: Экономика. 1992. - 496 с.
12. Эффективные модели стратегического менеджмента [электронный ресурс]. – URL: <http://rosinvest.com/page/effektivnye-modeli-strategicheskogo-menedzhmenta> (дата обращения 12.07.2020).
13. Акаев А.А., Рудской А.И. Конвергентные ИКТ как ключевой фактор технического прогресса на ближайшие десятилетия и их влияние на мировое экономическое развитие. International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 5, no. 1, 2017. - с. 1-18.
14. Erik Brynjolfsson, Lorin Hitt, Shinkyu Yang. Intangible Assets: Computers and Organizational Capital // Brookings Papers on Economic Activity, Vol.2, No.1, 2002.
15. Ereshko F.I., Medennikov V.I., Salnikov S.G. Modeling of unified information internet space of the country. IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017.
16. Пять проблем, которые пока не может решить Искусственный интеллект [Электронный ресурс]. – URL: <https://rb.ru/opinion/problemy-ii/> (дата обращения 03.03.2020).
17. Цифровизация сельского хозяйства в России не хватает данных [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iksmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-xozyajstva.html#ixzz6KBD7IYEP> (дата обращения 25.07.2020).

#### МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

Ковалевская А.С., Смолова О.В., Семенова М.И.

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова  
(Ленина)»

+7 (921) 913-35-04, lellikat@yandex.ru

В статье отражен опыт внедрения дистанционных образовательных технологий в учебный процесс по освоению экологических дисциплин. Рассмотрены основные особенности методов обучения и основные принципы организации онлайн-курсов для формирования у слушателей понимания роли человека и его влияния на процессы, происходящие в биосфере.

Ключевые слова: экология, дистанционные образовательные технологии, учебный процесс, информатизация образования.

Methods and technologies of distance learning in ecological disciplines. Kovalevskaya, A.S., Smolova O.V., Semenova M.I., "Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

The article reflects the experience of introducing distance learning technologies into the educational process for the development of environmental disciplines. The main features of teaching methods and the basic principles of organizing online courses for the formation of students' understanding of the role of man and his influence on the processes taking place in the biosphere are considered.

Keywords: ecology, distance educational technologies, educational process, informatization of education

Формирование нового экологического мышления, такого необходимого для устойчивого социально-экономического развития России, невозможно без обязательного экологического воспитания и образования, без широкого распространения экологических знаний.

Это необходимо для того, чтобы экологически обоснованная профессиональная деятельность стала нормой в повседневной практике. [1]

Законодательной платформой реализации этой нормы является Федеральный закон Российской Федерации от 10.01.2002 г. № 7ФЗ «Об охране окружающей среды».

Дистанционное обучение, занимая всё большую роль в развитии образования в высших учебных заведениях, как раз и позволяет значительно усовершенствовать процесс обучения в области экологических наук. [2]

Несмотря на то, что человек значительно преуспел в освоении природной среды для удовлетворения своих потребностей, он все равно остается от нее зависимым. Благополучие и здоровье людей напрямую связано с качеством воздуха, воды и почвы, с климатическими изменениями, качеством и количеством доступной воды и пищи, уровнем радиации, плотности атмосферы и многими другими факторами.

В результате тесной взаимосвязи производственных и природных процессов происходит слияние объектов хозяйственной деятельности и окружающей среды обитания человека в единые системы. Как известно, экологическая наука занимается изучением методов управления процессами оптимального развития таких систем, оценкой состояния окружающей среды, причинами его ухудшения и прогнозом возможных изменений.

Полноценная инженерная деятельность в наше время может быть обеспечена лишь на базе широкого образования, включающего не только фундаментальную математическую, прикладную, но и столь же основательную методологическую подготовку в области техники и технических наук. [3]

Однако, современному специалисту нужно обладать в том числе и экологическим мышлением и задумываться о последствиях своей деятельности для природной среды и человека.

В быстро меняющемся мире экологические характеристики производства становятся едва ли не главным условием успешности предприятия. Сегодня развитие предприятий невозможно без экологизации производства, перехода на лучшие доступные технологии. Это мировая тенденция.

Экологические знания чрезвычайно важны в практической деятельности человечества, поскольку все живые организмы связаны, как ничто другое в этом мире. Они используются во всех, без исключения, отраслях хозяйства. Это касается и сельского хозяйства, легкой и пищевой промышленности, и здравоохранения. Даже там, где, казалось бы, они не могут быть применены.

Изучение экологических дисциплин опирается на некоторые разделы, фундаментальных и прикладных наук. Знания из области физики, химии и биологии необходимы при проведении инженерно-экологических изысканий и экспериментов. Математические знания нужны при изучении количественных характеристик экосистем. Знание возможностей и принципов построения ПК позволяет изучать вопросы распределения функций между человеком и машиной, моделирования экологических ситуаций, деятельности оператора и всей системы в целом. [3]

Экология как наука сложна и многогранна. Многообразие методических приемов, их сочетание на занятиях и в других формах обучения экологии показывает их эффективность.

Методы обучения экологическим дисциплинам в целом несколько отличаются от методов, применяемых в любой другой сфере деятельности человека. В первую очередь это обусловлено тем, что в содержании курсов по экологическим наукам, как уже говорилось ранее, входят понятия о средах жизни и экологических факторах, о водной, почвенной, наземно-воздушной среде жизни и их особенностях. Особенности содержания этих понятий определяют необходимость применения в первую очередь наглядных и практических методов обучения. [4]

Применяя новые методические приемы и трансформируя общеизвестные можно добиться наилучших результатов обучения.

Основной целью разрабатываемых дистанционных курсов по экологическим дисциплинам является возможность способствовать формированию у слушателей представлений о человеке как о части природы и невозможности выживания человечества без сохранения биосферы.

Предполагается, что изучение материалов по экологическим дисциплинам вдохновит слушателей на поиск оптимального баланса между сохранением качества окружающей нас природной среды и удовлетворением потребностей человека.

Авторами уже разработан дистанционный курс «Экология», размещенный на современной образовательной платформе «Открытое образование». [5]

Структура курса разрабатывалась специально для ведения дисциплины в онлайн формате. Сам материал представлен в виде логически завершенных блоков-модулей. В конце каждого модуля слушатели проходят тестирования для оценки качества усвоения материала. Всего на изучение курса отводится 14 недель. Материалы и задания распределены таким образом, чтобы нагрузка у обучающегося была равномерной.

При разработке курса большое внимание уделялось именно визуальной составляющей курса. Как говорил авиаконструктор Андрей Николаевич Туполев – «Некрасивый самолет не полетит». Красочные иллюстрации, схемы, таблицы – все эти атрибуты направлены на улучшение восприятия и усвоения теоретического материала.

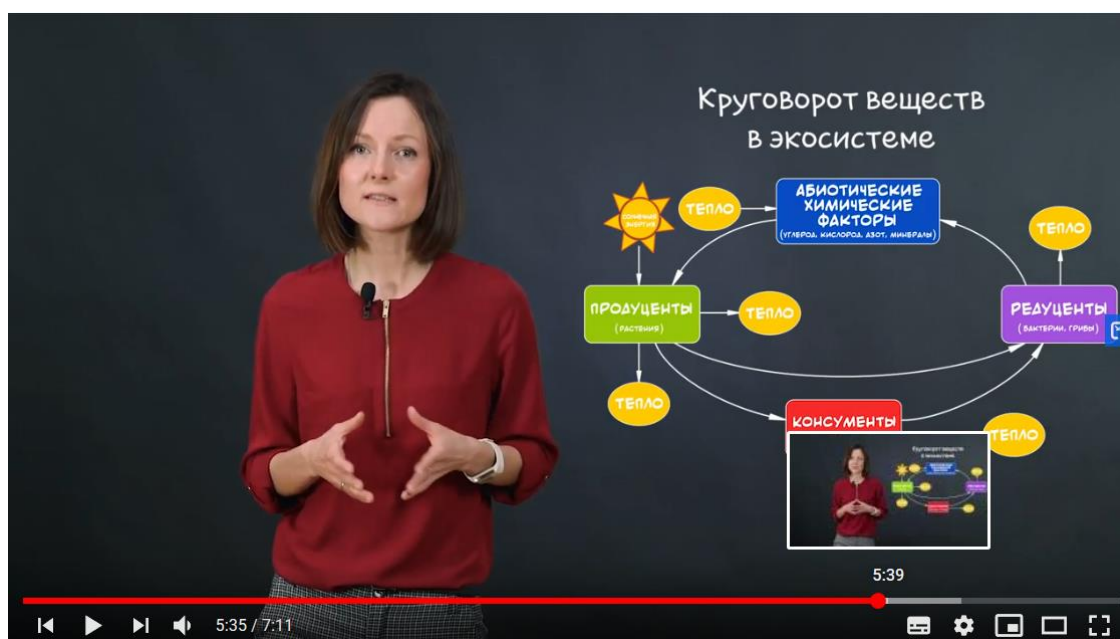


Рисунок 1 – Видео-лекции

Онлайн формат предъявляет ряд требований к подаче теоретического материала. Например, длительность видео-лекции ограничена 10-15 минутами. Связано это со способностью удерживать внимание перед экраном компьютера.

Все видео-лекции подкрепляются расширенным конспектом по теме. Всегда есть возможность вернуться к конспекту и освежить в памяти основные позиции (моменты, положения) изучаемого (теоретического) материала.

Таким образом, мы затрагиваем несколько каналов получения информации: визуальный, аудиальный и смысловой.


Во время просмотра видео-лекции студенты отвечают на контрольные вопросы по уже просмотренному материалу. Контрольные вопросы составлялись таким образом, чтобы сделать акцент на основных моментах лекционного материала.

Важная часть онлайн-курса – коммуникация с преподавателями и другими слушателями, обсуждение актуальных новостей и взаимная поддержка друг друга. Во время прохождения курса на платформе был организован форум. В данном разделе студенты выполняли творческие задания, а также активно общались друг с другом. Также форум стал тем инструментом, где можно получать обратную связь от преподавателя: проконсультироваться по выполнению практических работ, уточнить непонятные моменты в теоретическом материале, получить комментарии о результатах проверки работ и многое другое.

Активность обучающихся не проходит бесследно: за сообщения на форуме, популярные посты и ответы на дополнительные вопросы преподавателей слушатели получают награды в виде дополнительных баллов. [4]

В курсе предусмотрен ряд практических работ для закрепления полученного теоретического материала.

Вопрос  
0,0 из 1,0 балла (оценивается)  
Определите тип взаимодействия между организмами: гепард - гиена  
Правильный ответ перетяните на изображение



◀ Нейтрализм Мутуализм Протокооперация Комменсализм Хищничество Паразитизм ▶

Заполните таблицу:

	Природные	Агрозосистемные	Урбозосистемы
Основные характеристики	Верховое болото	Грядка с луком	Город науки
Источник энергии	<input type="radio"/> Солнечная, а также энергия топлива, удобрений, труда	<input type="radio"/> Только солнечная	<input type="radio"/> Только солнечная
	<input type="radio"/> В основном энергия ресурсов	<input type="radio"/> Солнечная, а также энергия топлива, удобрений, труда	<input type="radio"/> Солнечная, а также энергия топлива, удобрений, труда
	<input type="radio"/> Только солнечная	<input type="radio"/> В основном энергия ресурсов	<input type="radio"/> В основном энергия ресурсов
Видовое разнообразие	<input type="radio"/> Низкое	<input type="radio"/> Высокое	<input type="radio"/> Высокое
	<input type="radio"/> Высокое	<input type="radio"/> Очень низкое	<input type="radio"/> Низкое
	<input type="radio"/> Очень низкое	<input type="radio"/> Низкое	<input type="radio"/> Очень низкое

Рисунок 2 – Примеры практических работ

Выполняя практические работы, слушатели могут лучше понять устройство пищевых цепей, открывают для себя новые виды взаимодействия организмов в природной среде, учатся определять уровень загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта для любой точки города.

Также обучающиеся совершенствуют способности к логическому и точному анализу экологической информации.

Стоит отметить, что участники курса активно делятся фотографиями и рассказами «из первых уст» об экологическом состоянии своих родных городов, а также исследуют жизненные циклы продукции от добычи сырья до формирования отходов, проводят исследование своей мусорной корзины и предлагают способы сократить отходы, предлагают варианты как подарить «вторую жизнь» для вещей.

В конце всего обучения студенты проходят итоговое тестирование.

Сейчас ведутся активные разработки новых дистанционных курсов по экологическим дисциплинам, это и «Инженерная экология» и «Экологический мониторинг» и другие дисциплины экологического направления.

Построенный таким образом каскад изучаемых дисциплин охватывает широкий спектр специальностей, где учебным планом предусмотрено освоение экологии, а также служит мощным фундаментом формирования грамотного специалиста в области практической природоохранной деятельности.

Полученные знания подтверждают факт, что работники, владеющие ими, не станут виновниками негативных процессов, которые могут стать причиной ухудшения экологического состояния окружающей природы.

#### Литература

1. Дайнов М.И., Метечко Л.Б. Методика преподавания дисциплины «Экология» студентам ИНЖЭКИН МАИ с применением интерактивных технологий/: Электронный журнал «Труды МАИ» №58. - МАИ ОНТИ, [www.mai.ru/science/trudy/](http://www.mai.ru/science/trudy/), 2012. - 17с.

2. Гришаева Ю.М. Эколого-образовательное пространство вуза // Астраханский вестник экологического образования. 2012. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-obrazovatelnoe-prostranstvo-vuza> (дата обращения: 27.08.2019).

3. Аствацатуров А.Е. Инженерная экология. Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2006

4. Теория и методика обучения экологии: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 050100 - Естественнонаучное образование / Н. Д. Андреева, В. П. Соломин, Т. В. Васильева ; под ред. Н. Д. Андреевой. - Москва : Академия, 2009.

5. Веженкова И.В., Ковалевская А.С., Смолова О.В. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО КУРСА "ЭКОЛОГИЯ". Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1. С. 172-175

#### МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Веженкова И.В., Ковалевская А.С., Кустов Т.В.

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

+7 (911)294-16-62, [ivvezhenkova@etu.ru](mailto:ivvezhenkova@etu.ru)

В статье отражен опыт разработки и внедрения модульной системы обучения на примере образовательной программы бакалавриата «Техносферная безопасность» кафедры Инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Ключевые слова: модульное обучение, техносферная безопасность, учебный процесс, современное образование.

Modular system of education in higher school. Vezenkova I. V., Kovalevskaya, A. S., Kustov T. V., "Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

The article reflects the experience of the development and implementation of a modular educational system on the example of the educational program of the bachelor's degree "Technosphere Safety" of the Department of Environmental Engineering of the "Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Keywords: modular education, technosphere safety, educational process, modern education.

Основной задачей любых технологий, применяемых в высшем образовании, является повышение интереса студентов к преподаваемым дисциплинам, повышение их успеваемости и, как следствие, подготовка высококвалифицированных специалистов.

В наши дни наблюдается заметная тенденция перехода к модульному образованию в реализации учебных программ. Этот подход привлек особое внимание в системе высшего и профессионального образования большинства стран. [1]

В чём же отличие модульной системы образования от классического, традиционного обучения? Для начала давайте разберёмся с тем, что такое модуль в образовании. На самом деле на данный момент существует достаточно много вариаций понятия модуля несмотря на то, что этот термин в применении к образовательному процессу является достаточно молодым и, если мы говорим о высшем образовании, очень немногие ВУЗы готовы к такой серьёзной трансформации образовательного процесса.

Что касается нашей образовательной программы «Техносферная безопасность», то самое близкое определение модуля будет следующим: «блок информации, включающий в себя логически завершенную единицу учебного материала, целевую программу действий и методическое руководство, обеспечивающее достижение поставленных дидактических целей» [2]

Модульное обучение предполагает жесткое структурирование учебной информации, содержания обучения и организацию работы учащихся с полными логически завершенными учебными блоками. [3]

В настоящее время накоплен большой мировой опыт использования модульной системы обучения. Например, в Мексиканском автономном университете первые попытки перехода на отдельные образовательные модули были предприняты в 1974 году. [4] Целью перехода стала необходимость преодоления существующих академических и административных норм в отношении традиционного образования. А также попытка установить связь между проблемами и задачами, которые интересуют современное общество, а точнее потенциальный рынок работодателей с образовательным процессом. [5]

В советском союзе модульное обучение возникло в конце 80-х годов благодаря трудам исследователя П.А.Юцявичене и ее учеников. Создатели данного исследования представляют цель модульного обучения в формировании подходящих условий развития личности путем обеспечения гибкости содержания обучения, приспособления к индивидуальным потребностям личности, а также уровню ее базовой подготовки с помощью организации учебно-познавательной деятельности согласно индивидуальной учебной программе. [6]

Стандарты обычных образовательных программ ориентированы на усреднённого ученика. Модули же всегда индивидуально подстраиваются под каждого обучающегося. Например, можно включить в занятия игры, если это поможет лучше усвоить материал. [7]

Главное отличие модульной системы обучения от традиционной заключается в системном подходе к анализу изучения конкретной профессиональной деятельности [8]

Достоинства системы модульного построения обучения:

1. Основной акцент даётся на самостоятельную проектную деятельность студентов – как групповую, так и индивидуальную
2. Базовые предметы являются основой для проектной деятельности
3. Высокая эффективность обучения, так как получаемые знания являются практикоориентированными
4. Индивидуальный подход к каждому студенту, так как проектная деятельность всегда является уникальной, хоть и опирается на общие базовые предметы
5. Повышение интереса студентов к обучению
6. Получение навыков командной работы
7. Развитие навыков самостоятельной работы
8. Введение дистанционных дисциплин в обучение
9. Осознанный выбор темы выпускной квалификационной работы и будущей специальности

Недостатки системы модульного построения обучения:

1. Необходимость соответствовать утверждённому ФГОС по каждой образовательной программе
2. Большой объём самостоятельной работы в рамках проектной деятельности
3. Размытый график обучения из-за невозможности рассчитать точное время на разработку каждого проекта
4. Изменение привычного шаблона работы профессорско-преподавательского состава.

Кроме того, к особенностям модульного обучения следует отнести тесную взаимосвязь студента с преподавателем, который в рамках проектной деятельности становится куратором проекта. [9]

На нашей кафедре Инженерной защиты окружающей среды бакалаврская программа «Техносферная безопасность» — это первая попытка частичного перехода на модульное обучение.

Направление подготовки «Техносферная безопасность» готовит специалистов в области практической природоохранной деятельности, связанной с надзором и инспекторской работой, с информационно-измерительным и технологическим обеспечением природоохранных мероприятий на базе электроники и информатики.

Это специалисты по охране окружающей среды, инженеры-экологи, специалисты по противопожарной безопасности и охране труда, специалисты экспертных и надзорных организаций, аудиторы – далеко не полный перечень профессий, которые вмещает в себя направление Техносферная безопасность.

Как уже было сказано ранее, в основе образовательного процесса лежит индивидуальный подход к каждому студенту – группа в 20 человек позволяет уделять достаточно внимания каждому

обучающемуся. Второй важный аспект — это проектная деятельность, нацеленная на определение и формирования круга интересов каждого студента и в дальнейшем выбора будущей профессии.

Все дисциплины в рамках модулей можно условно разделить на базовые дисциплины, проектную деятельность (междисциплинарные проекты) и непосредственно практику, которую наши студенты проходят на ведущих предприятиях города – ГУП «Водоканал», ОАО «Газпром», НИИ «Атмосфера», Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности г. Санкт-Петербург и др. (Рис.1,2).

Кроме того, студенты кафедры задействованы в межкурсовых проектах, когда под определённую задачу собирается команда из студентов разных курсов. Одним из таких проектов является создание цикла лабораторных работ «Виртуальная экологическая лаборатория». А также в межкафедральных и межфакультетских проектах – совместно с кафедрами Физической химии и Инновационного менеджмента.

На первом курсе студент, совсем недавно покинувший стены школы, как правило ещё не определился с будущей профессией. В лучшем случае в общих чертах выбрал направление и кафедру. Поэтому основная прикладная задача обучения на первом курсе – это познакомить студента со всем спектром возможных специальностей в рамках нашего направления.

Для достижения этой цели несколько лет назад была разработана дисциплина «Введение в специальность», где преподаватели нашей кафедры по очереди знакомят первокурсников с основными существующими направлениями профессиональной деятельности инженера-эколога.

<b>1 курс</b>
<b><u>1 семестр</u></b>
Химия, физика, высшая математика – базовые дисциплины   уровень
Введение в специальность – групповая проектная деятельность   уровень
<b><u>2 семестр</u></b>
Экология – базовая дисциплина   уровень
Введение в специальность – индивидуальная проектная деятельность   уровень
Информационные технологии – групповая проектная деятельность   уровень

Рисунок 1 – Примеры модулей 1 курса

Переходя от модуля к модулю, студент, достигший 4 курса, имеет в своём портфолио несколько самостоятельных и групповых проектов, практики и стажировки, в том числе и зарубежные по выбранной специальности и, как результат, осознанно выбранную тему выпускной квалификационной работы.

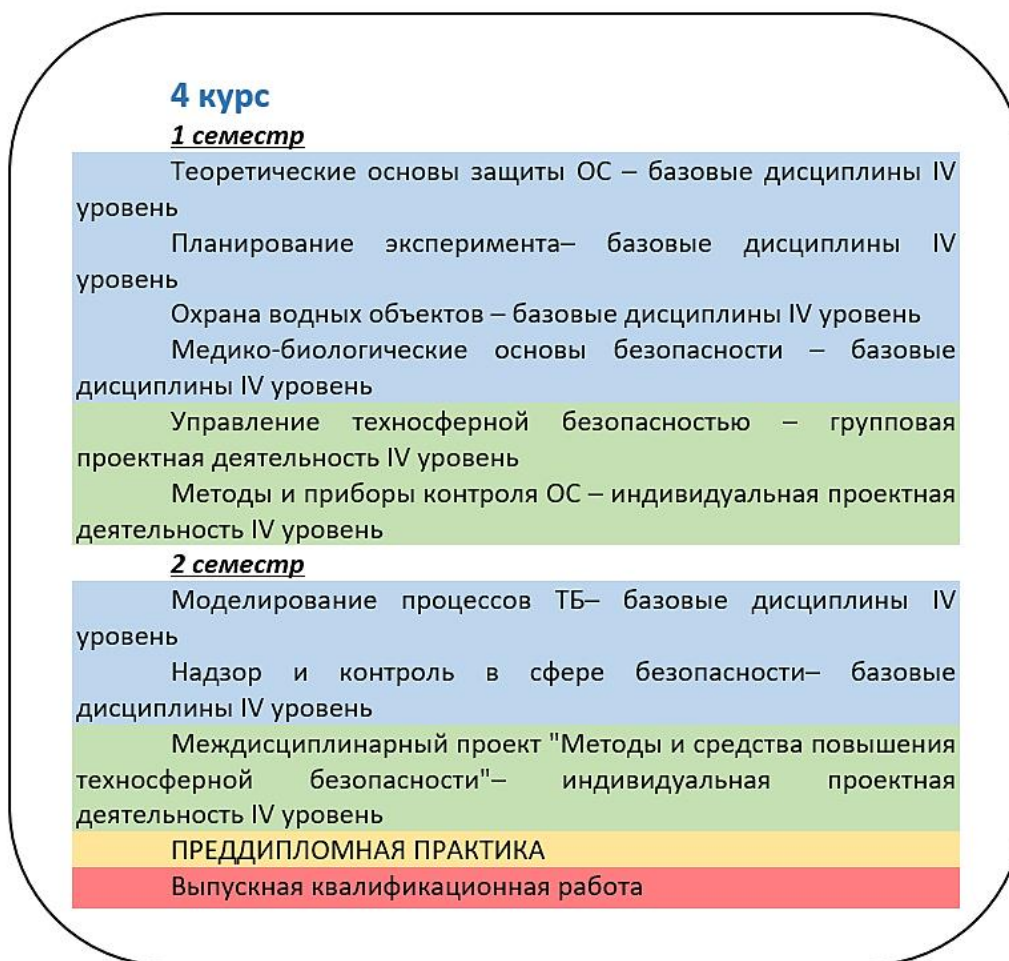


Рисунок 2 – Примеры модулей 4 курса

Естественно, большинство студентов не останавливаются на получении бакалаврской степени и поступают в магистратуру, и основным критерием успешности выпускника для нас является его трудоустройство по специальности. Благодаря внедрению модульной технологии обучения большинство студентов находят работу ещё до окончания обучения.

#### Заключение

Как показывает практика, несмотря как на сложность разработки подобной системы, так и на сложность её внедрения в рамках существующих ФГОС, система модульного обучения является одним из самых интересных и эффективных инструментов повышения качества образования и реализует одну из самых сложных задач современного образования – приводит к единому знаменателю требования потенциальных работодателей и компетенции выпускников программы.

Таким образом, можно сделать вывод, что благодаря своей гибкости, адаптируемости к разным группам студентов и акценту на индивидуализированное обучение, модульное обучение становится одним из самых многообещающих альтернатив в современной высшей школе. [9]

#### Литература

1. Malik, K. Effects of modular and traditional approaches on students' general comprehension. //Elixir Social Studies. 2012. №42, P. 6228–6231.
2. Филимонова Н. Ю., Серегина О. Л., Модульное обучение как образовательная технология (на примере изучения дисциплины «Административный процесс» //Актуальные вопросы профессионального образования; Издательство: Волгоградский государственный технический университет (Волгоград). 2016, № 4(5), С. 30-33.
3. Шергина Г.С., Шергин Д.Ю. Модульное обучение-преимущества и недостатки // Вестник научных конференций; Издательство: ООО "Консалтинговая компания Юком" (Тамбов). 2019. № 6-2 (46) С. 132-134.



4. María Isabel Abresú García, Víctor Manuel Ortega Esparza. Theory and practice of TPE modular program in the Universidad autonoma metropolitana campus Xochimilco. // *Perspectiva Educacional*. 2016. N°47. P. 33-58

5. Alberto Padilla Arias. The modular teaching system: a curricular alternative of university higher education in Mexico // *Revista de Docencia Universitaria*. 2012. Vol.10 (3), P. 71 – 98

6. Смирнова Ж.В., Григорян Н.М., Вдовина О.А., Емелина Е.В. Организация проектной деятельности на учебных занятиях в вузе // В сборнике: Интеграция информационных технологий в систему профессионального и дополнительного образования. сборник статей по материалам V региональной научно-практической конференции. Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина. 2018. С. 106-109.

7. Смирнова Ж.В., Красикова О.Г. Современные средства и технологии оценивания результатов обучения // *Вестник Мининского университета*. 2018. Т. 6, №3. С. 9. DOI: 10.26795/2307-1281-2018-6-3-9

8. Пермякова Н. Е. Организация групповой работы со студентами: традиции и инновации // *Современная высшая школа: инновационный аспект*. 2010. № 2. С. 42-47.

9. Barbara Goldschmid. Marcel L. Goldschmid Modular instruction in higher education: A review // *Higher Education*. 1973. № 2. P. 15–32

## ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Юрчишина М.В.

Сургутский государственный университет

Nesterenko\_mv@surgu.ru

Информационные технологии все глубже и серьезнее проникают во все сферы жизни человечества. Сфера высшего профессионального образования должна предоставлять информацию в соответствии с современными требованиями. Важно иметь качественный образовательный портал, предоставляющего информацию не только об услугах ВУЗа, но и учебную информацию. Построение собственных разработок дает университету индивидуальный стиль и демонстрирует студентам преимущества перед другими ВУЗами. Онтология учебной дисциплины позволяет систематизировать и автоматизировано использовать учебные материалы. Предложенная модель апробирована на учебной дисциплине «Математический анализ. Часть 1».

Ключевые слова: онтология, образование, математический анализ, онтологическое моделирование, Protégé.

Ontological model of the educational discipline of the mathematical module. Yurchishina Maria Vladimirovna, Surgut State University.

Abstract. Information technologies are penetrating deeper and deeper into all spheres of human life. The field of higher professional education should provide information in accordance with modern requirements. It is important to have a high-quality educational portal that provides information not only about the services of the university, but also educational information. Building your own developments gives the university an individual style and demonstrates the advantages to students over other universities. The ontological model of the academic discipline allows you to systematize and use the teaching materials automatically. The proposed model was tested in the discipline "Mathematical Analysis. Part 1".

Keywords. Ontology, education, mathematical analysis, ontological modeling, Protégé.

### Введение

Все большую популярность в научных исследованиях приобретает построение онтологий различных предметных областей. В научных публикациях имеется описание методов и принципов при построении онтологических моделей. За основу при построении были выбраны работы [9], [11], [12], [15], [31], [38], [42], [7], [29] и материалы по автоматизированному использованию информации из онтологии [2], [6], [20], [23], [24], [27], [32]. Также были изучены публикации, описывающие построенные онтологические модели в предметных областях, связанных со сферой образования, например, [1], [10], [14], [19], [21], [25], [26], [28], [30], [33], [36], [37], [39], и использованием онтологии для образовательного процесса [3], [4],[5],[8],[16],[17],[40],[41]. Большинство работ, посвященных построению онтологий в этой сфере, рассматривают предметные области, касающиеся организации учебного процесса или хранения имеющихся источников. Работ, посвященных онтологическому моделированию непосредственно содержания учебных дисциплин не было найдено, что свидетельствует о научной новизне данной разработки.

Построение онтологии предполагает работу с естественным языком и знание предметной области на высоком профессиональном (экспертном) уровне. Особенность предметных областей, отражающих содержание базовых математических дисциплин заключается в большом количестве проверенных временем и хорошо зарекомендовавших себя в обучении источников информации. С одной стороны это позволяет достоверно и максимально точно отразить область, с другой – не вызывает исследовательского интереса у экспертов. Основными экспертами в таких предметных областях можно считать преподавателей. Учитывая долголетнюю историю базовых дисциплин в настоящее время мало, кто из ученых-исследователей занимается именно ими, при этом исследовательская деятельность преподавателей связана, как правило с более сложными математическими дисциплинами. То есть мотивация в разработке онтологии очень низкая. Преподавателю удобнее и разумнее предоставить студентам имеющиеся качественные источники информации и исследовательской деятельностью заниматься в другом направлении. Наиболее новые публикации по таким базовым математическим дисциплинам, как правило, представляют собой методические указания, сборники задач или контрольных работ, а вот теоретическая составляющая остается неизменной.

Преимущества онтологии с точки зрения изучения современным студентом заключаются в первую очередь в удобстве, точности и скорости поиска необходимой информации. Если 50 лет назад традиционным способом самостоятельного изучения информации была бумажная книга, то сейчас студенты могут на протяжении всего времени обучения в ВУЗе не использовать ни одной бумажной версии книги. Более того, те первые электронные варианты учебников, которые представляли собой отсканированные бумажные источники, значительно уступают источникам, которые основаны на текстовых форматах. Зачастую студенты делают выбор в пользу недостоверных источников, представляющих информацию в текстовом виде, не уделяя должного внимания качественным изданиям только потому, что в них не очень удобно находить нужную информацию. Для базовых дисциплин это бывает крайне существенно.

Поэтому создание онтологии актуально и решило бы многие проблемы. Использование онтологии со стороны преподавателей может быть очень широким: подготовка к занятиям, формирование контрольных заданий, экзаменационных билетов и т.д.

#### Постановка задачи

Построить онтологическую модель, отражающую содержание учебной дисциплины математического модуля. Стандартные дисциплины в этом модуле: «Математический анализ», «Высшая математика», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного», «Линейная алгебра», «Аналитическая геометрия» и т.д. Онтологическая модель подразумевает описание четырех множеств: классы, экземпляры, связи, свойства. Обозначим

$$O = \{C, I, R, P\},$$

O – онтология, C – множество классов, I – множество экземпляров (индивидов), R – множество связей, P – множество свойств.

Предполагается, что экземпляры в данной онтологии должны отражать содержимое учебной дисциплины: разделы, темы, вопросы, понятия, определения, теоремы, формулы, задачи и т.п. То есть необходимо описать взаимное соответствие теоретического материала дисциплины с указанными множествами.

Основной целью использования онтологии предполагается формирование проверочных заданий по дисциплине: вопросов для подготовки к экзамену, экзаменационных билетов, зачетных работ, контрольных работ и т.п.

#### Методы и инструменты

Для разработки онтологии выбран язык OWL. Для удобства построения был использован редактор онтологий Protege, который является бесплатным и распространяется по свободной лицензии. Данный редактор имеет удобный интерфейс для построения всех элементов онтологии, организованный стандартным оконным способом с удобными, интуитивно понятными закладками. Для описания элементов онтологии использован естественный язык, который предполагается в качестве основного для использования – русский.

#### Результаты

Поскольку каждая дисциплина содержит очень большое количество элементов, названных в постановке задаче, при этом часто пересекающихся, а также имеется необходимость использования более крупных понятий в качестве тем, вопросов, задач и т.п. предложено в качестве структуры классов использовать традиционную структуру оглавления: разделы, темы, вопросы, задачи и т.п. Предложено такие элементы, как разделы не вводить в систему классов, а использовать в качестве экземпляров в классе самого высокого уровня «Содержание». В качестве подклассов первого уровня выбраны «Темы», которые для удобства и упорядоченности необходимо пронумеровать. Следующий уровень подклассов выбран из соображений возможности использования для формирования экзаменационных билетов – это «Вопрос» и «Задача», которые тоже необходимо пронумеровать, причем здесь удобно использовать двойную

нумерацию, один из номеров должен соответствовать номеру темы, второй – для упорядочения вопросов и задач внутри темы. Под понятием «задача» понимает не конкретная формулировка задачи и, тем более, не частный случай задачи, а обобщенный тип задач. Под понятием «вопрос» понимается некоторая, относительно небольшая часть темы, ориентировочно представляющая собой вопрос на экзамене. Предложенное множество классов и его уровневая структура представлены на рисунке 1. При построении системы классов количества тем, вопросов и задач первично установлены 20, 5 и 5, соответственно. Гибкость онтологии позволяет добавлять при необходимости классы. В ситуации, когда некоторая тема содержит меньшее количество вопросов или задач, просто не будут для этой дисциплины присутствовать в ней экземпляры. Дальнейшая детализация в данной работе не выполнялась, но она возможна и будет реализована в следующих работах.

Множество экземпляров, описывающее дисциплину «Математический анализ. Часть 1», построено с использованием традиционных источников теоретической информации по дисциплине – учебников [22], [34] и сборника задач [13]. Созданы экземпляры относящиеся ко всем уровням системы классов, при этом во многих темах количество вопросов или задач необходимо было увеличить до 7-8, что и было сделано.

Множество связей между подклассами и надклассами, а также экземплярами их классами достаточно просты и могут быть описаны как «входит в». Связь между общим содержанием и разделами может быть обозначена как «состоит из», также установлены связи «требует» для тех тем, которые требуют предварительного изучения каких-то других.

Свойствам в данной работе не было уделено внимания, поскольку целью построения онтологии была демонстрация ее для формирования проверочных заданий, то есть необходимо было получить иерархию и взаимоотношения между темами, вопросами и задачами. В дальнейших разработках множество свойств будет описано.

На рисунке 2 продемонстрирован фрагмент онтографа, отражающий экземпляры, относящиеся к одной теме.

Общий объем онтологии составил более 200 различных классов и более 350 экземпляров.

Данная онтология может быть встроена в онтологию образовательных ресурсов, например, подобную, рассмотренной в [18] или [35].

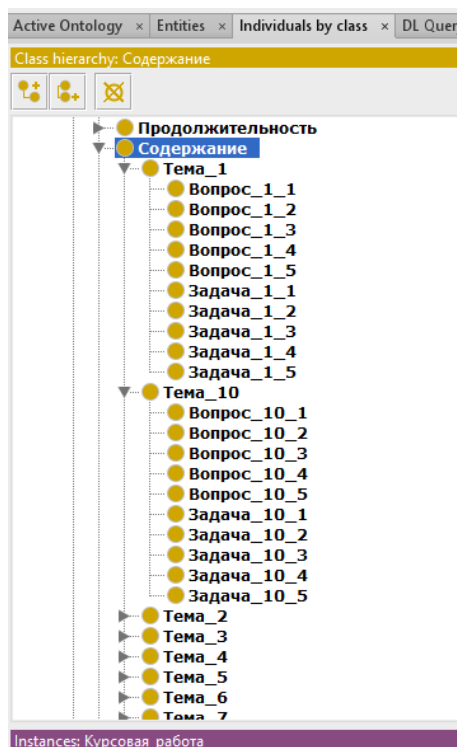


Рисунок 1 – Иерархия классов онтологии «Дисциплина»

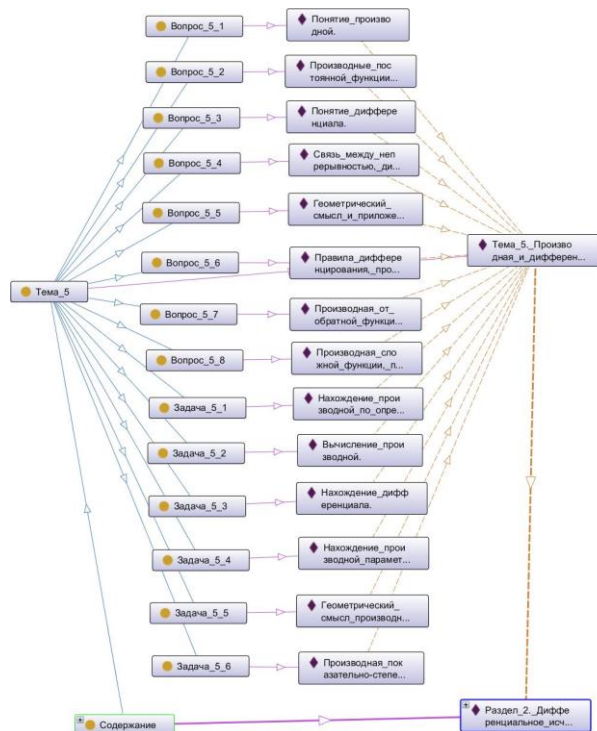


Рисунок 2 – Фрагмент онтограф одной темы дисциплины «Математический анализ»

Для решения задачи по формированию проверочных работ построенной онтологии оказалось достаточно.

Заключение

Построена онтология учебной дисциплины. Разработана структура классов типичной математической дисциплины. Создан набор экземпляров, относящихся к одной выбранной дисциплине «Математический анализ. Часть 1». Установлены связи между классами и экземплярами онтологии. Частично описаны свойства экземпляров. Данная онтология является лишь частью предполагаемой более глубоко детализованной онтологии, однако является целостным и готовым к применению продуктом, позволяющим решать определенные задачи.

#### Литература

1. Антошук С.Г. Онтологическая модель подсистемы «Деканат» [текст] / С.Г.Антошук, Д.В.Ушаков // Праці Одеського політехнічного університету, 2011. – Вип. 3. – С.335-339.
2. Артемова Г.О. Специфика извлечения информации из текстов для построения онтологий слабоформализованных предметных областей [текст] / Г.О. Артемова, К.К. Боярский, Н.Ф. Гусарова, Н.В. Добренко, Е.А. Каневский // Сборник научных статей XVIII Объединенной конференции «Интернет и современное общество», 2015. – С.35-41.
3. Балашова И.Ю. Онтологические модели в системе информатизации образования [текст] / И.Ю. Балашова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе, 2015. – № 3 (15). – С. 120–127.
4. Балашова И.Ю. Построение и исследование предметной онтологии электронного обучения [текст] / И.Ю. Балашова // Программные продукты и системы, 2014. – №3. – С.26-32.
5. Васильев В.Н. Онтологический подход в электронном обучении: открытость, гибкость, связность и интерактивность [текст] / В.Н.Васильев, Д.И.Муромцев, С.К.Стафеев // Компьютерные инструменты в образовании, 2013. – №5. – С.33-41.
6. Величко В. Комплексные инструментальные средства инженерии онтологий [текст] / В.Величко, К. Малахов, В. Семенов, А.Стрижак // International Journal "Information Models and Analyses", 2014. – V.3. – №4. – С.336-361.
7. Витченко О.В. Проблемы онтологического проектирования компетентностной модели выпускника современного ВУЗа [текст] / О.В. Витченко. // Современные проблемы науки и образования, 2016. – №6. – С.389.
8. Волежанина И.С. Место онтологических исследований в современном российском образовании [текст] / И.С. Волежанина. // Крымский научный вестник, 2015 – №5. – С.26-46
9. Гаврилова Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы [текст] / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 324 с.
10. Гимранов Р.Д. Качественный анализ основных направлений исследования онтологий бизнес процессов предприятия [текст] / Гимранов Р.Д., Тищенко С.А., Вакорин П.О., Коматовский М.О., Лугачев М.И., Шахмурадян М.А., Выслоух А.А. // Проблемы теории и практики управления, 2019. – №11. – С.137-153.
11. Горшков С. Введение в онтологическое моделирование [текст] / С. Горшков. — ООО «ТриниДата», 2016. — 165 с.
12. Грэхем И. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика [текст] /И.Грэхем. — 3-е изд. — М.: «Вильямс», 2004. — С. 880.
13. Демидович Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу [текст] / Б.П. Демидович. – Изд-во Московского университета, Изд-во "ЧеРо", 1997. – 624 с.
14. Добров, Б. Онтология по естественным наукам и технологиям ОЕИТ: структура, состав и современное состояние [текст] / Б.Добров, Н.Лукашевич. – Электронные библиотеки, 2008. – Т.11. – Вып.1 <https://elbib.ru/article/view/288> (01.06.2020)
15. Долятовский В.А. Онтологический подход к процессам и системам обучения и образования [текст] / В.А. Долятовский, Я.В.Гамалей // Образовательные технологии, 2018 – С. 76-106.
16. Загорюлько Ю.А. Построение порталов научных знаний на основе онтологий [текст] / Ю.А. Загорюлько // Вычислительные технологии. Специальный выпуск 2, 2007. — Т.12. — С.169-177.
17. Иванов С.Н. Использование онтологической модели учебных ресурсов в правоведении [текст] / С.Н. Иванов, В.В.Карасюк // Сборник конференций НИЦ Социосфера, 2013. — С.174-177.
18. Игнатова О.А. Разработка OWL-онтологии образовательных ресурсов сургутского государственного университета [текст]: маг.дисс. 01.04.02 / О.А.Игнатова, Сургут, 2019. — 83 с.
19. Исмаилов Б.И. Онтологическая модель предметной области «учебные материалы» в автоматизированной обучающей системе по программированию [текст] / Б.И.Исмаилов, С.Н.Каткова // Известия КГТУ им. И.Раззакова. — Информационные и телекоммуникационные сети и систем, 2017. — С.40-45.
20. Кравцов Д.В. Автоматизированная система для построения онтологий предметных областей [текст] / Д.В. Кравцов, Д.А. Коростелев, О.Н. Юркова // Информационные системы и технологии в науке и образовании, 2017. — №1(130) . — С.46-50.

21. Кадыров А.А. Построение онтологической модели дистанционно-образовательного ресурса [текст] / А.А.Кадыров, С.В.Максимов // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии. Проблемы и решения», 2016. — №1 (23) . — С.23-26.
22. Кудрявцев Л.Д. Математический анализ [текст] / Л.Д.Кудрявцев. — М.: Высшая школа. — Т.1. — 1989. — 576 с.
23. Левит А.А. Проблемы, связанные с построением семантических сетей и онтологий [текст] / А.А.Левит // Новая наука: Опыт, традиции, инновации, 2016. — № 10-2. — С. 112-115.
24. Маликов А.В. Методы извлечения терминов и понятий при анализе полнотекстовых материалов для решения задачи построения онтологии учебного процесса [текст] / А.В.Маликов, А.С.Целиковский // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, 2011. — №2 (27) . — С.24-27.
25. Мельников А.В. Онтологическая модель автоматизированной информационной системы ВУЗа [текст] / А.В. Мельников // Информационные технологии и системы, 2015. — С.177-178.
26. Монахова Т.В. Онтологическая модель описания экспериментальных данных [текст] / Т.В.Монахова // Труды СПИИРАН, 2013. — Вып. 1(24). — С.303-312.
27. Найханова Л.В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования [текст] / Л.В. Найханова // Улан-Удэ: «БНЦ СО РАН», 2008. — 237 с.
28. Нестеренко М.В. Разработка OWL-онтологии образовательного процесса Сургутского государственного университета [текст] / М.В. Нестеренко, О.А. Игнатова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии, 2019. — №1. — С. 95-100.
29. Палагин А.В. Методика проектирования онтологии предметной области [текст] / А.В.Палагин, Н.Г.Петренко, К.С.Малахов // Комп'ютерні засоби, мережі та системи, 2011. — №10. — С.5-12.
30. Палей Е.В. Проблемы и перспективы построения онтологии образования. [текст] / Е.В. Палей // Тамбов: И. «Грамота», Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики, 2014. — № 12 (50) . — Ч. II. — С. 148-150.
31. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке [текст] / Э.В.Попов // М.:«Наука», 1982. — 360 с.
32. Романов С.В. О подходах к автоматическому построению онтологий [текст] / С.В.Романов // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах, 2014. — С.59-60.
33. Темникова Е.А. Онтологическое моделирование предметной области образовательного учреждения дополнительного профессионального образования [текст] / Е.А.Темникова, В.С.Асламова, О.Г. Берестнева // Онтология проектирования, 2015. — Т.5. — С.365-386.
34. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа [текст] / Г.М.Фихтенгольц. — М.: Наука, 1968. —Т.1. — 440 с.
35. Фролова Н.Б. Разработка OWL-онтологии образовательных ресурсов СГТУ [текст] / Н.Б.Фролова // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии, 2016. — №3. — С.149-158.
36. Чалей И.В. Математические и информационные модели цифрового предприятия на основе онтологий / Чалей И.В., Каратаева Г.А., Гимранов Р.Д. // Инновационное развитие экономики, 2018. — № 6-3 (48) . — С.69-72
37. Шполянская И.Ю. Онтологическая модель информационно-образовательной среды учебного подразделения ВУЗа [текст] / И.Ю.Шполянская, И.И.Мирошниченко // Вестник Ростовского государственного экономического университета, 2010. — №2. — С. 201-209.
38. Noy N.F. Ontology development 101: a guide to creating your first ontology [текст] / N.F. Noy, D.L. McGuiness // Technical report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Reports SMI-2001-0880, 2001. — 23 с.
39. Plaksina I.V. Ontological model of step-by-step becoming of scholars' subjectness [текст] / I.V. Plaksina // The unity of science, 2016. — №4. — С.103-105
40. Roldan M.L. An Ontology-based Approach for Sharing, Integrating, and Retrieving Architectural Knowledge [текст] / M. L. Roldan, S. Gonnet, H. Leone // Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2018. — С.43-62.
41. Tkanko O.V. Using ontology for querying in relational database [текст] / O.V.Tkanko, A.I.Petrenko // System Research & Information Technologies, 2013. — №3. — С.45-52
42. Weisfeld M. The Object-Oriented Thought Process [текст] / M. Weisfeld. — Addison-Wesley Professional, 2013. — 336 с.

## О ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДИАИНФОРМАЦИОННОЙ ГРАМОТНОСТИ УЧАЩИХСЯ В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ

Разумова О.В., Садыкова Е.Р., Туктарева Л.А.  
Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), г. Казань  
89063237221, miraolga@rambler.ru

Статья посвящена исследованию проблемы формирования медиаинформационной грамотности учащихся на уроках информатики в современной школе. Рассматриваются особенности формирования медиаинформационной грамотности средствами интеграции специально разработанного элективного курса «Основы медиаинформационной грамотности» с уроками информатики в средней школе.

Ключевые слова: медиаинформационная грамотность, обучение информатике, элективный курс по информатике.

About the problem of formation of media-informational literacy of students in a modern school.  
Razumova O.V., Sadykova E.R., Tuktareva L.A., Kazan (Volga region) Federal University (KFU), Kazan

The article is devoted to the study of the solution of the problem of formation of media-informational literacy of students at computer science lessons in modern schools. The article considers the features of media information literacy formation by means of integration of a specially developed elective course "Basics of media information literacy" with computer science lessons in high school.

Keywords: media literacy, computer science training, elective course in computer science.

В настоящее время мы живем в постинформационном обществе. Главная проблема состоит не в получении информации, а в правильном ее отборе, в том, чтобы отделить объективную информацию от субъективного мнения отдельно взятого человека [1, 2]. Под большое влияние попадают дети старшего возраста, ведь именно в этот период подростки особенно увлечены социальными сетями, мессенджерами и Интернетом в целом. Проблемой является также то, что при взаимодействии с масс-медиа школьники руководствуются только собственными знаниями, а процветающее на сегодняшний день мошенничество в Интернете, так называемый «кибербуллинг» (англ. - cyber bullying, интернет-травля), «троллинг» (издевательства и провокация в сети), терроризм, кража личных данных требуют фундаментальных знаний о поведении в Интернете. Все это вызывает необходимость в новом понимании грамотности, предполагающее объединение навыков коммуникации и работы с информацией [11, 12, 14].

Актуальность исследования подкрепляется неутешительной статистикой. Согласно результатам всероссийского исследования РОЦИТ (Региональный общественный центр интернет технологий), среднее значение индекса цифровой грамотности граждан РФ в 2018 году составило 4,52 пункта, что на 14,7% меньше, чем в предыдущем году [3]. А это значит, что современному человеку становится все труднее ориентироваться в мире Интернета, он становится все более уязвим и беззащитен в своей несправедливости в медиаинформационной сфере. «Сегодня множество устройств буквально «заставляют» пользователей совершенствоваться и осваивать все новые и новые модели поведения для удобства и скорости осуществления коммуникации, оплаты, передачи данных и других коммуникаций. Однако более активное пользование приводит и к необходимости в более высоком уровне знаний, росте критического мышления. Пользователи только учатся понимать разницу между легальным и пиратским контентом и ПО, начинают задумываться о безопасности онлайн-платежей, а потому оценивают свой уровень цифровой безопасности как более низкий», - отмечает директор РОЦИТ Сергей Гребенников [3].

Что лежит в основе понятия «медиаинформационная грамотность»? «Медиаинформационная грамотность – это совокупность установок, знаний, умений и навыков, которые позволяют человеку ориентироваться во все более глобализирующемся цифровом мире. Она предполагает не только оперирование всеми типами информационных ресурсов: устными, письменными и мультимедийными, но и обладание навыками критического мышления, осмысления и интерпретации полученной информации в различных профессиональных и образовательных областях» [4].

ЮНЕСКО разработала пять основных законов медиаинформационной грамотности гражданина [10]:

1. Интернет, медиа, технологии, коммуникация, библиотеки, средства массовой коммуникации, а также любые другие формы представления информации предназначены для критического осмысления и устойчивого развития общества. Они равны по статусу, и ни один из форматов не является более значимым, чем любой другой.

2. Каждый гражданин является творцом информации и знаний, и каждому человеку есть, что сказать. У людей должны быть равные возможности для получения доступа к новой информации и знаниям.

3. Информация, знания и сообщения не всегда являются достоверными и нейтральными. У потребителей информации должна быть возможность это понять.

4. Каждый гражданин хочет знать и принимать новую информацию, а также общаться, даже если он не осознает, признает или выражает это. Однако его права не должны быть ущемлены.

5. Медиаинформационная грамотность развивается постепенно. Это сложный и динамичный процесс.

Согласно трудам А.В. Федорова, выделяются 6 компонентов медиаинформационной грамотности: творческий; критический; информационный; интерактивный; практический; рефлексивный [8]. Творческий компонент заключается в способности создавать и интерпретировать медиа контент. Учащиеся могут развивать эти навыки, самостоятельно создавая медиа контент. Критический компонент является ключевым, поскольку основная задача медиаобразования состоит в том, чтобы выйти за рамки медийного влияния и использования технологий, раскрыть скрытые мотивы и механизмы манипулирования нашим сознанием. Именно поэтому так важно критическое осмысление и оценивание получаемого медиаконтента. Информационный компонент заключается в умении оперировать терминологическим аппаратом медиаобразования: знать основные термины, уметь ими пользоваться. Интерактивный компонент – это умение общаться при помощи медиа и примерять на себя различные медиароли, эти навыки могут развиваться во время дискуссий и различного сетевого взаимодействия, указывая на готовность выражать свои мнения и установки. Практический компонент заключается в умении учащимися применять медиатехнологии, производить грамотный медиапоиск, а также пользоваться полученной медиаинформацией в различных целях. Рефлексивный компонент заключается в умении производить оценку своего развития в результате произведенного взаимодействия с медиамиром.

Применительно к процессу обучения информатике, мы акцентируем внимание на критический, практический, творческий и интерактивный компоненты.

Анализ научных источников по исследуемой проблеме показал, что в настоящее время процесс формирования медиаинформационной грамотности в общеобразовательной школе имеет достаточно неформальный и несистематический характер. Исследователи выделяют три наиболее типичные модели решения данной проблемы: 1) включение в школьную программу некоторых предметов, непосредственно связанных с медиаинформационной грамотностью, формирование специальных программ и разработок; 2) школа принимает решение о наложении учебных планов, полагая, что обучение медиаграмотности при помощи информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) должны стать частью преподавания во всех преподаваемых дисциплинах, причем обучение должно проводиться как для учащихся, так и для учителей; 3) школы выбирают стратегию интеграции медиаобразования практическим путем в дополнение к отдельным конкретным предметам [5, 7, 13].

Мы придерживаемся третьей модели, связанной с процессом формирования медиаинформационной грамотности учащихся. В связи с тем, то работа с ИКТ и Интернет-источниками проводится на уроках информатики, включение элементов медиаобразования в программу обучения данного предмета кажется наиболее логичным и гармоничным. Более того, в основном, все понятия медиаобразования отражены в данном школьном предмете. Школьники учатся получать, передавать, преобразовывать, анализировать, хранить и пользоваться информацией. Однако, основным и существенным недостатком школьного медиаобразования мы считаем следующий аспект: в рамках школьного курса информатики не затрагиваются такие вопросы, как: качество получаемой информации, её достоверность, критический анализ. А ведь это - ключевой момент в процессе развития медиаинформационной грамотности.

Проведенный нами анализ учебников по информатике разных авторских коллективов, учебных и методических пособий для учащихся по медиаобразованию позволил нам сделать следующий вывод: с каждым годом число теоретических и практических разработок в области медиаобразования растет. Заслуживают особого внимания электронные пособия «Информационная безопасность», разработанные коллективом авторов издательства «БИНOM. Лаборатория знаний» Е.В. Якушиной, М.С. Цветковой и И.Ю. Хлобыстовой, для внеурочной деятельности в начальной, средней и старшей школе [9].

Говоря о формировании медиаинформационной грамотности в школе, не стоит забывать о требованиях, предъявляемых как к учителю, так и к ученику и образовательному пространству, окружающему их. Очевидно, что педагог, формирующий медиаинформационную грамотность учащегося, должен обладать некоторыми компетенциями, необходимыми для взаимодействия с медийными и информационными платформами, а также для обучения учащихся ориентированию в существующем океане информации. В то же время ученик должен быть готов к приобретению и применению знаний, предлагаемых педагогом. Решающим фактором здесь также может быть состояние образовательного пространства, так как для формирования медиаинформационной грамотности школьника необходимы определенные условия и ресурсы.

Анализ учебных тем в базовом курсе информатики старших классов и стандарта медиаобразования обнаруживает взаимосвязь их предметных областей, что создает благоприятную среду

для интеграции медиаобразования в школьный курс информатики с целью развития медиаинформационной грамотности учащихся. Наиболее подходящими для этой цели содержательными линиями информатики являются: «Основы социальной информатики», «Компьютер», «Представление информации», «Алгоритмизация и программирование», «Информация и информационные процессы», «Информационные технологии», «Сетевые информационные технологии».

Разработанный нами элективный курс рассчитан на учащихся старшего звена, направлен на формирование медиаинформационной грамотности учащихся, развитие критического мышления и навыков работы с информацией.

Цели курса: познакомить учащихся с основами адекватного анализа информации, и её критической оценкой; сформировать представление о медиаинформационной грамотности, её важности в жизни человека; познакомить с основами кибербезопасности; развить критическое мышление школьников; сформировать навыки по правильному использованию: инструментов для проверки достоверности информации, социальных сетей, электронных финансов; познакомить с основами создания личного информационного контента.

Задачи курса:

– обучающие: познакомить обучающихся с историей медиа, формами древнейшей коммуникации; обучить учащихся основным навыкам «фактчекинга» – проверки текстовой информации; познакомить с языком запросов поисковых служб при поиске информации в интернете; научить проверять достоверность фото, аудио и видеoinформации с использованием инструментов; научить основам поведения в социальных сетях; познакомить со способами создания надежного пароля; обучить основам пользования электронными финансами; познакомить с понятием авторского права;

– развивающие: развить критическое мышление учащихся; продолжить развитие умения рассуждать логически; предоставить возможность приобретения дополнительных знаний о разнообразии медиамира; продолжить развитие творческого мышления учащихся; выработать умения наблюдения явлений, умения делать выводы, обобщения; развить навыки творческого самовыражения и альтернативного мышления;

– воспитательные: содействовать формированию мировоззренческих взглядов учащихся; воспитать ответственность за создание и использование медиаконтента; сформировать активную гражданскую позицию; воспитать уважение к противоположному мнению.

Основные методы работы, применяемые на занятиях: метод тематического поиска; проблемно-ориентированное обучение; метод кооперативного обучения; анализ текста; работа с иллюстративным материалом; создание информационного и медиапродукта; проблемная ситуация, ситуация успеха; лекция, беседа, дискуссия; тренинг, игра.

Структура курса:

1. История медиа. XXI век.
2. Медиамир и медиаграмотность. Современные мифы.
3. Поиск информации в Интернете. Язык интернет-запросов.
4. Информатия и новостная грамотность. Фейковые новости. Проверка на достоверность фото, аудио и видео.
5. «Темные» медиа.
6. Социальные сети. Кибербезопасность.
7. Электронные финансы.
8. Создание медиа. Авторское право.

Планируемые результаты освоения элективного курса: ученик обладает навыками проверки достоверности новостной статьи, аудио, фото и видеоконтента, используя необходимые инструменты; ученик способен провести грамотный поиск текста с использованием языка запросов поисковых служб; ученик знаком с основными правилами создания надежного пароля; ученик в состоянии критически относиться к любой новостной информации, полученной в социальных сетях и мессенджерах; ученик умеет находить первоисточник информационного контента; ученик знаком с основными правилами поведения в социальных сетях; ученик знаком с правилами проведения интернет транзакций.

Опытно-экспериментальная работа по формированию медиаинформационной грамотности на уроках информатики проводилась в три этапа: констатирующий, формирующий и контролирующий. Экспериментальную базу исследования составило Муниципальное бюджетное образовательное учреждение «Лицей 116 имени Героя Советского Союза А.С. Умеркина» Вахитовского района в г. Казань.

Для выявления исходного уровня медиаинформационной грамотности учащихся были разработаны задания для входного теста с использованием модифицированной методики А.А.Морозовой [6]. Выделены следующие критерии оценки медиаграмотности: информационные, технические, психологические, речемыслительные, образовательные, возрастные, социальные, критерии доступности к средствам массовой информации и коммуникации, профессиональные, IQ-критерии. К информационному критерию относится умение человека пользоваться достоверными и авторитетными источниками



информации. Насколько он владеет информацией, насколько умеет ее анализировать, интерпретировать, подвергать ее критическому осмыслению и так далее. Умение человека использовать компьютер, различные электронные СМИ, уровень их освоения, а также некоторые технические навыки использования Интернета и иного современного технического обеспечения, предназначенного для работы с информацией, характеризует технический критерий оценки медиаинформационной грамотности. Осознание человеком необходимости медиаобразования, интуитивное определение собственного уровня медиаинформационной грамотности, относится к психодогической составляющей медиаинформационной грамотности. Речемыслительный критерий характеризуется как умение человека адекватно воспринимать ситуации, мыслить объективно, опираясь на различные точки зрения, умение делать выводы, формировать собственную точку зрения и выражать её в письменной или устной форме. Рассматривая образовательный критерий оценки уровня медиаинформационной грамотности следует отметить, что уровень медиаинформационной грамотности непосредственно работающего специалиста со СМИ будет выше. Чем старше человек, тем, как правило, он более далек от современных СМИ (в частности от Интернета), но, в тоже время, более старшее поколение имеет устоявшиеся взгляды на жизнь, способности к большому анализу и критике, в отличие от молодежи. Это положение непосредственно связано с возрастным критерием оценки медиаинформационной грамотности. Социальный критерий связан с социальным положением человека: его материальным достатком, социальными ролями, профессией, ценностями и стремлениями в жизни. Каждая группа населения по ряду признаков (социальных, материальных, территориальных, профессиональных и так далее) имеет различный доступ к средствам массовой информации и коммуникации (критерий доступности). Профессиональный критерий связан со сферой деятельности человека. Несомненно, что те, кто работает в сфере журналистики, образования, коммуникации будут более грамотными в медиаинформационной сфере. Интеллект, умственные способности влияют на восприятие информации, её осмысление, анализ, критику и так далее. Не менее важны желание и способности к обучению (IQ-критерий).

Разработанный диагностический тест содержит вопросы по определению новостной грамотности учащихся, умению пользоваться социальными сетями, мессенджерами и др. (<https://forms.gle/Y1HFc8zQndZuxy9j6>)

Применительно к учащимся средней школы уровни развития медиаинформационной грамотности были сведены до трех основных: низкий, средний, высокий. Это связано с тем, что учащиеся современной школы имеют достаточные условия для наличия низкого уровня медиаинформационной грамотности, соответственно очень низкого уровня развития среди детей выделить нельзя. Очень высоким уровнем медиаграмотности могут обладать только люди определенных профессий, чья профессиональная деятельность непосредственно связана с медиаобразованием, школьники старшего звена таким уровнем медиаинформационной грамотности обладать не могут.

Элементы элективного курса были интегрированы в уроки информатики экспериментальной группы по темам: «Представление чисел в компьютере», «Кодирование текстовой информации», «Кодирование графической информации», «Кодирование звуковой информации», а также на уроке общеметодологической направленности по теме «Представление информации в компьютере».

Для проверки статистических различий между показателями уровней сформированности медиаинформационной грамотности экспериментальной и контрольной групп нами был проведен выходной тест с использованием Google Forms (<https://forms.gle/KC6eRcmcgTjzV6b7>).

При сравнении результатов входного и выходного тестов контрольной и экспериментальной групп на выявление уровня сформированности медиаинформационной грамотности была выявлена положительная динамика среди учащихся экспериментальной группы. В экспериментальной группе количество учащихся с высоким уровнем медиаинформационной грамотности повысилось на 17%, со средним уровнем повысилось на 18%, а количество учащихся с низким уровнем медиаинформационной грамотности уменьшилось на 35%. В контрольной группе наблюдается слабая положительная динамика: количество учащихся с высоким уровнем медиаинформационной грамотности повысилось на 14%, со средним уровнем повысилось на 7%, с низким с низким уровнем уменьшилось также на 7%.

Проанализировав результаты педагогического эксперимента, нами была выявлена корреляционная связь между формированием медиаинформационной грамотности учащихся и разработанным элективным курсом «Основы медиаинформационной грамотности».

Медиаинформационная грамотность подростка – это задача, как семьи, так и школьного образования, ведь на современном этапе жизни общества появляются проблемы, связанные с глобализацией информационного пространства. Благодаря развитию информационных технологий информация распространяется с невероятной скоростью, и может быть при этом недостоверной или противоречивой. Задача педагога в этом – не дать молодому поколению потеряться в этом информационном потоке, научиться ориентироваться в нем и адекватно его воспринимать.

Литература

1. Дьячкова Т.А., Разумова О.В., Садыкова Е.Р., Харисова З.Р., Насибуллов Р.Р., Яруллин И.Ф. Компьютерные игры на интегрированных уроках информатики и математики // Информатика в школе. – 2019. – № 4 (147). – С. 37-42.
2. Гизутдинова Д.Р., Разумова О.В. Компьютерные обучающие игры на уроках математики // В сборнике: Математическое образование в школе и вузе: инновации в информационном пространстве (MATHEDU' 2018) Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Л.Р. Шакирова. – Казань: КФУ, 2018. – С. 64-68.
3. Индекс цифровой грамотности граждан Российской Федерации 2018. Региональный общественный центр интернет-технологий (РОЦИТ) // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rocit.ru/news/index-digital-literacy-2018> (Дата обращения: 24.07.2020).
4. Медиа и информационная грамотность. Учебное пособие для 9-11 классов. Издание для апробации. П. В. Банников, О. Гороховский, Т. Соколова, И. М. Печищев, Д. Радзевичус, А. Усупбаева., Д.П. Шишкин. – Алматы: ОФ «Международный центр журналистики «MediaNet», 2019. – 152 с.
5. Медиа и информационная грамотность в обществах знания. Сост. Кузьмин, Е. И., Паршакова А. В. – Материалы Международной конференции (Москва 24–28 июня 2012 г.), ЮНЕСКО «Информация для всех». – М.: МЦБС, 2013. – 384 с. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ifarcom.ru/files/News/Images/2013/mil\\_int\\_rus.pdf](http://www.ifarcom.ru/files/News/Images/2013/mil_int_rus.pdf) (Дата обращения: 21.07.2020)
6. Морозова А.А. Критерии оценки медиаграмотности населения: онлайн тестирование / [Текст] А.А. Морозова // Экономические, юридические и социокультурные аспекты развития регионов: сборник научных трудов X Международной научно-практической конференции. – Челябинск: Челябинский институт экономики и права им. М.В. Ладосина, 2012. – С. 176-179.
7. Разумова О.В. О внедрении элементов метакогнитивных рефлексивных технологий в учебный процесс вуза // Информация и образование: границы коммуникаций. – 2019. – № 11 (19). – С. 282-283.
8. Федоров А.В. Медиаобразование: история, теория и методика // [Текст] Федоров А.В. – Ростов-на-Дону: Изд-во «ЦВВР», 2001 – 708 с.
9. Цветкова М.С., Якушева Е.В., Хлобыстова И.Ю. Информационная безопасность: электронное приложение к пособиям серии «Информационная безопасность». Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lbz.ru/metodist/authors/ib/> (Дата обращения: 23.07.2020)
10. Five Laws of Media and Information Literacy, UNESCO (2017) // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/media-development/media-literacy/mil-as-composite-concept/> (Дата обращения: 23.07.2020)
11. Kurnikova M.V., Dodorina I.V., Litovchenko V.B. Technological Paradigms of Digital Competences Development(Book Chapter) // Lecture Notes in Networks and Systems. – Volume 133, 2021. – Pages 113-122.
12. Lytras M., Sarirete A., Damiani E. Technology-enhanced learning research in higher education: A transformative education primer // Computers in Human Behavior. – Volume 109, August 2020. – N. 106350.
13. Visvizi A., Lytras M.D., Daniela L. The future of innovation and technology in education // Policies and practices for teaching and learning excellence. – 2018. - Pp. 1-10.
14. Wineburg, Sam and McGrew, Sarah and Breakstone, Joel and Ortega, Teresa. (2016). Evaluating Information: The Cornerstone of Civic Online Reasoning. Stanford Digital Repository. // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://purl.stanford.edu/fv751yt5934> (Дата обращения: 24.07.2020).

## КУРС ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ГЛАЗАМИ СТУДЕНТОВ

Рогозин К.И., Рогозина И.В., Пацева Ю.В., Госниц С.Е., Драчева Т.О.  
АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
+7 (923) 729-20-81, [krogozi@mail.ru](mailto:krogozi@mail.ru)

Статья посвящена обсуждению результатов опроса, проведенного среди студентов технических направлений подготовки Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова после прохождения дистанционного курса физики в период пандемии COVID-19 весной 2020 года. Целью данного курса явилась апробация различных информационных и коммуникационных технологий с использованием мобильных персональных цифровых устройств.

Ключевые слова: LMS, контент, Гугл Класс.

Distance-learning course: a survey among students. Rogozin K.I., Rogozina I.V., Patseva Yu.V., Gosnits S.E. Dracheva T.O. \* AltSTU them. I.I. Polzunova

The article is devoted to the discussion of the results of a survey conducted among technical students at Polzunov State Technical University after completing a distance-learning course during the COVID-19 pandemic

in the spring of 2020. The objective of the course was approbation of a number of information and communication technologies with the use of mobile personal digital devices.

Keywords: LMS, content, Google Class.

#### Введение

Мобильные персональные цифровые устройства (гаджеты) стали обязательными и обычными аксессуарами современного человека. Они всегда в наличие, как у преподавателя, так и у его учеников. Эти технические устройства являются не только инструментом межличностной коммуникации, но и способом получения всевозможной информации, необходимой для принятия индивидуальных решений при наличии большого числа альтернатив. Любой учебный процесс, безусловно, является единством и результатом общения его организатора и учеников, с целью приобретения последними необходимых обществу предметных компетенций. Гаджеты, по нашему мнению, могут позволить снизить потенциальные психологические барьеры получения новых знаний, умений и навыков для студентов, реализуя обучение в удобных и привычных местах и в приемлемое для них время. В ходе проведения реального учебного курса авторы публикации осуществили попытку поиска и апробации эффективных способов использования гаджетов для его администрирования и реализации [1].

#### Постановка проблемы

Результаты обучения во многом определяются характером взаимодействия между участниками образовательного процесса. Использование мобильных гаджетов связано, с одной стороны, с тем насколько организатор владеет предметными, педагогическими и цифровыми компетенциями, а также его способностью их реализовать в готовых образовательных продуктах. С другой стороны, эти продукты могут быть востребованы учениками, которые должны быть готовы и способны работать с ними по предложенным преподавателем алгоритмам. В статье «Опыт проектирования и реализации дистанционного учебного процесса» данного сборника нами изложены основные принципы, лежащие в основе дистанционного курса, осуществленного весной 2020 года, а также основная суть принятых решений его проведения и администрирования.

Студенты являются активными участниками образовательного процесса. Их мнение, на наш взгляд, должно быть важным для оценки способа, стратегии и тактики использования любых педагогических методик и техник, в том числе с применением персональных цифровых устройств. Нами проводился опрос студентов и в процессе дистанционного обучения, и после завершения курса. В опросе приняло участие 86% студентов, изъявивших желание добровольно ответить на предложенные вопросы. Данная публикация содержит информацию о заданных вопросах и ответах на них, а также анализ полученного опыта работы в дистанционном формате по изучению дисциплины.

#### Выбор LMS

Для администрирования дистанционного учебного курса в рамках обучения нами была выбрана система управления обучением (англ. «learning management system», LMS) *Гугл Класс* [2]. В названной выше публикации приведены причины такого выбора. Он был оценен студентами следующим образом: *«Гугл КлассРум – потрясающая платформа для проведения лекций, тестов и прочее. Все предельно ясно и понятно, можно оставить комментарий, посмотреть, какие задания нужно выполнить в ближайшее время; Высший класс 100 из 100. Удобно и современно. Наглядно и доступно. Лучший инструмент. Очень удобно, никаких заморочек; ГуглКлассРум очень удобный инструмент, им очень легко пользоваться; Работа на данном электронном ресурсе меня устраивает, очень удобно; Респект за интерактивный способ обучения без объёмной письменной работы; В целом платформа довольно удобная, быстрый доступ через Гугл почту дает ей преимущества перед ИЛИАСОМ, в который постоянно нужно перезаходить. Но и тут доработки бы не помешали, но нет ничего идеального; Очень нравится, все разделено (лента, задания), можно было общаться с Вами и легко ориентироваться по заданиям; Самое лучшее решение!; Если сравнивать с тем, что используют другие преподаватели, то это, наверное, самый лучший инструмент, т. к. понятно в какие сроки нужно сдать задание, удобный интерфейс, легко можно находить теорию, которая необходима для выполнения заданий; Инструмент многофункциональный, легок в применении; 10/10; Отлично».*

#### Используемое персональное цифровое устройство

Студентам для работы в качестве персонального цифрового устройства были предложены на выбор три альтернативы: РС (персональный компьютер), планшет и гаджеты. Не было ни одного студента, который бы выбрал планшет.

Все студенты в ходе курса использовали и РС, и мобильные гаджеты, выбирая для конкретного вида учебной деятельности либо один из них, либо оба одновременно. Так для просмотра видеоматериалов, презентаций и поиска информации при прохождении тестов использовались

исключительно гаджеты. Для изучения учебных материалов (справочник, теория) в формате .pdf студенты чаще выбирали персональные компьютеры. Для большинства обучаемых основным цифровым персональным устройством в учебном процессе являлся персональный компьютер (56%), однако доля тех, кто пользовался преимущественно гаджетами также высока (44%).

Курс показал, что для студентов важно, как возможность выбора основного персонального цифрового устройства, так и одновременное использование нескольких при выполнении учебных заданий.

#### Выбор учебных материалов

В предложенном курсе у студентов была возможность выбрать вид представления учебного контента. Он был размещен в виде: «теория» (подробное изложение), «справочник» (кратко), «презентация» (образное и краткое) и «видео комментариев» (комментарий лектора презентации). Студентам задавались несколько вопросов, которые касались использования ими этих материалов. Только 6% студентов при подготовке пользовались одним видом учебных материалов, 54% использовали два вида учебных материалов, остальные (40%) использовали все. 85% студентов высказались за возможность иметь доступ ко всем предложенным реализациям учебного контента.

Организаторы курса понимали, что во время прохождения контрольно-измерительных процедур студенты не только могут, но и обязательно будут обращаться к учебным материалам, на основе которых были созданы тесты. Жесткое ограничение по времени (обычно 40 минут) на представление ответов (не менее 100) приводило к обязательному предварительному ознакомлению с материалами, чтобы иметь возможность найти необходимую информацию и ответить на вопрос. Студенты в ходе изучения дисциплины могли выбирать один или одновременно несколько видов доступного учебного контента. Ниже приведены диаграммы ответов на вопросы: 1) Какой из видов материалов был для Вас основным? 2) Какие виды учебных материалов были использованы при сдаче тестов? 3) Нужно предлагать все виды учебных материалов?



Рисунок 1 – Диаграммы оценки учебных материалов курса

Опрос студентов показал особую важность видео материалов. Для большинства они были основными, как для изучения предмета, так и для прохождения теста. Важно, что студенты разделились на три сравнимые по количеству участников группы на основе вида использования материалов при прохождении теста. Это указывает на необходимость предоставления материалов в различном виде, чтобы у обучаемых была возможность выбора учебной траектории.

#### Оценка качества предоставляемого учебного контента

Учебный контент был предоставлялся для пользования студентам четырьмя видами материалов: 1) теория (подробно); 2) справочник (кратко); 3) презентация (образно); 4) видео комментарий презентации. Оценка качества их, осуществленная студентами приведена на диаграммах Рисунка 2.

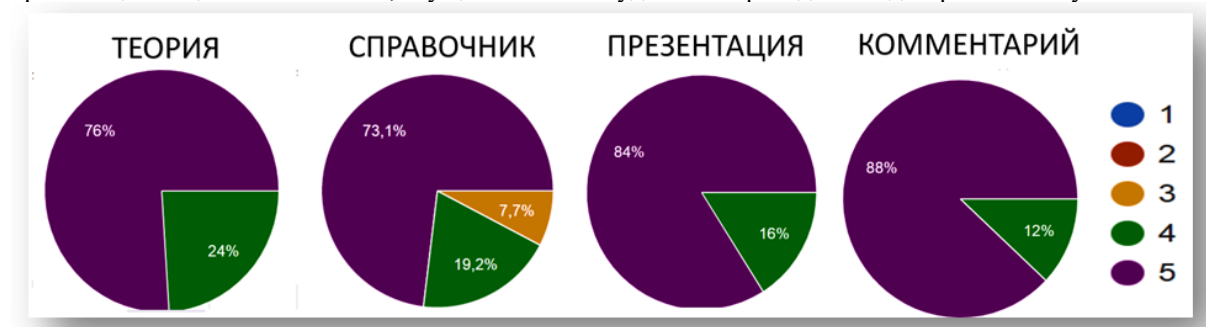


Рисунок 2 – Оценка качества учебных материалов

Проанализировав приведенные диаграммы можно утверждать, что, с одной стороны, студенты оценивают предметный контент как достаточно понятный и достаточный по объему, а, с другой стороны,

удобным для использования студентами. При этом, несомненно, в эту оценку входят такие важные характеристики учебных продуктов как доступ к ним способы и их представление на мобильных персональных цифровых устройствах.

**1. Теория.** Особо выделяется простой язык, понятность и доступность информации:

*«Написано простым и понятным языком без воды. Минусов не нашла; Всего и всегда в меру; Все было хорошо; Информация вся понятна и доступна; Теория тоже удобная, не было лишней информации, только самое важное; Интересно. Но также не все нюансы, которые были в контрольных указаны; Ну, вроде без промахов по темам))».*

**2. Справочник.** Важнейшим свойством является его краткость и достаточный объем, а также возможность найти в нем ответы при прохождении тестов:

*«Справочник – вещь хорошая. Ничего лишнего нет, все, именно то, что необходимо для знаний и прохождения тестов; Не всегда удачно, но там доступная информация; Справочник очень удобный и понятный. Все удачно!; Не всегда в нём можно было найти что нужно; Справочник хорош, но это скучно; Все было удачно. Большая подсказка в прохождении тестов и допусков; Справочник я использовал реже прочих источников (презентации и видео), но скорее всего кому-то было проще в основном опираться на него».*

**3. Презентация.** Отмечаемые студентами свойства – это яркость, наглядность, удобство использования, которые позволили легко воспринимать информацию:

*«Презентации все яркие и с рисунками, графиками и всем чем нужно. Ничего лишнего!; Очень и очень удобно при решении тестов. Можно быстро найти ответ на вопрос. И самое главное без воды. Больше всего помогла именно презентация. Минусов не нашла; Это самые лучшие презентации по сравнению как со школьными, так и с университетскими. Все красочно, запоминается сразу, особенно мне, потому что у меня очень хорошая зрительная память; Все было хорошо; Хорошее восприятие информации.*

*Удачно; В целом все дано довольно понятно, и кратко, если остаются вопросы можно обратиться к другим источникам; Хотел бы, чтобы они стали еще более информативнее».*

**4. Видео комментарий.** Важными для студентов были доступность изложения, краткость, демонстрация работы с экраном, эффект присутствия на занятиях в учебной аудитории:

*«Это очень хорошо, что Константин Иванович решил сделать видео комментарии к презентациям. Иногда на них сложные вещи он может объяснить "на пальцах". По протяженности видео не очень длинные. Что позволяет не заскучать во время видео. Часто преподаватель использует демонстрацию экрана, что тоже не мало важно; Видео комментарий помог понять, что было не совсем понятно в презентации. Всё подробно описано. Минусов не нашла; Это здорово, потому что такое чувство, что и нет никакого карантина. Допустим, есть преподаватели, которые требуют от нас сдачи домашнего задания, записанного на видео. И вопрос: почему тогда они не могут проводить нам занятия в таком же формате? К Вам претензий никаких нет, Константин Иванович! Это просто крик души; Это самое любимое. Люблю, когда Константин Иванович комментирует, становится гораздо понятнее; Такое ощущение, будто и не покидала Ваши пары.); Комментарии презентаций хороши, после их просмотра усваивание материала проходит проще, информация становится понятнее, к тому же часто в видео можно услышать много информации которая очень помогает при выполнении заданий. Когда читаешь просто теорию, не до конца понимаешь некоторые моменты, посмотрев видео всё становится ясно и понятно!»*

#### Прохождение контрольно-измерительных процедур

Контрольно-измерительные процедуры (тесты) в курсе выполнялись также удаленно, при этом был невозможен какой-либо внешний контроль преподавателем. Мы понимали, что при выполнении тестов у студентов не только есть возможность, но и они обязательно будут пользоваться учебными материалами. И это, с нашей точки зрения, может стать дополнительным преимуществом удаленного курса, поскольку студенты будут обращаться к учебному контенту несколько раз. В тоже время среди обучаемых, несомненно, будут и такие, которые до прохождения тестов не будут с ним знакомиться. Поэтому были приняты следующие решения: 1) ограничение времени выполнения тестов; 2) опора при создании вопросов на учебные материалы; 3) возможность прохождения одного и того же теста второй раз («второй круг»). После «первого круга» студентам становилась доступна их работа, в которой после каждого неверного ответа стоял авторский комментарий. И они могли не только разобраться в совершенной ошибке, но и исправить неверные решения.

**1. Круг первый.** Важным для студентов было то, что большинство ответов можно было найти в предложенных учебных материалах.

*«Всегда волнительно включать тест, думаешь сложный он или нет. Осилю ли я его. НО, открыв тест понимаю, что все будет хорошо. Конечно вопросы не всегда легкие, но это и хорошо. Нужно же иногда шевелить мозгами :). Тест второй круг. Иногда не понимала зачем они, если я прохожу всегда все*

на хорошо, но потом мне объяснили, что те, кто набрал плохое количество баллов может пересдать. Это очень хороший шанс, если ты подготовился плохо; Удачно. Ответы все можно найти в справочнике, презентации, учебники и предварительном просмотре видео комментария; Не всегда удачно получалось решить тест, а так все отлично; Я думаю, что это очень удачный формат в плане того что во время первого круга используется та информация, которую нам удалось усвоить из теории и в конце показываются ответы с пояснениями в случае если ответ был неправильным, лично меня это побуждает заново перечитать теорию, и после этого материал становится еще более понятным; Иногда не хватает выделенного времени; Очень понравилось, всё быстро, удобно и понятно; Первый блин комом, но не всегда))))).

**2. Круг второй.** Важным является возможность исправить ошибки, совершенные в «круге первом»:

«Всё полностью налажено; Помогает исправить оценку в первом круге; За неимением времени, стараюсь не ходить на второй круг, но если идти на него, то это еще лучше, потому что можно посмотреть на свои ошибки и сделать еще раз и на более высокий балл; Хорошо, что есть возможность доработать свои ошибки; Все хорошо. Особенно радует, что Вы даете второй шанс; Как по мне второй круг тоже необходим и он тоже очень хорош потому что для того чтобы написать второй круг нужно внимательно изучить все комментарии, которые были даны после первого круга, еще раз прочитать теорию и повторным тестом закрепить весь материал; После первого круга можно проработать ошибки и разобраться в теме, это круто; На втором круге всё устранялось и появлялась возможность набрать большее кол-во баллов! Это очень круто, что вы даёте такую возможность, ведь на втором круге большинство решает тест практически безошибочно!; Я умненькая, поэтому проходила только первые круги».

#### «Сегодняшнее видео»

Наиболее интересной и важной частью учебного курса для студентов являлся инструмент, который мы назвали «сегодняшнее видео». Каждая учебная неделя представляла собой выделенный этап курса. Перед его началом в Ютубе и личном кабинете выставлялось видео, в котором акцентировалось внимание на то, что нужно обязательно сделать:

«На сегодняшнем видео в Ютубе была я. Рада была увидеть преподавателя и поболтать с напарником. Это был хороший опыт; Такой формат мне нравится, лучше посмотреть и послушать, чем читать сообщения!; Удобно узнавать планы на сегодняшний день; Было круто; В целом для отслеживания работы, это полезно. Было интересно посмотреть; Все четко и понятно; Это хороший формат для того чтобы узнать о планах и новостях».

«Сегодняшнее видео» в ютубе.

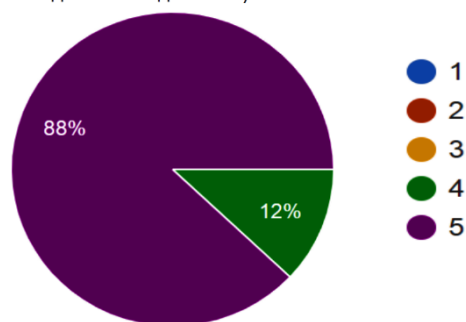


Рисунок 3 – «Сегодняшнее видео».

#### Последние вопросы и ответы на них

##### 1. Что больше всего запомнилось?

«Если вы имеете в виду в курсе. То бесконечное число тестов, это не звучит как-то обидно или то, что я устала от них. Это звучит, хорошо, тестов было много, собственно моя голова не забыла, что она умеет думать. Ведь когда решаешь тест, перед этим тебе нужно подготовиться. А потом когда сидишь читаешь вопрос, и в голове всплывает, что "я где-то видел и читал про это" открываешь справочник и правда, вот оно то, что нужно!; Больше всего запомнилась сдача лабораторных работ и практика (очень увлекательно); Больше всего запомнилось это тесты и презентации; Виртуальная площадка; Нравится, что преподаватель делает лучше для нас, видно, что старается. Запомнились наши видеоконференции, хоть и не все к такому привыкли, но это интересно ; сдача лабораторных работ и тесты; Сдача лаб, вызвала трудности, но хорошо запомнилась именно этим; Больше всего запомнилось общение с Вами в зуме и тесты, это было очень ново для нас и интересно; Запомнился формат проведения тестов в виде двух кругов, потому что я думаю, что это очень эффективный формат, благодаря которому хорошо усваивается информация; Интересно преподнесен новый материал: Тесты и встречи в зуме».

##### 2. Что не понравилось?

«Слишком много сообщений по началу было в личный кабинет студента. Это мешало найти другую полезную информацию от преподавателей. Потом стало лучше; Минусов не найдено. Единственное что хочется сказать, было бы лучше обучение в стандартном режиме; Все нравится!»;

*Долго думала, что написать в этой строке, но на ум так ничего и не пришло; Все хорошо, ничего не нужно улучшать; Доработать тесты».*

### **3. Оправдались ли ожидания? Или ожидания были лучшего/худшего?**

*«Реальность оказалась лучше ожиданий; Даже не могла подумать, что будет так интересно; Ожидания были не из лучших. но впоследствии они опровергались офисенной работой; Ожидания в целом были более печальные, так как работа с электронными платформами, и с программами для работы мне всегда давались сложнее, но все вышло не так уж страшно, как я предполагал, и в общем то я доволен своей работой; Честно говоря, я думала, что работа будет очень сложной, практически невозможной, особенно из-за защиты лабораторных работ. Я рада, что в своих ожиданиях я очень сильно заблуждалась. Из всех предложенных вариантов работы на дистанционном обучении, Ваш самый лучший! Спасибо большое! Я рада, что мы с Вами справились, несмотря на сложившиеся обстоятельства!; Я не ожидала от дистанционного обучения подобного формата; Первоначальные ожидания худшего не оправдались; Я полностью изменила мнение о происходящем, всё прошло куда лучше, чем думалось».*

#### Заключение

Весна 2020 года поставила всех перед необходимостью проведения учебного курса в удаленном режиме. Приобретенный нами опыт и ответы, которые дали студенты на предложенные вопросы о осуществленном курсе показывают, что дистанционное обучение может быть интересным и эффективным как для студентов, так и для их преподавателей. Однако, это требует приобретения организаторами дополнительных, по сравнению с традиционными курсами, цифровых знаний и навыков использования персональных цифровых устройств, а также значительных временных затрат. По нашему мнению, если преподаватель имеет возможности и желание выполнить такую работу, он должен это совершить. Считаем также, что при осуществлении учебных занятий в традиционном формате можно и нужно большую часть самостоятельной работы проводить в дистанционной форме [2,3] по алгоритмам, предложенным и опробованными нами.

#### Литература

1. ГОЛОСУЕМ ЗА ГУГЛ КЛАСС. ФизМинимум от РОКИ/ [Электронный ресурс] // YouTube: [портал]. URL :[https://www.youtube.com/playlist?list=PLQyBHYt4rbLsZeA1A25WYuI\\_PCBDFIJS](https://www.youtube.com/playlist?list=PLQyBHYt4rbLsZeA1A25WYuI_PCBDFIJS) (дата обращения: 1.09.2020).
2. Google Classroom «проведет» контрольную и позволит отследить выполнение «домашки». / [Электронный ресурс] // YouTube: [портал]. URL: <https://sdelano.media/glassroom/> (дата обращения 01.09.20).
3. Rogozin Konstantin. Physics learning instruments of the 21st century, Proceeding of The World Conference of Physics Education 2012 // 1st Edition: Ancara, 2014, Turkey/ P. 607-615.
4. Рогозин К.И., Кузнецов С.И., Маерков А.О., Пшенова У.И. Инструменты и средства веб-поддержки традиционных курсов обучения физике. / Высшее образование сегодня. 2014, №9, С. 29 – 32.

#### ДИСТАНЦИОННЫЙ УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС: ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ

Рогозин К.И., Рогозина И.В. Пацева Ю.В., Госниц С.Е. Драчева Т.О.

АлтГТУ им. И.И. Ползунова  
+7 (923) 729-20-81, [krogozi@mail.ru](mailto:krogozi@mail.ru)

Статья посвящена использованию информационных и коммуникационных технологий при дистанционном обучении физике студентов технических направлений подготовки АлтГТУ им. И.И. Ползунова в период самоизоляции, связанной с пандемией COVID-19 весной 2020 года. В статье описывается комплекс мультимедийных продуктов, применявшихся для представления учебного контента и проведения контрольно-измерительных процедур.

Ключевые слова: LMS, контент, информационные и коммуникационные технологии.

Distance-learning: from project to implementation, Rogozin K.I., Rogozina I.V., Patseva Yu.V., Gosnits S.E. Dracheva T.O. \* AltSTU them. I.I. Polzunova

The article is devoted to the use of information and communication technologies for distance learning while teaching physics to technical students at Polzunov Altai State Technical University. The comprehensive use of the technologies was determined by the period of self-isolation associated with the COVID-19 pandemic in the spring of 2020. The article describes a set of multimedia products, used for presenting the learning content and testing.

Keywords: LMS, content, information and communication technologies

### Введение

Весной 2020 года в России было принято решение о проведении учебного процесса во всех учебных заведениях в удаленном режиме. Авторы данной публикации поставили перед собой задачу спланировать и реализовать учебный курс на основе информационных и коммуникационных технологий, который, с одной стороны, был бы насыщен разнообразными формами активности студентов, приближающими его к очной форме, а, с другой стороны, адаптирован под использование мобильных персональных цифровых устройств студентов (гаджетов) [1,2].

Очевидно, что эффективность подобного курса зависит от степени вовлеченности студентов в учебный процесс, которая связана с характером его организации, стратегией и тактикой использования учебных материалов, качеством и разнообразием форм предлагаемого студентам образовательного контента, а также способам реализации контрольно-измерительных процедур.

### Постановка проблемы

Достижение обозначенных целей требует принятия решений по управлению учебным процессом, созданию, размещению и обеспечению доступа к образовательному контенту через использование какой-либо виртуальной обучающей среды. В настоящий момент существуют разнообразные системы для администрирования учебных курсов в рамках дистанционного обучения – системы управления обучением (англ. «learning management system», LMS) [3]. Первым этапом для авторов был выбор такой LMS, которая бы позволила с меньшими трудовыми и временными затратами организовать и реализовать учебный процесс для преподавателя, и одновременно была бы доступной и удобной для использования студентами.

По нашему мнению, образовательный контент должен предлагаться студентам только в мультимедийных формах, включающих различные способы представления изучаемых процессов и явлений: вербальную, пиктографическую, табличную, аудиовизуальную и т.д. Является оптимальным, если студентам будут предложены сразу несколько таких способов для того, чтобы студенты имели возможность выбора, а также могли сформировать у себя более полный и многосторонний образ учебной ситуации.

Принципиальным является возможность использования контрольно-измерительные процедуры не только как способ диагностики приобретенных в ходе обучения знаний, но и как дополнительный инструмент их получения.

При организации учебного процесса мы опирались исключительно на деятельные и игровые техники. Такое активное обучение происходит через совершение предложенных обязательных учебных действий [4], что позволяет запомнить обучаемым многое из того, что они совершают. Действия студентов связаны с необходимостью принимать решения по навигации в предлагаемых программных продуктах: управление экраном, кликанье на активные виртуальные кнопки и т.п. Каждое из этих решений анализировалось и оценивалось средствами LMS. В результате прохождения каждого элемента учебного курса, обучаемые получали не только эмоционально важный результат в баллах, но и успешно приобретали необходимые предметные компетенции [5].

### Выбор LMS

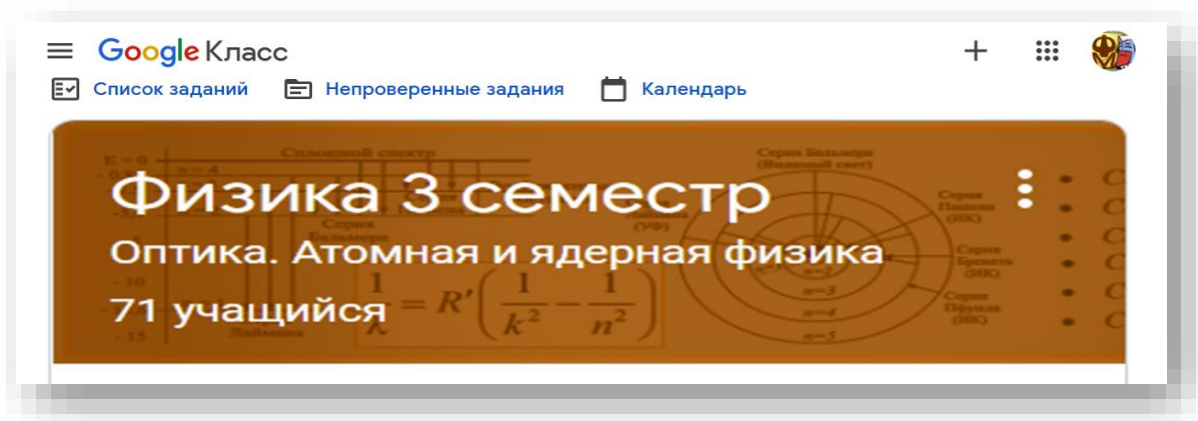


Рисунок 1 – Входное окно курса в Гугл Классе

В качестве системы управления обучения был выбран Гугл Класс (Google Class). Выбор основывался на нескольких причинах:



**1. Бесплатность и доступность.** Эти особенности платформы позволяют использовать ее без дополнительных ограничений. Единственным требованием Гугл Класс является наличие сети Интернет, которое реализуется в настоящий момент повсеместно.

**2. Проста и пользовательская дружелюбность.** Нет необходимости в посредничестве внешних системных администраторов. Интерфейс привычен и понятен как для организатора учебного процесса, так и для его участников;

**3. Возможность использования на гаджетах.** Система позволяет осуществлять учебный процесс только на мобильных персональных цифровых устройствах, то есть проводить его в местах реального присутствия участников и в любое назначенное время.

**4. Совместимость с другими программными продуктами.** Фирма Гугл (Google) имеет разветвленную сеть программных продуктов и сервисов, с которыми обучаемые знакомы, либо которые можно использовать в учебном процессе без дополнительных настроек или адаптации.

**5. Уверенность в сохранении и возможности использования сделанного.** Большинство LMS постоянно совершенствуются, выпускают новые версии. Перенос созданных ранее учебных материалов обычно требует дополнительных трудозатрат. В нашем случае, есть уверенность в сохранности, доступности и совместимости созданного учебного курса на базе Google Class в любой обозримой перспективе, по крайней мере, до тех пор, пока есть Интернет и фирма Гугл.

#### Стратегия и тактика проведения учебного процесса

Целью современного учебного процесса является не приобретение определенного набора знаний в конкретной области, а формирование способностей обучаемых в получении новой информации с использованием персональных цифровых устройств, её осмыслении и возможности применения для решения широкого круга учебных или реальных задач. Поэтому стратегией применения информационных и коммуникационных технологий в учебном курсе является целенаправленное и постоянное использование гаджетов для достижения названной цели, через тактическое предложение студентам определенной последовательности учебных действий:

**1. Подготовка к текущему этапу работы.** Каждая новая учебная неделя считается законченным этапом, оформленным как текущая тема. В течение этого времени обучаемый должен выполнить определенный и неменяющийся набор учебных действий, которые должны быть ему заранее ясны и понятны. Для этого мы использовали 3-5 видео обращение, условное название которого «Сегодняшнее видео», заточенное под просмотр на гаджете размещенное в личном кабинете студентов и видеохостинге «YouTube». Это делается для того, чтобы студенты могли просмотреть предложенное видео в любом месте и в любое время до того, как приступят к выполнению учебных заданий;

**2. Размещение учебного контента.** Используя вкладку основного меню Гугл Класс «Задания», осуществлялось размещение учебного контента в следующих формах:

- a) Справочник.** Краткое содержание учебного раздела;
- b) Теория.** Достаточное по объему содержание учебного раздела в виде обычного учебника;
- c) Презентация.** Насыщенное изобразительными средствами представление учебного контента;
- d) Видео комментариев лектора к презентации.** Направлен на создание яркого и законченного образа предлагаемых учебных ситуаций, а также подготовки студентов к контрольно-измерительным процедурам;
- e) Список рекомендуемой литературы.** Несмотря на то, что студентам предлагается достаточный объем теоретического материала для успешного освоения этапа учебного контента, считаем, что будет необходимым предложить классические и популярные источники по изучаемой дисциплине.

Все перечисленные материалы, кроме видео комментария, выставляются в формате .pdf. Предлагаемые учебные продукты являются либо авторскими разработками, либо цитированием с разрешения правообладателей.

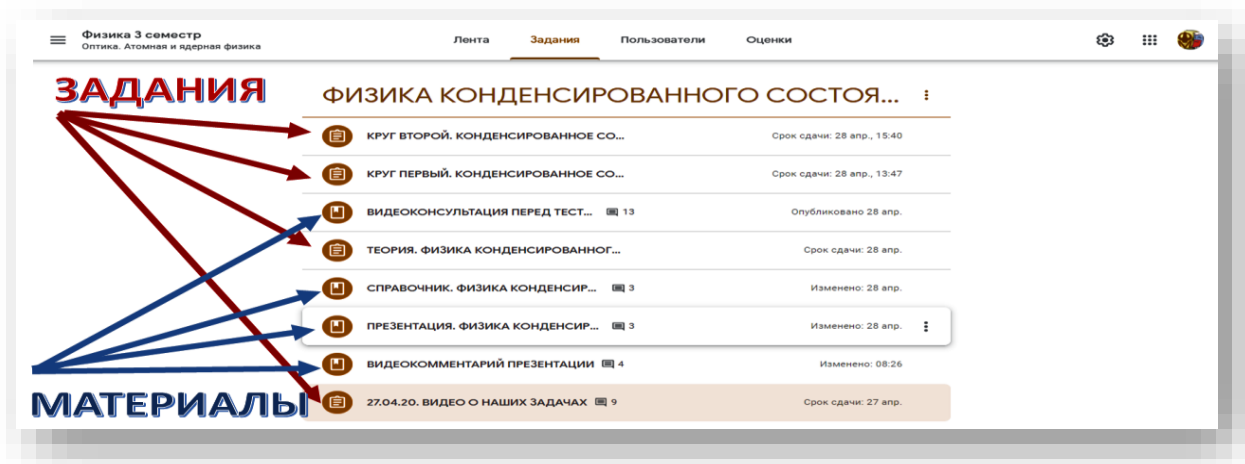


Рисунок 2 – Вид текущей темы в меню «Задания»

3. **Извещение о размещении контента в ленте и личном кабинете.** Это информирование обучающихся о размещении контента с возможностью обратной связи в виде комментария студентов и быстрого ответа организатора учебного процесса на него;

4. **Оповещение о времени и форме проведения контрольно-измерительных процедур.** Уведомление связано с особенностью работы онлайн. Гугл Класс не позволяет формировать индивидуальный набор заданий из имеющейся базы для каждого обучаемого. Организатор учебного процесса не может визуально контролировать студента в момент прохождения тестирования. Поэтому важно обеспечить одновременное присутствие в сети всех обучающихся в течение достаточно короткого, заданного промежутка времени, чтобы по возможности исключить вероятность совместного выполнения учебных тестов;

5. **Проведение контрольно-измерительных процедур.** Создаются с помощью вкладки меню «Задание с тестом». Они являются основным средством для диагностики развития возможностей обучающихся при принятии решений в конкретной области знания в специально созданных программных продуктах;

6. **Видео-конференц связь.** Обучаемым предоставляется определенное время (назначенное или по их просьбе) встретиться онлайн с преподавателем. Обычно оно используется для консультаций или сдачи лабораторных работ.

7. **Подведение итогов текущего этапа.** Информирование участников учебного процесса о результатах сделанного на прошедшей неделе в форме видеоролика или документа в формате .pdf, размещенных на используемых для обучения площадках.

Данная последовательность, по нашему мнению, позволяет планировать и организовать учебный процесс, сделав его понятным, ритмичным и приятно удобным как для преподавателя, так и для обучающихся.

#### Особенности прохождения контрольно-измерительных процедур

Оценка результатов освоения студентами учебного контента является одной из главных целей обучения. Она, по мнению авторов, должна быть нацелена не на запоминание определенного объема содержания предмета, а на способности студентов найти во всем предложенном контенте необходимую часть, её проанализировать и после этого принять адекватное учебной ситуации решение, которое будет оцениваться через контрольно-измерительные процедуры. Они формализуются в Гугл Классе в виде «Заданий с тестом». Мы считаем, очень важным обратить внимание при этом на следующие моменты:

1. **Регламентация срока и промежутка времени выполнения.** Студенты могут во время тестирования в сети найти любую информацию. Зная это, предлагаемые задания являлись всегда оригинальными, ответы на которые нельзя найти (вообще или быстро) в Интернете. Индивидуализация выполнения работы производилась за счет жесткого ограничения её временного интервала (обычно 40 минут), в течение которого студентам требовалось осуществить не менее 100 действий по навигации в учебном продукте, реализации выбора из предложенных альтернатив. Эти ограничения резко снижают вероятность общения между обучаемыми, ставя их перед необходимостью принятия самостоятельного решения;

2. **Опора на предложенный контент.** Во время прохождения тестов студенты могут обращаться к предложенным нами материалам. По нашему мнению, это является не минусом, а определенным плюсом дистанционного обучения. Наши студенты в большинстве своем обладают

клиповым мышлением, основывающимся не на запоминании содержания, а на возможности проигрывания в сознании образов, связанных с получением информации и способами её использования. Создаваемый учебный контент, мы сконцентрировали на особо важных аспектах учебного предмета, который послужил для нас в дальнейшем основой для конструирования тестовых заданий. Студенты в процессе обучения понимают принципиальную важность ознакомления заранее с предложенными материалами, поскольку во время прохождения тестов, обратившись к ним, имеют возможность быстро принять адекватное решение. На основании проведенного после курса опроса все (100 %) студентов при прохождении тестов обращались к предложенным учебным материалам. Почти все из них одновременно использовали два персональных цифровых устройства: РС или ноутбук для прохождения теста, а смартфон для поиска необходимой информации;

3. **Повторное прохождение тестов.** Гугл Класс позволяет каждому обучаемому сформировать собственную учебную траекторию, обязательным моментом в которой является только прохождение контрольно-измерительных процедур. Нельзя исключать того, что некоторая часть студентов будет знакомиться с учебным материалом используя лишь один из предложенных источников, либо вообще не будут знакомиться с ними. Это связано с тем, что предлагаемый в курсе «Общей физики» материал не является для студентов принципиально новым, поскольку рассматривался несколько раз в общеобразовательной школе, правда в другом объеме и с другими тьюторами. Первое прохождение теста мы называем «первым кругом». Значительная часть студентов (около 30 %), которые заранее и серьезно ознакомились с материалом, обычно, им ограничиваются, получив достаточно высокий рейтинг. Большинство обучаемых идет на «второй круг». Это связано, прежде всего, с тем, что после прохождения «первого круга» обучаемым становится доступна их работа на «круге первом», в которой на каждый неправильный ответ дается авторский комментарий. Иными словами, студент имеет возможность узнать то, что он не знает, освоить это и исправить совершенные ошибки, получить более высокую оценку в «круге втором». И мы предоставляли им такую возможность.

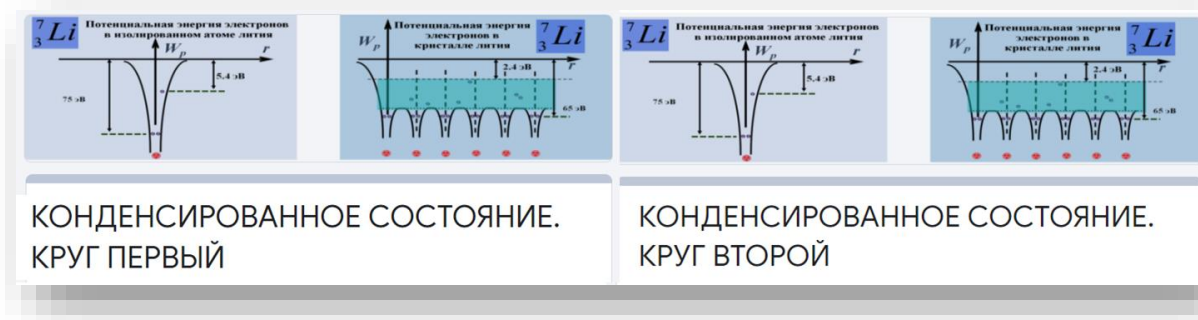


Рисунок 3 – Вид шапки контрольно-измерительных материалов

4. **Использование тестов в ходе выполнения практических и лабораторных работ.** В «заданиях с тестом» Гугл Класс осуществляет автоматическую диагностику ответов на предложенные задания, которые являются результатом выполнения каких-то практических действий. Например, введение показаний виртуальных или реальных физических приборов при заданных начальных условиях, либо результата предложенного счета. Гугл формы – это основной способ конструирования тестовых заданий в Гугл Классе. Эти формы позволяют получать от студентов ответы не только как выбор из предложенных, но и как свободный набор требуемых символов (слов или цифр), а также написание целых текстовых абзацев. Кроме того, обучаемый может прикрепить и послать преподавателю для оценивания файлы в основных пользовательских форматах: текстовых, графических, табличных.

#### Заключение

Информационные и коммуникации технологии создают лишь возможность создания востребованных студентами учебных продуктов с использованием эффективных педагогических приемов и техник. Как показал наш опыт, дистанционное обучение может быть интересным и полезным, но для этого оно должно быть специальным образом организовано и адаптировано под использование персональных цифровых устройств. Оценка пройденного курса студентами будет приведена в публикации «Курс дистанционного обучения глазами студентов» данного сборника. Здесь мы приводим лишь общее мнение.

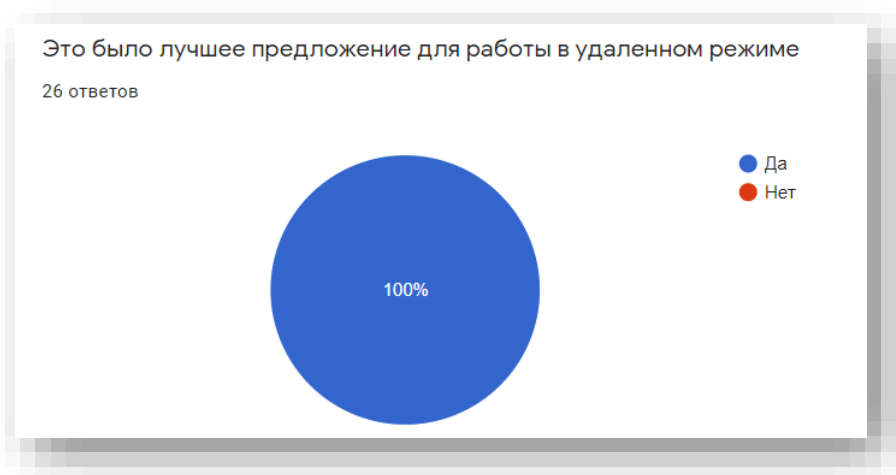


Рисунок 4 – Мнение студентов использования Гугл Класса

Приобретенный опыт дистанционной работы со студентами, по нашему мнению, должен быть использован в дальнейшем для организации самостоятельной работы студентов и предложения им, например, получения допуска к лабораторным работам, а также выполнения практических работ.

#### Литература

1. Rogozin Konstantin. Physics learning instruments of the 21st century, Proceeding of The World Conference of Physics Education 2012 // 1st Edition: Ancara, 2014, Turkey/ P. 607-615.
2. Рогозин К.И., Кузнецов С.И., Маерков А.О., Пшенова У.И. Инструменты и средства веб-поддержки традиционных курсов обучения физике. / Высшее образование сегодня. 2014, №9, С. 29 – 32.
3. Рогозин К.И., Рогозина И.В. Стратегия и тактика использования современных персональных цифровых устройств в учебном процессе, Ученые записки ИУО РАО 4(64) выпуск 2017, С. 121-125.
4. Konstantin Rogozin, Irina Rogozina. Principles of Constructing Network Instruments for Active Learning ICPE-EPEC 2013. The International Conference on Physics Education. Prague, Book of Abstracts, pp. 193-194.
5. Mark Trego. What is active learning? URL: <https://www.youtube.com/watch?v=j0H3uuAa5y4> (дата обращения 01.09.20).

#### ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЗАРЯДОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Сафонова И.Е.

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (МИИТ)

В статье приводится краткое описание разработанной компьютерной обучающей программы, которая позволяет проводить моделирование действия сил при движении зарядов в электромагнитном поле, а также проводить необходимые расчеты. Представлено описание моделируемых процессов и фрагментов работы программы.

Ключевые слова: заряды, моделирование, электромагнитное поле, частицы, силы, компьютерная обучающая программа.

Program for simulating the action of forces during the motion of charges in the electromagnetic field. Safonova I.E. Russian university of transport (МИИТ).

The article provides a brief description of the developed computer training program, which allows modeling the action of forces when charges move in an electromagnetic field, as well as carrying out the necessary calculations. The description of the simulated processes and fragments of the program operation is presented.

Keywords: charges, modeling, electromagnetic field, particles, forces, computer training program.

#### Введение

На этом витке деятельности происходит интеграция информационных (цифровых) технологий в различные направления человеко-активностей, например, в образование и науку. Существуют различные

средства и системы, позволяющие проводить сложные математические расчеты, способные облегчить работу математикам, физикам, конструкторам и т.д. Наиболее известными являются: MATLAB, GNU Octave, Spyder, FreeMat, Scilab, SciPy, Julia и другие [1, 2, 3, 4]. В сфере образования широко используются различные специализированные компьютерные обучающие программы. Следует отметить, что к настоящему времени созданы тысячи обучающих программ для различных областей знаний.

#### ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ПРОГРАММЕ

Основными принципами разработки компьютерной обучающей программы являются: системное единство, развитие, совместимость и стандартизация. Требованиями, предъявляемыми к обучающей программе являются: адаптируемость; эволюционируемость; надежность, включая безопасность; гибкость; достоверность получаемых результатов.

Компьютерная обучающая программа моделирования действия сил при движении зарядов в электромагнитном поле состоит из 4-х основных модулей (рисунок 1): модуль ввода исходных данных; модуль реализации уравнений электромагнитного поля; модуль реализации уравнений движения заряда в заданном электромагнитном поле - для постоянного и переменного электромагнитного поля; модуль анализ полученных результатов моделирования.

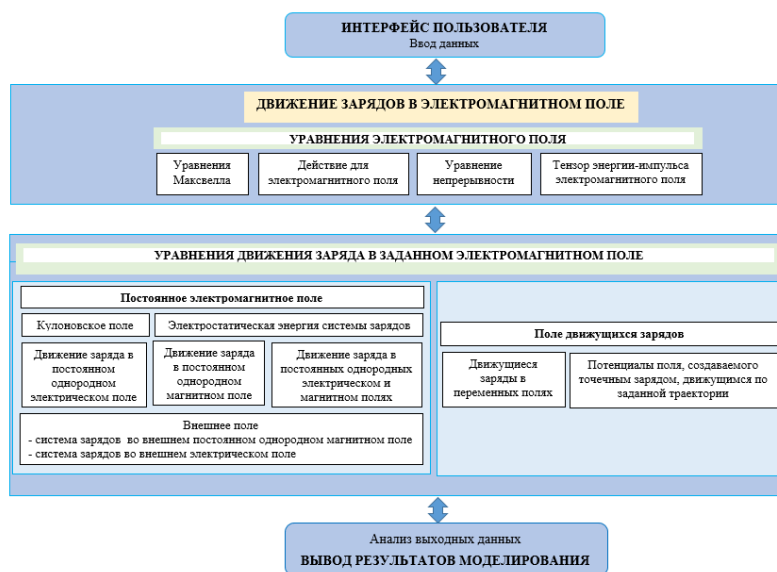


Рисунок 1 – Схема взаимодействия программных модулей

Обучающая программа предназначена для работы на персональных компьютерах с ОС Ms.Windows 9x и выше.

#### Описание моделируемых процессов и фрагменты работы программы

Пусть  $e$ -заряд движется в поле, и естественно, он подвергается действию, которое оказывается на этот  $e$ -заряд поле. Одновременно этот же  $e$ -заряд влияя на поле и, как правило, изменяет его. При очень малом значении  $e$ -заряда следует пренебречь действием его на поле. Тогда можно считать, что поле не зависит от скорости  $e$ -заряда и координат. В работе представлены условия для малого  $e$ -заряда [5].

Уравнения Лагранжа для  $e$ -заряда в поле - работы [4, 5]. Эти уравнения можно записать в виде

$$\frac{dp}{dt} = eE + \frac{e}{c} [vH], \quad (1)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля (полярный вектор), а  $H$  – напряженность магнитного поля (аксиальный вектор).

Правая часть уравнений является силой Лоренца и включает: силу действия электрического поля ( $E$ ) на  $e$ -заряд, и силу магнитного поля ( $H$ ), которая действует на  $e$ -заряд. Как показано в работе [5], в электромагнитном поле возможно взаимообратное движение по направлению  $H$ .

Программа позволяет в процессе моделирования учитывать так называемую «инвариантность калибровочную, она же градиентная» [5], можно исследовать потенциалы, однако, нужно учитывать и действие на заряды.

Пусть заданы  $A, \varphi$  потенциалы и определены  $E$  с  $H$  (и поле), но поле может включать разные потенциалы [5].

Для электромагнитного поля можно определить, так называемое «действие». Пусть  $S$  – действие для системы, которая состоит из электромагнитного поля и зарядами в нем частицами. Это действие состоит из трех частей:

$$S = S_f + S_m + S_{mf}. \quad (2)$$

$S_f$  – действие для поля в отсутствие заряженных частиц;  $S_m$  – часть действия, зависящая от свойств заряженных частиц;  $S_{mf}$  – часть действия, характеризующая взаимодействие между полем и зарядами.

Для нескольких зарядов:

$$S_m = -\sum mc \int ds. \quad (3)$$

Для системы частиц:

$$S_{mf} = -\sum \frac{e}{c} \int A_k dx^k. \quad (4)$$

где  $A_k$  – потенциал поля в точке пространства и времени, где находится заряд.

Действие для заряженных частиц в поле:

$$S_m + S_{mf}. \quad (5)$$

Электромагнитное поле и принцип суперпозиции – сумма полей есть поле и определяется соответствующими его уравнениями поля, которые являются линейными дифференциальными уравнениями.

Иногда, для упрощения математической записи, заряды определяют, как непрерывные в пространстве [5]. Для этого вводят  $\rho$  – плотность  $e$ -заряда,  $dV$  – объем в котором находится  $e$ -заряд,  $\rho dV$  – плотность  $e$ -заряда в этом объеме. Далее необходимо взять интеграл от плотности по объему [5].

Движение  $e$ -заряда в однородном поле  $E = \text{const}$ , где ось  $x$  – направление поля;  $xu$  – плоскость, где движется заряд. Тогда уравнения движения (1):

$$\dot{p}_x = eE, \dot{p}_y = 0, \dot{p}_x, \dot{p}_y. \quad (6)$$

Точка - дифференцирование по времени.

Тогда:

$$p_x = eEt, p_y = p_0. \quad (7)$$

При этом момент, когда импульс частицы  $p_x = 0$  можно выбрать за начало отсчета времени.

Если скорость частицы  $v \ll c$ , то  $p_0 = mv_0$ ;  $\mathcal{E}_0 = mc^2$ , где  $\mathcal{E}_0$  – энергия при  $t=0$ , тогда уравнения движения:

$$x = \frac{eE}{2mv_0^2} y^2 + \text{const}. \quad (8)$$

Следовательно, заряд движется по параболе [5].

Движение  $e$ -зарядов в однородном  $H = \text{const}$ . Ось  $z$  можно выбрать за направление поля. Уравнения движения:

$$\dot{p} = \frac{e}{c} [vH]. \quad (9)$$

Пусть однородное магнитное поле медленно меняется по величине и направлению. При медленном изменении условий остаются постоянными адиабатические инварианты [5, 6].

Если частица движется по винтовой траектории в постоянном неоднородном магнитном поле, то движение происходит по орбите круговой,

Если  $H \neq \text{const}$ , то будет смещение или «дрейф» [5].

Движение в однородных  $E = \text{const}$ ,  $H = \text{const}$  для нерелятивистского случая (скорость заряда  $v \ll c$ ).

Пусть импульс заряда равен  $p = mv$ ,  $E \ll H$ . Ось  $z$  – направление  $H$ .

Уравнения движения:

$$m\ddot{y} = eE_y - \frac{e}{c} \dot{x}H, \quad m\ddot{z} = eE_z. \quad (10)$$

Условие для электрического и магнитного полей:

$$\frac{E_y}{H} \ll 1, \quad (11)$$

Величины абсолютные могут быть произвольными.

Вдоль оси  $z$  движется равномерно-ускоренно заряд:

$$z = \frac{eE_z}{2m} t^2 + v_{0z} t. \quad (12)$$

Компоненты скорости частицы выражаются периодическими функциями:

$$\bar{x} = \frac{cE_y}{H}, \quad \bar{y} = 0. \quad (13)$$

Средняя скорость движения заряда в скрещенных электрическом и магнитном полях (эл.дрейфы) в векторной форме:

$$\bar{v} = \frac{c[EH]}{H^2}. \quad (14)$$

Если

$$x = \frac{cE_y}{wH} (wt - \sin wt), \quad y = \frac{cE_y}{wH} (1 - \cos wt). \quad (15)$$

Тогда проекция траектории на плоскость  $xu$  является циклоидой [5].

На рис. 2 представлен фрагмент программы - полученная траектория движения заряженной частицы.

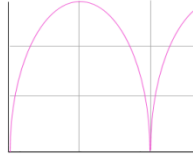


Рисунок 2 – Траектория движения заряженной частицы (циклоида)

Пример. Разработанная программа позволяет решать некоторые задачи, например, такие как определение скорости дрейфа ведущего центра орбиты нерелятивистской заряженной частицы в  $H=const$  квазиоднородном поле. Задача Н. Alfvén, 1940 есть в [5].

Пусть  $e$ -частица идет по орбите круговой орбите, тогда ее траектория:

$$r = R\chi(t) + \xi(t), \quad (16)$$

где  $R(t)$  – радиус-вектор ведущего центра (медленно меняющаяся функция времени);  $\xi(t)$  – быстро осциллирующая величина [5].

Среднее значение силы:

$$\frac{e}{c} [\overline{rH(r)}]. \quad (17)$$

Функцию  $H(r)$  можно разложить по степеням  $\xi$ :

$$H(r) = H(R) + (\xi \nabla) H(R). \quad (18)$$

Дополнительная сила равна [5, 6, 7]:

$$f = \frac{e}{c} [\overline{\xi (\xi \nabla)}] H. \quad (19)$$

При круговом движении частицы:

$$\xi = w[\xi n], \quad \xi = \frac{v_e}{w}, \quad (20)$$

где  $n$  – единичный вектор в направлении  $H$ ; частота  $w = eH/mc$ ,  $v_e$  – скорость  $e$ -частицы.

Значение произведений компонент  $\xi$ :

$$z \overline{\xi_\alpha \xi_\beta} = \frac{1}{2} \xi^2 \delta_{\alpha\beta}, \quad (21)$$

где  $\delta_{\alpha\beta}$  – единичный тензор в плоскости.

Следовательно:

$$f = -\frac{mv_e^2}{2H} [[n \nabla] H]. \quad (22)$$

С учетом того, что  $\text{div} H = 0$ ,  $\text{rot} H = 0$ :

$$[[n \nabla] H] = -n \text{div} H + (n \nabla) H + [n \text{rot} H]. \quad (23)$$

Значение поперечной силы к  $n$ , смещающей орбиты:

$$f = -\frac{mv_e^2}{2} (n \nabla) n = \frac{mv_e^2}{2p} v, \quad (24)$$

где  $p$  – радиус кривизны силовой линии поля,  $v$  – единичный вектор.

Сила поперечная

$$f_c = v p \frac{m}{p} (v_c^2 + \frac{v_e^2}{2}). \quad (25)$$

Эта сила эквивалентна  $E=const$  для  $f_c/p$ , которая вызывает дрейф, где скорость:

$$v_c = \frac{1}{wp} \left( v_{\parallel}^2 + \frac{v_e^2}{x} \right) [vn]. \quad (26)$$

Движение в кулоновом поле. Пусть частица с массой  $m$  и зарядом  $e$  в поле движется в поле другого  $e'$ -заряда с большой массой. Можно исследовать движения  $e$ -заряда в центрально-симметричном  $E$  с потенциалом  $\varphi$ .

Полная энергия частицы:

$$\mathcal{E} = c\sqrt{p^2 + m^2 c^2} + \frac{a}{r}, \quad a = e'e. \quad (27)$$

Действие  $S$ :

$$S = -\mathcal{E}t + M\varphi + f(r), \quad (28)$$

где  $\mathcal{E}$  и  $M$  – постоянные энергия и момент импульса движущегося заряда.

Тогда:

$$S = -\mathcal{E}t + M\varphi + \int \sqrt{\frac{1}{c^2} (\mathcal{E} - \frac{a}{r})^2 - \frac{M^2}{r^2} - m^2 c^2} \cdot dr. \quad (29)$$

Уравнение траектории

$$\frac{\partial S}{\partial M} = const. \quad (30)$$

Для траектории (при интегрировании (29,3)):

а) если  $Mc > |a|$

$$(c^2M^2 - a^2)^{\frac{1}{r}} = c\sqrt{(M\varepsilon)^2 - m^2c^2(M^2c^2 - a^2)} \cdot \cos\left(\varphi\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2M^2}}\right) - \varepsilon a; \quad (31)$$

б) если  $Mc < |a|$

$$(a^2 - c^2M^2)^{\frac{1}{r}} = \pm c\sqrt{(M\varepsilon)^2 + m^2c^2(a^2 - M^2c^2)} \operatorname{ch}\left(\varphi\sqrt{\frac{a^2}{c^2M^2} - 1}\right) + \varepsilon a; \quad (32)$$

в) если  $Mc = |a|$

$$\frac{2\varepsilon a}{r} = \varepsilon^2 - m^2c^4 - \varphi^2\left(\frac{\varepsilon a}{cM}\right)^2. \quad (33)$$

Постоянная интегрирования заключена в произвольном выборе начала отсчета угла  $\varphi$ .

Траектория движения в (35) в случае притяжения описывает финитное (инфинитно) движение для соответствующих условий [5]. Для  $a < 0$  траектории (36) и (37) будут спиралями [5, 7].

#### Заключение

Разработанная обучающая программа может быть полезна для студентов и аспирантов физических специальностей вузов при проведении лабораторных и практических занятий. Разработанная программа делает обучение более привлекательным и повышает его эффективность учебного процесса.

#### Литература

1. Антонюк В.А. Язык Julia как инструмент исследователя. М.: Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 2019. – 48 с.
2. Шиндин А.В. Язык программирования математических вычислений julia. Базовое руководство: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 24 с.
3. Шеррингтон Малькольм. Осваиваем язык Julia./Перевод Логунова - DMK Press, 2017.-416 с.
4. Safonova I.E. On the question of the time models //Information innovative technologies. 2017. Т. 1. Р. 448-452.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. Т. II. Теория поля. - 7-е изд., испр. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 512 с.
6. Сафонова И.Е. Пространство, время и принцип относительности. М.: Грифон, 2016. 176с.
7. Курнышев Б.С. Заряженная частица в электромагнитном поле (природа сил инерции). / Приволжский научный вестник. – 2014. - №2 (30). - с.5-9.

#### КОНСТРУИРОВАНИЕ «ЦИФРОВЫХ» КОМПЕТЕНЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ ВУЗЕ

Сотников А.Д., Катасонова Г.Р.

Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

+7(911)9930666, [adsotnikov@mail.ru](mailto:adsotnikov@mail.ru), +7(903)0955810, 1366galia@mail.ru

Аннотация. Дан анализ навыков и компетенций, востребованных в «цифровом» обществе на основе использования объектной и дескриптивной моделей, позволяющих с единых позиций рассмотреть и соотнести друг с другом такие понятия, как компетенции, знания, умения, навыки с целью дальнейшего конструирования компетенций в основных образовательных программах.

Ключевые слова: образование, навыки, компетенции, доменная модель инфокоммуникаций, объектная модель.

Designing «digital» competencies in a modern university. DSc Alexander D. Sotnikov, Galiya R. Katasonova, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications

Annotation. The article analyzes the skills and competencies that are in demand in a digital society based on the use of object and descriptive models, which make it possible to consider from a unified standpoint the relationship with each other of such concepts as competencies, knowledge, skills in order to further construct competencies in educational programs.

Keywords: education, skills, competencies, domain model of infocommunications, object model.

Глобализация информационных ресурсов и связанные с этим экономические изменения в сфере различных производств предъявляют серьезные требования к разработке инновационных технологий, которые стремительно трансформируют привычные традиционные профессии и в соответствии с появляющимися новыми видами деятельности специалистам необходимо постоянно совершенствовать свои навыки. Сегодня в сфере занятости имеют место быть две противоположные тенденции – не



востребованность одних профессий и одновременно нехватка на рынке труда специалистов новых современных профессий.

Цифровая экономика задает вектор развития социально-экономических систем, производственных, социальных информационных технологий, что вызывает необходимость исследования и всестороннего анализа процессов цифровой трансформации, ставшая сегодня массовым явлением при решении ряда профессиональных задач. Трансформация тесно связана с тенденцией сервисизации различных систем и во многом реализуется на ее основе, что невозможно в традиционной экономике и традиционной образовательной системе с классической моделью формирования знаний и умений.

Классическая модель образования формирования знаний и умений в силу своей инерционности не успевает подстраиваться под современные реалии нашего времени, где необходима быстрая и сравнительно низкокзатратная реализация бизнес-идей на основе использования цифровых навыков и инструментов. Обладая цифровыми навыками специалист любого уровня управления может комфортно чувствовать себя в обществе, где правильно использованные цифровые технологии позволяют эффективно решать профессиональные задачи.

Если рассматривать компетентностную модель в общем ее назначении, то ее главной целью является формирование совокупности компетенций – личностных свойств человека, имеющего набор определенных навыков для решения и реализации задачи любой сложности, что позволяет утверждать, что навыки и компетенции тесно и органично связаны между собой. Однако, компетентностная модель не идеальна, она имеет проблемы по вопросам оценки и контроля самих компетенций, не до конца проработана возможность описания и количественного измерения компонентов для их дальнейшего анализа и объективной оценки. Главной задачей образовательной системы в целом, как и каждого образовательного учреждения, конструирующего свои образовательные программы, является систематизация компетенций и навыков.

Рассматривая в эпоху цифровой экономики навыки, разделенные условно по уровням, можно отметить уровень получения общих навыков в области ИКТ; профессиональные навыки, используемые при разработке и сопровождении цифровых (информационных) продуктов и услуг; навыки использования сложных ИТ-платформ.

Школы, системы среднего и высшего образования успешно формируют навыки первого уровня: 1) использование прикладного программного обеспечения общего назначения; 2) работа в компьютерных сетях. Среднее профессиональное образование и вузы формируют навыки второго уровня: 1) разработка веб-страниц и веб-приложений; 2) создание информационных систем и средств электронной коммерции; 3) разработка финансовых и банковских приложений; 4) использование технологий Big Data, Blockchain, Internet of Things.

Формирование компетенций третьего уровня навыков включает использование сложных методов при работе с математическими моделями, использование нестандартных способов анализа и решения сложных задач. Характеризуются высокой степенью изменчивости, адаптивности и представляют собой процесс информационного взаимодействия в сложных системах.

Главным процессом в образовании является обмен данными и информацией между носителем информации (преподавателем) и ее потребителем. Сопутствующими атрибутами в данном процессе являются тексты, сетевые и мультимедийные сервисы, вебинары. В целом весь процесс можно представить и описать с помощью доменной модели инфокоммуникаций [1], которая распределяет сущности по доменам (уровням): информационном, когнитивном, физическом [2], позволяет качественно и количественно оценивать деятельность в высокоинформатизированной образовательной системе [3].

В информационном обществе молодой специалист должен уметь осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий. В связи с этим, значимыми в образовательном процессе являются домены информационного и когнитивного уровней, которые позволяют оценивать качество обучения и эффективность вуза в целом. Стоит отметить, что на когнитивном уровне отсутствует точное описание методов описания информационного взаимодействия, что подводит к необходимости соединения и определения соотношения друг с другом знаний, умений, навыков и компетенции. Основной мыслью является тот факт, что как при традиционном подходе, так и при компетентностном можно отметить динамическую и алгоритмическую составляющие. Таким образом, предлагаемая объектная модель позволяет одновременно описать количественные и качественные характеристики объекта [4].

На основе данного анализа в качестве объектов в основных образовательных программах можно конструировать компетенции по конкретным направлениям подготовки. Совместное использование данных моделей (доменной и объектной) позволит детально проанализировать компетенции и для них распределить сущности по категориям. Объекты когнитивного сектора соотнести с категорией «знать», информационного «уметь», физического – «использовать». Использование данных моделей позволяет также выявить связь между объектами образовательной системы с соответствующими атрибутами и

методами на основе имеющихся для каждого направления подготовки и специальностей образовательных компетенций, которые будут детализироваться до уровня конкретных учебных программ дисциплин.

Данный подход позволяет выделить основные базовые профили подготовки в зависимости от получаемого уровня цифровых навыков и представить знания в иерархической структуре, начиная от предметных областей, детализируя до модулей и разделов, что позволит гармонизировать отечественную образовательную систему высшего образования с мировым образовательным сообществом.

Проведенный анализ позволяет конструировать востребованные рынком «цифровые» компетенции как сущности популярной объектной модели, рассматривая при этом образовательную систему с использованием доменной модели инфокоммуникаций как «производственную систему», основной задачей которой является создание продукта с заданными компетенциями (свойствами), обладающими количественными характеристиками, которые допустимо задавать формально и определять количественно [5].

#### Литература

1. Сотников А.Д., Катасонова Г.Р. Проектирование модели образовательной деятельности на основе доменной, объектной и сервисной моделей // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 2. С. 159-163.
2. Катасонова Г.Р., Сотников А.Д., Стригина Е.В. Использование моделей информационного взаимодействия в обучении // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 томах. под. ред. С. В. Бачевского, сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникевич, Л. М. Минаков. 2015. С. 1557-1561.
3. Сотников А.Д., Катасонова Г.Р. Современные аспекты высшего образования в информационно-цифровом обществе // Вестник Санкт-Петербургского государственного института культуры. 2018. № 2 (35). С. 138-144
4. Сотников А.Д., Катасонова Г.Р. Модели когнитивного взаимодействия в образовательных системах // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 70-73.
5. Катасонова Г.Р., Сотников А.Д. Сервисно-ориентированная доменная модель для бизнес-проектирования виртуального предприятия // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 3-х томах. 2016. С. 48-52.

#### К ВОПРОСУ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПОТОКОВЫХ УРАВНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Старостин И.Е.

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА)  
+7 (977) 613-42-35, [starostinigo@yandex.ru](mailto:starostinigo@yandex.ru)

Для решения практических задач проектирования и эксплуатации систем необходима математическая модель таких систем. Эта математическая модель с точностью до постоянных параметров получается из потенциально-потокowych уравнений физико-химических процессов путем исключения неизвестных величин из этих уравнений. Затем эти постоянные параметры определяются из экспериментальных данных, подставляются в полученное соотношение, получив тем самым математическую модель рассматриваемой системы. На основе этой модели и решаются упомянутые практические задачи. В настоящей работе рассматриваются вопросы программной реализации этой методологии.

Ключевые слова: физико-химические процессы, математическое моделирование, потенциально-потоковой метод, программная реализация

To the question of software implementation of the methodology of constructing mathematical models of the system from potential-streaming equations on the basis of experimental data. Starostin I.E. Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU GA).

To solve the practical problems of designing and operating systems, a mathematical model of such systems is needed. This mathematical model, accurate to constant parameters, is obtained from potential-streaming equations of physical and chemical processes by eliminating unknown quantities from these equations. Then these constant parameters are determined from the experimental data, substituted into the obtained ratio, thereby obtaining a mathematical model of the system under consideration. Based on this model, the mentioned practical problems are solved. This paper discusses the software implementation of this methodology.

Keywords: physical and chemical processes, mathematical modeling, potential-streaming method, software implementation.

#### Введение

Для решения различных практических задач (проектирования систем [1], управления системами [2], диагностики и прогнозирования технического состояния систем [3]) современной техники и технологии важное значение имеют математические модели систем, характеризующихся протеканием в этих системах физико-химических процессов (ФХП) различной природы [4 – 10]. Эти модели систем получаются из уравнений ФХП в этих системах. В общем случае такая система уравнений может быть получена разработанным ранее автором в рамках современной неравновесной термодинамики [11 – 15] потенциально-потокным методом (ППМ) [14 – 17] - единым подходом моделирования процессов различной физической или химической природы [14, 15]. В частных случаях ППМ сводится к математическим моделям конкретных ФХП [14]. Затем из этой системы уравнений путем ее упрощения [17] исключаются численными методами [18 – 21] координаты состояния [11, 14, 15], неизвестные внешние воздействия [14, 15], а также неизвестные постоянные коэффициенты функциональных разложений свойств веществ и процессов [14 – 16]. Получив тем самым математическую модель рассматриваемой системы [18, 21], представляющую собой связь одних выходных характеристик системы (ВХС) с другими [18, 21], в которую подставим результаты экспериментальных исследований [18 – 22].

Численные методы исключения описанных величин из систем уравнений потенциально-потокного метода заключаются в случайном задании различных значений исключаемых постоянных коэффициентов, неизвестных внешних воздействий, начальных значений исключаемых координат состояния, дальнейшем расчете соответствующих динамик ФХП и соответственно динамик ВХС и аппроксимации на множестве этих ВХС вышеупомянутой математической модели системы [18 – 21]. В работах [21, 23] приведены примеры построения модели ЛИА методами [18 – 21].

Однако описанные операции трудоемки и растут с ростом сложности системы [19]. Это обуславливает необходимость программной реализации описанной выше и в [14 – 21] методологии построения математической модели физико-химической системы из потенциально-потокных уравнений процессов в них [19]. В работе [15] была рассмотрена программная реализация потенциально-потокного метода, в частности в виде симуляционных блоков [15]. Однако в общем случае размерность системы может быть такой, что математическая модель ФХП в системе (в частности, блочная модель [15]) не помещается в памяти ЭВМ. В такой случае необходима декомпозиция ФХП в рассматриваемой системе на подсистемы [17], каждая из которых поместится в памяти ЭВМ, и анализ каждой такой подсистемы либо поочередно, либо параллельно на разных ЭВМ (вычислительный кластер) [24]. Также в работе [20] была показана декомпозиция задачи получения математических моделей, заключающаяся в получении частных моделей с их последующим объединением в общую модель [20].

Настоящая работа посвящена вопросам программной реализации методологии построения математической модели рассматриваемой физико-химической системы с учетом вышеупомянутой декомпозиции этой методологии.

#### Потенциально-потокный метод и получение математической модели системы

В соответствие с современной термодинамикой состояние любой физико-химической системы характеризуется ее координатами состояния (КС) – величинами, однозначно характеризующими состояние этой системы независимо от ее предыстории [11, 12, 14, 15]. Причем каждая из этих КС изменяется только в результате протекания соответствующих ФХП конкретной физической природы [11, 12, 14, 15]. Временная динамика любого ФХП характеризуется его координатой процесса (КП) [11, 12, 14, 15]. Скорости изменения КС связаны со скоростями соответствующих ФХП (скоростями изменения координат этих процессов) и внешними потоками через уравнения баланса [11 – 15].

В соответствие с современной неравновесной термодинамикой [11 – 15] и ППМ [14 – 17] для математического моделирования ФХП определяются через потенциалы взаимодействия (ПВЗ) термодинамические силы (ТС) – причины и необходимые условия протекания этих процессов [11 – 15]. Однако ТС однозначно не определяют динамики протекания ФХП; независимо от ТС динамику рассматриваемых ФХП, движимых этими ТС, определяют еще и кинетические свойства системы [14]. «Мерой» кинетических свойств системы является положительно-определенная кинетическая матрица (КМ), коэффициенты которой характеризуют восприимчивость каждого процесса к ТС в системе [11, 14]. Положительная определенность КМ обуславливается вторым началом термодинамики [11, 14].

Для получения решений уравнений ППМ в численном виде необходимо задать функциональные разложения для свойств веществ и процессов [14 – 16] и исследовать из экспериментальных данных коэффициенты этих разложений [15, 16, 18, 19, 21]. В общем случае невозможно однозначно определить из имеющихся экспериментальных данных эти коэффициенты [15 – 19], что и обуславливает необходимость исключения неизвестных величин из потенциально-потокных уравнений [18 – 21],

упрощая тем самым систему уравнений ППМ [18 – 20]. Из этой упрощенной системы уравнений мы и получаем математическую модель системы [22].

Описанное исключение неизвестных величин из уравнений ППМ (КС, неизвестных внешних воздействий, неизвестных координат состояния) осуществляется численными методами путем [18 – 21]:

1. задания начальных значений КС, неизвестных внешних воздействий, а также неизвестных коэффициентов функциональных разложений;
2. расчета соответствующих динамик ФХП и соответственно динамик ВХС;
3. аппроксимации на множестве этих возможных динамик ВХС математической модели системы.

Как нетрудно видеть, построение математической модели системы сводится к моделированию различных динамик ФХП с помощью ППМ (вычислительному эксперименту), расчету соответствующих динамик ВХС и аппроксимации на этих динамиках математической модели. Расчет динамик ВХС при разных совокупностях величин может быть проведен параллельно и независимо [20], также построение частных математических моделей осуществляется тоже параллельно и независимо [20]. Затем эти частные модели объединяются в единую модель [20]. Такое распараллеливание позволит, решая задачу по частям, рационально использовать ресурсы ЭВМ и повысить производительность.

Моделирование на ЭВМ динамики физико-химических систем большой размерности

Итак, вышеописанным потенциально-потокосым методом мы получаем систему уравнений ФХП, которая в общем случае записывается, например, в виде:

$$\frac{d\mathbf{x}_i(t)}{dt} = \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i(t), \mathbf{s}_i(t), t), \mathbf{x}_i(t_0) = \mathbf{x}_i^{(0)}, i = 1, m, t \in [t_0, t_0 + T], \quad (1)$$

$$\mathbf{s}_i(t) = \mathbf{S}_i(\{\mathbf{x}_k(t)\}_{k=1}^m, t), i = 1, m, t \in [t_0, t_0 + T], \quad (2)$$

где  $t_0$  - начальный момент времени;  $T$  - интервал интегрирования;  $m$  - число блоков  $\mathbf{x}_i(t)$ , на которые разбиваются координаты состояния  $\mathbf{x}(t)$ . Пусть в памяти ЭВМ помещается только одно выражение из (1), а выражение (2) также аналогично (1) разбивается на части и обрабатывается в памяти ЭВМ по частям; система потенциально-потокосых уравнений разбивается на части (1) и (2) методами, приведенными в [17]. Отсюда, систему уравнений (1) и (2) необходимо решать по частям (итеративно):

$$\frac{d\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t)}{dt} = \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t), \mathbf{s}_i^{(n)}(t), t), t \in [t_r, t_{r+1}], r = 0, N - 1, t_N = t_0 + T, \mathbf{x}_i^{(n+1)}(t_0) = \mathbf{x}_i^{(0)}, i = 1, m, \quad (3)$$

$$\mathbf{s}_i^{(n)}(t) = \mathbf{S}_i(\{\mathbf{x}_k^{(n)}(t)\}_{k=1}^m, t), t \in [t_r, t_{r+1}], r = 0, N - 1, t_N = t_0 + T, i = 1, m. \quad (4)$$

Покажем, что итерации (3) и (4) сходятся к решению системы (1) и (2) аналогично итерациям Пикаро-Пеано [25]. Действительно, в силу (3) имеем:

$$\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t) = \mathbf{x}_i^{(n+1)}(t_r) + \int_{t_r}^t \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t'), \mathbf{s}_i^{(n)}(t'), t') dt', t \in [t_r, t_{r+1}], r = 0, N - 1, i = 1, m; \quad (5)$$

отсюда имеем в силу условий Липшица и теоремы об интегрировании неравенств:

$$\|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t) - \mathbf{x}_i^{(n)}(t)\| \leq \|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t_r) - \mathbf{x}_i^{(n)}(t_r)\| + L_x \int_{t_r}^t \|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t') - \mathbf{x}_i^{(n)}(t')\| dt' + L_s \int_{t_r}^t \|\mathbf{s}_i^{(n)}(t') - \mathbf{s}_i^{(n-1)}(t')\| dt',$$

$$r = 0, N - 1, i = 1, m;$$

отсюда, введя:

$$\Delta s_{i,r}^{\max(n)} = \max_{t \in [t_r, t_{r+1}]} \|\mathbf{s}_i^{(n)}(t) - \mathbf{s}_i^{(n-1)}(t)\|, r = 0, N - 1, i = 1, m, \quad (6)$$

имеем в силу теоремы об интегрировании неравенств:

$$\|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t) - \mathbf{x}_i^{(n)}(t)\| \leq \|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t_r) - \mathbf{x}_i^{(n)}(t_r)\| + \int_{t_r}^t (L_x \|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t') - \mathbf{x}_i^{(n)}(t')\| + L_s \Delta s_{i,r}^{\max(n)}) dt', t \in [t_r, t_{r+1}],$$

$$r = 0, N - 1, i = 1, m;$$

отсюда, в силу леммы Гронуолла [25] имеем окончательно:

$$\|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t) - \mathbf{x}_i^{(n)}(t)\| \leq (L_s \Delta s_{i,r}^{\max(n)} (t_{r+1} - t_r) + \|\mathbf{x}_i^{(n+1)}(t_r) - \mathbf{x}_i^{(n)}(t_r)\|) \exp(L_x (t_{r+1} - t_r)), t \in [t_r, t_{r+1}],$$

$$r = 0, N - 1, i = 1, m. \quad (7)$$

Согласно (4) и (6) имеем в силу условий Липшица [25]:

$$\Delta S_{i,r}^{\max(n)} \leq \sum_{k=1}^m L_{k,i}^{(S)} \max_{t \in [t_r, t_{r+1}]} \|\mathbf{x}_k^{(n)}(t) - \mathbf{x}_k^{(n-1)}(t)\|, \quad i = 1, m, \quad r = 0, N-1;$$

отсюда, введя

$$L_{\max,i}^{(S)} = \max_{k=1,m} L_{k,i}^{(S)}, \quad i = 1, m, \quad L_{\max}^{(S)} = \sum_{i=1}^m L_{\max,i}^{(S)},$$

$$\Delta x_r^{(n)} = \sum_{k=1}^m \max_{t \in [t_r, t_{r+1}]} \|\mathbf{x}_k^{(n)}(t) - \mathbf{x}_k^{(n-1)}(t)\|, \quad \Delta \tilde{x}_r^{(n)} = \sum_{i=1}^m \|\mathbf{x}_i^{(n)}(t_r) - \mathbf{x}_i^{(n-1)}(t_r)\|, \quad r = 0, N-1, \quad (8)$$

в силу (7) имеем:

$$\Delta x_r^{(n+1)} \leq (L_s L_{\max}^{(S)} (t_{r+1} - t_r) \Delta x_r^{(n)} + \Delta \tilde{x}_r^{(n+1)}) \exp(L_x (t_{r+1} - t_r)), \quad r = 0, N-1. \quad (9)$$

Возьмем моменты времени  $t_r$ ,  $r = 1, N$  таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$q_r = L_s L_{\max}^{(S)} (t_{r+1} - t_r) \exp(L_x (t_{r+1} - t_r)) < 1, \quad r = 0, N-1. \quad (10)$$

Рассмотрим случай  $r = 0$ . Для этого случая неравенство (9) в силу (3), (8), (10) примет вид:

$$\Delta x_0^{(n+1)} \leq q_0 \Delta x_0^{(n)};$$

отсюда следует сходимость ряда:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \Delta x_0^{(n)} \leq \Delta x_0^{(0)} \sum_{n=0}^{\infty} q_0^n$$

в силу сходимости геометрического ряда  $\sum_{n=0}^{\infty} q_r^n$  согласно условию (10). Отсюда в силу (8) вытекает равномерная сходимость ряда

$$\sum_{n=0}^{\infty} \|\mathbf{x}_k^{(n+1)}(t) - \mathbf{x}_k^{(n)}(t)\|, \quad k = 1, m, \quad t \in [t_0, t_1],$$

а значит, и равномерная сходимость (абсолютная) ряда:

$$\sum_{n=0}^{\infty} (\mathbf{x}_k^{(n+1)}(t) - \mathbf{x}_k^{(n)}(t)), \quad k = 1, m, \quad t \in [t_0, t_1],$$

что эквивалентно  $\exists \lim_{n \rightarrow \infty} (\mathbf{x}_k^{(n)}(t)) = \mathbf{x}_k^*(t)$ ,  $k = 1, m$ ,  $t \in [t_0, t_1]$  [25], причем сходимость на  $[t_0, t_1]$  равномерная [25]. Отсюда, продолжая описанные выше рассуждения для  $r = 1, N-1$ , имеем  $\exists \lim_{n \rightarrow \infty} (\mathbf{x}_k^{(n)}(t)) = \mathbf{x}_k^*(t)$ ,  $k = 1, m$ ,  $t \in [t_0, t_0 + T]$ , причем сходимость на  $[t_0, t_0 + T]$  равномерная.

Согласно (3) – (5) имеем в силу предела непрерывной функции [25]:

$$\mathbf{x}_i^*(t) = \mathbf{x}_i^*(t_0) + \int_{t_0}^t \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_i^*(t'), \mathbf{S}_i(\{\mathbf{x}_k^*(t')\}_{k=1}^m, t), t') dt', \quad t \in [t_r, t_{r+1}], \quad r = 0, N-1, \quad i = 1, m; \quad (11)$$

отсюда, взяв производную по времени левой и правой частей полученного выражения (11), мы получим систему уравнений (1) и (2) [25]. Таким образом,  $\lim_{n \rightarrow \infty} (\mathbf{x}_k^{(n)}(t)) = \mathbf{x}_k^*(t) = \mathbf{x}_k(t)$ ,  $k = 1, m$ ,  $t \in [t_0, t_0 + T]$  - решение системы (1) и (2) (в силу единственности решения системы дифференциальных уравнений) [25].

Отсюда видно, что последовательность итераций (3) и (4) сходится к решению системы (1) и (2). Это дает возможность решения этой системы (1) и (2) (т.е. системы уравнений потенциально-потокowego метода) последовательно на основании (3) и (4) на одной ЭВМ или параллельно в вычислительном кластере на нескольких ЭВМ.

Получение на ЭВМ математической модели физико-химических систем большой размерности

Итак, только что мы рассмотрели моделирование потенциально-потокowym методом с использованием ЭВМ физико-химических процессов в системах большой размерности. Такое моделирование осуществляется по частям путем итеративного доведения решения системы дифференциальных уравнений большой размерности как последовательно на одной ЭВМ, так и параллельно на нескольких [24]. Декомпозиция системы осуществляется в соответствие с тем, насколько сильно одни характеристики ФХП в рассматриваемой системе связаны друг с другом [17].

Затем, доведя вышеописанным способом множество возможных динамик ФХП в рассматриваемой системе, мы затем рассчитываем (в общем случае также по частям) динамику ее ВХС.

Как было отмечено в [20], построение математической модели системы на множестве возможных динамик ее ВХС осуществляется также по частям путем разбиения этих динамик на группы (кластеризации [24]). Отсюда, это построение частных моделей также можно распараллелить с последующим объединением в общую модель. Таким образом, выполняя построение на ЭВМ математической модели произвольной физико-химической системы (в общем случае большой размерности), мы, схему ФХП [15] в ней разбиваем на подсхемы [17], а также исключаемые величины и режимы работы этой системы на подмножества [20], исходя из условий сильной или слабой связи характеристик ФХП в ней (причем для каждого подмножества исключаемых величин и режимов работы системы свое разбиение [17] схемы ФХП [15] на подсхемы). Затем на этих подмножествах мы путем вышеописанной доводки получаем множество возможных динамик ВХС, на которым и строим частные математические модели с их последующим объединением в общую модель.

#### Заключение

Рассмотренный подход построения математической модели произвольной физико-химической системы (в общем случае большой размерности), подразумевающий декомпозицию этой системы на ее подсистемы с последующей доводкой динамики ФХП и дальнейшим построением частных математических моделей этой системы с их последующим объединением в общую математическую модель, позволяет обеспечить высокую производительность описанной в [14 – 22] методологии построения математической модели сложной физико-химической системы (в общем случае большой размерности) путем распараллеливания в вычислительном кластере (технология MapReduce [24]). Также такой подход дает возможность хранить файлы с рассчитанными динамиками ВХС при различных значениях исключаемых величин на разных ЭВМ в кластере [24]. Управлять этим вычислительным кластером позволяет, например, технология Hadoop [24].

В рассматриваемый кластер могут входить, как мощные компьютеры, так и маломощные. В таком случае необходимо также декомпозицию системы [17] и распараллеливание осуществлять с учетом планирования нагрузки на эти машины в кластере.

#### Литература

1. Овчинников В.А. Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2014. - 423 с.
2. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб: Профессия, 2003. - 752 с.
3. Молодежный Л.П., Чернодаров А.В. Надежность и техническая диагностика. - М.: ВУНЦ ВВС ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010. - 452 с.
4. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. - М.: Изд-во МЭИ, 2005. - 278 с.
5. Баранов Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии: Учебное пособие для вузов. - М.: МЭИ, 2012. - 384 с.
6. Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.
7. Кедринский И.А., Яковлев В.Г. Литий-ионные аккумуляторы. - Красноярск: Платина, 2002. - 268 с.
8. Мухленов И.П., Горштейн А.Е., Тумаркина Е.С., Тамбовцева В.Д. Основы химической технологии. - М.: Высшая школа, 1983 - 335 с.
9. Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. - М: Химия, 1990. - 176 с.
10. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 2004. - 512 с.
11. Эткин В.А. Энергодинамика: синтез теорий переноса и преобразования энергии. - СПб: Наука, 2008 - 409 с.
12. Jou D., Casas-Vázquez J., Lebon G. Extended irreversible thermodynamics. - New York, USA: Springer, 2006. - 528 p.
13. Полак Л.С. Неравновесная химическая кинетика и ее применение. - М.: Наука, 1979. - 248 с.
14. Starostin I.E., Bykov V.I. Kinetic theorem of modern non-equilibrium thermodynamics. - Raleigh (North Carolina, USA): Open Science Publishing, 2017. - 229 p.
15. Старостин И.Е., Степанкин А.Г. Программная реализация методов современной неравновесной термодинамики. И система симуляции физико-химических процессов SimulationNonEqProcSS v.0.1.0. - Бо Бассен, Маврикий: Lambert academic publishing, 2019. - 127 с.

16. Старостин И.Е. Задание функций состояния для величин, входящих в формализм потенциально-поточкового метода описания динамики физико-химических процессов. / Материалы XVI международной научно-практической конференции «Инновационные информационные и коммуникационные технологии». - 2019. - С. 317–322.
17. Старостин И.Е., Халютин С.П., Быков В.И. Упрощение потенциально-поточковых уравнений динамики физико-химических процессов для получения математической модели системы. / Сложные системы. - 2019. - № 3(32). - С. 82–97.
18. Starostin I.E., Khalyutin S.P. Identification of system models from potential-stream equations of the basis of deep learning on experimental data. / Civil Aviation High Technologies. - 2020. - 23(2). - PP. 47-58.
19. Старостин И.Е. К вопросу программной реализации методики получения математической модели эксплуатируемого объекта из потенциально-поточковых уравнений физико-химических процессов. / Научные горизонты. - 2019. - № 11(27). - С. 214–230.
20. Старостин И.Е. Программная реализация на базе СКМ Scilab методологии построения математической модели системы из уравнений физико-химических процессов в ней. / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». - 2020. - т. 1. - С. 41–44.
21. Starostin I.E., Khalutin S.P., Davidov A.O., Levin A.V., Trubachev A.T. The development of a mathematical model of lithium-ion battery discharge characteristics. / 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), Ufa, 22 – 25 October, 2019. - 2019. - PP. 568–571.
22. Старостин И.Е. Получение моделей надежности технических объектов из потенциально-поточковых уравнений физико-химических процессов в этих объектах. / Надежность и качество сложных систем. - 2020. - № 1 (29). - С. 5–12.
23. Старостин И.Е., Халютин С.П. Получение математической модели для напряжений литий-ионного аккумулятора в режиме разряда постоянным током. / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». - 2020. - т. 1. - С. 116–120.
24. Davy Cielen, Meysman D.B. Arno, Mohamed Ali Introducing data science: big data, machine learning, using python tools. - Shelter Island: Manning, 2017. - 336 p.
25. Сансоне Дж. Обыкновенные дифференциальные уравнения. - М.: Издательство иностранной литературы, 1953. - 346 с.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ФОРМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПОТОКОВЫХ УРАВНЕНИЙ ПРОЦЕССОВ В НИХ НА ОСНОВЕ СКМ SCILAB

Старостин И.Е., Быков В.И.\*

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), \*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (ИБХФ РАН)  
+7 (977) 613-42-35, [starostinigo@yandex.ru](mailto:starostinigo@yandex.ru)

Математические модели систем (применяемые на практике) с точностью до постоянных параметров (определяемых из экспериментальных данных) могут быть синтезированы на множестве возможных динамик, полученных путем интегрирования потенциально-поточковых уравнений физико-химических процессов в рассматриваемой системе при соответствующих случайно заданных исключаемых величинах из этих уравнений. В настоящей работе множество различных моделей систем задается в виде графа, в котором показывается связь общих моделей с частными (упрощенными). Это позволяет автоматизировать построение модели системы по частям, а также распараллелить такую задачу, с использованием, например, СКМ Scilab.

Ключевые слова: физико-химические процессы, построение математических моделей, потенциально-поточковый метод, программная реализация

Use of graph for synthesis of formal models of physical-chemical systems from potential-streaming equations of processes in them, based by SCM Scilab. Starostin I.E., Bykov V.I. Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU GA), \*Institute of Biochemical Physics named after N.M. Emanuel RAS (IBCP RAS).

Mathematical models of systems (used in practice), up to constant parameters (determined from experimental data), can be synthesized on the set of possible dynamics obtained by integrating potential-streaming equations of physical and chemical processes in the system under consideration with corresponding randomly excluded values from these equations. In the present work, many different models of systems are specified in the form of a graph that shows the relationship of general models with particular (simplified) ones. This allows you to

automate the construction of a model of the system in parts, as well as parallelize such a task, using, for example, SCM Scilab.

Keywords: physical and chemical processes, construction of mathematical models, potential-streaming method, software implementation.

#### Введение

Для решения различных практических задач (проектирования систем [1], управления системами [2], диагностики и прогнозирования технического состояния систем [3]) современной техники и технологии важное значение имеют математические модели систем, характеризующихся протеканием в этих системах физико-химических процессов (ФХП) различной природы [4 – 10]. Такие модели физико-химических систем (ФХС) в общем случае могут быть получены из уравнений потенциально-потокowego метода (ППМ) [11 – 14], разработанного ранее авторами в рамках современной неравновесной термодинамики [11, 12, 15 – 17]. ППМ – единый подход моделирования процессов различной физической или химической природы [11, 12]; в частных случаях ППМ сводится к математическим моделям конкретных ФХП [11]. Затем из этой системы уравнений путем ее упрощения [14] исключаются численными методами [18 – 21] начальные значения координат состояния [11, 12, 15 – 17], неизвестные внешние воздействия [11, 12], а также неизвестные постоянные коэффициенты функциональных разложений свойств веществ и процессов [11 – 13]. Получив тем самым математическую модель рассматриваемой ФХС [18, 21], представляющую собой связь одних выходных характеристик системы (ВХС) с другими [18, 21], в которую подставим результаты экспериментальных исследований [18 – 22].

Численные методы исключения описанных величин из систем уравнений ППМ заключаются в случайном задании различных значений исключаемых величин, дальнейшем расчете для этих исключаемых величин соответствующих динамик ФХП и соответственно динамик ВХС и аппроксимации на множестве этих ВХС вышеупомянутой математической модели системы [18 – 21]. В работах [21, 23] приведены примеры построения модели ЛИА методами [18 – 21].

Описанная аппроксимация математических моделей ФХС на множестве возможных динамик ВХС строится в классе этих моделей путем оптимизации целевой функции [24]. Эта функция принимает минимальное значение на модели, наиболее оптимальным образом описывающей рассматриваемую систему [24], т.е. целевая функция оптимизируется как по структуре модели, так и по ее параметрам [24]. В случае искомого сложная модель, а потому оптимизация целевой функции представляет собой задачу повышенной сложности (задачу настройки большого числа параметров) [25]. Такая задача решается по частям путем упрощения модели – сведения модели к более простым моделям и настройки параметров (меньшего числа параметров) таких моделей [20, 25]. Рассчитав таким образом параметры простых (частных) моделей, мы переходим к общей модели [20, 25]. Каждая сложная модель имеет «свое» сведение к более простым моделям.

Настоящая работа посвящена заданию множества математических моделей системы, в которой мы ищем модель рассматриваемой ФХС, в виде графа (в общем случае неявного), показывающего, к каким простым (частным) моделям и при каких условиях сводятся сложные модели. Имея такое представление множества моделей, мы, перейдя к более простым моделям, определим их коэффициенты, а затем на более сложных моделях эти коэффициенты доведем.

#### Получение математической модели системы потенциально-потокowym методом

Получая математическую модель рассматриваемой физико-химической системы, мы первым делом ППМ синтезируем систему уравнений ФХП в ней [11 – 14], затем на основе этих уравнений выполним расчеты возможных динамик ВХС при различных значениях описанных выше исключаемых из этих уравнений величин, затем на этом множестве динамик аппроксимируем модель системы с точностью до постоянных коэффициентов [18 – 21], и наконец, исследуем эти постоянные коэффициенты экспериментально [18 – 22]. В рамках потенциально-потокowego метода [11 – 14] мы определяем через потенциалы взаимодействия термодинамические силы, кинетическую матрицу, записываем потенциально-потокowe уравнения и уравнения баланса и получаем дифференциальные уравнения ФХП в рассматриваемой системе. Затем, имея множество различных моделей рассматриваемой системы [24], мы ищем в нем модель этой системы, имея упрощенное представление каждой такой модели [25]. Такой класс моделей формируется, например, методами символьной регрессии [18], а также с учетом опыта описания аналогичных систем (пусть хоть и не полностью аналогичных) – такой опыт позволяет сузить множество искомого моделей [24].

Таким образом, в алгоритм построения математических моделей систем (с точностью до постоянных коэффициентов, определяемых из экспериментальных данных), необходимо подать следующие исходные данные [11 – 14, 18 – 22]:

- структура физико-химической системы и процессов в ней;
- диапазоны возможных значений параметров этой системы уравнений;



— класс возможных моделей физико-химических систем с их упрощенными моделями и условиями их применения.

Получив эти данные на вход, алгоритм путем перебора моделей из представленного множества, оптимизируя параметры этих моделей (по частям, используя их упрощенные представления), выбирает наилучшую с настроенными параметрами. Причем, эти модели в подаваемом классе должны быть ранжированы – более упрощенные модели и те, которые применяются в похожих системах, должны рассматриваться в первую очередь. Затем более сложные и более отличающиеся и так далее.

Рассмотрим более подробно представление класса таких моделей.

#### Представление класса формальных моделей физико-химических систем

Как уже отмечалось выше, описанный класс формальных моделей физико-химических систем представляет собой ориентированный двудольный граф  $G(U, V)$ , узлами  $U = F \cup C$ ,  $F \cap C = \emptyset$  которого являются функции (формальные модели)  $F$ , а  $C$  - условия, при которых мы переходим к упрощенным функциям (формальным моделям), а ребра  $V = F \times C \cup C \times F$  показывают связь функций  $F$  с условиями  $C$  (рисунок 1). Более того, для каждого узла  $f \in F$  определен алгоритм доводки параметров  $a = H_A(f) \in A$ ,  $H_A : F \rightarrow A$ , где  $A$  - множество алгоритмов настройки параметров соответствующих моделей (формальных моделей)  $F$ ; причем начальные приближения параметров этих моделей  $F$  получаются из доводки этих параметров более частных моделей. Для частных моделей, не сводящихся к другим более частным моделям, задан алгоритм оценки начальных приближений параметров.

Таким образом, необходимо для каждого узла  $f \in F$  определить алгоритм расчета начального приближения  $a^{(0)} = H_{A^{(0)}}(f) \in A^{(0)}$ ,  $H_{A^{(0)}} : F \rightarrow A^{(0)}$ , где  $A^{(0)}$  - множество алгоритмов расчета начальных приближений параметров соответствующих моделей (формальных моделей)  $F$ .

Каждая формальная модель  $f \in F$  берет на вход и возвращает на выходе одни и те же ВХС рассматриваемой физико-химической системы; различается только структура каждой такой формальной модели  $f \in F$ . Сам математический объект формальной модели  $f \in F$  включает в себя как структуру этой формальной модели  $f \in F$ , так и ее параметры, которые определяются вышеописанным образом из полученных ППМ динамик ВХС с помощью алгоритмов  $A = H_A(F)$  и  $A^{(0)} = H_{A^{(0)}}(F)$ .

Функции  $H_A : F \rightarrow A$  и  $H_{A^{(0)}} : F \rightarrow A^{(0)}$  подаются на вход алгоритма построения формальных математических моделей вместе с графом  $G(U, V)$ . Граф  $G(U, V)$  и функции  $H_A : F \rightarrow A$  и  $H_{A^{(0)}} : F \rightarrow A^{(0)}$  вместе составляют подаваемый на вход алгоритма построения формальных математических моделей класс возможных моделей физико-химических систем с их упрощенными моделями и условиями их применения.

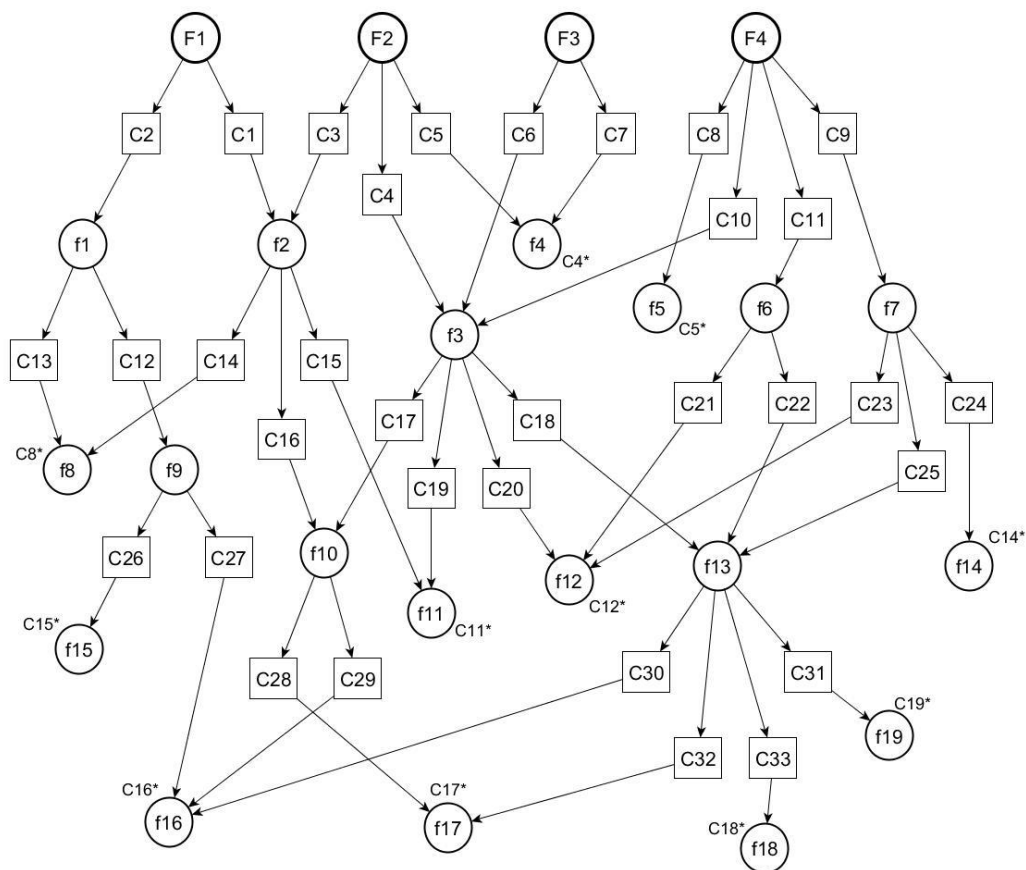


Рисунок 2 – Класс математических моделей

Как нетрудно видеть из рисунка 1, идя от любой общей функции, к более частным, мы получим совокупность условий, при которых эта частная функция справедлива. Эти условия включают в себя множество настраиваемых параметров, при которых эти частные модели справедливы. Выполняя настройку этих частных моделей на имеющихся полученных из потенциально-поточковых уравнений динамика ВХС, мы параметры этих моделей настраиваем в этих приведенных диапазонах. Эти диапазоны мы также подаем на вход алгоритмов  $A = H_A(F)$  и  $A^{(0)} = H_{A^{(0)}}(F)$ .

#### Построение моделей физико-химических систем по частям на графовом представлении множества моделей

Таким образом, мы из графа, показанного на рисунке 1, берем все условия по каждой частной модели, которые далее уже не сводятся к другим частным моделям,  $C^*$  и сами эти модели  $F^*$  в соответствие с  $(F^*, C^*) = H_C(G(U, V))$ , используя для этого функцию  $H_C : \{G(U, V)\} \rightarrow \{(F^*, C^*)\}$ . Эти условия  $C^*$  представляют собой конъюнкцию условий, при которой более общие модели сводятся к рассматриваемым частным моделям  $F^*$  по каждой ветви (рисунок 1). Затем по каждому условию  $c^* \in C^*$  разбиваем полученные из потенциально-поточковых уравнений данные динамик ФХП на кластеры, каждый кластер удовлетворяет «своим» условиям  $c^* \in C^*$ , и на каждом таком кластере доводим соответствующую локальную модель  $f^* \in F^*$ . Затем на этом графе  $G(U, V)$  переходим к более общим моделям  $\bar{f} \in F \setminus F^*$ ; параметры этих моделей  $\bar{f} \in F \setminus F^*$  в первом приближении известны из анализа частных моделей, и эти параметры мы доводим также по частям (в общем случае аналогично описанному в [14] с использованием промежуточных значений) в соответствие с соответствующими алгоритмами доводки  $\bar{A} = H_A(F \setminus F^*)$  и алгоритмами  $\bar{A}^{(0)} = H_{A^{(0)}}(F \setminus F^*)$  расчета начальных значений параметров. Схематически этот расчет показан на рисунке 2.

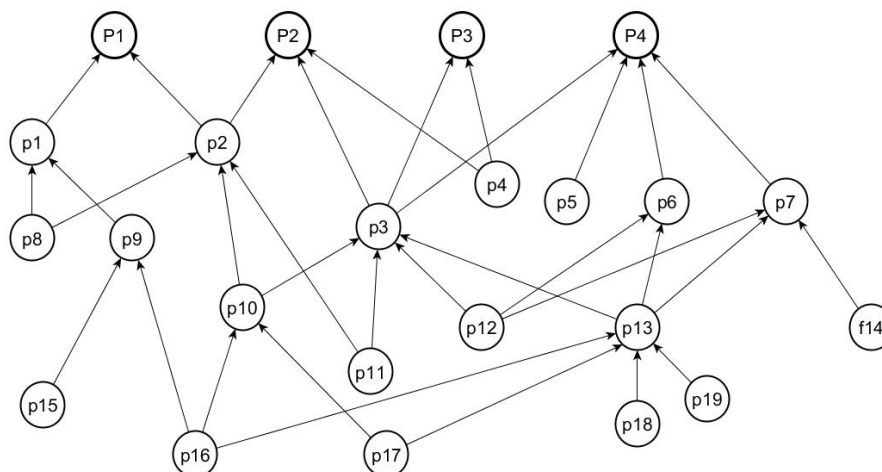


Рисунок 3 – Расчет параметров моделей

Для любого описываемого графа  $G(U, V)$  алгоритмы  $A$  и  $A^{(0)}$ , а также условия  $C$  формируются, исходя из конкретных соответствующих моделей  $F$ . Эти модели задаются, исходя из характера поставленной практической задачи (разработка алгоритма управления, диагностики и прогнозирования технического состояния, а именно, из вычислительной базы соответствующей системы управления, диагностики и прогнозирования технического состояния рассматриваемой системы).

#### Заключение

Рассмотренный подход построения математической модели произвольной физико-химической системы из системы потенциально-поточковых уравнений ФХП в ней на множестве этих моделей [24], заданного в виде графа, показывающего связь более общих (сложных) моделей с более частными (простыми) моделями вместе с соответствующими условиями перехода от более общих моделей к более частным моделям. Такое представление множества моделей дает возможность строить эти модели по частям [20]. Более того, использование алгоритмов расчета  $A = H_A(F)$  и  $A^{(0)} = H_{A^{(0)}}(F)$  начальных приближений и доводки позволяет существенно упростить доводку параметров моделей  $F$ , а значит, ускорить расчет моделей рассматриваемой системы из анализа ФХП в ней.

Рассматриваемый подход позволяет реализовать этот алгоритм на основе СКМ Scilab, используя матричные методы, с помощью которых мы можем разбить данные различных динамик, представленные в матричном виде, на кластеры, соответствующие условиям  $C^*$ . Затем на каждом таком кластере мы идентифицируем частные модели, вызвав соответствующие алгоритмы  $A = H_A(F)$  и  $A^{(0)} = H_{A^{(0)}}(F)$ , реализованные в виде кода Scilab (в виде библиотек Scilab). Такой граф  $G(U, V)$ , а также алгоритмы  $A = H_A(F)$  и  $A^{(0)} = H_{A^{(0)}}(F)$  синтезируются методами символьной регрессии [18] или на основе нейронных сетей (что равноценно символьной регрессии) [18], исходя из практической задачи (проектирования [1], синтеза системы управления [2], диагностики и прогнозирования технического состояния рассматриваемой системы [3]).

Таким образом, с помощью рассматриваемого подхода возможно на базе СКМ Scilab автоматизировать построение модели произвольной заданной системы, причем если система сложная, то путем декомпозиции [14, 20] реализовать построение такой модели в вычислительном кластере.

#### Литература

1. Овчинников В.А. Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2014. - 423 с.
2. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб: Профессия, 2003. - 752 с.
3. Колодежный Л.П., Чернодаров А.В. Надежность и техническая диагностика. - М.: ВУНЦ ВВС ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010. - 452 с.
4. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. - М.: Изд-во МЭИ, 2005. - 278 с.

5. Баранов Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии: Учебное пособие для вузов. - М.: МЭИ, 2012. - 384 с.
6. Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.
7. Кедринский И.А., Яковлев В.Г. Литий-ионные аккумуляторы. - Красноярск: Платина, 2002. - 268 с.
8. Мухленов И.П., Горштейн А.Е., Тумаркина Е.С., Тамбовцева В.Д. Основы химической технологии. - М.: Высшая школа, 1983 - 335 с.
9. Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. - М: Химия, 1990. - 176 с.
10. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 2004. - 512 с.
11. Starostin I.E., Bykov V.I. Kinetic theorem of modern non-equilibrium thermodynamics. - Raleigh (North Carolina, USA): Open Science Publishing, 2017. - 229 p.
12. Старостин И.Е., Степанкин А.Г. Программная реализация методов современной неравновесной термодинамики. И система симуляции физико-химических процессов SimulationNonEqProcSS v.0.1.0. - Бо Бассен, Маврикий: Lambert academic publishing, 2019. - 127 с.
13. Старостин И.Е. Задание функций состояния для величин, входящих в формализм потенциально-поточного метода описания динамики физико-химических процессов. / Материалы XVI международной научно-практической конференции «Инновационные информационные и коммуникационные технологии». - 2019. - С. 317–322.
14. Старостин И.Е., Халютин С.П., Быков В.И. Упрощение потенциально-поточных уравнений динамики физико-химических процессов для получения математической модели системы. / Сложные системы. - 2019. - № 3(32). - С. 82–97.
15. Эткин В.А. Энергодинамика: синтез теорий переноса и преобразования энергии. - СПб: Наука, 2008 - 409 с.
16. Jou D., Casas-Vázquez J., Lebon G. Extended irreversible thermodynamics. - New York, USA: Springer, 2006. - 528 p.
17. Полак Л.С. Неравновесная химическая кинетика и ее применение. - М.: Наука, 1979. - 248 с.
18. Starostin I.E., Khalutin S.P. Identification of system models from potential-stream equations of the basis of deep learning on experimental data. / Civil Aviation High Technologies. - 2020. - 23(2). - PP. 47-58.
19. Старостин И.Е. К вопросу программной реализации методики получения математической модели эксплуатируемого объекта из потенциально-поточных уравнений физико-химических процессов. / Научные горизонты. - 2019. - № 11(27). - С. 214–230.
20. Старостин И.Е. Программная реализация на базе СКМ Scilab методологии построения математической модели системы из уравнений физико-химических процессов в ней. / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». - 2020. - т. 1. - С. 41–44.
21. Starostin I.E., Khalutin S.P., Davidov A.O., Levin A.V., Trubachev A.T. The development of a mathematical model of lithium-ion battery discharge characteristics. / 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), Ufa, 22 – 25 October, 2019. - 2019. - PP. 568–571.
22. Старостин И.Е. Получение моделей надежности технических объектов из потенциально-поточных уравнений физико-химических процессов в этих объектах. / Надежность и качество сложных систем. - 2020. - № 1 (29). - С. 5–12.
23. Старостин И.Е., Халютин С.П. Получение математической модели для напряжений литий-ионного аккумулятора в режиме разряда постоянным током. / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». - 2020. - т. 1. - С. 116–120.
24. Антонов А.В. Системный анализ. - М.: Высшая школа, 2004. - 454 с.
25. Eukhoff P. Systems identification: parameters and state estimation. - Eindhoven, Netherlands: University of technology, 1975. - 680 p.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ

Старостин И.Е., Халютин С.П.

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА)

+7 (977) 613-42-35, [starostinigo@yandex.ru](mailto:starostinigo@yandex.ru)

Функционирование различных систем (технических объектов, живых клеток, планеты Земли, и т.д.) определяется протеканием физико-химических процессов в этих системах; моделирование этих

процессов – основа решения практических задач проектирования и эксплуатации этих систем. В рамках современной неравновесной термодинамики был разработан потенциально-поточковый метод – единый подход моделирования процессов различной физической и химической природы, а также была выполнена его программная реализация. Настоящая работа посвящена разработке на основе этой программной реализации потенциально-поточкового метода базы данных физико-химических процессов в системах различной природы.

Ключевые слова: физико-химические процессы, потенциально-поточковый метод, программная реализация, базы данных

Organization of the database of physical and chemical processes in different nature systems using graphs. Starostin I.E., Khalyutin S.P. Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU GA).

The functioning of various systems (technical objects, living cells, the planet Earth, etc.) is determined by the course of physical and chemical processes in these systems; modeling of these processes is the basis for solving the practical problems of designing and operating these systems. In the framework of modern non-equilibrium thermodynamics, a potential-streaming method was developed - a unified approach to modeling processes of various physical and chemical nature, and its software implementation was also performed. The present work is devoted to the development of a database of physical and chemical processes in systems of various nature based on this software implementation of a potential-streaming method.

Keywords: physical and chemical processes, potential-streaming method, software implementation, databases.

### Введение

Функционирование технических объектов, в том числе и технологических установок, жизнедеятельность живых клеток (и соответственно живых организмов), природные явления на различных планетах (в том числе и планета Земля) осуществляется физико-химическими процессами (ФХП) в этих системах. Именно поэтому моделирование этих ФХП положено в основу построения математических моделей для решения различных практических задач (проектирования систем [1], управления системами [2], диагностики и прогнозирования технического состояния систем [3]).

В рамках современной неравновесной термодинамики [4 – 7] авторами был разработан потенциально-поточковый метод [7 – 10] – единый подход моделирования процессов различной физической и химической природы [7]. В соответствии с этим подходом через потенциалы взаимодействия (ПВЗ) с использованием законов сохранения (в том числе и первого начала термодинамики) определяются термодинамические силы (ТС) [4 – 8] – причина и необходимое условие протекания ФХП в любой физико-химической системе (ФХС) [4 – 8]. Однако ТС полностью не определяют динамику протекания этих процессов; помимо этих сил динамику этих процессов определяют кинетические свойства [7]. «Шкалой» кинетических свойств является положительно определенная кинетическая матрица [7, 8], произведение которой на вектор-столбец термодинамических сил дает вектор-столбец скоростей  $A\{G$  [4, 7, 8]. Определив скорости протекания ФХП, а также внешние потоки, мы из законов сохранения (в том числе и из первого начала термодинамики) определяем скорости изменения координат состояния (КС) (в том числе и скорости изменения внутренней энергии (ВЭ)) [7, 8]. КС – величины, однозначно характеризующие состояние ФХС независимо от ее предыстории [4 – 7].

В общем случае неравновесных систем возможны отклонения от локального термодинамического равновесия (ЛТР) [4 – 7]. В таком случае вводят КС, характеризующие эти отклонения от ЛТР [4, 7]. В частности, температуры различных веществ в фазе, а также температуры степени свободы молекул (здесь подразумеваются не температуры степеней свободы системы молекул, а не каждой молекулы) различных веществ могут различаться [4, 7]; в таком случае вводят температуры степеней свободы молекул, температуры веществ в фазе [4, 7]. Т.е. в одной фазе (в одной точке) могут быть две и более температур (неравновесных) [4, 7]; каждой температуре (неравновесной) соответствует своя ВЭ (энергетическая степень свободы (ЭСС)) [7]. Это тоже учитывает потенциально-поточковый метод [7, 8].

Затем система уравнений потенциально-поточкового метода численно-аналитическими методами преобразовывается к виду, пригодному для решения практических задач (проектирования и эксплуатации систем и технологических процессов) [11 – 13]. В работе [14] приводится пример построения математической модели режима разряда постоянным током литий-ионного аккумулятора из системы уравнений потенциально-поточкового метода.

В общем случае решение практических задач проектирования и эксплуатации, основанное на математическом моделировании ФХП с последующим преобразованием уравнений потенциально-поточкового метода к виду, пригодному для решения этих задач, предполагает обработку большого количества информации [12]. Это обуславливает необходимость программной реализации потенциально-поточкового метода (как и методов современной неравновесной термодинамики) [8], а также методов численно-аналитической адаптации потенциально-поточковых уравнений для решения описанных

практических задач [12]. В работе [8] предлагается блочная реализация потенциально-поточковых уравнений, каждый блок реализует свой класс уравнений формализма потенциально-поточкового метода [8]. На основе заданной пользователем блочной диаграммы ФХП в пользовательской системе описанная в [8] блочная реализация методов современной неравновесной термодинамики формирует потенциально-поточковые уравнения заданных ФХП и выполняет их численное моделирование [8].

Однако каждый раз вводить пользователем блок-схему сложной системы – дело трудоемкое. Это приводит к необходимости объединять блоки подсистем различных сложных систем объединять в суперблоки с сохранением этих суперблоков в базе данных (БД). Это упрощает пользовательское построение блок-схем ФХП – пользователю достаточно взять из БД эти суперблоки и построить схему. Таким суперблокам и такой БД суперблоков посвящена настоящая работа.

#### Структура произвольной физико-химической системы и ее хранение в базе данных

В общем случае произвольная ФХС имеет вид, показанный на рисунке 1 (с учетом нарушения локального термодинамического равновесия, нескольких температур в одной фазе) [8]. В общем случае ФХП, протекающие между фазами, между подфазами одной фазы, внутри подфазы определяются химическим составом фаз и подфаз. Это должно быть отражено в базе данных.

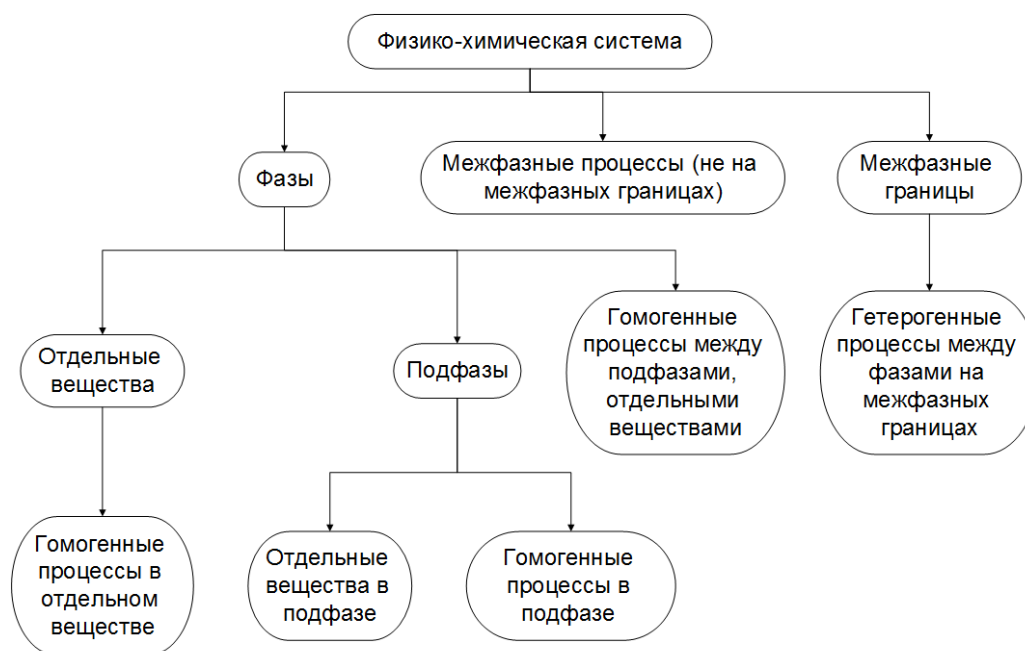


Рисунок 4 – Структура произвольной физико-химической системы

Блочная реализация формализма современной неравновесной термодинамики (в том числе и потенциально-поточкового метода) представляет собой классы блоков, реализующих [8]:

- КС кроме ВЭ (в том числе и законы сохранения кроме первого начала термодинамики);
- ЭСС (в том числе и первое начало термодинамики);
- ФХП кроме процессов теплообмена (в том числе и потенциально-поточковые уравнения ФХП кроме процессов теплообмена);
- процессы теплообмена (в том числе и потенциально-поточковые уравнения процессов теплообмена);
- ТС кроме разностей температур (в том числе и уравнения для ТС через ПВЗ);
- разности температур (в том числе и уравнения для соответствующей ТС, движущей процессы теплообмена);
- ПВЗ, коэффициенты матрицы баланса (на их вход подается выход функции для этих ПВЗ, этих коэффициентов матрицы баланса соответственно).

Таким образом, блоки ФХП, ТС, а также блоки коэффициентов матрицы баланса [8] мы объединим в суперблок ФХП; блоки КС, ПВЗ [8] объединяются в суперблоки подфаз и в суперблоки веществ, температуры степеней свободы частиц которых различаются. Соответственно связи между блоками, входящих в разные суперблоки, объединяются в суперсвязи.

Также в рассматриваемые суперблоки могут входить функции состояния (с точностью до постоянных параметров) для ПВЗ и коэффициентов КМ [9]. Именно в виде таких суперблоков для ФХП и целесообразно хранить ФХП в БД (рисунок 2). Также фазы и подфазы произвольной ФХС хранятся в БД

в виде вышеупомянутых суперблоков фаз и подфаз соответственно (рисунок 2). Суперблоки подфаз и веществ также могут быть объединены в суперблоки фаз и в таком фиде также храниться в БД (рисунок 2).

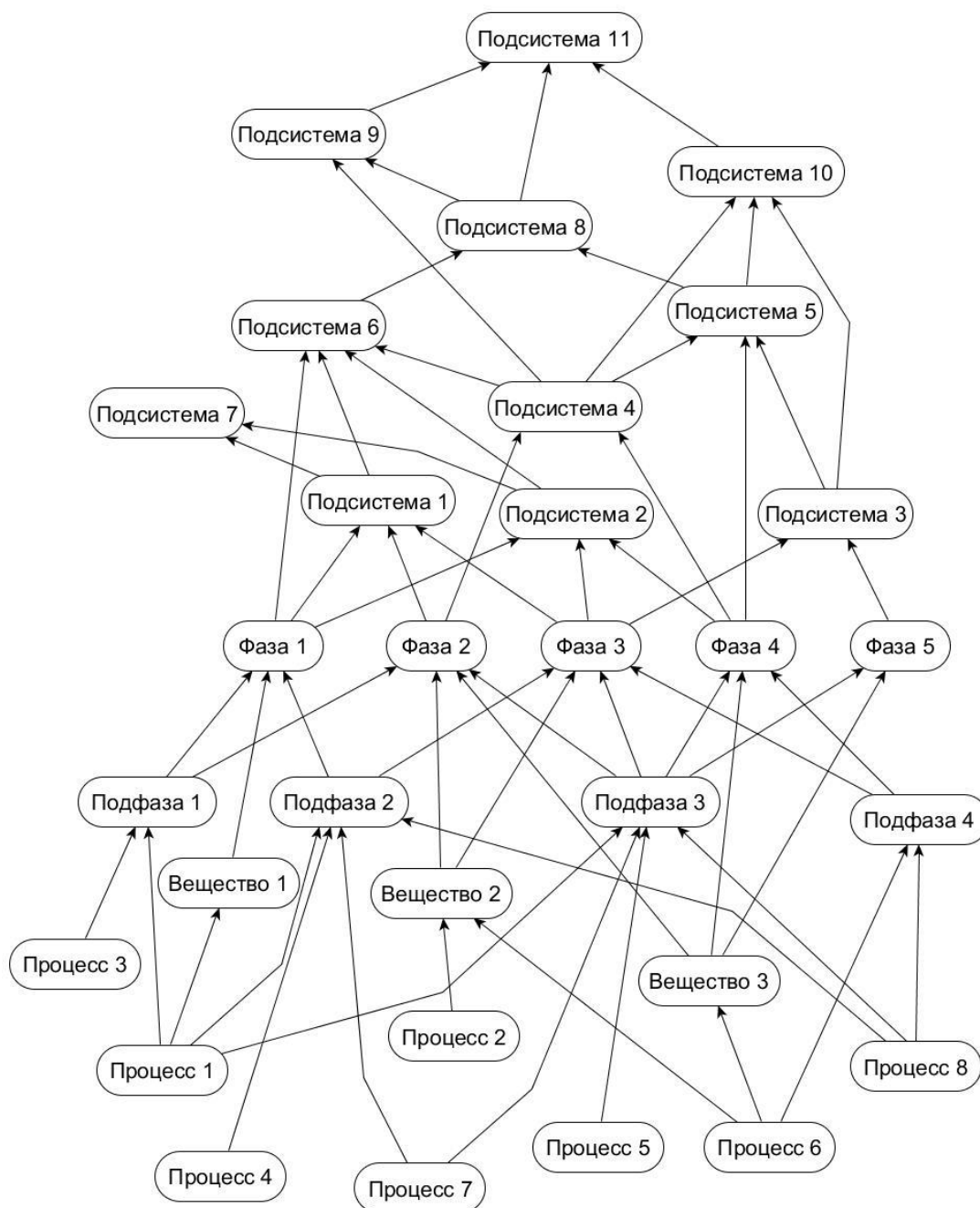


Рисунок 5 – База данных фаз, подфаз, отдельных веществ, температуры степеней свободы молекул которых различается, подсистем и физико-химических процессов. Процессы между подфазами, отдельными веществами автоматически включаются в подсистемы (на рисунке не показывается)

Также суперблоки фаз вместе с суперблоками ФХП между подфазами и отдельными веществами в этих фазах или между этими фазами объединяются в суперблоки подсистем (которые также хранятся в рассматриваемой БД). Такие суперблоки подсистем также связаны с ФХП между этими подсистемами (рисунок 3).

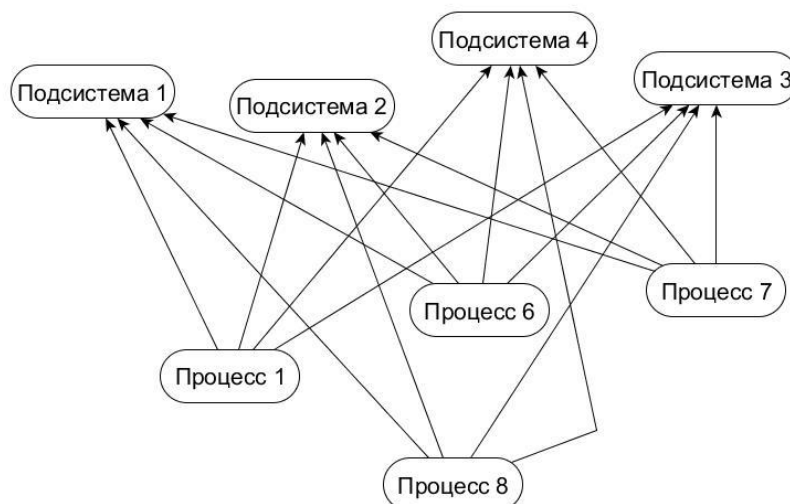


Рисунок 6 – Процессы между подсистемами

Получив из БД (рисунок 2) связь между подсистемами и процессами между этими подсистемами (рисунок 3), мы, используя соответствующие суперблоки и соответственно суперсвязи между этими суперблоками, получим блочную диаграмму (модель) рассматриваемой ФХС. Таким образом, использование БД в форме, показанной на рисунке 2, позволяет быстро в соответствии с запросом пользователя строить математические модели (блочные модели) ФХП в пользовательской системе (пользователю не надо будет создавать блочную модель высокого порядка).

#### Использование графовых методов

Рассмотренная БД фаз, подфаз, отдельных веществ (степени свободы молекул которых имеют разные температуры), подсистем рассматриваемой ФХС, а также ФХП в ней, как видно из рисунка 2, представляет собой ориентированный граф (в соответствии с определением графов [15]). КС, ФХП, а также их характеристики в рассматриваемой пользовательской системе легко берутся методами теории графов [15] путем взятия подграфа графа рассматриваемой БД. В общем случае такой граф (рисунок 2) неявный [15]; для каждого узла его смежные узлы формируются в соответствии с алгоритмом, основанном на БД химических превращений [16], в том числе, основанной на общей химии [17], и в частности на органической химии [18]. Затем, методами выделения подграфов [15] выделив подграф, узлами которого являются только фазы, подфазы, отдельные вещества с разными температурами степеней свободы систем молекул, входящие в рассматриваемую ФХС, ФХП между этими составляющими рассматриваемой ФХС, мы получим блочную реализацию (блочную модель) [8] рассматриваемой системы.

Аналогично из рассматриваемой БД методами получения подграфов из графов [15] мы получим подсистемы и ФХП между ними (рисунок 3) – соответствующую блочную модель [8].

Более того, методы теории графов [15] позволяют, исходя из силы связи [10] выполнить описанную декомпозицию рассматриваемой ФХС на подсистемы (в плане протекающих ФХП в ней) [10].

#### Заключение

Использование описанной в настоящей работе блочной БД составляющих ФХС с соответствующими ФХП в этих системах существенно упрощает и ускоряет построение блочной модели ФХП в заданной пользователем ФХС. Более того, рассматриваемая БД хранится по отдельности в частности, на разных ЭВМ. Такое хранение позволяет блочные диаграммы больших размеров загружать и анализировать по частям [10] в том числе и на разных ЭВМ. Рассматривая архитектуру БД позволяет также загружать на локальный ПК не всю БД, а только ее необходимые составляющие (для заданного класса ФХП).

Таким образом, предложенная архитектура БД составляющих ФХС и процессов в ней позволяет решить задачи упрощения построения блочной диаграммы ФХП в пользовательской ФХС, декомпозиции блочной диаграммы ФХП в пользовательской ФХС на блочные поддиаграммы, а также держать на локальном ЭВМ лишь необходимые БД заданных классов ФХС.

#### Литература

1. Овчинников В.А. Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2014. - 423 с.
2. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб: Профессия, 2003. - 752 с.



3. Колодежный Л.П., Чернодаров А.В. Надежность и техническая диагностика. - М.: ВУНЦ ВВС ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010. - 452 с.
4. Эткин В.А. Энергодинамика: синтез теорий переноса и преобразования энергии. - СПб: Наука, 2008 - 409 с.
5. Jou D., Casas-Vázquez J., Lebon G. Extended irreversible thermodynamics. - New York, USA: Springer, 2006. - 528 p.
6. Полак Л.С. Неравновесная химическая кинетика и ее применение. - М.: Наука, 1979. - 248 с.
7. Starostin I.E., Bykov V.I. Kinetic theorem of modern non-equilibrium thermodynamics. - Raleigh (North Carolina, USA): Open Science Publishing, 2017. - 229 p.
8. Старостин И.Е., Степанкин А.Г. Программная реализация методов современной неравновесной термодинамики. И система симуляции физико-химических процессов SimulationNonEqProcSS v.0.1.0. - Бо Бассен, Маврикий: Lambert academic publishing, 2019. - 127 с.
9. Старостин И.Е. Задание функций состояния для величин, входящих в формализм потенциально-поточкового метода описания динамики физико-химических процессов. / Материалы XVI международной научно-практической конференции «Инновационные информационные и коммуникационные технологии». - 2019. - С. 317–322.
10. Старостин И.Е., Халютин С.П., Быков В.И. Упрощение потенциально-поточковых уравнений динамики физико-химических процессов для получения математической модели системы. / Сложные системы. - 2019. - № 3(32). - С. 82–97.
11. Starostin I.E., Khalyutin S.P. Identification of system models from potential-stream equations of the basis of deep learning on experimental data. / Civil Aviation High Technologies. - 2020. - 23(2). - PP. 47-58.
12. Старостин И.Е. К вопросу программной реализации методики получения математической модели эксплуатируемого объекта из потенциально-поточковых уравнений физико-химических процессов. / Научные горизонты. - 2019. - № 11(27). - С. 214–230.
13. Старостин И.Е. Получение моделей надежности технических объектов из потенциально-поточковых уравнений физико-химических процессов в этих объектах. / Надежность и качество сложных систем. - 2020. - № 1 (29). - С. 5–12.
14. Старостин И.Е., Халютин С.П. Получение математической модели для напряжений литий-ионного аккумулятора в режиме разряда постоянным током. / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». - 2020. - т. 1. - С. 116–120.
15. Буркатовская Ю.Б. Теория графов. Ч. 1. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. - 200 с.
16. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Химические свойства неорганических веществ. - М. Химия, 2000. - 480 с.
17. Гуров А.А., Бадаев Ф.З., Овчаренко Л.П., Шаповал В.Н. Химия. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2017. - 777 с.
18. Вайземан Ф.Л. Основы органической химии. - СПб: Химия, 1995. - 464 с.

#### СИСТЕМА ВНУТРЕННЕГО МОНИТОРИНГА НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Лях К.Н., Стасышин В.М.  
Новосибирский государственный технический университет  
+7 (913) 908-44-96, [Stasyshin@ciu.nstu.ru](mailto:Stasyshin@ciu.nstu.ru)

Рассмотрены основные принципы и подходы к организации институциональных исследований в вузе. Перечислены цели, задачи и направления деятельности отдела мониторинга и анализа данных Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Сделан обзор выполненных проектов.

Ключевые слова: институциональные исследования университета; система внутреннего мониторинга; компетенции; анализ данных.

Institutional research at the Novosibirsk state technical university. Lyax K.N., Stasyshin V.M. Novosibirsk state technical university.

The basic principles and approaches to the organization of institutional research at the university are considered. The goals, objectives, and directions of activity of the Department of monitoring and data analysis of Novosibirsk state technical University (NSTU) are listed. Review of completed projects is presented.

Keywords: institutional research at the university; internal monitoring system; competencies; data analysis.

Система внутреннего мониторинга университета ставит своей задачей проведение исследований, результаты которых используют руководство и подразделения университета при принятии решений о текущей деятельности, реализацию мониторинговых и разовых исследовательских проектов, включая разработку инструментария, сбор, анализ данных, представление и обсуждение результатов, визуализацию и распространение данных внутренних опросов в университетском сообществе, взаимодействие с руководством и подразделениями университета в области проведения внутренних социологических исследований.

#### Состояние вопроса в России и в мире

Внутренние или институциональные исследования университетов (institutional research, сокр. IR), появившиеся в США в 1920-е годы и получившие большое распространение во второй половине прошлого века [1], в настоящее время являются неотъемлемой частью систем управления современных вузов. Выделяют две задачи, реализации которых способствует проведение институциональных исследований. Первая (внешняя) направлена на удовлетворение запросов и требований к отчетности о процессе и результатах работы вуза. Вторая (внутренняя) касается предоставления руководству сведений, необходимых для управления университетом, стратегического планирования и принятия административных решений [2]. Успешное выполнение этих задач становится важным фактором конкурентоспособности университета, привлечением абитуриентов и новых преподавателей, трансформацией структуры вуза.

В российских университетах институциональные исследования еще не получили широкого распространения. Вместе с тем интенсификация конкуренции между вузами в РФ, а также ориентация ряда ведущих университетов на лидерство в мировых рейтингах, явно выраженная через участие в государственной программе повышения конкурентоспособности 5-100, позволяют говорить о том, что необходимость формирования системы внутренней аналитики, аналогичной IR в зарубежных вузах, приобретает все большую актуальность.

Первый Центр внутреннего мониторинга (ЦВМ) в России создан в 2010 г. в НИУ ВШЭ. Центр является научным подразделением и занимается институциональными исследованиями университетской среды (institutional research, IR). Это направление в исследованиях высшего образования, использующее теоретические концепции и практические подходы к совершенствованию образования и ориентированное на решение практических задач по управлению университетами. Аналогичные по своим задачам имеются и в других ведущих вузах России.

Ниже перечислены базовые принципы построения типового центра внутреннего мониторинга (IR) и анализа данных в университете.

Требуемые компетенции:

- понимание общего контекста развития университета и его организационных особенностей, включенность в дискуссию о повышении успешности студентов;
- включенность в «локальную» повестку конкретного университета;
- умение работать с данными;
- умение интерпретировать и визуализировать данные.

Базовых функции в университете:

- внешняя – удовлетворение запросов по отчетности, предоставление данных о деятельности университета его внешним потребителям;
- внутренняя – обеспечение руководства информацией, необходимой для принятия обоснованных решений в рамках учебной, научной, финансовой и хозяйственной деятельности.

Предпосылки развития внутреннего мониторинга:

- массовизация высшего образования;
- формирование нового типа отношений между государством и вузами, увеличение хозяйственной автономии вузов;
- усиление конкуренции между университетами;
- новые подходы к менеджменту в вузе.

Структурная организация:

- в большинстве случаев для проведения внутренних исследований выделяется отдельное подразделение;
- размеры центров IR варьируются, но часто это небольшие подразделения (в ряде университетов функции центра IR выполняют 2-3 человека);
- эффективность работы центра IR во многом зависит от места, которое он занимает в структуре вуза;
- оптимальный вариант – подчинение центра непосредственно ректору и/или первым проректорам.

Базовые требования к деятельности:

- поддерживать горизонтальные взаимодействия с основными службами и отделами университета;
- активно вовлекать представителей других подразделений в обсуждение исследований и их результатов, учитывать различные интерпретации полученных данных;
- выступать агентами изменений;
- не ограничиваться позицией «чистого измерения», а выносить рекомендации и предложения по совершенствованию бизнес-процессов.

Нереактивные данные:

- информация о поведении человека в «естественной» ситуации;
- события,
- большой объем данных;
- реализация модели data-driven research – не данные собираются под гипотезы, а гипотезы «вырастают» из данных.

Корпоративные информационные системы для аналитики:

- интеграция различных систем для аналитических целей;
- специализированное программное обеспечение анализа данных (R, SPSS, Orange и др.);
- системы визуализации данных (MS PowerBI, Qlik Sense и др.);
- фиксация даже «незначительных» действий.

Решение задач внутреннего мониторинга в Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) возложено созданный в рамках Управления цифрового развития отдел мониторинга и анализа данных.

#### Цели и задачи отдела мониторинга и анализа данных в НГТУ

Цели структурного подразделения:

1. Обеспечение реализации стратегии цифровой трансформации университета.
2. Обеспечение управления вузом, основанного на данных, поддержка стратегического менеджмента, совершенствование бизнес-процессов на основе анализа накопленных данных.
3. Комплексный анализ данных для совершенствования бизнес-процессов в вузе.

Задачи центра:

1. Управление и интеграция данных.
2. Обеспечение оперативного оборота данных для внешнего и внутреннего потребления – обработка всех поступающих и исходящих из вуза данных, в том числе управление внешней отчетностью.
3. Разработка и адаптация инструментария сбора и анализа и контроля качества данных.
4. Мониторинг действий с данными – отслеживание цепочки происхождения и преобразования данных.
5. Подготовка предложений по использованию перспективных цифровых сервисов и методическая поддержка использования.
6. Управление корпоративным хранилищем данных для управленческой и регулярной отчетности.
7. Контроль внедрения новых бизнес моделей, основанных на данных, и цифровых сервисов НГТУ.
8. Нормативное регулирование работы с данными.
9. Выстраивание отношений с иными организациями с целью обмена данными, организация работы с внешними информационными потоками, брокерами данных.

#### Направления работы отдела

##### I. Анализ образовательных данных

Цель – выявление закономерностей и факторов, влияющих на учебный и другие бизнес-процессы университета.

Владелец проекта – проректор по учебной работе.

Заинтересованные участники – факультеты, учебное управление, управление стратегии образования, деканаты, профессорско-преподавательский состав.

Примеры выполненных проектов [3]:

1. Анализ данных в части контингента абитуриентов и лиц, поступивших в университет за период 2011-2019 гг. с целью выработки рекомендаций по совершенствованию профессионально-ориентационной работы вуза.
2. Исследование различных моделей зависимости успеваемости студентов от балла ЕГЭ и причин, их порождающих.

3. Анализ переменных-факторов, которые могут быть полезны для предсказания отчисления в задаче удержания студентов.

4. Анализ качества образовательных ресурсов, подготовленных преподавателями вуза, в системе эффективного контракта университета.

5. Анализ принципов формирования студенческих групп на «выживаемость» и успеваемость студентов вуза.

6. Исследование корреляции оценок, рекомендованных руководителями выпускных работ и полученных студентами на защите выпускных бакалаврских работ с их успеваемостью на различных факультетах университета.

II. Электронная база показателей деятельности вуза

Цель – подготовить платформу для перехода к управлению университетом на основе данных.

Решение задачи включает следующие этапы:

1. Построение модели взаимодействия подразделений при подготовке отчетов, модели связей между показателями, проверяющими организациями; анализ и выявление взаимных зависимостей (импакт-анализ);

2. Построение статистических моделей взаимодействия показателей, прогнозных моделей, в том числе учитывающих степень «подтверждаемости» значений;

3. Выделение ключевых показателей (показателей, используемых при принятии управленческих решений);

4. Построение управленческих моделей «показатели – принятие решения».

В перспективе платформа должна давать рекомендации, фиксировать, были ли и когда рекомендации приняты.

Владелец проекта – ректор университета.

III. Введение цифрового профиля студента, формирование карты становления специалиста.

Цель – формирование объективными средствами в личном кабинете студента совокупного набора сведений об учебных, внеучебных, научных и профессиональных компетенциях студента.

Владелец проекта – проректор по учебной работе.

Заинтересованные участники – факультеты, кафедры.

#### Литература

1. Chirikov I. Research universities as knowledge networks: the role of institutional research // *Studies in Higher Education*. – 2013. – Т. 38. – №. 3. – С. 456-469.

2. Правдина М. А. Зачем университетам внутренние исследования? Обзор зарубежного опыта institutional research // *Университетское управление*. – 2009. – №. 4. – С. 56-65.

3. Stasyshin V. M. Analysis of educational data in the decision-making support system of university / V. M. Stasyshin, T. V. Stasyshin // *Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2018) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2018)* : тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1, ч. 4. – С. 541-545

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТОМАТОЛОГИИ

Шкрум А.С., Катасонова Г.Р.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Бонч-Бруевича

+7 (9817827410) doctor.shkrum@gmail.com, +7 (9030955810) 1366galia@mail.ru

Аннотация. Инновационная аддитивная технология позволяет с помощью 3D-принтера создавать физические объекты трехмерного изображения на основе послойного формирования твердого объекта. Область применения инновационных аддитивных технологий постоянно расширяется и стремительно развивается, существуют огромные возможности использования технологий в различных предметных областях и типах производств. Рассмотрены методы и специальное прикладное программное обеспечение для 3D моделирования. Выполнен анализ использования спецтехники и электронного оборудования, разнообразных многослойных материалов, применяемых в области медицины.

Проведен обзор областей современной стоматологии (ортопедия, хирургия, ортодонтия) в которых с появлением аддитивных технологий и новых типов материалов появилась возможность печатать ортопедические протезы, стерильные инструменты и вкладыши. Рассмотрены этапы современного ортодонтического лечения в стоматологии с использованием 3D-печати. Определены основные аспекты развития инновационных аддитивных технологий в медицине.

Ключевые слова: инновационные аддитивные технологии, моделирование, 3D-печать, стоматология, ортодонтия.

Use of innovative technologies in dental. Shkrum A.S., Katasonova G.R., Saint Petersburg State University, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications

Abstract. Innovative additive technology allows using a 3D printer to create physical objects of a three-dimensional image based on layer-by-layer formation of a solid object. The field of application of additive technologies is constantly expanding and rapidly developing, there are huge opportunities for using technology in various subject areas and types of industries. Methods and special application software for 3D modeling are considered. The analysis of the use of special machinery and electronic equipment, a variety of multilayer materials for use in various subject areas, including in the field of medical technology.

A review of the areas of modern dentistry (orthopedics, surgery, orthodontics) in which, with the advent of additive technologies and new types of materials, has made it possible to print orthopedic prostheses, sterile instruments, and liners. The stages of modern orthodontic treatment in dentistry using 3D printing are considered. The main aspects of the development of additive technologies in medicine are determined.

The object of research is additive technology. The purpose of this study is to review the fixed assets, methods and tools for applying 3D technology in dentistry.

Keywords: innovative additive technologies, modeling, 3D-printing, dentistry, orthodontics.

Активное использование в мире инновационных аддитивных 3D-технологий или 3D-печати в области медицины началось с 2015 года, что позволило на порядок улучшить качество предоставляемых услуг. Благодаря новой технологии стала возможна печать разнообразных медицинских стерильных инструментов, решились многие задачи и проблемы в области трансплантологии (на основе томографических снимков увеличилась точность печати органов с биосовместимой костной и хрящевой тканями), разрабатываются индивидуальные слуховые аппараты, ортопедические протезы и многое другое. В России активно идет процесс популяризации аддитивных технологий, использование которых позволяет снизить затраты, сэкономить время и найти универсальные решения для моделирования и изготовления изделий и деталей как в медицине, так и в различных предметных областях.

Под аддитивной технологией (Additive Manufacturing - производство добавок) понимается послойное построение и синтез объекта с использованием трехмерных компьютерных систем [3]. За последние три года количество российских компаний, использующих аддитивные технологии в моделировании и разработке продуктов, значительно увеличилось, что свидетельствует о востребованности 3D-технологий при производстве конечной продукции в авиастроении, строительстве, сельском хозяйстве, судостроении, космонавтике, автомобильной промышленности, медицине и фармакологии.

Одной из самых популярных областей аддитивных 3D-технологий стала стоматология. Сегодня прием у врача-стоматолога часто сопровождается процессом разработки виртуальных трехмерных моделей с точным представлением форм, размеров, фактуры любых объектов, с оценкой внешнего вида, эргономичности изделия и оперативной печатью стоматологических изделий (элайнеров, имплантов, протезов, коронок) [2].

Развитие новых информационных технологий в условиях активной цифровизации общества позволило создать широкий спектр программного обеспечения для 3D-моделирования, которое представляет будущий продукт прямо на экране компьютера во всех ракурсах, позволяя быстро устранить выявленные недостатки в любых условиях и стадиях его развития. Графические системы трехмерной графики позволяют рассматривать изделие с разных плоскостных сторон и даже с его будущим окружением, моделировать объекты виртуальной реальности, создавая изображения на основе полученных моделей.

На мировом рынке программного обеспечения сегодня представлено много систем автоматизированного проектирования (САПР), 3D-моделирования, 3D-анимации и визуализации объектов, среди которых лидирует 3D Max, AutoCAD, Maya от Autodesk, программное обеспечение с открытым исходным кодом Blender, Compass3D от Ascon, SketchUp от Google [1]. Основными преимуществами этого типа программ является значительное снижение затрат на проектирование, интеграция с другими программными продуктами (приложениями для инженерных расчетов, интерактивной системой управления изображениями, программами для получения и обработки панорамных и цефалометрических изображений и др.).

Внедрение программного обеспечения для 3D-моделирования (САПР) в производство может значительно сэкономить ресурсы, упростить работу персонала и улучшить качество продукции, тем самым расширив возможности компании. 3D-модели, представленные в виде чертежей, печатаются на 3D-принтерах, что дает возможность экономично разрабатывать нестандартные изделия в небольших количествах со свободно движущимися частями, которые не нужно собирать.

3D-принтер – это принтер, который послойно формирует изображение на основе определенного вида материала: полистирола, жидкого полимера, пластика, гипсового порошка, воска, керамики, титана, смолы, нержавеющей стали [4].

Наиболее популярными технологиями для 3D-печати являются:

- 1) моделирование методом послойного нанесения (FDM);
- 2) стереолитография (SLA);
- 3) селективное лазерное спекание (SLS).

Используя метод осаждения расплавленной нити FDM (Fused Deposition Modeling), продукт получают путем пайки экструзией термопластической нити в слои, повторяющие контуры цифровой модели. В методе FDM используются недорогие материалы, и он предпочтителен для быстрого прототипирования простых деталей.

Этот способ печати отличается невысокой точностью и разрешающей способностью и не используется для создания продукции нестандартной геометрической формы с высокими требованиями к точности изготовления и качеству поверхности. В 3D-принтерах (технология FDM) при механической и химической полировке используются специальные конструкционные термопласты для улучшения качества получаемой поверхности.

Продукты, полученные с использованием технологии SLA (Laser Stereolithography), в которой используется фотополимеризация - процесс превращения жидкой фотополимерной смолы в затвердевший пластик с помощью лазера - имеют четкие очертания, гладкую поверхность с высокой точностью и разрешением. В данной технологии применяются различные смоляные составы, которые по своим свойствам соответствуют техническим и промышленным термопластам. Этот вид печати универсален и популярен при изготовлении изделий в стоматологической и ювелирной сферах, в машиностроении и образовании.

Для массового производства используется метод печати с использованием селективного лазерного спекания - SLS (Selective Laser Sintering), который использует мощный лазерный луч для плавления мелких частиц полимерного порошка. Таким методом печатаются прочные изделия со сложными внутренними деталями, имеющими нестандартную геометрию.

Кроме того, единственная в мире полноцветная 3D-печать с принципом приклеивания порошка, состоящего из гипса - это технология CJP (ColorJet Printing). Другая технология MJM (MultiJet Modeling) основана на принципе многоструйного 3D моделирования с использованием фотополимеров и воска.

На сегодняшний день трендом аддитивных технологий является использование новых видов композитных материалов, фотополимеров, разработка водонепроницаемых, трудновоспламеняемых полимеров, печать экструдированным гранулятом, биопечать. В частности, композитные материалы, наполненные углеродными волокнами, стеклом, нанотрубками, позволяют печатать прочные и сложные изделия с необходимыми температурными требованиями на более простом и доступном оборудовании. Значительное уменьшение усадки материалов позволяет добиться качественной повторяемости размеров изделия, что является одним из важнейших параметров для 3D-печати.

Таким образом, появление улучшенных новых современных материалов, то есть печати объектов путем комбинирования различных материалов с помощью лазера, позволяет более эффективно использовать технологии FDM, SLA, SLS для создания новых видов потребительских товаров, где основной тренд 3D-полиграфия - разработка материалов, ориентированных на конкретные предметные области и производственные задачи.

Одно из направлений медицины, где аддитивные технологии наиболее быстро внедряются в медицинскую практику - это стоматология. В результате появления в аддитивной 3D-печати новых видов материалов в области стоматологии (ортопедии, хирургии, ортодонтии) появилась возможность печати для последующей процедуры эндопротезов, костных и хрящевых тканей, ортопедических протезов, вкладышей.

Популярной становится технология проектирования с учетом анатомических особенностей персонализированных имплантатов с одновременной печатью хирургических вспомогательных инструментов для операции [4]. Данная тенденция привела к тому, что в настоящее время в ряде разделов стоматологии, прежде всего в ортодонтии и ортопедии, фактически разворачивается новый этап технологической революции, который помимо несомненных преимуществ (повышение качества и эффективности лечения, снижая риск осложнений и нежелательных побочных эффектов) ставит новые задачи перед профессиональным сообществом в контексте необходимости повышения уровня знаний и навыков по внедрению технологий, а также необходимости пересмотра существующих образовательных программ и стандартов.

В ортопедии для улучшения качества диагностики и лечения активно применяются цифровые технологии виртуального осмотра и моделирования лечения: компьютерная томография, внутривитовое сканирование, технологии CAD / CAM (Computer Assisted Design / Computer Assisted Manufacturing), включающие методы сбора данных, планирования и моделирования предстоящего стоматологического

лечения, инструменты и материалы для 3D-производства. Использование технологий CAD / CAM в ортопедической стоматологии имеет относительно долгую историю и затрудняется отсутствием доступных методов их внедрения в медицинскую практику.

В области ортодонтии ситуация выглядит несколько иначе. Формирование цифровой инфраструктуры стоматологического лечения привело к появлению и быстрому росту популярности технологий с индивидуальным съемным оборудованием (элайнерами). Более того, описание такого метода лечения впервые встретилось в специализированной литературе США еще в 1940-х годах, однако его практическая реализация была практически невозможна до появления 3D-диагностики и 3D-печати. В настоящее время использование этого метода становится все более популярным среди ортодонтотв, так как имеет ряд несомненных преимуществ: сниженная травматичность по сравнению с традиционными брекет-системами, эстетичность, легкость процедур соблюдения гигиены полости рта.

В отличие от традиционных ортодонтических аппаратов при лечении элайнерами (капами) происходят процессы одновременного и разнонаправленного движения зубов, позволяя проводить коррекцию прикуса постепенно по необходимым плоскостям.

Сегодня популярными компаниями по изготовлению кап являются американская компания Align Technology (Invisalign), а также российские компании Flexi Ligner, True Smile, Star Smile, 3D Smile, которые используют технологию и системы «прозрачной ортодонтии», разработанные международными компаниями и вышедшие на российский рынок посредством разработки русскоязычного программного интерфейса и локализации производства.

Существуют общие принципы организации этапов ортодонтического лечения, которые не связаны с организацией клинического сопровождения и производства, особенностями пользовательского интерфейса. Они включают проведение следующих этапов:

- 1) сканирование зубов, снятие слепков;
- 2) сбор данных, визуализация, разработка цифровой анатомической модели;
- 3) 3D-печать вкладышей;
- 4) совместная работа врача и пациента по использованию элайнеров.

Отдельным направлением технологического развития в связи с внедрением инновационных аддитивных технологий в стоматологическую практику является создание улучшенных и новых материалов для изготовления стоматологических инструментов (элайнеров и др.) и изделий (коронки, вкладки и др.). Ведутся активные работы по повышению качества фотополимеров для 3D-печати. Одной из важных проблем при создании продуктов, которые используются в медицине и стоматологии, является вопрос полного отслеживания каждого этапа с точной диагностикой, устранением ошибок и дефектов в процессе изготовления продукта, то есть грамотное управление качеством изготовления изделий.

В связи с этим крупные производители создания 3D-моделей планируют закрепить за каждым продуктом электронный паспорт, который будет содержать всю информацию о деталях, включая, например, видео ее послойного построения в камере принтера, которое, при необходимости можно отслеживать.

Сегодня разрабатывается новое программное обеспечение, которое позволяет тщательно собирать данные о продукте во время его создания с последующим анализом, связывая метод производства и технологию с последующим жизненным циклом продукта. В свою очередь, за высокое качество оцифровки отвечают 3D-сканеры, которые способны сканировать объекты любой сложности с высокой производительностью и разрешением. Они обеспечивают качественный и оперативный сбор и анализ реального объекта (формы, цвета, размеров) для последующего преобразования его в цифровую трехмерную модель.

Основными аспектами развития инновационных аддитивных технологий в современной стоматологии являются:

- 1) дизайн для аддитивного производства;
- 2) образование и обучение;
- 3) применение разнообразного спектра материалов для 3D-печати;
- 4) стартап-компания;
- 5) стимулирование эффективного функционирования цепочки поставок;
- 6) использование мелкосерийного производства;
- 7) работа по индивидуальным заказам;
- 8) данные, безопасность и межотраслевое взаимодействие;
- 9) инвестиции в использование аддитивных технологий в производстве;
- 10) активное партнерство и сотрудничество;
- 11) корпоративные центры обучения и внедрения передового опыта.

Таким образом, российский рынок в области 3D развивается устойчивыми темпами и приобретает навыки международного уровня работы со всем спектром решений от 3D-принтеров и расходных материалов до улучшенных 3D-сканеров и программного обеспечения, быстрого развития 3D-сервисов.

Основным преимуществом инновационного аддитивного производства является возможность быстрой настройки производственного процесса изготовления продукции под запрос потребителей и выпуска определенного количества конечного продукта.

Для области стоматологии, в частности, ортодонтии становится очевидным, что инновационные аддитивные технологии (3D-печать) - это способ значительно сэкономить ресурсы и улучшить качество продукции, эффективный инструмент в обучении, это новые возможности для модернизации и расширения бизнеса.

#### Литература

1. Аствацатрян Л.В., Гажва С.И. Современные аспекты использования 3D-технологий в изготовлении съемных зубных протезов // Современные проблемы науки и образования. 2017. №1. С. 39-45
2. Калягина В.Н. Ортодонтическое лечение с применением прозрачных капп (элайнеров). Молодой ученый. Июль 2019. №30 (268). С. 27-29.
3. Шустиков В. Аддитивные технологии - что это такое и где применяются // [электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://sk.ru/news/b/press/archive/2019/09/18/additivnyye-tehnologii-1320-cto-eto-takoe-i-gde-primenyuutsya.aspx> / (дата обращения 17.08.2020).
4. Попадюк С.С. Formnext 2019: давайте напечатаем будущее // [электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/formnext-2019/> / (дата обращения 02.09.2020).

### АНАЛИЗ РАЗРАБОТАННЫХ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Мирзакулова Ш.А., Юсупова Г.М, Исакова А.Ж., Тойбаева Ш.Д., Кожабаяева И.Б.  
Университет Туран, АУЭС, г. Алматы

Статья посвящена анализу разработанных алгоритмов прогнозирования сетевого трафика с неравномерной интенсивностью с использованием методов нечеткой логики по Чену и Ченгу в программной среде Python. Среда (IDE) для разработки кода выбрана PyCharm. Построены функции принадлежности и прогнозные графики и осуществлен анализ.

Ключевые слова: временной ряд, прогнозирование, нечеткая логика, Python, управление.

A comparative analysis of time series forecasting based on fuzzy logic methods. Mirzakulova Sh.A., Yussupova G.M, Iskakova A.J., Toibayeva Sh.D., Kozhabayeva I.B. Turan University, AUES, Almaty city.

The article is devoted to the analysis of the developed algorithms for predicting network traffic with uneven intensity using fuzzy logic methods according to Chen and Cheng in the Python software environment. The environment (IDE) for developing the code is PyCharm. Membership functions and predictive graphs were built and analyzed.

Keywords: time series, forecasting, fuzzy logic, Python, control.

#### Введение

В городе Алматы с 2007 года развернута сеть нового поколения NGN (Next Generation Network), которая основана на протоколе IP (Internet Protocol) с коммутацией пакетов. Ресурсы функционирующей мультисервисной сети адаптируются на изменения рынка и поставляют необходимую информацию пользователям, осуществляя своевременное обновление баз новыми приложениями. Запущены услуги когнитивной технологии. В [1] описано, что искусственный интеллект собирает различные данные и развивается за счет машинного обучения, а также на основе предыдущих обращений или заявлений предоставляет различную информацию. Поэтому постоянно наращивается не только объем трафика, но и изменяется ее структура, поэтому анализ сетевого трафика по-прежнему остается актуальной задачей.

Целью настоящей работы является прогнозирование сетевого трафика для осуществления управления информационными потоками в сети во избежание перегрузок и потерь. В работе рассмотрен одномерный временной ряд интенсивности пакетов протокола UDP (User datagram protocol), измеренный на магистральной сети города в течение пяти часов через постоянные временные интервалы. Особенное свойство временного ряда заключается в том, что он представляет собой последовательность упорядоченных во времени уровней ряда, которые характеризуют уровень состояния и изменения изучаемого явления. Визуально установлено, что интенсивность исследуемого ряда неоднородная.

Различаются и методы, используемые к временным рядам при их оценке и прогнозировании. Моделирование временных рядов является одним из способов их прогнозирования.

Нечеткое управление это способ для систем управления сложных процессов.



Термин «нечеткое множество» принадлежит профессору Лотфи Заде, кроме того ему принадлежат множество приемов описания алгоритмов в созданной в 1965 году теории нечетких множеств.

Идея использования нечетких временных рядов в непараметрическом методе прогнозирования была первоначально предложена учеными Song и Chissom в 1993 году. Они первыми предложили методологию нечетких временных рядов FTS (Fuzzy Time Series). При этом, они фазифицировали предварительно четкий временной ряд применив нечеткие модели при моделировании временных рядов.

В 1996 году ученый Чен осуществил расширение метода, разработанных алгоритмов учеными Song и Chissom. При этом идея ученого Чена основывалась на нечетких логических таблицах групповых отношений для уменьшения вычислительной сложности ранее созданной модели [2]. Кроме того, он использовал упрощенные арифметические операции.

Что касается алгоритма ученого Ченга, то он в свою очередь расширил модель, разработанную ученым Ченом и представил взвешенную по тренду модель FTS. При этом для прогнозирования присвоил соответствующие веса отдельным нечетким отношениям [3].

#### Постановка проблемы

В настоящее время для прогнозирования временных рядов все больше и больше используются технологии искусственного интеллекта в частности его подраздел машинное обучение (Machine learning). Что касается статистических моделей, то они основаны на строгом подчинении ограничительным предположениям линейного, нормального распределения, стационарности ряда или трансформации нестационарного ряда в стационарный ряд. Модели искусственного интеллекта могут выявить внутреннее правило и, достичь желаемых результатов без каких-либо строгих предположений. Такие модели обладают лучшими возможностями нелинейной обработки, поэтому многие исследователи применяют их для прогнозирования.

Относительно недавно разработанная теория нечеткой логики сегодня стала полноценной методикой управления.

В [4] описано, что для широкого класса динамических процессов возможно прогнозирование временных рядов на основе его нечетких значений. В [5] отмечается, что в соответствии теоремы FAT (Fuzzy Approximation Theorem) с помощью нечеткой логикой можно аппроксимировать произвольную взаимосвязь точно, которая имеет формализованные высказывания естественного языка «если-то». То есть нечеткие временные ряды - это концепция, которая может использоваться для прогнозирования, когда исторические данные формируются в лингвистических значениях. При этом представляется, что временной ряд обладает общим свойством, а его элементы обладают этим свойством в различной степени и принадлежат к данному множеству ряда с различной степенью.

В качестве инструментов исследования были использованы в работе программа MS Excel и реализация алгоритмов выполнена на языке программирования Python. Наряду прочих преимуществ язык программирования Python отличается от других языков программирования наличием полной стандартной библиотеки и наличием возможности использования библиотек сторонних производителей.

Исследуемый ряд имеет 1800 уровней (рис. 1). Визуально видно, что интенсивность исследуемого ряда неоднородная.

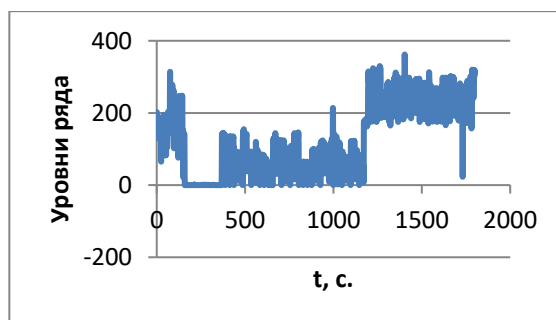


Рисунок 1 – Интенсивность поступления пакетов протокола UDP

Для реализации алгоритма прогнозирования Чена в программе Python был использован модуль «pyFTS.partition» с методом разбиения на не перекрывающиеся интервалы «GridPartitioner» (рис 2).

```
PyCharm
File Edit View Help
TS (1).py x
1 import ...
6
7 wb = load_workbook('./1800.xlsx')
8 sheet = wb.get_sheet_by_name('Лист1')
9
10
11 test = []
12
13
14 for row in range(1,1801):
15     test.append(sheet.cell(row=row, column=1).value)
16
17
18
19 train = test[:]
20
21 #train = Enrollments.get_data()
22
23 #test = Enrollments.get_data()
24 count_intervals = 10
25 #Universe of Discourse Partitioner
26 partitioner = Grid.GridPartitioner(data=train, npart=count_intervals)
27
28 fig, ax = plt.subplots(nrows=1, ncols=1, figsize=[15, 5])
29
30 partitioner.plot(ax)
31 plt.show()
32
33 # Create an empty model using the Chen(1996) method
34 model = chen.ConventionalFTS(partitioner=partitioner)
```

Рисунок 2 – Фрагмент кода программы алгоритма Чена

Временной ряд разбит на 10 интервалов и для каждого интервала будет создано нечеткое множество.

На рис. 3 приведен график функций принадлежности для 10 интервалов, используемые для фаззификации.

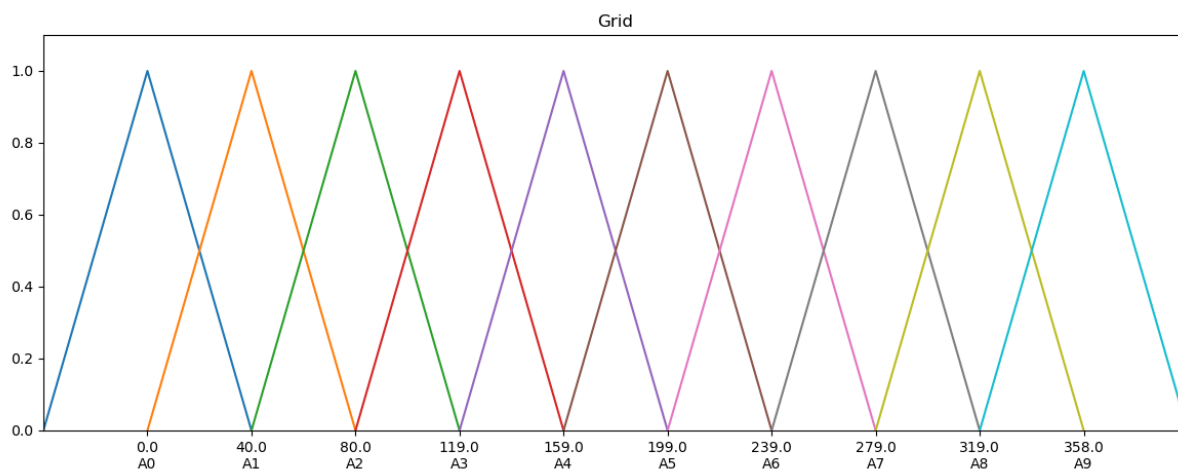


Рисунок 3 – График функций принадлежности

На рис. 4 приведен фрагмент выходных данных программы с генерацией нечетких правил (на этом этапе создаются временные правила перехода), числовые прогнозные данные и значение средней квадратической ошибки MSE. При этом получено  $MSE = 1636,42163042592$ .

```

1 C:\Users\User\PycharmProjects\kw-fts\venv\Scripts\python.exe C:/Users/User/PycharmProjects/kw-fts/TS-v2.py
2 C:/Users/User/PycharmProjects/kw-fts/TS-v2.py:8: DeprecationWarning: Call to deprecated function get_sheet_by_name
3   sheet = wb.get_sheet_by_name('Вист1')
4 Term expert: Conventional FTS:
5 A0 -> A0,A1,A2,A3
6 A2 -> A0,A1,A2,A3,A4
7 A1 -> A0,A1,A2,A3,A4
8 A3 -> A0,A1,A2,A3,A4,A5,A6
9 A4 -> A0,A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7
10 A6 -> A1,A4,A5,A6,A7,A8
11 A7 -> A3,A4,A5,A6,A7,A8
12 A5 -> A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9
13 A8 -> A5,A6,A7,A8
14 A9 -> A7
15
16 forecasts
17 [219.01000000000005, 219.01000000000005, 139.37, 119.46000000000002, 139.37, 139.37, 139.37, 139.37, 139.37,
18 139.37, 139.37, 139.37, 139.37, 139.37, 139.37, 219.01000000000005, 139.37, 219.01000000000005, 219.01000000000005,
19 139.37, 139.37, 139.37, 219.01000000000005, 139.37, 79.64000000000001, 79.64000000000001, 119.46000000000002,
20 119.46000000000002, 79.64000000000001, 119.46000000000002, 139.37, 139.37, 139.37, 139.37, 139.37,
21 119.46000000000002, 119.46000000000002, 139.37, 139.37, 219.01000000000005, 139.37, 119.46000000000002,
22 139.37, 139.37, 119.46000000000002, 119.46000000000002, 119.46000000000002, 119.46000000000002, 79.64000000000001,
23 119.46000000000002, 79.64000000000001, 79.64000000000001, 79.64000000000001, 139.37,
24 139.37, 139.37, 219.01000000000005, 119.46000000000002, 119.46000000000002, 119.46000000000002,
25 119.46000000000002, 139.37, 219.01000000000005, 219.01000000000005, 139.37, 219.01000000000005,
26 219.01000000000005, 139.37, 139.37, 139.37, 219.01000000000005, 139.37, 139.37, 219.01000000000005,
27 258.83000000000004, 258.83000000000004, 219.01000000000005, 205.7366666666667, 205.7366666666667,
28 219.01000000000002, 205.7366666666667, 219.01000000000002, 219.01000000000002, 219.01000000000002,
29 219.01000000000002, 219.01000000000002, 205.7366666666667, 219.01000000000002, 219.01000000000002,
30 205.7366666666667, 219.01000000000002, 205.7366666666667, 219.01000000000002, 205.7366666666667,
31 219.01000000000002, 119.46000000000002, 119.46000000000002, 119.46000000000002, 219.01000000000005,

```

Рисунок 4 – Фрагмент выходных данные программы

На рис. 5 приведен совмещенный график, состоящий из исходных данных и прогнозных данных, на котором видно, что этот метод имеет низкие показатели точности прогнозных данных, к тому же числовое значение MSE большое.

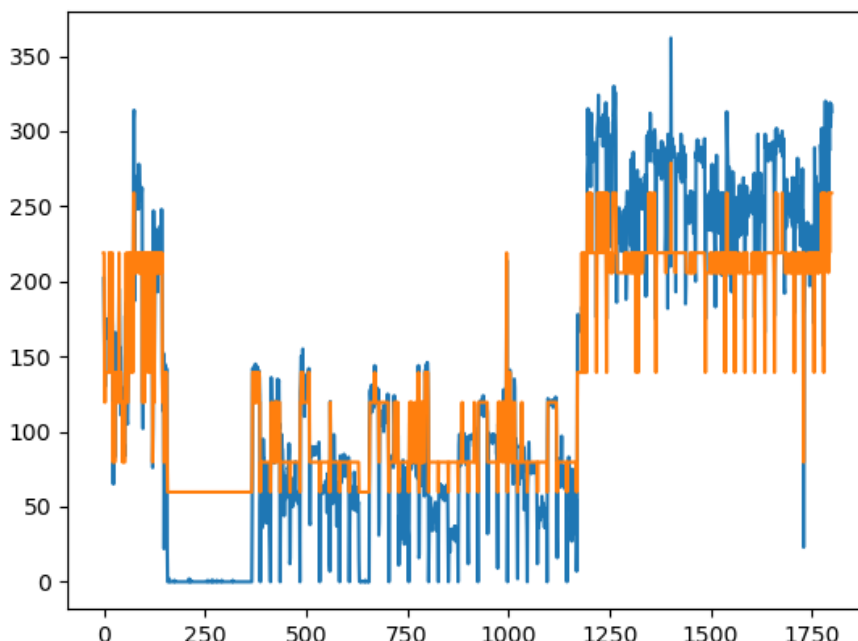


Рисунок 5 – Совмещенный график исходных и прогнозных данных

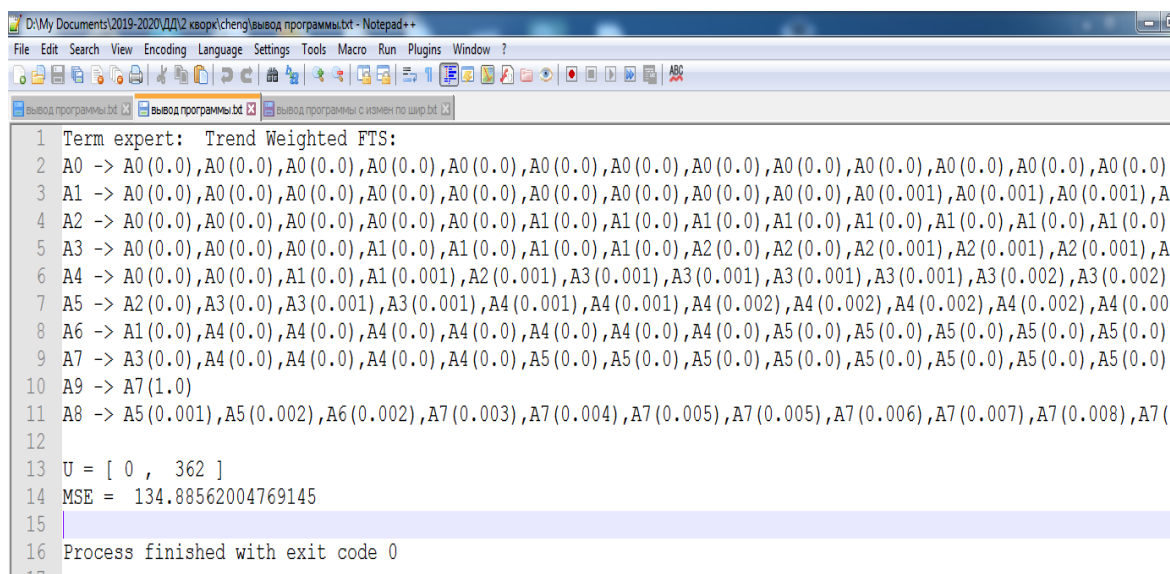
Фрагмент кода программы Python по алгоритму Ченга приведен на рис.6.

```
23 #test = Enrollments.get_data()
24     count_intervals = 10
25     #Universe of Discourse Partitioner
26     partitioner = Grid.GridPartitioner(data=train,npart=count_intervals)
27
28     fig,ax = plt.subplots(nrows=1,ncols=1,figsize=[15,5])
29     |
30     partitioner.plot(ax)
31     plt.show()
32
33     # Create an empty model using the Chen(1996) method
34     model = cheng.TrendWeightedFTS(partitioner=partitioner)
35
36     # The training procedure is performed by the method fit
37     model.fit(train)
38
```

Рисунок 6 – Фрагмент кода программы алгоритма Ченга

График функции принадлежности для 10 интервалов для фаззификации алгоритма Ченга аналогичен графику функции принадлежности алгоритма Чена, приведенный на рис. 3.

На рис. 7 приведен фрагмент выходных данных программы по алгоритму Ченга (по горизонтали данные имеют продолжение) с генерацией нечетких правил для создания временных правил перехода и отображено значение средней квадратической ошибки MSE. При этом это значение равно 134,88562004769145.



```
D:\My Documents\2019-2020\ДД2\кворк(cheng)\вывод программы.txt - Notepad++
File Edit Search View Encoding Language Settings Tools Macro Run Plugins Window ?
вывод программы.txt | вывод программы.txt | вывод программы с измен по шрифт.txt
1 Term expert: Trend Weighted FTS:
2 A0 -> A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),;
3 A1 -> A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.001),A0(0.001),A0(0.001),A0
4 A2 -> A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),;
5 A3 -> A0(0.0),A0(0.0),A0(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A1(0.0),A2(0.0),A2(0.0),A2(0.001),A2(0.001),A2(0.001),A2
6 A4 -> A0(0.0),A0(0.0),A1(0.0),A1(0.001),A2(0.001),A3(0.001),A3(0.001),A3(0.001),A3(0.001),A3(0.002),A3(0.002),;
7 A5 -> A2(0.0),A3(0.0),A3(0.001),A3(0.001),A4(0.001),A4(0.001),A4(0.002),A4(0.002),A4(0.002),A4(0.002),A4(0.003
8 A6 -> A1(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),;
9 A7 -> A3(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A4(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),A5(0.0),;
10 A9 -> A7(1.0)
11 A8 -> A5(0.001),A5(0.002),A6(0.002),A7(0.003),A7(0.004),A7(0.005),A7(0.005),A7(0.006),A7(0.007),A7(0.008),A7(0
12
13 U = [ 0 , 362 ]
14 MSE = 134.88562004769145
15
16 Process finished with exit code 0
17
```

Рисунок 7 – Фрагмент выходных данных алгоритма по Ченгу

На рис. 8 приведен совмещенный график, состоящий из исходных данных и прогнозных данных, построенных по алгоритму Ченга на котором видно, что этот метод нечеткого прогнозирования имеет более высокие показатели точности прогноза, о чем свидетельствует более низкое числовое значение показателя MSE. Этот результат указывает на то, что метод нечетких временных рядов Ченга достаточно хорош для использования при прогнозировании временных рядов.

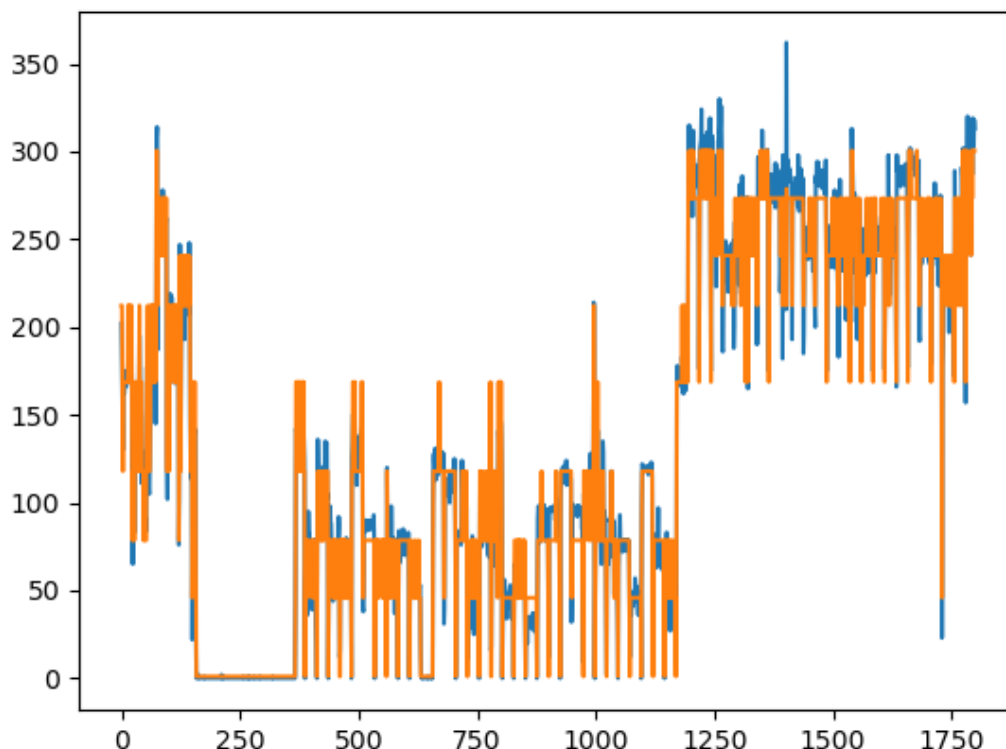


Рисунок 8 – Совмещенный график исходных и прогнозных данных по методу Ченга

На основании выше описанного следует, алгоритм Чена имеет следующие недостатки [6]:

- отсутствие учета повторения, которое становится меньше с увеличением продолжительности наблюдения;

- отсутствие коэффициентов взвешивания.

Метод нечеткого прогнозирования по Ченгу имеет более высокие показатели точности прогноза, чем метод прогнозирования по Чену. Различия в этих методах заключаются в этапах формирования нечетких множеств, и в каждой группе нечетких отношений есть веса.

#### Литература

1. Искусственный интеллект будут применять в ЦОНах. – Режим доступа: <https://www.zakon.kz/4891519-iskusstvennyy-intellekt-budut-primenyat.html>.
2. Chen S.M. Forecasting enrollment based on high-order fuzzy time series // Cybernetic Systems. 2002. Vol.33. № 1. P.1-16.
3. <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/2/293/htm>
4. Афанасьева Т.В., Наместников А.М., Перфильева И.Г., Романов А.А., Ярушкина Н.Г. Прогнозирование временных рядов: нечеткие модели. – Ульяновск: УЛГТУ, 2014. – 145 с.
5. Сизов А.А. Модели, способы и программные средства поддержки принятия решений на основе прогнозирования временных рядов с переменной структурой.
6. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmedium.com%2F%40BAYUGALIH%2Fchen-and-chengs-model-on-the-fuzzy-time-series-method-for-forecasting-the-number-of-honda-motor-468413b4f57a&psig=AOvVaw0S9id6x8tD415ZIERELyTT&ust=159912777273000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPjrl6-dyusCFQAAAAAdAAAAABAJ>

#### ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Соколов А., Остромухов Р.О., Смирнов А.В., Ковалевская А.С., Кустов Т.В., Веженкова И.В.  
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова  
(Ленина)»

+7 (921) 913-35-04, [lelikat@yandex.ru](mailto:lelikat@yandex.ru)

В статье отражен опыт разработки программного обеспечения, направленного на подготовку студентов в области техносферной безопасности. Рассмотрены основные возможности применения в

образовательном процессе технологий виртуальной реальности. Проведен подробный анализ существующих разработок в данной области. Отражены некоторые этапы разработки программного комплекса «Виртуальная экологическая лаборатория».

Ключевые слова: экология, образовательные технологии, электронное обучение, виртуальная реальность.

Virtual reality technology in the training of specialists in the field of "Technosphere Safety". Sokolov A., Ostromukhov R.O., Smirnov A.V., Kovalevskaya, A. S., Kustov T.V., Vezenkova I. V., "Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

The article reflects the experience of software development aimed at training students in the field of technosphere safety. The main possibilities of using virtual reality technologies in the educational process are considered. A detailed analysis of existing developments in this area has been carried out. Some stages of development of the software package "Virtual Ecological Laboratory" are reflected.

Keywords: ecology, educational technologies, e-learning, virtual reality.

### Введение

В настоящее время использование интерактивных методов обучения набирает все большую популярность. Количество онлайн-курсов, преподаваемых в университетах с каждым годом увеличивается. В некоторых случаях можно почти полностью отказаться от очных занятий в аудиториях путем перевода их в онлайн-формат. У данного метода преподавания огромное количество положительных сторон, но есть и один весомый минус. При «заочном» преподавании у студентов почти полностью отсутствуют практические занятия, которые помогают студенту закрепить полученные теоретические знания и способствуют лучшему усвоению материала.

Данную проблему можно успешно решить путем внедрения в обучающие курсы технологий дополненной и виртуальной реальности.

Технология виртуальной реальности уже больше 30 лет используется для подготовки специалистов чья профессия связана с повышенной ответственностью и опасностью для жизни. VR-технологии давно используются для подготовки пилотов, космонавтов и военных. Ограничивающим фактором распространения технологии являлась высокая цена разработки и необходимого оборудования. Но с ростом вычислительных мощностей персональных компьютеров и носимых устройств, а также появление на рынке доступных для обычных потребителей систем виртуальной реальности сильно расширили рамки использования VR/AR технологий.

Трехмерная графика позволяет визуально моделировать сложные процессы с необходимой детализацией, от движения космических тел до ядерных реакций. Вы также можете ускорить или замедлить скорость процесса. Точность и надежность моделирования в виртуальной реальности ограничивается только вычислительной мощностью и научными знаниями об имитируемом процессе или явлении. [1]

На данный момент существуют проекты, использующие VR-технологии для обучения студентов и школьников. Самым ярким представителем является Labster. Продукты компании Labster нацелены на подготовку студентов химиков и биологов. [2]

Но основным недостатком подобных разработок является полная сконцентрированность на VR-формате. Тем самым страдает качество подачи теоретических материалов. В нашей разработке мы попытались уделить равное внимание обеим сторонам обучения в котором теоретический материал подается совместно с виртуальными практическими заданиями.

### Концепт «Виртуальная экологическая лаборатория»

В настоящее время современная наука характеризуется исследованиями сложных, многомерных объектов, в связи с чем существуют научные комплексы, направленные на изучение таких объектов, которые охватывают различные научные области. [3]

Несмотря на активно расширяющийся рынок VR-симуляторов, тема экологии в них не затрагивается. Таким образом разработка подобного программного обеспечения для изучения методов и средств оценки качества состояния окружающей среды представляется весьма актуальным.

Разрабатываемое программное обеспечение направлено на обучение студентов по направлениям техносферная безопасность и инженерная защита окружающей среды. Аналогов нацеленных на подготовку специалистов этих направлений пока нет.

Основная идея проекта состоит в попытке скрестить классические онлайн-курсы и виртуальные практические задания.

Как и в онлайн-курсах ПО включает в себя видеоматериалы с объяснением темы, а также тестирование. Практическая часть темы заключается в выполнении виртуальной лабораторной работы.

Понятно, что современные цифровые ресурсы позволяют строить образовательный процесс с учетом основных принципов наглядности, доступности и практической ориентации на новый уровень эффективности.

Следует отметить, что грамотное использование современных технологий и, в частности, технологий виртуальной реальности в образовательных целях подразумевает необходимость учета всех технических особенностей и принципов создания таких учебных программ, а также психологических особенностей их восприятия на практике. [4]

Установлено, что учебные материалы должны соответствовать психофизиологическим и типологическим особенностям современных студентов, которые с детства привыкли к интерактивности и преобладанию аудиовизуальных способов восприятия информации.

Студент, выполняя задания, видит результат своих действий. Таким образом, активная обработка информации помогает лучше усваивать материал, чем пассивное усвоение лекций.

Новшеством проекта является использование системы HTC VIVE, которая позволяет вам полностью погрузиться в виртуальную среду с возможностью перемещаться в пространстве, а также как применить психофизиологический подход к процессу обучения.

HTC VIVE - популярная платформа, и разработка программного обеспечения для нее стала для нас максимально удобной. Но если возникнет такая необходимость, будет введена поддержка других систем.

Реализация этого подхода (рисунок 1) предполагает лучшее усвоение теоретических материалов и обеспечивает необходимый «активный опыт» для закрепления полученных знаний.



Рисунок 1 – Практический подход к обучению

«Виртуальная экологическая лаборатория» - состоит из нескольких модулей с собственным интерфейсом, которые включают в себя: учебные материалы, тесты и лабораторные работы с использованием технологии VR (рисунок 2). Использование этого комплексного подхода позволяет студентам лучше усваивать материал и обеспечивает необходимый «активный опыт» для закрепления теоретических знаний.

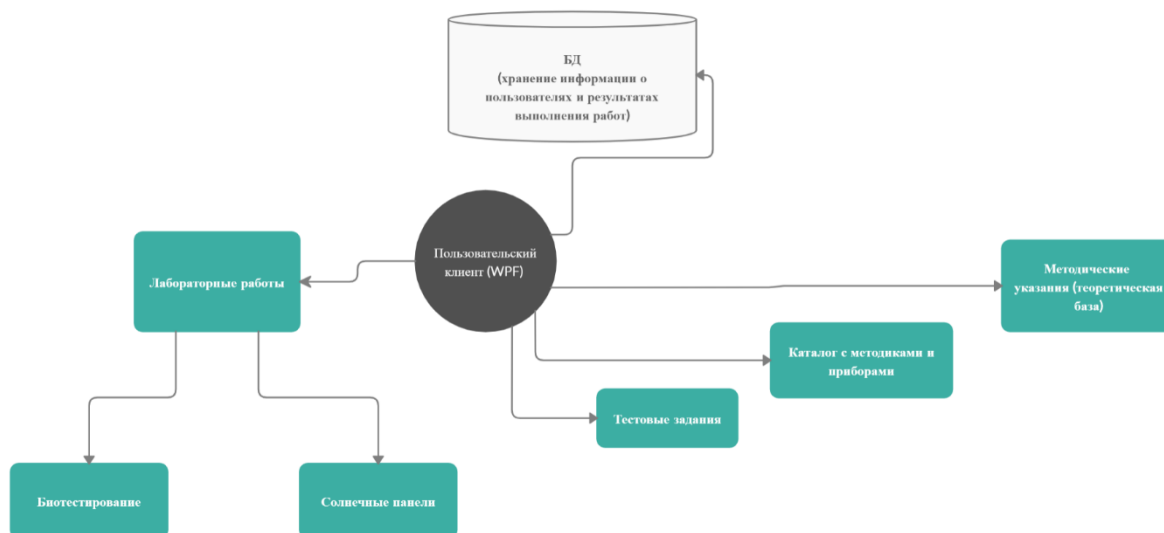


Рисунок 2 – Блок-схема ПК «Виртуальная экологическая лаборатория»

Стоит отметить, что размещение методических материалов в виртуальной среде нецелесообразно, поскольку чтение в очках виртуальной реальности приводит к усталости глаз [5].

Процесс взаимодействия пользователя следует алгоритму, который постоянен для изучения и выполнения различных тем. В первую очередь студент получает базис теоретических знаний путем просмотра видео по теме. В случае более глубокой заинтересованности в теме студенту также доступна более полная текстовая версия лекции.

Любой видеоролик, как и самая обычная лекция или практическое занятие в университете, несет в себе определенную информацию. Причем, информация должна доноситься так, чтоб она отложилась у зрителя в голове.

Видеоролик – это метод, который повышает интерес к изучаемому предмету, и дает возможность качественно улучшить свои результаты. [6]



Рисунок 3 – Видеоролик по теме «Биотестирование»

Вторым этапом становится выполнение виртуальной лабораторной работы. Студент должен внимательно изучить теоретическую часть задания для успешного выполнения лабораторной работы. Практическое задание дает студенту более глубокое понимание темы и служит эффективным методом закрепления полученных ранее знаний. Заключительным этапом является выполнение небольшого теста по теме. Тест может требовать ввода значений статистической обработки полученных значений в лабораторных в которых это требуется, например, при работе на приборах по оценке состава анализируемых проб или токсичности.

#### Создание трехмерных моделей

Создание трехмерных моделей на плоскости, позволяет решать задачи визуализации наиболее сложных и громоздких реальных объектов. Такие модели позволяют наглядно представить обучающимся достаточно сложные для изучения вопросы.

3D-изображение не сложно отличить от двумерного, так как оно включает создание геометрической проекции 3D-модели сцены на плоскость, при помощи специализированных программных продуктов. Процесс построения направлен, прежде всего, на создание визуального объемного образа моделируемого объекта.

Для того чтобы получить 3D-изображение объекта необходимо выполнить следующие шаги

1. Моделирование – построение 3D-модели общей сцены и ее объектов, которое включает создание виртуального пространства и объектов внутри него, включает создание различных геометрий, материалов, источников света, виртуальных камер, а также дополнительных спецэффектов. Здесь происходит процесс построения геометрической формы без учета физических характеристик при использовании технологий: выдавливания, вращения, полигонального и сплайнового моделирования.

2. Текстурирование - наложение текстур на созданные модели, настройка материалов и придание моделям реалистичности. Использование текстур позволяет воспроизвести ресурсоемкие детали – складки или мелкие частицы. Степень реалистичности зависит от выбранных материалов при наложении текстур на объект.

3. Настройка освещения - создание, установка направления и настройка источников освещения в созданной сцене. Данный шаг позволяет провести доработку реалистичности модели благодаря настройке светотени, резкости и показателей яркости.



Одним из важных компонентов этапа трехмерного моделирования было составление подробного технического задания, в котором были расписаны все требования к устройствам и сценам. На основе этих данных были построены 3D-модели проекта.

Перед тем как приступить к разработке изучается существующий материал по теме, выполняются реальные лабораторные работы. Это необходимо для того чтобы в процессе разработки наиболее точно отразить реальные особенности протекающих процессов и работы приборов. Затем начинается работа по адаптации под формат уже существующего или написанию нового методического материала, написание сценария и создание видеоматериала по теме. Параллельно с этим разрабатываются трехмерные модели необходимые в работе. Трехмерные модели проектируются с учетом возможности «портирования» программного обеспечения на более слабые по вычислительным мощностям по сравнению с ПК мобильные устройства.

Изначально в качестве помещения использовалась модель, созданная сторонними разработчиками. Но когда она была перенесена в сцену, стало ясно, что модель является слишком перегруженной для использования в игровом движке и вызывала сложности по отрисовке графики.

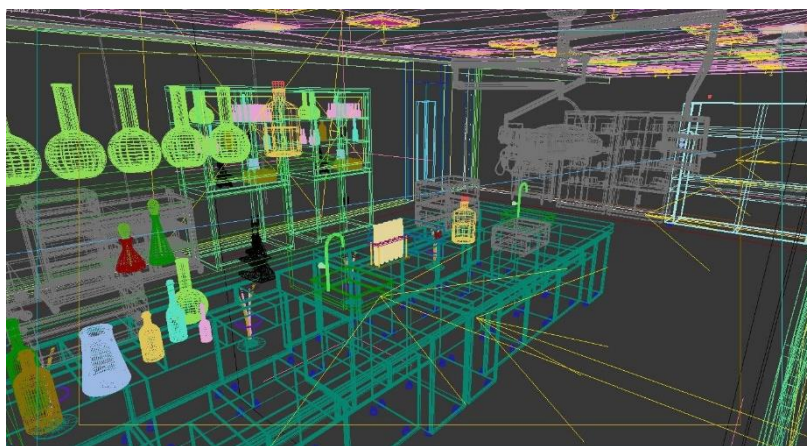


Рисунок 4 – Первый макет лаборатории

Поэтому с учетом полученного опыта была разработана модель помещения отвечающая поставленным требованиям.



Рисунок 5 – Проект нового помещения лаборатории

Поддача учебного материала в игровой форме ведет к более хорошему усвоению материала поэтому помещение наполнено интерактивными объектами.

#### Лабораторный практикум

Разработки практической части лабораторных работ ведутся на игровом движке UNITY, который включает в себя огромное количество инструментов, текстур и моделей в AssetStore (встроенный магазин расширений). Использование уже готовых решений значительно ускоряет и упрощает разработку. В первую очередь на данном этапе был проведен анализ основополагающих принципов проектирования виртуальных сред и особенностей их восприятия обучающимися.

Первый практикум посвящен работе с прибором «Биотестер 2-М», который служит для оценки токсичности водной среды.



Рисунок 6 – Лабораторная работа «Исследование токсичности природных вод»

Для работы прибора был написан уникальный программный код, который имитирует работу прибора. На модели присутствует анимированная дверца, в которую помещается исследуемая проба. Разработана модель цифрового дисплея, на который выводится информация о токсичности пробы.

Ориентируясь на успешный опыт, полученный при разработке первой лабораторной работы, было принято решение создать комплекс лабораторных работ по альтернативной энергетике.

Виртуальный лабораторный практикум по структуре и демонтажу кремниевых солнечных панелей является вторым блоком лабораторных работ в обучающем комплексе

Актуальность разработки обучающего комплекса в данном направлении обоснована востребованностью высококвалифицированных специалистов по демонтажу солнечных панелей.

Работы по проектированию комплекса лабораторных работ для освоения процесса демонтажа солнечных панелей проводятся при поддержке преподавателей Университета города Кадис из лаборатории возобновляемых источников энергии и кафедры технологий защиты окружающей среды.

Преимущество использования данного метода обучения заключается в том, что разборка солнечной панели является довольно травмоопасным процессом. Таким образом, в процессе необходимо несколько раз нагреть панель, что может привести к ожогам, а при нагревании различных органических соединений в воздух могут выделяться токсичные вещества, которыми могут дышать учащиеся. Удаление стекла также может привести к травме. Мелкая кремниевая пыль попадает в воздух, что негативно сказывается на здоровье дыхательных путей. И если вы масштабируете эксперимент для группы студентов из 10 человек, то все эти риски будут только возрастать. Кроме того, процесс выполнения работы с использованием технологии VR займет гораздо меньше времени, чем если бы работа была сделана в реальной жизни.

Для реализации всех этапов лабораторной работы разработаны и запрограммированы инструменты и различное лабораторное оборудование.

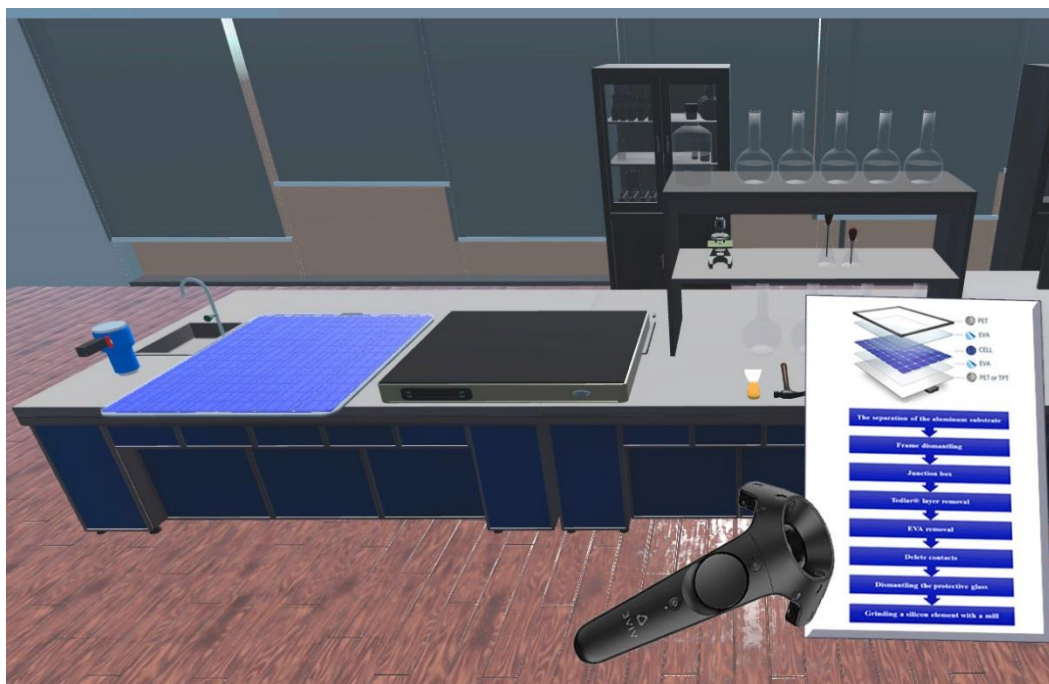


Рисунок 7 – Лабораторная работа «Демонтаж солнечных панелей»

На разные слои солнечной панели накладываются различные коллайдеры, которые определяют форму объекта и его физическое взаимодействие.

Основной сложностью при разработке данной лабораторной работы было смоделировать и запрограммировать большое количество оборудования. Но материалы прошлой разработки активно использовались и в этой работе. Базовые разработки, такие как перемещение по лаборатории, манипуляции с объектами, элементы управления приборами, экраны, открывающиеся дверцы и т.п. были взяты из первого лабораторного практикума.

Отдельной задачей было написание программного кода на реалистичную гравитацию. Опираясь на предыдущие разработки, коллайдеры мелких объектов были увеличены, но сами модели остались в прежних размерах и соответствуют реальным. Поэтому взаимодействие с такими предметами стало намного удобнее.[7]

Для возможности оценивания выполненной работы преподавателем все контрольные точки и результаты тестов записываются в базу данных, информация которой доступна как для студентов, так и для преподавателей.

#### Заключение

Как показала практика, внедрение новых методов и средств обучения позволяет повысить эффективность освоения дисциплины. Использование качественных визуальных материалов способствует оптимальному усвоению учебно-методического комплекса. Применение новых информационных технологий позволяет получить новое качество образовательного процесса.

Конечно полностью заменить роль учителя в образовании программой невозможно, однако использование программного обеспечения в учебном процессе упростит работу учителя без потери качества.

Наша цель состоит в том, чтобы при первом знакомстве пользователя с ПО удержать его внимание, чтобы последующее выполнение работы вызывало у обучаемого интерес к выполняемой работе.

#### Литература

1. Андрушко Д.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2018. – № 6. – С. 5-10; URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1779> (дата обращения: 06.08.2020).
2. LabsterVR. URL: <https://www.labster.com/vr/> (дата обращения: 10.08.2020)..

3. Шахмартова О.М., Болтага Е.Ю. Психологические аспекты общения в социальных сетях виртуальной реальности. Вестник Пензенского государственного педагогического университета. В.Г. Белинский. 2011. № 24. С. 1002-1008.

4. Нуртдинова Л. Р., Гуреев М. В., Крутская С. В. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕД В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ ВОСПРИЯТИЯ ОБУЧАЮЩИМИСЯ // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. 2018. Т. № 1(37). С. 123-130.

5. Ковалевская А.С., Контрош Л.В. Разработка инновационного инструмента обучения специалистов по направлению "Техносферная безопасность" с применением современных информационно-коммуникативных технологий.// Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург), 2018, 169-171 с.

6. Гатовская, Д. А. Видеоурок — новый метод обучения / Д. А. Гатовская. — Текст : непосредственный // Педагогика: традиции и инновации : материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Челябинск, февраль 2015 г.). — Челябинск : Два комсомольца, 2015. — С. 126-127. — URL: <https://moluch.ru/conf/ped/archive/147/7124/> (дата обращения: 06.09.2020).

7. A. Sokolov et al., "Virtual Ecological Laboratory to develop a PV module recycling workshop", 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Porto, Portugal, 2020, pp. 434-441, doi: 10.1109 / EDUCON45650.2020.9125260.

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Федотова М. В., Косякин Ю.В.\*

Российского университета транспорта (МИИТ), \*Тульский государственный университет

Сегодня инновационное развитие играет важную роль в экономике. На государственном уровне разрабатываются и реализуются стратегии, согласно которым внедрение инновационных продуктов в деятельность компаний, создание новых продуктов искусственного интеллекта играют ключевую роль. Нововведения коснулись и железнодорожной отрасли: в России и в мире разрабатываются стратегии инновационного развития железнодорожных компаний, создаются новые технологии, происходит обмен опытом и сотрудничество по выбранным отраслям, решаются сопутствующие задачи (например, проблема «последней мили»).

Ключевые слова: инновационное развитие, искусственный интеллект, форсайт, технологичные решения, железные дороги

Analysis of prospective directions of development railway industry. Fedotova M.V., Kosyakin Yu.V., Russian University of Transport (MIIT), \* Tula State University.

Today, innovative development plays an important role in the development of the economy. At the state level, strategies are being developed and implemented, according to which the introduction of innovative products in the activities of companies and the creation of new artificial intelligence products play a key role. Innovations touched and railway sectors in Russia and in the world developed the strategy of innovative development of railway companies, creating new technologies, exchange of experience and cooperation in selected industries that are resolved related tasks (for example, the problem of "last mile").

Keywords: innovative development, artificial intelligence, foresight, technological solutions, railways

Сегодня компании, активно инвестирующие в цифровизацию, показывают значительно лучшие финансовые результаты [2]:

- процент доходов компаний, активно инвестирующих в цифровизацию в пять раз превышает доходы прочих компаний;
- окупаемость инвестиций умножается более, чем в два раза;
- процент сотрудников, работающих в активно инвестирующих компаниях, превышает этот показатель в прочих компаниях в четыре раза;
- экономический рост за три года увеличивается в два раза.

Последнее время развитию и внедрению искусственного интеллекта именно в железнодорожной отрасли уделяется все большее внимание в разных странах. Форсайт-исследования показывают, что именно данный вид транспорта будет актуальным в будущем.

Преимуществом железнодорожного транспорта перед другим является:

- надежность и безопасность;
- высокая перевозная способность;

- отправка и прибытие всегда точно вовремя;
- по сравнению с водным транспортом, более короткий путь перевозки грузов и большая скорость;
- по сравнению с такими видами транспорта, как авто- и авиасообщение – более низкая себестоимость перевозок.

Безусловно, перевод железнодорожной области на современные технологии, внедрение искусственного интеллекта, создание сети новых, в т.ч. магнитных, путей – крайне капиталоемкая деятельность. При этом анализ показывает, что, если рассматривать такие вложения на долгосрочную перспективу, можно говорить об их высокой эффективности. Первоначальные вложения будут высоки – необходимо перестраивать имеющуюся и создавать новую необходимую инфраструктуру. Однако дальнейшие инвестиции будут меньше, чем требуются для других видах транспорта – автомобильном (недолговечность, небезопасность, расход топлива/электроэнергии на человека превышает тот же расход, если рассматривать поезд); авиационном (авиационная отрасль перестает справляться в связи с растущей популярностью, возложенной нагрузкой, неэкологичность, расход топлива); водном (низкая скорость, непопулярность, иногда недоступность ввиду отсутствия доступа к воде).

Примером страны, которая рассматривает железнодорожный транспорт как актуальный на сегодняшний день, является Исландия. До 2019 года железной дороги там не было, транспорт только автомобильный, водный и воздушный. В стране, ставящей экологию в число своих приоритетов, не было экологичного наземного транспорта.

Согласно форсайт-исследованию английской консалтинговой фирмы Agur, железнодорожная отрасль является крайне перспективной в будущем, если обратить на это внимание и начать работать над ее совершенствованием сегодня.

Итак, сегодняшние тренды диктуют свои правила, а именно, экологичность всех сфер жизнедеятельности общества при росте потребляемых ресурсов, очень быстрые изменения в обществе, экономике, технологиях.

Рассматривая российскую практику, первоначально вспоминается компания РЖД – государственная сеть, являющаяся основой деятельности данной отрасли в стране. Она задает вектор развития, выступает заказчиком для других железнодорожных компаний, в частности, для производителей.

Одним из направлений развития ОАО «РЖД» является формирование Комплексной программы инновационного развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года (КПИР-2025).

Разрабатывается система управления движением электропоездов «Ласточка» в автоматическом режиме [3].

Цифровая трансформация открывает новые возможности для выполнения практически всех общекорпоративных задач холдинга «РЖД» [1]:

- повышение эффективности грузоперевозок за счет развития комплексного обслуживания грузоотправителей и повышения качества грузовых перевозок;
- повышение транспортной мобильности населения внутри и между агломерациями;
- глобализация ОАО «РЖД» на внешних рынках и развитие зарубежной деятельности, включая привлечение транзита и развитие контейнерных перевозок;
- расширение сети ВСМ и развитие скоростного движения;
- обновление парка подвижного состава, в том числе тягового, с учетом заключения с его производителями контрактов жизненного цикла;
- опережающее развитие инфраструктуры железной дороги для обеспечения перспективных объемов перевозок и повышения производственной эффективности;
- обеспечение высокого уровня безопасности движения;
- создание комфортных условий труда для работников основных массовых профессий;
- обеспечение социальной стабильности и минимизация кадровых рисков.

Цифровая корпоративная культура предполагает развитие организации в выбранном направлении изнутри – это обучение и подготовка сотрудников, вовлеченных в процесс цифровой трансформации (от высшего руководства ОАО «РЖД» до рядовых сотрудников) [5].

Таким образом, прослеживаются благоприятные условия для развития железнодорожной отрасли, внедрения современных технологий. Положена основа – нормативная база, четкая проработка документов, в частности, приняты и обоснованы решения, предварительно разработанные с учетом разных мнений и проведенным анализом. Разработчики стратегии явно не исключали форсайт-методы – обещанные эффекты рассчитаны на перевод железнодорожной отрасли в «будущее», что является крайне важным критерием. Вскоре можно будет наблюдать практическую реализацию принятых стратегий.

Как уже было сказано ранее, ОАО «РЖД» выступает неким агрегатором компаний, трудящихся на общее благо. Такими компаниями выступают как отечественные, так и зарубежные известные производители подвижных составов, исследовательские центры, разрабатывающие инновационные продукты, которые будут внедрены в сеть, а также, производители этих самых продуктов.

Одним из собственных проектов РЖД в области цифровизации железнодорожной отрасли является Региональная инновационная площадка:

- система коммуникаций со всеми заинтересованными организациями во внешней среде;
- точка притяжения инновационных проектов региона;
- отбор востребованных решений и испытательный полигон по специализациям.

В настоящее время железнодорожные операторы предпринимают различные шаги по развитию сотрудничества со сторонними организациями для цифровизации системы. Например, такие примеры из практики железнодорожных операторов (международный опыт), приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры сотрудничества железнодорожных операторов

Сотрудничество между операторами и производителями комплектного оборудования (Франция)	Передача функций в области технического обслуживания и ремонта на аутсорсинг производителям комплектного оборудования	Сотрудничество между операторами и разработчиками ПО
В 2016 г. организовано партнерство по инновациям между железнодорожной компанией Alstom и государственным предприятием SNCF, управляющим железными дорогами	National Express (автобусный оператор дальнего следования в Великобритании) и Abellio (оператор общественного транспорта в Германии) получили контракт на управление региональной	Оснащение 250 локомотивов немецкой железнодорожной компании DB Cargo цифровыми решениями GE Transportation (американская компания, занимающаяся выпуском
Сотрудничество между операторами и производителями комплектного оборудования (Франция)	Передача функций в области технического обслуживания и ремонта на аутсорсинг производителям комплектного оборудования железнодорожной сети в крупной городской агломерации в Германии	Сотрудничество между операторами и разработчиками ПО оборудования и машин для железнодорожного транспорта)
Приоритетное направление сотрудничества: разработка производства высокоскоростного поезда следующего поколения французской сети скоростных электропоездов «TGV»	Компания Siemens получила контракт на формирование и техническое обслуживание подвижного состава, предусматривающий широкие гарантийные обязательства в сфере обеспечения надежности	Совместный анализ моделей перевозок с использованием RailConnect 360 – решения для прогнозирования процессов, разработанного компанией General Electric

Немаловажным аспектом является международное сотрудничество. Заключая договоры и налаживая коммуникацию с иностранными партнёрами, быстрее и качественнее развивается выбранная область.

В рамках темы рассматривается инновационное развитие железнодорожной отрасли. Однако, это только одна часть общей транспортной системы и проблему «последней мили» не решает. Рассмотрим, что означает данное понятие и как проблемы могут быть решены в соответствии с сегодняшними трендами [4].

Последняя миля – это термин, используемый в управлении цепями поставок и планировании перевозок для описания перемещения людей и товаров из транспортного узла до конечного пункта назначения.

«Последняя миля» также описывает трудности с доставкой людей из транспортного узла, особенно с железнодорожных станций, автобусных станций и причалов паромов, к конечному пункту назначения.

Российская сторона также не отстаёт от внедрения инноваций в транспортную систему. Например, планируется запускать беспилотный автомобиль Яндекс. Компания подтверждает, что технически беспилотники уже готовы ездить полностью самостоятельно и без водителя-испытателя – сначала на ограниченных территориях, а затем и в городах. В казанском Иннополисе, где беспилотные автомобили

Яндекса тестируются уже несколько лет, сервис готов работать без инженеров в машине и автомобиле могут полностью ездить сами.

Таким образом, проблема «последней мили» выявлена достаточно давно, на сегодняшний день она успешно решается. Данный анализ же показывает, что реализуется и форсайт-решение проблемы: существуют не только варианты, но и практическое их исполнение. Итак, уже начинается перевод в будущее транспорта ближнего следования, что означает, что при цифровизации железнодорожной системы не будет существовать проблемы «последней мили».

Работа по внедрению искусственного интеллекта в железнодорожную отрасль начала проводиться не очень давно, и сегодня можно наблюдать еще большие усилия в этом направлении. Так, разрабатывается нормативная база, цифровые стратегии, проводятся необходимые мероприятия, форумы, выставки, наблюдение за мировыми практиками, исследования и разработки. В данном отчете приведены несколько успешных примеров практического применения таких разработок.

Одной из актуальных задач сегодняшнего времени является внедрение цифровых технологий во все сферы жизнедеятельности, в т.ч. железную дорогу. Разные страны, с одной стороны, конкурируют (США и Китай), с другой – объединяются, делятся решениями и разработками (технологии немецкой компании Siemens внедрены в железнодорожную отрасль многих стран).

Таким образом, железнодорожная отрасль имеет все предпосылки, чтобы при качественной проработке и выводе технологий на современный уровень, стать самым популярным видом транспорта. Беспилотные шаттлы, автомобили решают проблему «последней мили», они крайне важны в системе транспорта. Однако, особенно в связи с растущей мобильностью, развитием международных отношений, не обойтись без транспорта дальнего следования – с этим не справится ни автомобиль, ни, тем более, беспилотный шаттл. В данном случае, железнодорожный транспорт имеет преимущества перед водным, однако основной конкурент сегодня – это воздушный. Но если смотреть в перспективу, осуществить форсайт-прогнозирование, воздушный транспорт может оказаться вскоре менее конкурентоспособным, чем железнодорожный, поскольку недостатки не отвечают трендам. Например, транспорт сильно загрязняет атмосферу, потребляет большое количество топлива, а это не возобновляемый ресурс, и кроме того, о внедрении искусственного интеллекта, перестройки всей сети авиасообщения, переводе на другой вид питания самолетов, речь не будет идти еще очень долго, чего не сказать о поездах.

Такого видения придерживается и компания Agur, опубликовавшая отчет о будущем железнодорожной отрасли. Agur считает, что к 2050 году пассажирские и грузовые железнодорожные перевозки образуют основу транспортной системы, связывающей крупные городские сети. Железнодорожные перевозки будут конкурентоспособными, стабильными, получится пересекать границы без задержек, они отвечают тренду экологичности жизнедеятельности. Это достигается за счёт перехода на современные инновационные технологии.

#### Литература

1. Минеева С.С., Федотова М.В., Развитие железнодорожного транспорта в России. / Корпоративное управление экономической и финансовой деятельностью на железнодорожном транспорте: сборник трудов по результатам IV Международной научно-практической конференции / [Электронный ресурс]. Вып.18. – Москва: РУТ (МИИТ). РОАТ, 2020., стр.251.
2. Цифровое будущее: Экономический эффект. URL: [https://d-russia.ru/wp-content/uploads/2018/10/20181025\\_tsifrovoe-budishee-makkinzi.pdf](https://d-russia.ru/wp-content/uploads/2018/10/20181025_tsifrovoe-budishee-makkinzi.pdf)
3. Цифровая трансформация - новый уровень инновационного развития ОАО «РЖД». URL: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2019-08a01>
4. Направления инновационного развития холдинга «РЖД». URL: [http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2028%20августа/ЗАЛ\\_1/10-00%20заседание/01\\_О.В.\\_Белозеров\\_RU.pdf](http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2028%20августа/ЗАЛ_1/10-00%20заседание/01_О.В._Белозеров_RU.pdf)
5. Себастьян Штерн. Стратегии цифровой трансформации: экосистема перевозок. URL: [http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2028%20августа/ЗАЛ\\_1/17-15\\_PRO%20Стратегии%20цифровой%20трансформации/02\\_Себастьян%20Штерн\\_RU.pdf](http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2028%20августа/ЗАЛ_1/17-15_PRO%20Стратегии%20цифровой%20трансформации/02_Себастьян%20Штерн_RU.pdf)
6. Цифровые платформы и сервисы - основа экосистемы перевозок. URL: [http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2028%20августа/ЗАЛ\\_1/17-15\\_PRO%20Стратегии%20цифровой%20трансформации/01\\_Евгений%20Чаркин\\_RU.pdf](http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2028%20августа/ЗАЛ_1/17-15_PRO%20Стратегии%20цифровой%20трансформации/01_Евгений%20Чаркин_RU.pdf)

## АНАЛИЗ И ПРЕДСКАЗАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЭКОЛОГООХРАННЫХ ЗАДАЧАХ

<sup>1,2</sup> Хайретдинов М.С., <sup>2</sup>Шиманская Г.М., <sup>2</sup>Седухина Г.Ф.

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия, <sup>2</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Рассматривается задача оценивания и предупреждения геоэкологических рисков в условиях городской инфраструктуры и природной среды от воздействия транспортных шумов, различных природно-техногенных экологически опасных источников. Фактор вредного воздействия их на окружающую среду резко возрастает в области низких и инфранизких частот, наиболее экологических опасных для человека, а также наиболее разрушительных для крупных сооружений (мостов, зданий, производственных помещений и т.д.). На основе численного моделирования и результатов виброакустических натуральных экспериментов рассмотрено решение задачи.

Ключевые слова: Техногенные шумы, инфранизкие частоты, социальная инфраструктура, геоэкологические риски, численное моделирование, вибрационное зондирование атмосферы, пространственная фокусировка, шумозащита.

Analysis and prediction of technogenic geoeological risks in ecological protection tasks.<sup>1,2</sup>Khairtdinov M.S., <sup>2</sup>Shimanskya G.M., <sup>2</sup>Seduhina G.F., <sup>1</sup>Novosibirsk state technical university, Novosibirsk, Russia, <sup>2</sup>Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

The problem of assessing and preventing geoeological risks in the conditions of urban infrastructure and the natural environment from the impact of traffic noise, various natural and technogenic ecologically hazardous sources is considered. The factor of their harmful impact on the environment increases sharply in the area of low and infra-low frequencies, the most environmentally dangerous for humans, as well as the most destructive for large structures (bridges, buildings, industrial premises, etc.). On the basis of numerical modeling and the results of vibroacoustic field experiments, the solution of the problem is considered..

Keywords: technogenic noise, infra-low frequencies, social infrastructure, geoeological risks, numerical modeling, vibrational sounding of the atmosphere, spatial focusing, noise protection.

### Введение

Среди основных характеристик городской среды, влияющих на комфортность проживания, на одном из первых мест находится уровень шумового загрязнения. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, около 40% населения в странах ЕС подвержены воздействию шума дорожного движения на уровнях, превышающих 55 дБ, а 20% – уровням, превышающим 65 дБ (А) в дневное время. Это связано с повышением автомобилизации населения, а также влияния шумов природного характера (от электрических разрядов и резких колебаний атмосферного давления, ураганов, и др.). Проблема вредного воздействия на окружающую среду резко возрастает в области низких и инфранизких частот, наиболее экологических опасных для человека, а также наиболее разрушительных для крупных сооружений (мостов, зданий, производственных помещений и т.д. Последнее определяется тем, что в области инфранизких частот находятся собственные частоты колебаний сооружений. Инфразвуковые колебания по частоте могут совпадать со многими процессами, происходящими в живом организме. Например, сокращения сердца лежат в инфразвуковом диапазоне 1-2 Гц; ритмы электрической активности головного мозга человека лежат в области частот 0.5-30 Гц и т.д.. При совпадении колебаний инфразвука по частоте с колебаниями в организме человека последние усиливаются, что может привести к расстройству работы органа. Выделяют пороги инфразвукового воздействия. Порог потенциальной опасности для жизни человека представляют инфразвуки интенсивностью 155 – 180 дБА. Порог безопасности считается при уровне инфразвука 90 дБА. Сказанное определяет необходимость решения, в широком смысле, проблемы оценивания, прогнозирования и снижения экологических рисков, порождаемых природно-техногенными шумами.

### Постановка задачи

Оценивание влияния транспортных шумов на окружающую инфраструктуру и человека характеризуется решением комплекса взаимосвязанных задач. Прежде всего, такое влияние определяется одновременным распространением сейсмических и акустических шумовых колебаний от различных источников транспортных шумов. При этом в качестве одной из задач рассматривается выделение из общего широкополосного спектра транспортных шумов характерных низкочастотных составляющих в отношении различных видов транспорта, являющихся наиболее экологически угрожающими для человека. В основу численного моделирования и экспериментальных исследований авторами положен оригинальный вибротсейсмический метод зондирования пограничных сред «атмосфера-лесной массив-



земля» с помощью мощных вибраторов, обеспечивающих экологическую чистоту и высокую повторяемость результатов исследований.

Другая задача из рассматриваемого комплекса связана с анализом метеозависимых эффектов распространения инфразвука. В частности, с применением вибрационного метода оценены эффекты направленности акустического волнового поля от инфранизкочастотных источников, обусловленные влиянием ветра, характеризуемого азимутальным направлением и скоростью. Как результат влияния возникает пространственное перераспределение интенсивности инфразвука, что может приводить к многократному возрастанию последнего в определенном азимутальном направлении (эффект пространственной фокусировки акустической энергии). Очевидно, с этим могут быть связаны разрушительные воздействия инфразвука [1].

#### Численное моделирование метеозависимого пространственного перераспределения интенсивности инфразвука

На распространение транспортных акустических шумов в атмосфере и сейсмических в земле влияют ряд факторов, к числу которых относятся метеофакторы, неоднородности строения среды распространения сейсмоакустических колебаний, естественная и искусственная неоднородность дневной поверхности земли., частотно-зависимые характеристики самих колебаний. Проведены численные расчеты по оцениванию эффектов направленности акустического волнового поля инфранизкочастотных источников, возникающих на фоне ветра, характеризуемого азимутальным направлением и скоростью. Эффект направленности акустического поля характеризуется *фактором фокусировки*, равным отношению интенсивности инфразвука в неоднородной движущейся среде к интенсивности его в безграничной неподвижной среде [2]:

$$f = I[z, \theta, \varphi] / I_0 \quad (1)$$

Здесь в рамках прямоугольной системы координат ось  $z$  направлена вверх от поверхности Земли, а направление оси  $x$  на высоте  $h$  совпадает с направлением ветра. Начальное направление луча характеризуется сферическими углами  $\theta$  (зенитный угол) и  $\varphi$  (азимут). На рис.1 приведены графические зависимости  $f$  от азимута  $\varphi$  точек наблюдения [3]. По аналогии с направленным излучением колебаний количественно фактор фокусировки может быть охарактеризован шириной раскрыва  $\Delta\varphi$  в градусах на уровне 0.7 от максимального значения разницы между наибольшим  $f_{\max}$  и наименьшим  $f_{\min}$  значениями фактора фокусировки:  $\Delta\varphi \leftrightarrow 0.7 (f_{\max} - f_{\min})$ . В частности, скорости ветра  $w_0 = 6$  м/с соответствует  $\Delta\varphi = 150$  град. Для сравнения на рисунке приводится экспериментально полученный график фактора фокусировки с использованием сейсмического вибратора ЦВ-40 и круговой расстановки датчиков с радиусом 12 км при скорости ветра 4-6 м/с. Методика измерений описана в [3].

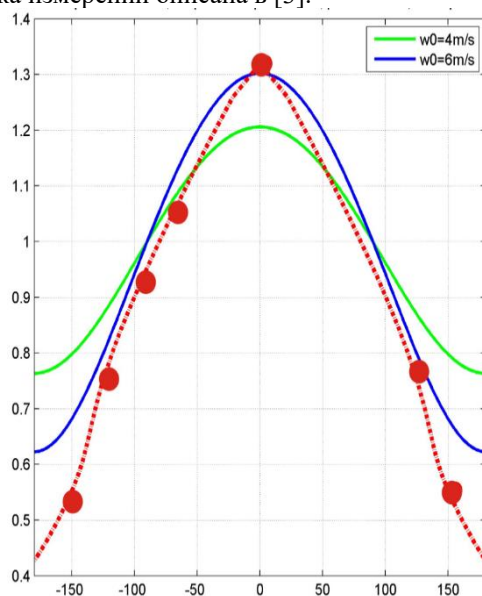


Рисунок 1 – Зависимость фактора фокусировки  $f$  от горизонтального расстояния от источника  $r$  и азимута  $\alpha$  точки наблюдения: Расчетные графики для круговой расстановки датчиков с радиусом 12 км и скоростей ветра 6 м/с (кривая синего цвета) и 4 м/с (кривая зеленого цвета). Высота источника над землей-5 м. Красный точечный график- экспериментально полученный для той же расстановки, скорость ветра 4-6 м/с

Как видно из сравнения расчетного и экспериментального графиков значения раскрыва  $\Delta\varphi$  в обоих случаях приблизительно совпадают и характеризуют островыраженную ветрозависимую направленность

излучения. Следствием этого могут быть повышенные экологические риски разрушений объектов недвижимости и нарушений здоровья по отношению к человеку.

#### Численное моделирование поглощения акустической энергии растительным массивом на низких частотах

В рамках решения проблемы шумозащиты с применением защитных лесонасаждений в качестве шумовых барьеров, высаживаемых вдоль крупных автомагистралей и железных дорог, рассмотрена задача изучения процесса взаимодействия акустических волновых фронтов с проницаемыми препятствиями, к которым относится лесной массив [4]. Для решения поставленной задачи рассматривается 3-слойная модель, состоящая из воздуха, лесного массива и упругого грунта (Рис. 2). Акустическая волна падает на лесной массив под заданным углом  $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ) к вертикали. В данной модели верхний воздушный слой имеет скорость звука  $c$  и плотность  $\rho$ . Растительный массив создает эффект поглощения и характеризуется коэффициентом поглощения  $\alpha$ . Коэффициент  $\alpha$  зависит от коэффициента аэродинамического сопротивления  $s_d$  и удельной плотности  $S$  поверхности листьев и ветвей. Грунт – нижний слой – имеет плотность  $\rho_g$ , скорости продольных и поперечных волн  $V_p$  и  $V_s$ . Исследуется вопрос о том, насколько уменьшается амплитуда акустической волны в зависимости от свойств растительного массива, т.е. насколько массив поглощает акустические колебания [5].

Для воздуха рассматриваются волновые уравнения с постоянной плотностью и скоростью звука. Их решение можно представить в виде суперпозиции гармонических волн. Тогда результирующее давление в воздухе будет представлено как сумма давлений падающей и отраженной волн:

$$P = P_0 e^{i\omega t - ik_x x - ik_z z} + P_1 e^{i\omega t - ik_x x - ik_z z}$$

Здесь  $k_x, k_z$  – проекции волновых векторов по осям  $x$  и  $z$ .

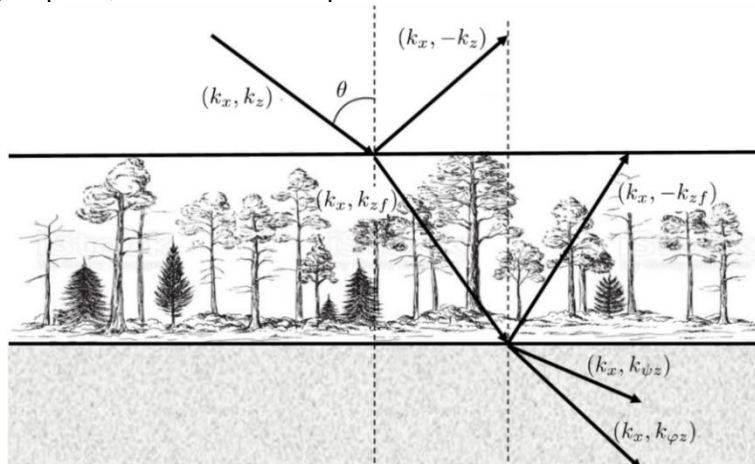


Рисунок 2 – Трехслойная модель «атмосфера-лесной массив-грунт» со схемой падающих, отраженных и преломленных волн в слоях

С учетом выбранной математической модели разработаны и реализованы численные методы, алгоритм и программа для расчетов уровней акустического давления в разных средах с применением уравнений газовой динамики Эйлера для растительного массива [5]. В качестве примера на рис.3 изображены графики акустического давления для преломленной и отраженной волн соответственно в зависимости от угла падения  $\theta$  в случае прохождения акустической волны через лес при различных высотах 0, 5, 10, 50 метров, частота  $f=10$  Гц. Особенности эффекта поглощения здесь проявляются в монотонном уменьшении уровней преломленной и отраженной акустической волн с ростом угла падения волны  $\theta$  и высоты ее прохождения  $H$ . При высоте 50 м и  $\theta=90^\circ$  амплитуда акустического давления может уменьшаться более чем на порядок.

#### Многофакторная численная модель шумовых воздействий

Один из критериев шумовых воздействий определяется величиной геоэкологических рисков, оцениваемых удельной плотностью энергии:

$$E = \frac{1}{\rho c} \int_0^T p^2(t) dt \quad (2)$$

Где  $\rho c$  — удельное акустическое сопротивление воздуха, равное  $42 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ ;  $p(t)$  — акустическое давление, регистрируемое на выходе акустического датчика;  $T$  — длительность акустического колебания. Для человека безопасной является величина удельной плотности энергии до  $3 \text{ Дж}/\text{м}^2$ . Определяющим параметром в (2) является энергетическая характеристика акустического

воздействия, связанного с внешним акустическим давлением на данной частоте. Последнее является интегральным параметром, зависящим от ряда факторов. Многофакторная модель интегрального давления может быть описана уравнением энергетического баланса:

$$P_{\Sigma}(t, f, r) = P_V(f) + P_1(r) + P_2(e, \tau, \omega, \varphi) + P_3(1/r) \quad (3)$$

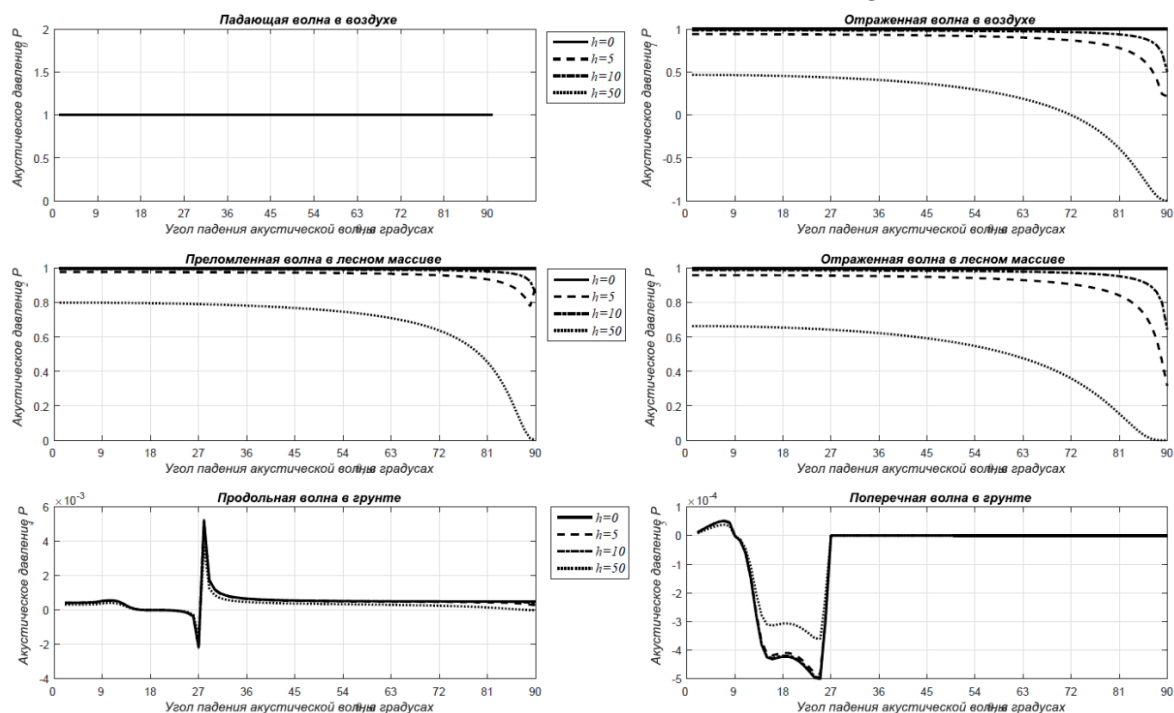


Рисунок 3 – Графики зависимости акустического давления для преломленной и отраженной волн от угла падения  $\theta$  в случае прохождения акустической волны через лес при различных высотах  $H=0, 5, 10, 50$  метров, частота  $f=10$  Гц

Здесь  $P_{\Sigma}(t, f, r)$  – давление в точке регистрации на удалении  $r$  от источника;  $P_V(f)$  – частотно зависимое акустическое давление, развиваемое источником;  $P_1(r)$  – поглощение инфразвука по расстоянию, определяемое неоднородностью атмосферы и покровом дневной поверхности Земли;  $P_2(e, \tau, \omega, \varphi)$  – давление в пункте регистрации как функция метеопараметров: относительной влажности, температуры, скорости и направления ветра, угла  $\varphi$  между направлением ветра и волновым фронтом от источника;  $P_3(1/r)$  – давление как результат сферической расходимости волнового фронта.

Получение оценок (3) в аналитическом виде наталкивается на сложности из-за отсутствия полноты априорных сведений, входящих в (3). Один из путей преодоления априорной неопределенности связан с получением оценок (3) на основе экспериментов с применением сейсмоакустических источников транспортного шума и вибраторов в качестве излучателей инфранизкочастотных акустических колебаний.

#### Результаты экспериментов

Рассматривается задача выделения из общего широкополосного спектра транспортных шумов характерных низкочастотных составляющих в отношении различных видов транспорта, являющихся наиболее экологически угрожающими для человека. Решение ее осуществляется на основе использования метода спектрально-временного анализа записей транспортных шумов, полученных в условиях полевых экспериментов. Полученные спектрально-временные функции (СВФ) шумов тяжелой техники позволяют оценить динамику изменений спектров шумов во времени и пространстве, выделить их основные спектральные моды. В качестве примеров такой функции на рис. 4 приведены СВФ и их проекции на плоскость «частота-время» для шумов сейсмических- а), акустических -б) пассажирских поездов. В этом случае сейсмические шумы охватывают полосу частот 5-40 Гц (рис.4а) с расположением основных спектральных мод в районе 8-9 Гц, 20 Гц. В отношении одновременно регистрируемых акустических шумов (рис.4б) видно, что частотный диапазон шумов уже- в пределах 3-15 Гц, а основная мода шумов лежит в районе 7-8 Гц.

Предложен и проанализирован комплексный теоретико-экспериментальный подход в интересах решения проблемы снижения геоэкологических рисков от техногенных шумов, заключающийся в частотном анализе и оценивании наиболее вредных частотных составляющих шумов от различного вида тяжелого транспорта, теоретико-экспериментальном оценивании возрастании рисков при воздействии метео-факторов на распространение инфразвука в атмосфере; численном оценивании эффектов компенсации рисков с помощью лесонасаждений в зависимости от параметров взаимодействия инфразвука со средой.

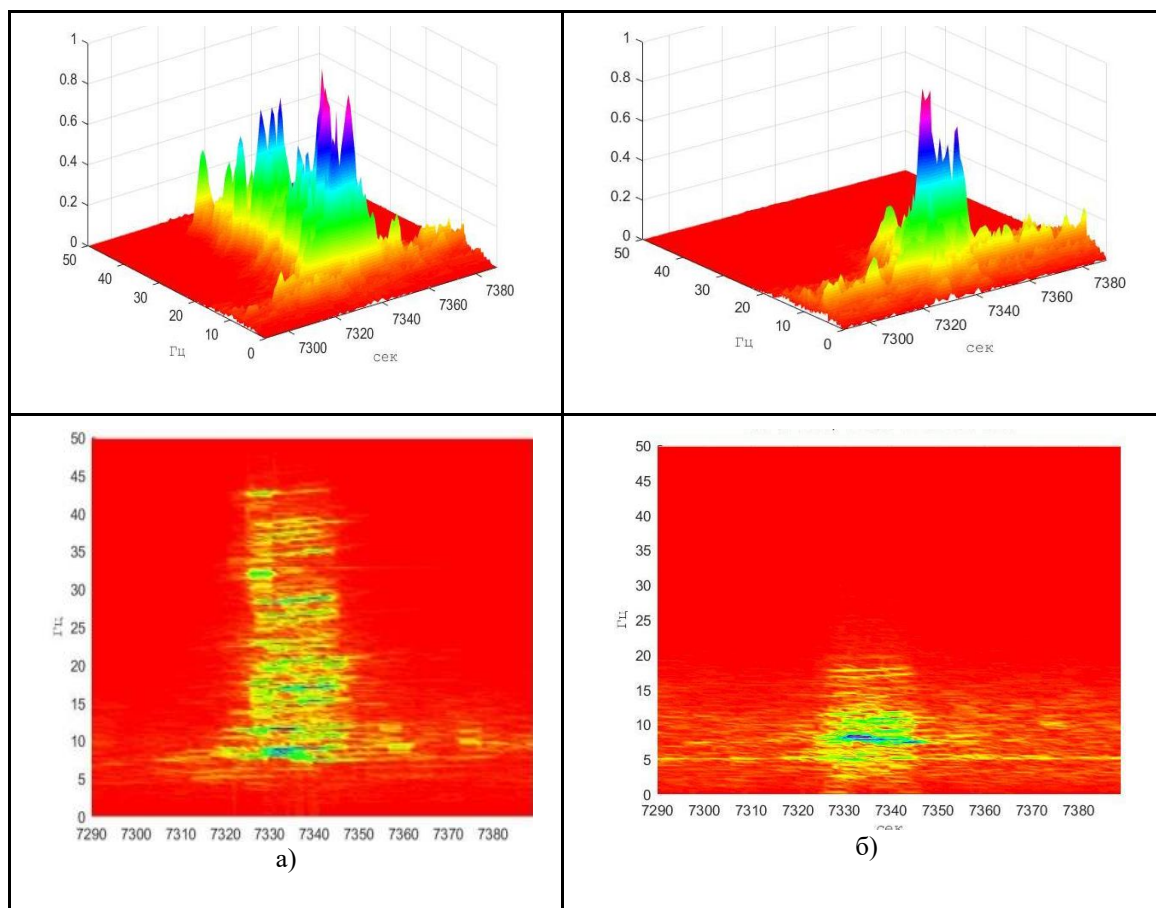


Рисунок 4 – Спектрально-временные функции (СВФ) и их проекции на плоскость «частота-время» для шумов пассажирских поездов а)-сейсмических; б)-акустические

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№18-47-540006р\_а, 20-07-00861а.

#### Литература

1. Marat S. Khairtudinov, Valery V. Kovalevsky, Gulnara M. Shimanskaya, Galina F. Sedukhina and Alexander A. Yakimenko. ACTIVE MONITORING TECHNOLOGY IN STUDYING THE INTERACTION OF GEOPHYSICAL FIELDS. // Active Geophysical Monitoring. Elsevier (Second Edition), Chapter 3.3, 2019. P. 207-222. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102684-7.00010-8>
2. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973, с.261
3. М.С. Хайретдинов, В.В. Ковалевский, Г.М. Воскобойникова, Г.Ф. Седухина. Оценивание метеозависимых геоэкологических рисков от взрывов с помощью сейсмических вибраторов. // Технологии сейсморазведки, № 3, 2016, с. 132–138.
4. Pierre Chobeau Modeling of Sound Propagation in Forests Using the Transmission Line Matrix Method. Study of multiple scattering and ground effects related to forests // Université du Maine, Le Mans, France, – 2014. – 147 P.
5. Khairtudinov M.S., Voskoboynikova G.M., Karavaev D.A. Numerical Simulation of Acoustic Waves Propagation in an “Atmosphere–Forestland–Ground” System // Journal of Applied and Industrial Mathematics 13(1), Publisher Name: Pleiades Publishing Ltd., January 2019, Volume 13, Issue 1, pp 175–183. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1990478919010186> ISSN: 1990-4789 ISSN: 1990-4789.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КЭШ–ПАМЯТИ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Шамров М.И.

Российский университет транспорта

В статье предлагается подход к построению универсальной модели многоуровневой кэш-памяти в составе многопроцессорных систем с общей памятью. Приводится структурная организация модели, допускающей настройку на различные конфигурации и типы кэш-памяти, а также принципы ее использования. Рассматриваются вопросы применения модели в лабораторных экспериментах в рамках курсов, связанных с изучением основ организации ЭВМ и систем.

Ключевые слова: многопроцессорные системы, многоуровневая кэш-память, моделирование.

Simulation of cache-memory of multiprocessor systems for laboratory experiments. Shamrov M.I. Russian University of Transport (RUT(MIIT)).

The article proposes an approach to building a universal model of multilevel cache memory as part of multiprocessor systems with shared memory. The structural organization of the model, which can be adjusted to various configurations and types of cache memory, as well as the principles of its use are given. The article deals with the application of the model in laboratory experiments within the framework of courses related to the study of the foundations of the organization of computers and systems.

Keywords: multiprocessor systems, multilevel cache memory, modeling.

Одним из основных направлений развития современных вычислительных систем является применение архитектуры многопроцессорных систем с общей памятью. Эффективность таких систем существенно зависит от организации взаимодействия многих процессоров с общей оперативной памятью (ОП). Важнейшим элементом ускорения обращений процессоров в ОП является подсистема кэш-памяти. При этом в таких системах часто используется сложная многоуровневая организация кэш-памяти, состоящей из множества модулей кэш с разными параметрами [1]. В реальных многопроцессорных системах применяется большое число вариантов подсистем кэш-памяти. Изучение таких подсистем кэш-памяти в рамках учебных курсов по организации ЭВМ и систем является сложной и актуальной задачей.

Процесс изучения подсистемы кэш-памяти можно разбить на два этапа:

- способы организации отдельных модулей кэш,
- применение модулей кэш различных типов для построения подсистемы кэш-памяти.

Вариант реализации первого этапа приведен в [2], где предложена универсальная имитационная модель кэш-памяти. Такая модель позволяет изучать способы организации и эффективность модулей кэш с различными параметрами (размер строки обмена, ассоциативность, алгоритм записи и др.). Ниже приводится подход к реализации второго этапа для применения в лабораторных экспериментах учебных курсов. Как и на первом этапе, основным способом изучения подсистем кэш-памяти является имитационное моделирование.

Способы организации подсистемы кэш-памяти многопроцессорных систем с общей памятью подробно описаны в литературе, например в [1]. Для построения универсальной учебной модели подсистемы кэш-памяти будем использовать ее аппаратный прототип, приведенный на рис.1. В общем случае подсистема многоуровневой кэш-памяти состоит из множества модулей кэш, распределенных по  $M$  трактам и  $N$  уровням. Под трактом  $j$  понимается цепочка включенных последовательно модулей кэш  $\{L_{ij} \mid i=\overline{1, m_i}\}$  для обработки обращений от одного из абонентов  $A_j$  в ОП. Уровнем  $i$  кэш-памяти назовем множество модулей кэш  $\{L_{ij} \mid j=\overline{1, n_j}\}$ , входящих в тракты с одним и тем же индексом  $i$ .

Основной входной информацией для моделируемой кэш-памяти являются трассы адресов, формируемые абонентами ОП. Передача и хранение данных в учебном варианте модели не используются. Трассу адресов можно представить в виде временного ряда, каждый элемент которого содержит адрес обращения в ОП, команду с типом обращения (чтение/запись и др.) и временной интервал (например, количество тактов процессора), определяющий задержку от момента выдачи предыдущего адреса. Для упрощения будем полагать, что в трассах задаются адреса физической ОП. В общем случае трассы адресов не синхронизированы, то есть выдача адресов разных трасс может происходить в произвольные не согласованные моменты времени. Источниками трасс могут быть различные абоненты ОП в составе процессора: разные тракты исполнения команд, отдельные уровни конвейеров трактов, блок динамического преобразования адреса и др. Большое число трасс адресов усложняет структуру подсистемы кэш-памяти, поэтому трассы от одного процессора, как правило, объединяются. В процессорных ядрах современных многоядерных микропроцессоров формируются две трассы адресов для чтения команд и чтения/записи данных.

Обработка элементов трассы реализуется путем их последовательной передачи между модулями тракта. В каждом из модулей тракта в зависимости от типа операции, типа кэш, режима попадания/промаха и других условий обработка элемента завершается либо быстрым циклом обращения, либо трансляцией адреса в модуль кэш следующего уровня или в ОП.

Количество модулей, как в трактах, так и в уровнях может быть разным:  $1 \leq m_i \leq M$ ,  $1 \leq n_i \leq N$ . Будем полагать  $n_{i+1} \leq n_i$ , то есть размерность уровней может уменьшаться по мере перехода к более высоким уровням. При этом допускается наличие модулей кэш с числом входных трасс адресов большим 2. Наличие нескольких трасс на входе модуля кэш требует распараллеливания его работы и на практике не используется. Последовательная поочередная обработка трасс в одном модуле кэш эквивалентна слиянию трасс.

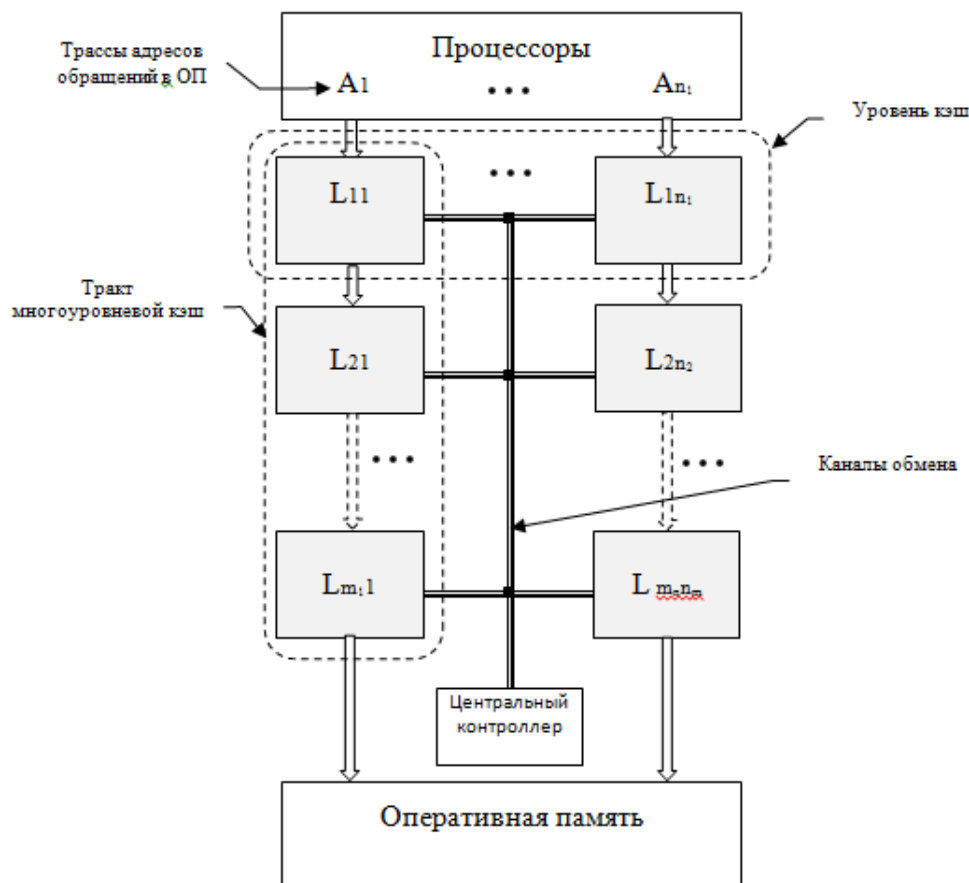


Рисунок 1 – Структурная организация аппаратного прототипа модели кэш

Возможность записи информации в модули кэш разных уровней и трактов приводит к проблеме когерентности (согласованности) содержимого модулей кэш и ОП [1]. Когерентность внутри одного тракта (вертикальная когерентность) может быть обеспечена с использованием различных сочетаний методов сквозной и обратной записи, инклюзивности/экслюзивности содержимого модулей кэш разных уровней. Поддержка когерентности содержимого в модулях разных трактов (горизонтальная когерентность) – более сложная задача, требующая дополнительных аппаратных и/или программных решений. В состав подсистемы кэш-памяти вводятся дополнительные каналы обмена информацией между модулями кэш в соответствии с используемыми алгоритмами поддержки когерентности. Для реализации таких алгоритмов используются дополнительные аппаратные средства. При централизованном способе управления когерентностью используется центральный контроллер на основе справочника. При децентрализованном (распределенном) способе когерентность обеспечивается контроллерами модулей и каналами обмена между ними. Основными методами при этом являются запись с аннулированием и запись с обновлением. При реализации методов применяются такие аппаратные средства как широковещательная передача, протоколы наблюдения (snoopy protocols) и др. Примером реализации методов может служить протокол MESI с использованием общей шины, соединяющей модули кэш одного уровня. Более подробную информацию по таким средствам можно найти в [1]

Основным способом изучения подсистемы кэш-памяти является имитационное моделирование [3]. Укрупненная структура предлагаемой имитационной модели подсистемы кэш (ИМ) приведена на рис. 2. Основу ИМ составляет совокупность моделей  $\{M_{ij}\}$ , каждая из которых имитирует функционирование одного из модулей кэш  $\{L_{ij}\}$  в составе предложенного аппаратного прототипа. Принципы построения модели отдельного модуля кэш приведены в [2].

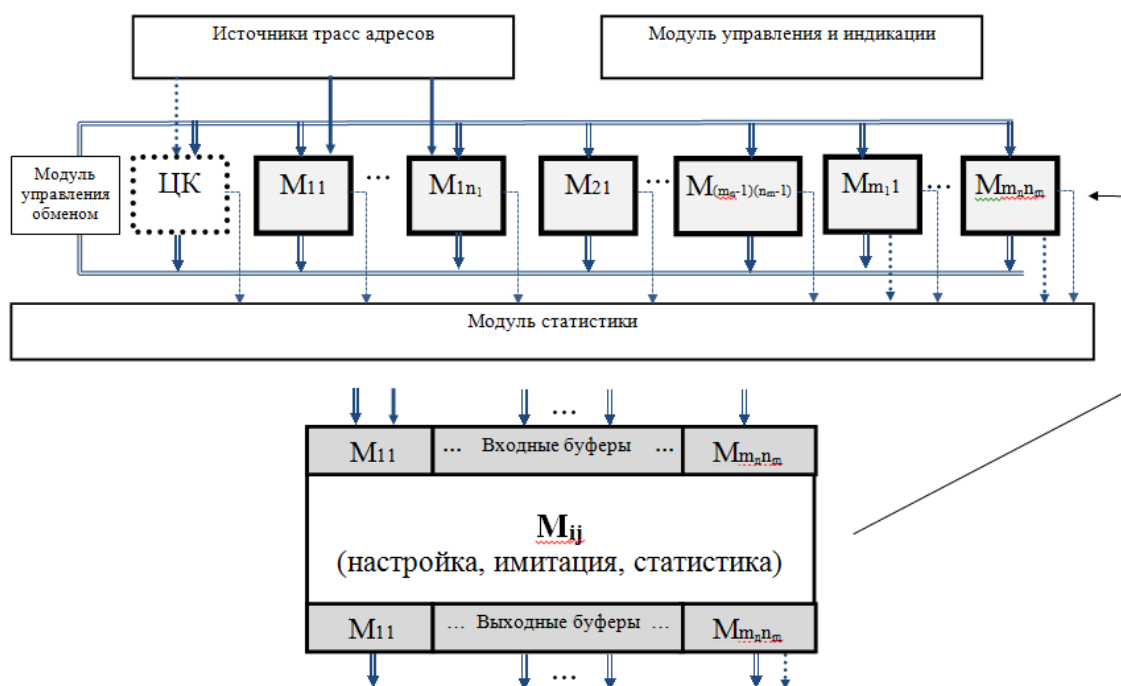


Рисунок 2 – Структура модели подсистемы кэш памяти

Каждая из моделей  $M_{ij}$  принимает информацию от других моделей и/или источников входных трасс адресов, выполняет их обработку и подготавливает информацию для других моделей модулей. Для упрощения учебной ИМ передаваемая информация включает только адреса и команды, в то время как передача данных и средства для их хранения не используются. Оперативная память в ИМ не моделируется, поэтому модели старшего уровня, формирующие обращения к ОП, могут быть подключены к блоку статистики. Обмены между моделями кэш реализуются по принципу «каждый с каждым» с использованием входных и выходных буферов. Такой подход универсален и может быть настроен на любой вариант взаимодействия модулей в составе подсистемы кэш.

Модель подсистемы кэш функционирует по дискретно-событийному принципу, когда модельное время разбивается на интервалы (такты) фиксированной длительности. В качестве такта моделирования целесообразно выбрать такт работы процессоров, как минимальное время между соседними событиями. В ИМ модели модулей исполняются последовательно, в то время как в реальной системе имитируемые ими модули функционируют параллельно. Для решения этой проблемы используется метод квазипараллельного функционирования моделей. В каждом такте последовательно срабатывают все модели с записью результатов в выходные буферы, после чего выполняются все обмены путем передачи информации из выходных во входные буферы моделей. С этой целью в состав ИМ введен модуль управления обменами. Квазипараллельная работа ИМ обеспечивается тем, что в течение такта значения входных данных моделей остаются неизменными, а передача выходных данных другим моделям осуществляется одновременно на границах тактов.

Для управления когерентностью при централизованном способе на основе справочника в состав ИМ может быть включен центральный контроллер (ЦК). При децентрализованном (распределенном) способе когерентность обеспечивается наличием трактов обмена между модулями, моделируемых обменов между входными и выходными буферами моделей. Передаваемая при этом информация помимо адреса (тэга) и основных команд чтения/записи может включать другие команды: «запись с аннулированием», «запись с обновлением», «изменить состояние строки» и др.

Результатами работы модели является статистика попаданий/промахов в модулях подсистемы кэш, накапливаемая в модуле статистики. Общее управление функционированием ИМ реализуется модулем управления и индикации.

Лабораторные эксперименты с ИМ по изучению кэш-памяти целесообразно разбить на два цикла:

1. Изучение способов организации модулей кэш-памяти. С этой целью предварительно подготавливаются варианты настройки модели модуля кэш на реализацию различных типов кэш-памяти и формируются трассы адресов для их исследования. Учебные эксперименты заключаются в запуске одной из трасс адресов на модели, настроенной на заданный тип кэш. При этом изучаются принципы функционирования кэш-памяти, и выполняется сравнительный анализ эффективности разных типов кэш-памяти.

2. Изучение подсистемы кэш-памяти многопроцессорных систем. Такие эксперименты включают реализацию и исследование различных конфигураций подсистемы кэш-памяти от простейших с одним трактом или одним уровнем до сложных вариантов, близких по структуре к подсистемам кэш-памяти современных многоядерных микропроцессоров и реальных вычислительных систем.

Помимо учебных целей предлагаемая модель может быть использована для предварительной оценки эффективности и оптимизации подсистем кэш-памяти разрабатываемых вычислительных систем[4]. От решения таких сложнейших трудно формализуемых задач существенно зависит эффективность вычислительных систем в целом.

#### Литература

1. Орлов С. А., Цилькер Б. Я. Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов. 2-е изд. - СПб: Питер, 2011. - 688 с.

2. Шамров М.И. Моделирование кэш-памяти многопроцессорных систем для лабораторных экспериментов. Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии», 2019 с.125-128.

3. Орлов С.П. Использование имитационных моделей вычислительных систем в преподавании технических дисциплин в вузе: В сборнике: Методика преподавания математических и естественнонаучных дисциплин: современные проблемы и тенденции развития / Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. - 2017. - с. 213-216.

4. Толмачев В.В., Булах С.С., Клычков И.А. Результаты экспериментального исследования эффективности кэш-памяти микропроцессорных систем на основе имитационного моделирования / Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. - 2017. - Том 11, № 11. - с. 41-47.

#### ОБЫДЕННЫЕ ПОЛИТИЧЕСКИЕ ИНТЕРНЕТ-КОММЕНТАРИИ: КОНФЛИКТ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ НОВОСТНОГО ТЕКСТА

Ким Л.Г.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»  
+7-961-735-0011 [kimli09@mail.ru](mailto:kimli09@mail.ru)

Статья, выполненная на материале интернет-комментариев новостного текста, посвящена выявлению факторов, детерминирующих множественность и вариативность интерпретаций исходного текста, несущих потенциал конфликтности. Доказывается, что интерпретирующие высказывания интернет-пользователей представляют собой реализацию принципа конфликтного взаимодействия участников коммуникативного процесса в когнитивной сфере. Устанавливается, что механизм конфликта интерпретаций основан, с одной стороны, на свойстве имплицитности комментируемого текста и, с другой стороны, на свойстве реализации дотекстовых ожиданий интерпретатора, связанного с их реализацией в процессе комментирования.

Ключевые слова: интернет-коммуникация, комментарии, новостной текст, интерпретация, конфликт

Ordinary political internet comments: conflict between interpretations of the news text. Kim L.G., Kemerovo State University

Article executed on the material online comments of the news text is devoted to identifying the factors that determine the multiplicity and variety of interpretations of the source text. It is proved that the interpretive statements of Internet users represent a realization of the principle of conflict interaction of participants of the communicative process. It is established that the mechanism of conflict of interpretations based on the one hand, on the property of implicitness the commented text and on the other hand, on the property of implicitness subjective interpreter activities associated with both the formation of its intentions, and its implementation in the comments.

Keywords: internet communication, comments, news text, interpretation, conflict

Введение



Предметом исследования являются конфликт интерпретаций исходного текста и факторы, обуславливающие его возникновение и развитие. Рассмотрение данной проблемы осуществляется на оригинальном речевом материале – текстах политических комментариев, которые достаточно широко представлены на форумах и блогах, имеющих преимущественно политическую направленность. Подобные политические комментарии составляют весьма важный феномен, характеризующий современную интернет-коммуникацию. Данное исследование выполнено в русле обыденной лингвополитологии, разрабатываемое научной школой, возглавляемой профессором Н. Д. Голевым.

Одной из задач, решаемых в русле обыденной лингвополитологии, является исследование интерпретации текстов на политические и неполитические темы рядовыми читателями, отражение диктума и модуса исходного текста в политических комментариях. Такое исследование, осуществленное с применением лингвистических методов, позволяет выявить отношение рядовых граждан к политическим процессам, которые обсуждаются в обществе и которые волнуют общество. Полученные научные результаты могут быть использованы с целью наблюдения за развитием общественного сознания и проведения мониторинга общественного мнения [1; 2].

Обозначенный объект рассматривается в двух аспектах – интерпретационном и лингвоконфликтологическом [3; 4; 5].

#### Постановка проблемы

В данной работе языковой материал, составляющий политические Интернет-комментарии читателей при восприятии исходного текста, рассматривается не только как результат его ментально-языковой или метаязыковой деятельности, но и как результат его интерпретационной деятельности, который отражает его определенную политическую позицию и коммуникативные интенции. При выполнении предлагаемого исследования мы ставим цель верифицировать гипотезу о том, что при восприятии и интерпретации адресатом политического текста срабатывает механизм дотекстового ожидания [6]. Иными словами, адресат на этапе еще до прочтения текста имеет определенные пресуппозиции, под влиянием которых он воспринимает и интерпретирует текст. При этом восприятие и интерпретация текста может реализоваться как по модели соответствия содержания текста его дотекстовому ожиданию, так и по модели несоответствия. В последнем случае это порождает эффект обманутого ожидания.

#### Материал и способ исследования

При исследовании интернет-комментариев в заявленном аспекте мы используем сопоставительный метод, а именно сопоставляем диктумно-модусное содержание исходного (т.е. интерпретируемого) и вторичного (интерпретирующего, комментирующего) текстов. Интернет-комментарии читателей, как подчеркивается в литературе [7; 8], имеют богатые эвристические возможности, в частности позволяют выявить сложный процесс взаимодействия текста и его адресатов, в том числе при рассмотрении реализации дотекстовых ожиданий интернет-пользователей.

В качестве конкретного материала для данного исследования мы использовали интернет-комментарии читателей в количестве 43, в которых представлено обсуждение публикации, размещенной в социальной сети «Newsland» (<http://www.newsland.ru/>) 23.02.2014 г. Опубликованная статья имеет название **«Церемония закрытия олимпиады пройдет в стиле арт-хаус»** (<http://newsland.com/news/detail/id/1327900/>).

#### Результаты и обсуждение

Выбранный в качестве материала для исследования текст по содержанию направлен на анонсирование церемонии закрытия олимпиады в Сочи – 2014. Это небольшой по объему текст, весьма лаконичный, достаточно прозрачный по содержанию и коммуникативной интенции автора. Если передать его содержание в нескольких фразах, то суть можно представить следующим образом: олимпиада в Сочи завершилась; по числу медалей российские спортсмены стали лидерами; церемония закрытия олимпиады пройдет в стиле арт-хаус; на процедуре закрытия олимпиады примут участие выдающиеся отечественные музыканты; итальянский режиссер Д. Паска – постановщик церемонии; один из композиционных фрагментов церемонии – знакомство с корейской культурой – страной олимпийских игр 2018 года.

В процессе интерпретации текста, представленной в комментирующих текстах интернет-пользователей, реализуются **дотекстовые детерминанты**, которые обуславливают восприятие и осмысление комментируемого текста. Механизм дотекстового ожидания описан в литературе по когнитивной психологии [9] и когнитивной лингвистике [10].

Дотекстовое ожидание определяет, в конечном счете, вариативность интерпретации исходного текста. Это обусловлено тем, что каждый тип языковой личности «видит» в тексте то, что может и хочет видеть, а также оценивает содержание этого текста в соответствии со своей шкалой оценок [11]. Содержание политических комментариев, а также представленная в них модальность автора обусловлены

не столько содержанием комментируемого текста, сколько политической картиной мира и теми ценностями, которые свойственны тому или иному читателю-интерпретатору до его знакомства с текстом. Информация относительно картины мира интерпретатора, его политических пристрастий является *имплицитной*. Однако ее вполне возможно реконструировать, опираясь на контент комментирующих субъектов, представленный на дискуссионных площадках публикаций.

Содержание и структура комментирующих текстов определяется интенцией комментатора, которая достаточно самостоятельна по отношению к интенции автора исходного текста и, как мы полагаем, в минимальной степени предполагает ее реконструкцию. Комментарии читателей при восприятии исходного текста отражают «конструирование» своей собственной позиции, которая, по нашим представлениям, представлена в дотекстовом варианте. Это подтверждает практическое отсутствие в комментариях читателей холистических оценок комментируемой статьи, ее структурно-содержательных компонентов, в том числе интенции автора публикации и способов ее реализации. Приведем в качестве иллюстрации нашего тезиса комментарии интернет-пользователей, публикующиеся под никнеймами **Год Тигра**, **весна солнце** и **elka\_lisa**.

Открывает дискуссию пользователь **Год Тигра**.

**Год Тигра** комментирует материал 23.02.2014 в 20:15 # *В Киеве Майданы, революши... а в Сочиx лимпиада мути...*

Он первой же фразой задает обсуждению определенную плоскость и уводит дискуссию в «нужную» ему тему. В рассматриваемом материале «нужная» тема – это не спортивные достижения участников олимпиады и не художественные аспекты церемонии закрытия спортивного мероприятия, а проблемы внутренней и внешней политики России.

Далее в дискуссию вступает его политический оппонент **весна солнце**, которая также в своих комментариях «уходит» от изложенного в комментируемой статье содержания – процедуре закрытия олимпиады – и достаточно эмоционально выражает свои оценки деятельности президента страны В. В. Путина и позитивный эффект олимпиады.

**весна солнце** Отвечает Год Тигра на комментарий 23.02.2014 в 20:34 # *А в России майдан невозможен ! И олимпиада очень сплотила и объедило всю страну ! а это очень важно и во время ! И президент наш ВВ Путин просто молодец! Окончательно объедил всю страну в железный кулак и теперь ни какие враги России не страшны!!!*

При сопоставлении комментируемой статьи и комментариев к ней интернет-пользователями обращает на себя внимание следующее. Исходная статья имеет рационально-логический характер. Автор лаконично информирует о предстоящем мероприятии. Текст лишен каких бы то ни было явных оценок, хотя на имплицитном уровне можно за намеренно нейтральной лексикой выявить позитивный модус автора. Но именно – имплицитно выраженный, посредством косвенных признаков. В этом отношении полный контраст представляют комментирующие тексты. Все комментарии отражают поляризацию мнений и оценок по актуальным для читателей проблемам. Исходная статья является не столько предметом обсуждения, сколько стимулом, спровоцировавшим бурную дискуссию, где происходит размежевание всех участников на «своих» и «чужих». В итоге олимпиада, церемония закрытия, результаты спортсменов перестают быть предметом обсуждения. Главным в дискуссии является вопрос – благо она для России или наоборот - неоправданные затраты, показуха, идеологизация. Далее дискуссия переходит в обсуждение российской власти, президента России, положения пенсионеров и т.д. Такой мотив является основным для участников портала «Ньюсленд». В таком же ключе начали дискуссию участники **Год Тигра** и **весна солнце**, фрагмент которой мы привели в качестве иллюстрации.

Причем если обратиться к более ранним комментариям автора **Год Тигра**, то обнаруживается, что он опубликовал более 40 тыс постов. Сопоставление контента его комментариев других статей позволяет утверждать, что дискуссия по поводу статьи, посвященной церемонии закрытия олимпиады, является органической частью всего контента данного автора: *Дуремарства над РФ, над расейцами; Я не смотрю дуромероприятия, есть более интересные мероприятия; Вот именно...Расея, все века ждала пукина, что б он ее трансформировал в крысозанакчки Абрам/Чубайсов и Со на западах*. В подавляющем большинстве своих комментариев **Год Тигра** поднимает тему Украины, где он утверждает, что власть Украины стремится к благу страны, Россия на Украине потерпит крах, пропаганда Кремля лживая, власть России лжет. В своих высказываниях-комментариях автор краток, выражается немногословными репликами, в которых использует инвективные обороты, элементы языковой игры: *Не читайте, не смотрите СМИ, газет пропа склизких путиноидов; спекулируют, врут на «хунту» в Киве, а она оказывается над Рашей, толкает рашаван на суисайды; Думаешь, власти Кивеа едят деток Востока на завтрак? путиномика знать – расцветает...цены падают, рупь укрепляется, топливо дешевет?* Нетрудно убедиться, что при восприятии новостного материала о церемонии закрытия олимпиады, автор уже имеет определенные устойчивые оценки – дотекстовые ожидания, которые и реализует в комментирующем контенте.

Тема закрытия олимпиады для автора – это возможность включиться в дискуссию для выражения своих политических убеждений и устойчивых оценок, которые в ходе дискуссии находят и своих сторонников, и яростных противников.

Один из его противников, выступающий под ником **весна солнце**, уже в начале дискуссии откликнулся иным взглядом на церемонию закрытия олимпиады и само мероприятие в целом. Судя по его авторскому профилю, которое составляют более четырех тысяч комментариев, он является вполне успешным предпринимателем. В его авторском профиле относительно иных публикаций отчетливо слышен мотив «кто в России хорошо работает, тот и хорошо живет»: *Я простой строитель, зарабатываю своими руками и потом! Живу отлично! а ты диванный страдалец.* И олимпиаду автор оценивает позитивно: *Россия подарила человечеству чудо!!! Так же как подарила и космос!!! проложив человечеству туда дорогу!!!.* Так же позитивно он оценивает роль президента Путина: *Благодаря России и ВВ Путину я прилично зарабатываю своим трудом и подачки дешевые мне не нужны!!!.* Символом благополучия России является прошедшая олимпиада: *Во всем первая и всегда так было и будет.* Как видим, общий позитивный модус автора – его дотекстовые ожидания – обуславливают и модус его комментариев относительно публикации о закрытии олимпиады.

Еще одна участница дискуссии, выступающая под ником **elka\_lisa**, судя по ее комментирующему контенту, является знатоком спорта. Она часто комментирует посты на спортивную тему. Олимпиаду в Сочи она оценивает позитивно, сравнивает ее успехи с олимпиадами, которые проходили в период СССР. Аргументы этого участника дискуссии относительно нерациональной траты денег аргументированны и рациональны: *В 1961 году наша страна первая покорила космос, однако в коммуналках жила почти вся страна. Может не стоило космос осваивать судя по вашей логике?* Участник дискуссии **elka\_lisa** критикует достаточно резко тех, кто недооценивает значение победы российских спортсменов: *Воняешь тут только ты, это твоя желочь и злоба, что несмотря ни на что наши спортсмены оказались лучшими.*

При этом в целом патриотический модус, который проходит через многие комментарии **elka\_lisa** (*Потрудись для начала гимн России где живете выучить*), сочетается с критическим отношением к власти: *А уж, если кто-то кричит «Слава Путину!», то пусть объяснит его вклад в копилку медалей сборной России; Не надо его так высоко поднимать. Олимпиаду выиграли спортсмены, а не президент.*

Таким образом, восприятие и комментарии одного и того же текста разными интернет-пользователями осуществляются по модели конфликта интерпретаций. Одним из факторов, детерминирующим такое развитие – фактор дотекстовых ожиданий адресата.

#### Заключение

Выполненное в коммуникативном аспекте исследование текста – позволяет по-новому рассматривать его смысловую организацию. Текст в коммуникативном аспекте представляет собой потенциал множественных смыслов, которые реализуются в процессе интерпретационной деятельности адресата. Одним из проявлений этого процесса является комментирование в интернет-пространстве текстов, представленных на политических порталах. Такие комментарии, реализованные в комментирующих высказываниях рядовых пользователей, разворачиваются по конфликтному сценарию. Восприятие текста обусловлено не столько его диктумно-модусным содержанием, сколько дотекстовыми ожиданиями авторов комментариев. Текст в данном случае выступает лишь отправной точкой, стимулом для выражения их политических взглядов.

Реализованный в статье подход позволяет по-новому описать структуру интерпретирующего текста (совокупность всех комментариев) как коммуникативного целого. А содержание комментируемого текста – с позиций перлокуции. Данная позиция предполагает структурирование интерпретируемого текста, исходя из того, **что сказал** автор (т.е. что было реально воспринято читателями данного текста), а не из того, **что хотел** сказать автор (т.е. не из иллокуции).

#### Благодарности

Статья выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 19-012-00202 «Обыденная политическая коммуникация в социальных сетях: комплексный лингвистический анализ»)

#### Литература

1. Голев Н.Д. Обыденная лингвополитология: проблемы и перспективы // Современная политическая лингвистика // Тезисы Международной научной конференции. – Екатеринбург, 2011.- С. 66–69.
2. Словарь обыденных толкований политических терминов. Лексикографический опыт: 50 слов-стимулов / Под ред. Н. Д. Голева. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2019. – 142 с.

3. Голев Н.Д., Ким Л.Г. Вариативно-интерпретационное функционирование текста (к вопросу о расширении границ лингвистической вариантологии) // Вестник Челябинского государственного университета. – 2009. - № 27 (165). – Сер.: Филология. Искусствоведение. Вып. 34. – С. 12-21.
4. Ким Л.Г. Интерпретационное поле как реализация вариативно-интерпретационного потенциала текста (на материале лингвистического эксперимента) // Сибирский филологический журнал. - 2010. – № 1. С. 203–212.
5. Кишина Е.В. Когнитивные основания конфликта интерпретаций // Когнитивные исследования языка. - 2015. - № 23. – С. 368 – 377.
6. Ким Л.Г. Дотекстовые ожидания адресата как фактор вариативности интерпретации политического текста // Вестник Томского государственного университета. Филология. Искусствоведение. - 2019. - №57. – С. 48 – 62.
7. Кишина Е.В. Интернет-комментарии к политическим текстам как объект описания обыденной лингвополитологии // Człowiek Świadomość Komunikacja Internet.- Warszawa, 2012. – С. 692-702.
8. Савельева И.В. Интернет-комментарий как вторичный текст: семиотическая модель текстопорождения // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2019. – Т. 21. № 3 (79). – С. 839-849.
9. Головин С.Ю. Словарь практического психолога. — М.: АСТ, Харвест. - 1998.- 800 с.
10. Предвосхищение и язык: Материалы Всероссийской научной конференции: Москва: 2012 год. – М.: Изд-во СГУ, 2012. – С.118-135.
11. Ким Л.Г., Мустайоки А., Пиетиляйнен Ю. Восприятие модернизации русскими студентами как результат влияния образа автора на интерпретацию политического текста // Политическая лингвистика.- 2013. - № 4. – С. 47–59.

#### РАЗВИТИЕ ПРОТИВ КРИЗИСА: НЕОБХОДИМ ЛИ ПЕРЕЗАПУСК РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

Морозов Б.М., Маслаков И.В., Рыбаков С.А., Рудницкий С.Ф.  
Аналитическая служба ПАО «КАМАЗ»  
+7 (960) 007-01-57, morozov@kamaz.ru

В статье проанализированы адресные меры господдержки промышленности в новой реальности с COVID-19 и определены их перспективы. В качестве альтернативы предложена цепочка взаимосвязанных быстрокупаемых проектов, обеспечивающих рост ВВП страны +10% и достижение национальных целей. Ключевые слова: фундаментальные ресурсы, бизнес-модель, машиностроение, автомобилестроение, быстрореагирующее бережливое производство, господдержка, национальные проекты, автомобильная доставка нового поколения КАМАТЕЙНЕР, сверхбыстрый монтаж дорог, газификация транспорта и коммунального хозяйства, создание « сетевого машиностроения», сельское хозяйство, МЧС.

Development against the crisis: Is the restart of the Russian industry needed. Analytical service offers. Morozov B.N., Maslakov I.V., Rybakov S.A., Rudnitsky S.F., Analytical Service KAMAZ PTC

The article analyzes targeted measures of state support for industry in the new reality with COVID-19 and defines their prospects. As an alternative, a chain of interconnected fast-payback projects is proposed that ensure the country's GDP growth of + 10% and the achievement of national goals.

Keywords: fundamental resources, business model, mechanical engineering, automotive industry, responsive lean manufacturing, government support, national projects, new generation automobile delivery KAMATEINER, ultra-fast road installation, gasification of transport and utilities, creation of "network engineering", agriculture, Ministry of Emergencies.

#### Постановка проблемы

«Лечить нельзя выздороветь». Адресные меры господдержки (даже в размере 2,5 трлн. руб.) в ответ на локальные неурядицы не перезапустят российскую промышленность. Напротив, наши «фундаментальные» проекты в ответ на глобальную ситуацию быстро окупятся и дадут +10% ВВП.

«Любые измышления относительно перспективного развития предваряет анализ текущего состояния» - справедливое утверждение. В связанной паре философских категорий «пространство-время» первое для нас важнее. Пространственное расположение РФ продуцирует весьма дорогостоящие (для машиностроения) проблемы. Величайшая территория с разреженным населением: среднее плечо доставки в 5-10 раз больше, чем у конкурентов, а это примерно \$1000/10 тонн, условно до 10 руб/кг, учитывая многократные встречные перевозки сырья и товаров, удорожание может превысить 50 руб/кг – например,

до 10% для популярных легковых автомобилей, в 2-3 раза перечеркивая типовую прибыль автопрома. Среднегодовая температура 2-3 градуса Цельсия требует затрат на отопление 0,5-1% от себестоимости плюс электроэнергия на вентиляцию.

Другие пары фундаментальных ресурсов «материя-энергия (капитал)» и «информация-знание» [1] также обходятся машиностроению РФ дороже, чем конкурентам, вне зависимости от экономических циклов.

Общая беда страны – после потери «соцлагеря», рынки имеют крохотный размер и остроконкурентны даже внутри РФ. Создание (или покупка лицензии) нового продукта становятся проблемой несопадающих масштабов. Например, в 20 ведущих компаний мирового автопрома тратят на НИОКР 90 млрд. в год, это вдвое больше суммарного выпуска автопрома РФ. НИОКР по электродвижению в 2018-2024 гг оценили в \$255 млрд. - это 2,5% ВВП РФ ежегодно для одной темы. В таких условиях можно считать благом, если инвестиции в новый продукт уложатся в относительное удорожание 10%.

Продукт в РФ закономерно оказывается наполовину дороже «среднемирового», и никакие меры развития по «5% в год», принятые в Нацпроектах, не победят эту реальность – мир не стоит на месте, и ресурсов там примерно на порядки больше.

Нельзя звать иностранных «лекарей» - консультантов, их реальность не пересекается с нашей. Нельзя покупать «лекарства» у немецкой «Индустрии 4.0» - это очень дорогой способ самоубийства.

#### Предложения Аналитической службы

Если сложение традиционных подходов не работает, нужно искать цепочку эффективных проектов, которые дадут кумулятивный процент на выходе. Амбициозная цель +10 ВВП.

В качестве ведущего звена «перезапуска» выбрать автомобилестроение – наиболее продуктивную часть воспроизводственного контура РФ. (см. Рис. 1, бизнес-модель машиностроения с указанием потенциала роста ВВП.)



Рисунок 1 – Бизнес-модель машиностроения РФ на основе канвы Остервальдера и Пинье [2], улучшенной по типовой модели «вход-выход» [3-4]

По нашим оценкам, которые совпали с мнением экономистов-аналитиков, СССР умер от перегрузки фондами. [5] Производилось 400 тыс. грузовиков в год, которых имели коэффициент использования 11%, 450 тыс. тракторов, 90% которых «катались до околицы». При этом на заводах был двойной-тройной комплект оборудования, низкая производительность труда и дефицит кадров. Если следовать модным путем немецкой индустрии 4.0 (покупая станки в 2-3 раза дороже, чем сами немцы) РФ повторит путь СССР. Именно это приводит к застою-низкой эффективности инвестирования и управления в РФ в любых отраслях, кроме присваивающих природную ренту в удачные периоды. Посчитайте отдачу от «модных» новостроек – получатся десятки и сотни лет.

Повысить существенно отдачу от инвестиций в основные средства можно с помощью постулируемого нами **быстрореагирующего бережливого производства (ББП)**, создания «**сетевое машиностроения из взаимосвязанных систем планирования и контроля в реальном времени заводов и КТБ**», позволяющих оптимизировать и рационализировать существующее производство как самих автопроизводителей, так и многих других отраслей. 5% роста производительности труда в год до

2024 года, как зафиксировано в Нацпроекте по производительности труда и занятости – недостаточно даже для сохранения отставания в 2-3 раза, мир развивается быстрее. Lean production (Toyota) пытается играть эту роль в мире, однако «потерянные десятилетия» самой Японии ставят под сомнения надежды Нацпроекта на эту производственную систему.

Выход - сконцентрировать большую часть господдержки на автопроме, в качестве условия поставив помощь в достижении роста производительности на 15%-20% в год одновременно со снижением себестоимости и повышением уровня оплаты труда в системообразующих отраслях. Это эффект больше 1 трлн. руб. (1% ВВП) для 5 отраслей с суммарным выпуском 6 трлн. руб.

Опыт, накопленный нашей производственной системой, ставшей школой опыта для многих предприятий, протестированные на КАМАЗе решения для ББП от таких фирм, как BFG-Group (резидент Сколково) или i-Lean (Алерт Лайн, резидент IT-парка Н.Челны) позволяет увеличить производительность труда вдвое-втрое, и многократно повысить скорость выполнения заказов в мелкосерийном производстве за счет выявления и устранения узких мест и сокращения критического пути производства.

Какую цель можно поставить? Удвоить выпуск до 12 трлн. руб. и получить 4 трлн. руб. на экспорте услуг и снижении затрат, главное - быстро.

#### Быстрокупаемые проекты

1) Национальный проект «Цифровая экономика» стартовал в 2019. Цель проекта – увеличение *затрат в 3 раза* к 2017; создание устойчивой IT и телекоммуникационной инфраструктуры, доступной для всех; использование отечественного ПО. Экономического результата не планируем, сети, центры обработки данных и отечественное ПО могут оказаться неэффективными. Работа специалистов КАМАЗа в рамках TechNet по созданию цифровых двойников изделий и технологий, цифровые инициативы с российскими инжиниринговыми компаниями, разработка методик расчёта стоимости машино-часа позволила найти резервы в области обработки резанием в 2-3 раза и, совместно с мерами ББП найти пути окупаемости импортируемого втридорога оборудования «4-й технологической революции». Резервы больше, чем можно ожидать исходя из заявленной загрузки фондов (время/использование мощности (ходов пресса) /оптимизация подач/эффективный инструмент/сокращение потерь на холостые ходы, обслуживание (удаление стружки, облоя, отходов)/быстрая переналадка, обеспечение инструментом, заготовкой, СОЖ, минимизация потерь времени на контроль размеров, получение планов и составление отчетов /оптимальное использование возможностей персонала/снижение брака). Для полного получения эффектов необходима гибкая система планирования и персонал, готовый к совмещению профессий. Для обеспечения возможности гибкого использования персонала необходимо дорабатывать положения о «горячем стаже» и других льготах, связанных с профессиональной деятельностью.

2) В 2018 стартовал нацпроект по производительности труда. Цели нацпроекта: ускорение роста производительности до 5% к 2024, увеличение числа вовлеченных предприятий со 100 в 2018 до 10000 в 2024. Необходимо изменить национальные цели, стремиться не только к повышению «производительности труда», измеряемой архаичным показателем «выпуск на сотрудника», но и к анализу «производительной силы труда», достижению быстрой фондоотдачи и рациональной фондовооруженности и сменяемости фондов. Пора поменять требования к отечественным станкостроителям, инжиниринговым и инструментальным фирмам, замкнуть огромные денежные потоки в РФ, в разы уменьшить долговую нагрузку машиностроения (ориентировочно 3%+ ВВП, это уровень далеко за пределами возвратности). Предлагаем направить часть средств от таможенных пошлин за импортное оборудование (а также оснастку, инструменты, инжиниринговые услуги) на стимулирование российских производителей. Но нужно избежать ошибок локализации автопрома – создания избыточного числа мелких предприятий с однотипной или несвоевременной продукцией.

3) Одним из важных следствий является необходимость загрузки мощностей, которые в результате предыдущих шагов предлагаемой стратегии высвободятся в больших масштабах. Здесь своевременно предложение ГАЗа по освоению производства компонентов (импорт компонентов в автопроме >20% от выпуска), но не путем инвестирования в создание полномасштабных производств, а путем скоординированной поддержки НИОКР и инжиниринга компонентов, оснастки и нестандартного оборудования для быстрой подготовки эффективного распределённого (сетевое) производства на имеющихся мощностях за счёт расширения занятости.

4) Россия проигрывает развитым странам по производительности логистики и срокам поставок. [6-7] По индексу производительности логистики РФ сравнимы с горными странами (Арменией, Азербайджаном). В России среднее расстояние доставки на экспорт по суше 3500 км, срок 5 дней. Как правило, в странах с высоким доходом на душу населения высокая производительность логистики. Применение методов ББП и идеи «ямской гоньбы» (силовых плеч) в автотранспорте позволит радикально оптимизировать структуру автопарков, повысить скорость доставки грузов до 1400 км в сутки, снизить себестоимость перевозок вплоть до уровня трубопроводного транспорта, дополнительно создавая цепочки барьеров для инфляций и криминала. Это - путь к немедленному старту трансконтинентальной, прежде

всего широтной эстафетной доставкой автотранспортом между странами ЮВА и Европы через Дальний Восток РФ. Эстафетная доставка грузов максимально эффективна при пандемии. Перемещение грузов ускоряется, водители границ регионов не пересекают, опасные контакты можно свести к нулю.

Автотранспорт при организации перевозок по системе двухсоткилометровых силовых плеч с использованием «эстафеты» съёмных кузовов способен многократно увеличить экспорт транспортных услуг. В короткий срок 1-3 года можно достичь перевозки 100 млн. тонн в одну сторону на трансконтинентальной дальности 10 тыс. км. по существующим дорогам, за 6-7 дней. [8] При затратах на 150 тыс. «эстафетных» тягачей около 1 трлн. руб. выручка за 2 трлн. ткм достигнет 5 трлн. руб., прибыли хватит для окупаемости в срок менее года. Масштаб одного проекта Каматейнер – 8 грузооборотов автотранспорта РФ, или примерно мощность РЖД. С точки зрения наличия клиентов – из стран ЮВА в Европу ежегодно перевозится около 1 млрд тонн грузов, 10% из которых срочные, их готовы везти, и дорого, контейнерами за 14-20 дней, но провозных мощностей у РЖД недостаточно, поэтому сегодня мимо территории РФ прокладываются несколько маршрутов «Шелкового пути». Потребность в европейских товарах в ЮВА растёт, если учесть, что по ВВП на душу населения Китай догнал РФ, а богатых китайцев больше, чем всех россиян.

Достижимый тариф на эстафетную доставку с применением ГМТ – 25 руб./км, в 2,5 раза дешевле ЖД. Ещё 3-4 руб. можно сэкономить при организации движения роботизированных колонн.

Съёмные кузова создают уникальные возможности. Предприятия российского машиностроения и других отраслей промышленности, сельского хозяйства и даже МСП могут «физически», а точнее, логистически, объединиться в сети при помощи скоростной (1400 км/сутки) и более дешёвой автодоставки «по расписанию». Дополнительный источник эффектов для отраслей – возможность при том же количестве надстроек иметь меньшее количество шасси и водителей, более производительнее их использовать, снижая постоянные издержки, чаще заменяя технику на более современную.

**5) Существующих дорог достаточно для организации масштабного экспорта транспортных услуг.** Но, если появится необходимость в модернизации или прокладке новых дорог, машиностроительные методы сборки и производственная система – в помощь. Применение ББП к дорожному строительству приводит к скоростному монтажу «постнапряжённых» дорог из бетонных плит с покрытием ЛЭМС, не нуждающихся в насыпях для несения нагрузки. Это позволяет строить или расширять (например, 2 полосы до 4-х) в 10 раз дешевле и в 100 раз быстрее традиционных суглинисто-асфальтовых дорог, быстро разрушаемых морозным пучением, паро-водяными линзами и шипами. Для круглогодичного содержания дорог мы предлагаем скоростную экономичную технологию, а отсутствие насыпей спасёт тысячи жизней.

**6) Регламент для автопоезда по максимальному весу предлагаем исключить и оставить только контроль нагрузки на ось (до 9 т), что позволит сократить затраты на перевозки не разрушая дорог.** Вариант – разные допустимые осевые нагрузки для дорог общего пользования и магистралей Европа – Китай.

7) Одно из важных направлений – газификация транспорта и быта, программа по замещению экспорта энергоресурсов на внутреннее потребление с большей экономической выгодой для РФ и населения. Когенерационные мини-ТЭС КАМАЗ на базе автомобильных газопоршневых двигателей и комбинированные 7-генераторы для домовладений позволят создать «зелёную» генерации энергии, а технология «умных сетей» - устойчивую к любым ЧС систему гарантированного энергоснабжения с полной утилизацией вредных выбросов. Об эффектах и трудностях развития газомоторного автотранспорта широко известно, мотокомпрессоры способны привести к быстрому прогрессу.

**8) Создание техники нового поколения может помочь уменьшить затраты на десятки млрд руб. в с/х, муниципальных предприятиях, МЧС...** Полученные таким образом средства за счет экономии ресурсов и снижения производственных затрат следует направить **в НИОКР по созданию техники нового поколения, техники для реализации национальных проектов**, удвоению производительности зернопроизводства и повышения качества зерна, снижения потерь в дорожно-коммунальном хозяйстве, и даже радикальных улучшений в сфере МЧС – уже сейчас разработана и производится техника для почти мгновенного тушения пожаров любого масштаба, включая промышленные, лесные и т.д. [9]

9) Для освоения всех этих новых технологий и создания новой техники нужны кадры, с новыми системными компетенциями в ББП, мехатронике, телематике, ИИ. [10-11] Успехи в цифровизации госуслуг позволяют воссоздать на новом уровне «обмен опытом» - с помощью, например, **Федеральной цифровой платформы для льготной коммерциализации лучших промышленных практик, бенчмаркинга достижений.**

#### Заключение

Суммарный эффект перечисленных мер – более 10 трлн. руб. ежегодно, что пропорционально 10% ВВП.

Концентрация мер господдержки на крупнейшей и самой эффективной отрасли российской промышленности - автопроме для последующего масштабирования и быстрого распространения инноваций на всю промышленность – самый быстрый и надежный путь модернизации. Организационные решения могут быть любыми.

#### Литература

1. Морозов Б.М., Сабитов Р.А., Смирнова Г.С. Шесть онтологических граней социально-экономических систем / XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Москва 16-19 июня 2014 г. Труды. М. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014, стр. 6227 – 6239, <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/prcdngs/6227.pdf>
2. Остервальдер А., Пинье И. Построение бизнес-моделей. - М.: Альпина Паблишер, 2012.–288 с.
3. Морозов Б.М. Роль науки и технологических укладов в проектировании и управлении будущим. / Материалы республиканской научно-практической конференции с международным участием «Наука, технологии и коммуникации в современном обществе» с. 185 Казанский (Приволжский) федеральный университет» филиал в г. Наб.Челны, 6 февраля 2013 г.
4. Морозов Б.М. Бизнес-модель инновационного машиностроения и эффекты ERP / 5-я международная конференция "Решения 1С для корпоративных клиентов", Доминиканская Республика, 8-16 июня 2013 г. [http://v8.1c.ru/konf0613/files/13/kr\\_stol\\_erp/14\\_20\\_morozov.pdf](http://v8.1c.ru/konf0613/files/13/kr_stol_erp/14_20_morozov.pdf)
5. Кива А.В. Сверхдержава, разорившая себя сама. // Международная жизнь. 1992.№1. С. 15-24.
6. Лукинский В.С., Семенов И. Оценка уровня логистических затрат в Российской Федерации. / Логистика и управление цепями поставок. 2012. № 6(53). С. 26-33.
7. Никоноров В.М. Тютюкин В.К. Долгосрочная количественная зависимость ВВП России от грузового автомобильного транспорта. / Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. №6-1(185), 2013.
8. Карсаев О.В., Кулемин В.Ю., Морозов Б.М. Планирование доставки сборных грузов. / Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 6(37).
9. Стружкин Н. И. Диссертация. Технологические и технические решения интенсификации уборки и послеуборочной обработки зерна как единого производственного процесса. 2006
10. Malivanov, N.N., Morozov B.M. ; Sabitov, R.A. ; Smirnova, G.S "Integrated system of technical specialists training within the machine-building industry educational cluster “KAMAZ - KNRTU-KAI” / 16-th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL) 25-27 September 2013 (SCOPUS), <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?reload=true&tp=&number=6644683&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6630248%2F6644519%2F06644683.pdf%3Farnumber%3D6644683>
11. Когогин С.А., Михеева С.А., Морозов Б.М., Ягудина Л.Р. Машиностроительный образовательный кластер как модель подготовки инженеров нового поколения. / Высшее образование сегодня №11, 2013, стр. 2-8

#### ОБЗОР МЕТОДОВ ДОБЫЧИ ДАННЫХ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ: СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ МАПИРОВАНИЕ

Зыонг К. Х. Т, Кравец А. Г.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Аннотация. Сегодня использование социальных сетей стремительно растет. Кроме того, информационный взрыв, данные из различных форм социальных сетей создали серьезные проблемы при работе с ними для исследования. В этой статье анализируются методы интеллектуального анализа данных, используемые социальными сетями, и выявлено 14 методов интеллектуального анализа данных социальных сетей для решения 7 различных исследовательских задач в 6 различных отраслях и услугах.

Ключевые слова: Интеллектуальный анализ данных, социальные сети, большие данные, систематическое мапирование.

A survey of data mining methods for social networks: a systematic mapping. Duong Q. H. T., Kravets A. G., Volgograd State Technical University.

Abstract . Today, the use of social media is growing rapidly. Besides the information explosion, data from various forms of social networks have created serious problems when working with them for research. This article analyzes the data mining methods used by social media and identifies 14 social media data mining methods to solve 7 different research problems across 6 different industries and services.

Keywords : Data Mining, Social Network, Big Data, Systematic Mapping.



## 1. Введение

Благодаря быстрому росту количества интеллектуальных мобильных устройств данные из социальных сетей позволяют проводить масштабные исследования. Кроме того, социальные сети также помогают нам проводить опросы в разные периоды времени без каких-либо ограничений по пространству и времени (в большинстве случаев) во времени. Данные из социальных сетей привели к взрывному росту сервисов анализа данных, а также анализа эмоций и поведения пользователей. Это дало возможность государственным и частным организациям из всех секторов продвигать, приносить пользу, анализировать, изучать и улучшать свою организацию на основе данных, представленных в социальных сетях. Таким образом, важность социальных сетей для академических кругов, а также для других областей очевидна из количества проведенных исследований.

Еще одна трудность в процессе интеллектуального анализа данных - неоднородность и сложность данных социальных сетей, поскольку природа данных социальных сетей неструктурирована с использованием различных типов данных, таких как текст, изображения и видео [1]. Кроме того, социальные сети постоянно предоставляют большой объем данных в реальном времени, что делает традиционные статистические методы непригодными для анализа этих огромных данных [2,3]. Можно сделать вывод, что методы интеллектуального анализа данных могут сыграть важную роль в решении этой проблемы.

В этой области было проведено очень мало опросов без достаточных оснований для использования методов интеллектуального анализа данных в социальных сетях [4,5]. В нескольких исследованиях обсуждались конкретные области методов интеллектуального анализа данных, используемых в социальных сетях, такие как методы статистического и семантического патентного анализа [6]. В [8] Шила Голе и др. обсуждают интеллектуальный анализ больших данных в социальных сетях и проблемы, связанные с такими функциями больших данных, как масса, скорость, разнообразие, достоверность и ценность. В [9,10,11] Кравест и др. Изучали результаты интеллектуального анализа данных социальных сетей для решения проблем с системами управления безопасностью дорожного движения, физическими системами промышленных сетей, управление ресурсами предприятия и др.

В обзоре, представленном в этой статье, обсуждаются исследования, опубликованные в период с 2015 по декабрь 2019 года. Цель этого исследования - изучить доступные статьи, связанные с: (I) методами интеллектуального анализа данных, используемыми для извлечения данных из социальных сетей, (II) областью исследования, в которой требуется извлечение данных из социальной сети, (III) важностью методов интеллектуального анализа данных социальной сети. Эта работа разделена на четыре разделов. В разделе 2 реализована методика. Раздел 3 описывает наши результаты. Наконец, в разделе 4 представлены наши выводы, рекомендации и будущие направления.

## 2. Методология

Вопросы исследования (ВИ), рассмотренные для систематического будущие направления, представленного в этой статье, показаны в таблице 1.

Таблица 1. Вопросы исследования для систематического картирования

	<b>Описание вопроса исследования</b>	<b>Цель вопроса исследования</b>
<b>ВИ1</b>	Какие методы интеллектуального анализа данных используются в социальной сети?	Определить методы интеллектуального анализа данных, используемые при интеллектуальном анализе данных социальных сетей.
<b>ВИ2</b>	В какой области исследований применялись методы интеллектуального анализа данных?	Определить области, в которых применялись методы интеллектуального анализа данных, и цели исследования между этими областями.
<b>ВИ3</b>	Важность методов интеллектуального анализа данных социальных сетей сегодня?	Важность интеллектуального анализа данных социальных сетей для улучшения услуг социального обеспечения.

Вывод поисковой строки проводился в три этапа:

- Основные термины были выведены из вопросов исследования.
- Мы определили новые термины, которые заменяют основные термины: такие как жаргон, альтернативные варианты написания и синонимы.
- Мы использовали логические операторы поиска (И и ИЛИ), чтобы ограничить результаты поиска в дополнение к «» для определенных фраз.

“Data mining” И “social network” И (“C4.5” ИЛИ “J48” ИЛИ “K- Means” ИЛИ “SVM” ИЛИ “support vector machines” ИЛИ “Apriori” ИЛИ “EM” ИЛИ “expectation maximization” ИЛИ “Page Rank” ИЛИ “Ada Boost” ИЛИ “KNN” ИЛИ “k-NN” ИЛИ “knearest neighbors” ИЛИ “Naive Bayes” ИЛИ “CART” ИЛИ “fuzzy”)

Рисунок 1 – Строка поиска

В поисковые запросы включен технический набор данных для майнинга, указанный в [11,12]. Стратегия выбора репозитория заключалась в рассмотрении наиболее часто используемых для этого исследования при картировании и систематических обзорах, как можно увидеть в [7]. После выполнения этих процедур была выполнена поисковая строка для выбора статей, которые будут использоваться в процессах фильтрации. Они подробно описаны в следующих разделах.

Процесс фильтрации из 1178 статей проводился по следующим шагам. Шаги выбора и фильтрации описаны ниже:

Шаг 1: Удалить повторяющиеся статьи разных авторов и или библиотек.

Шаг 2: Применить критерии включения и исключения к записям, чтобы избежать нерелевантных записей.

Шаг 3: Применить правила оценки качества, чтобы включить соответствующие статьи, дающие наилучшие ответы на вопросы исследования.

Шаг 4: Найти дополнительные связанные статьи в ссылках на статьи, полученные на шаге 3, и повторите шаг 3 для дополнительных статей.

Критерии включения и исключения, применяемые в статье, определены ниже:

*Критерий* включения:

- Использование методов интеллектуального анализа данных в социальных сетях.
- Сравнительные исследования методов интеллектуального анализа данных.
- Сравнительные исследования методов интеллектуального анализа данных и методов, не связанных с интеллектуальным анализом данных.

• Рассмотрим последнее издание статьи того же исследования (если доступны разные версии).

• Учитываются только статьи, опубликованные с января 2015 года по декабрь 2019 года.

*Критерий* исключения:

- Исключить публикации, содержащие интеллектуальный анализ данных, не относящиеся к социальным сетям.
- Исключите статьи, не относящиеся к журналам и конференциям.

Наконец, после применения всех шагов фильтрации, 98 статей были отображены и рассмотрены как ресурсы для этого обзора.

### 3. Результаты и обсуждение

В этом разделе обсуждаются результаты этой оценки.

Всего отобрано 98 статей, в которых реализованы методы интеллектуального анализа данных, используемые в социальных сетях. Избранные статьи берутся только из журнала с января 2015 года по декабрь 2019 года. В таблице 2 показано количество статей и процентное соотношение, сгруппированные по заголовкам публиковать. В обзоре рассматриваются следующие типы отчетов: экспериментальные, исследовательские модели и обзоры.

Таблица 2 – Процент статей в журнале

Место публикации	Тип	Част.	%	Место публикации	Тип	Част.	%
Журнал чистого производства	Жур.	12	12.2	Информационные науки	Жур.	7	7.2
Процедуры информатики	Жур.	68	69.4	Технологическое прогнозирование и социальные изменения	Жур.	11	11.2
	<b>Общая сумма</b>	<b>98</b>	<b>100</b>				

Табл.3 позволяет классифицировать выбранные статьи по трем категориям.

Таблица 3 – Распределение выбранных статей по типам

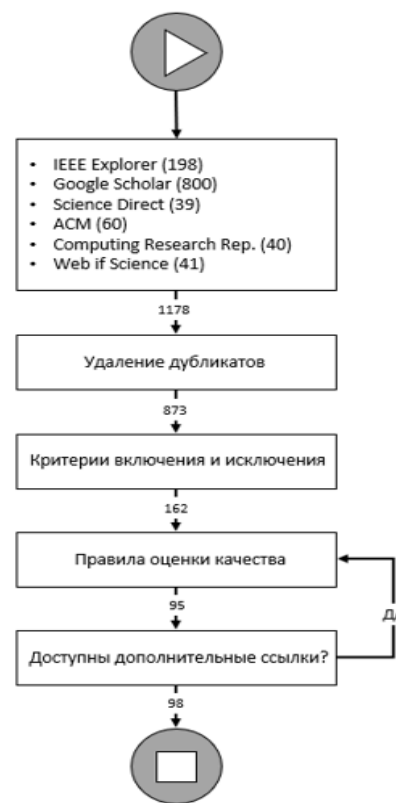


Рис.2 Процесс поиска и выбора

Тип статьи	Част.
Пример использования	4
Эксперимент	88
Опрос	6
<b>Общая сумма</b>	<b>98</b>

### 3.1 Виды методов добычи данных (ВИ1)

Определены 14 методов интеллектуального анализа данных, которые применялись исследователями в области социальных сетей. Список методов перечислены ниже:

- Artificial Neural Network (ANN)
  - Support Vector Machine (SVM)
- Apriori
  - Linear Discriminant Analysis (LDA)
- Bayesian Networks (BN)
- Decision Trees (DT)
- Density Based Algorithm (DBA)
- Fuzzy
- Hierarchical Clustering (HC)
- K-Means
- k-nearest Neighbors (k-NN)
- Logistic Regression (LR)
- Maximum Entropy (ME)
- Novel

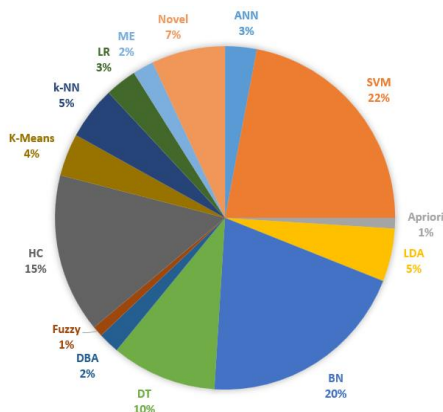


Рисунок 3 – Процесс поиска и выбора

На рис. 3 показано, что SVM, BN и HC являются наиболее применяемыми методами в социальных сетях с 57% выбранных статей. Новые методики с процентом 7% не считались одними из самых высоких; потому что каждая статья посвящена своей новой технике.

### 3.2 Методы добычи данных исследовательские области (ВИ2)

Из выбранных статей выделили шесть общих доменов, в которых применяются разные методы, чтобы использовать массивный поток данных, собранных из социальных сетей. Список этих доменов следующий:

- Бизнес и менеджмент (БМ)
- Образование (ОБР)
- Финансы (ФИН)
- Правительство и общественность (ПО)
- Медицина и здоровье (МЗ)
- Социальные сети (СС)

### 3.3 Важность методов добычи данных (ВИ3)

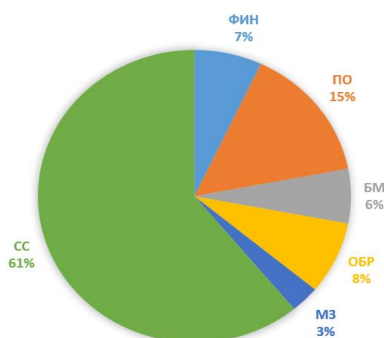


Рисунок 4 – Домены среди статей

На рис. 4 показано, что социальные сети, бизнес и менеджмент являются наиболее активными областями, используемыми методами интеллектуального анализа данных, с показателем 67% среди всех областей. Домен правительство и общественности составляет 15%, представляющей третий активный домен. Можно увидеть большое количество исследований, посвященных интеллектуальному анализу социальных данных, которые также важны для их сбора и анализа в социальной сфере, а также в других областях. Таблица 4 содержит подробную информацию всех доменов.

Таблица 4 – Частоты доменов среди статей

Домен	Частота	Процентное соотношение
Социальные сети (СС)	60	61
Бизнес и менеджмент (БМ)	6	6
Образование (ОБР)	8	8
Финансы (ФИН)	7	7
Правительство и общественность (ПО)	14	15
Медицина и здоровье (МЗ)	3	3
<b>Общая сумма</b>	<b>98</b>	<b>100</b>

#### 4. Выводы, рекомендации и будущая работа

Это исследование ограничено статьями из журналов и социальных сетей в технической области интеллектуального анализа данных в социальных сетях. Применяя нашу стратегию фильтрации поиска, мы получили большое количество статей, 98 статей были отобраны, чтобы ответить на три ВИ этого обзора. Можно сделать следующие выводы:

- Наиболее часто используемые методы интеллектуального анализа данных в статьях о анализе данных социальных сетей- это SVM, BN и HC.
- Анализ данных социальных сетей, а также бизнес и управление были наиболее активными областями, в которых требовался анализ данных социальных сетей.
- Методы интеллектуального анализа данных имеют много различных сильных и слабых сторон, поэтому выбор определенных методов зависит от типа требуемых информационных данных.

Немедленная рекомендация заключается в том, что сектор социальных сетей по-прежнему требует более глубоких исследований, которые учитывают точное внедрение интеллектуального анализа данных в образовании, промышленности, медицине и регулировании, городском планировании и т. д... Так что должны быть такие исследования, которые как ожидается предоставят более общий обзор и знания методов интеллектуального анализа данных.

#### Литература

1. A.L. Kavanaugh, E. a. Fox, S.D. Sheetz, S. Yang, L.T. Li, D.J. Shoemaker, et al., Social media use by government: From the routine to the critical, Gov. Inf. Q. 29 (2012) 480–491. doi:10.1016/j.giq.2012.06.002.
2. H. Chen, R.H.L. Chiang, V.C. Storey, Business Intelligence and Analytics: From Big Data To Big Impact, Mis Q. 36 (2012) 1165– 1188.
3. Milchuk Y., Kravets A.G., Salnikova N., Shinkaruk V. (2019) Mass Media as a Data Source on Social Preferences Analysis. In: Kravets A., Groumpos P., Shcherbakov M., Kultsova M. (eds) Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1084. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29750-3\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29750-3_23)
4. [4] M. Zuber, A Survey of Data Mining Techniques for Social Network Analysis, Int. J. Res. Comput. Eng. Electron. 3 (2014) 1–8.
5. S. Yu, S. Kak, A survey of prediction using social media, arXiv Prepr. arXiv1203.1647. (2012) 1–20. <http://arxiv.org/abs/1203.1647>.

6. Korobkin D., Fomenkov S., Kravets A., Kolesnikov S. (2017) Methods of Statistical and Semantic Patent Analysis. In: Kravets A., Shcherbakov M., Kultsova M., Groumpos P. (eds) Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2017. Communications in Computer and Information Science, vol 754. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-65551-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65551-2_4).
7. H. Zhang, M.A. Babar, P. Tell, Identifying relevant studies in software engineering, *Inf. Softw. Technol.* 53, 2011, 625–637, doi:10.1016/j.infsof.2010.12.010.
8. S. Gole, B. Tidke, A survey of Big Data in social media using data mining techniques, in: 2015 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. (ICACCS -2015), 2015: pp. 1–5. doi:10.1109/ICACCS.2015.7324059.
9. Kizim A.V., Kravets A.G. (2020) On Systemological Approach to Intelligent Decision-Making Support in Industrial Cyber-Physical Systems. In: Kravets A., Bolshakov A., Shcherbakov M. (eds) Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges. Studies in Systems, Decision and Control, vol 260. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32648-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32648-7_14)
10. A. G. Kravets, D. A. Skorobogatchenko, N. A. Salnikova, N. Y. Orudjev and O. V. Poplavskaya, "The traffic safety management system in urban conditions based on the C4.5 algorithm," 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), Moscow, 2018, pp. 1-7, doi: 10.1109/MWENT.2018.8337254.
11. Kravets A.G., Morozov A.O., Zadiran K.S., Al-Merri G., Trishkina E. (2019) Tourism Cluster Enterprises Departments' Resource Management Based on Mobile Technologies. In: Kravets A., Groumpos P., Shcherbakov M., Kultsova M. (eds) Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1083. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29743-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29743-5_17)
12. X. Wu, V. Kumar, J. Ross Quinlan, J. Ghosh, Q. Yang, H. Motoda, et al., Top 10 algorithms in data mining, *Knowl. Inf. Syst.* 14 (2008) 1–37. doi:10.1007/s10115-007-0114-2.

## ГЛАВА 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ, ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

### РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПО XY-X СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ПЛОТНОСТЕЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЭЛЛИПСОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В.  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
+7 (904) 523-20-45, [vmemelianov@yandex.ru](mailto:vmemelianov@yandex.ru)

Приведены результаты составления и решения системы многомерных дифференциальных корреляционных уравнений эллипсов распределения при идентификации наночастиц коллоидного серебра с многомерными корреляционными составляющими рамановских поляризационных спектров. Предложен метод повышения точности и быстродействия выявления биологически активных к онкологическим клеткам наночастиц металлического серебра с учетом продольной и поперечной поляризации лазерного излучения по всему диапазону спектра с анализом последовательно и по порядку одновременно 2 пиков по X-поперек и по Y-вдоль поляризации. В решении системы нелинейных квадратических дифференциальных по XY-X уравнений выявляется неопределенность, устранение которой возможно численной добавкой  $\Delta = -0.179354046802054835$ . Точность решения составляет  $(2.498 \cdot 10^{-16} \div 2.385 \cdot 10^{-17})$  с определением вероятностей пересечения эллипсов распределения  $p0 = 0.00082199604570957$  и  $p1 = 0.00082199604570951$  при их достаточной точности  $6 \cdot 10^{-17}$ .

Ключевые слова: многомерные дифференциальные по XY-X уравнения, биологически активные наночастицы серебра к онкологическим клеткам, многомерные поляризационные и корреляционные характеристики рамановских спектров, плотности вероятностей эллипсов распределения, достоверность и точность выявления наночастиц.

Solution of the XY-X differential system of density equations for the probabilities of the distribution ellipses in detecting silver nanoparticles. Emelyanov V. M., Dobrovolskaya T. A., Emelyanov V. V. Southwest State University.

The results of the compilation and solution of a system of multidimensional differential correlation equations of distribution ellipses for the identification of colloidal silver nanoparticles with multidimensional correlation components of Raman polarization spectra are presented. A method has been proposed to improve the accuracy and speed of detecting metal silver nanoparticles biologically active to oncological cells, taking into account the longitudinal and transverse polarization of laser radiation over the entire spectrum range with the analysis of two peaks in sequence and in order simultaneously along X-across and along Y-along polarization. In solving the system of nonlinear quadratic differential equations in XY-X, an uncertainty is revealed, the elimination of which is possible by a numerical addition  $\Delta = -0.179354046802054835$ . The solution accuracy is  $(2.498 \cdot 10^{-16} \div 2.385 \cdot 10^{-17})$  with the determination of the probabilities of intersection of the distribution ellipses  $p0 = 0.00082199604570957$  and  $p1 = 0.00082199604570951$  with their sufficient accuracy  $6 \cdot 10^{-17}$ .

Keywords: multidimensional differential in XY-X equations, biologically active silver nanoparticles to oncological cells, multidimensional polarization and correlation characteristics of Raman spectra, probability densities of distribution ellipses, reliability and accuracy of nanoparticle detection.

#### Введение

Для обеспечения пикомолярной чувствительности  $10^{-12}$  [1-7] методов обработки данных биологических измерений, например, онкологических клеток, необходимо решить многомерную систему нелинейных уравнений с точностью минимум до  $10^{-14}$  -  $10^{-16}$ . При оценке точности решения таких уравнений дифференцирования по XY-X с определением эквивалентных радиусов кривизны  $R0$  и  $R1$  [8] выявляют достаточные значения точности от  $10^{-16}$  до  $10^{-18}$  [9]. Однако при выявлении достоверности гауссовского распределения данных [10]  $p0 = k0 \cdot \exp(-1/2 \cdot R0^2)$  и  $p1 = k1 \cdot \exp(-1/2 \cdot R1^2)$  получают точность  $7.742 \cdot 10^{-5}$  при  $p0 = 0.00044452559100527$  и  $p1 = 0.00181980034558657$ . Отсюда необходимо решать систему уравнений непосредственно по  $p0$  и  $p1$  в исходном состоянии. Только тогда решение многомерных векторно - матричных корреляционных уравнений повышает достоверность идентификации до  $10^{-16}$  [9- 10]. При решении по методу Emelyan (с модификацией метода Якобиана для таких уравнений) [11] точность получают чуть меньше, но решение осуществляется автоматически без ручного подбора добавки  $\Delta$ . В особых случаях для тестирования программ решения дифференциальных по XY нелинейных уравнений есть необходимость заниматься повышением точности и в дальнейшем с использованием подбора добавки  $\Delta$ .

Постановка проблемы

Исследованы эксперименты по решению квадратических дифференциальных корреляционных уравнений случайных значений распределения пиков спектров рамановского комбинационного излучения, также выявлены корреляционные матрицы и параметры распределений с учетом поляризации излучения по X - поперек и по Y - вдоль исходного начального направления при одном измерении.

Решение системы дифференциальных многомерных уравнений дало неопределенность, заключающаяся в том, что при компьютерной по специально разработанной программе проверке пересечения эллипсов распределения без наночастиц и с наночастицами появлялись две точки пересечения. В этом случае плотности вероятностей эллипсов пересечения значительно отличались от найденных при решении нелинейных квадратических уравнений. Отличие этих вероятностей была существенной, а точность имела 25743%. Это значение для идентификации наночастиц серебра не является допустимой даже для предварительных результатов.

При составлении в данной работе системы дифференциальных корреляционных уравнений используется  $p$ -плотности вероятностей пересечения эллипсов распределения в векторно-матричных аналитических выражениях по значениям координат точек пересечения. Здесь оценивается система векторно-матричных аналитических уравнений только двух параметров:  $p = f(X^T \cdot \Sigma^{-1} \cdot X)$  для  $p0$  и  $p1$ [9].

Уравнения получают при дифференцировании выражения  $f(x,y)$  по X, а выражение  $g(x,y)$  при дифференцировании одновременно по X и по Y. При этом производится подборка вручную добавки  $\Delta$ .

Составленная система уравнений дает точность:  $f(v_0, v_1) = -2.498 \cdot 10^{-16}$  и  $g(v_0, v_1) = 2.385 \cdot 10^{-17}$  (2). Отличие  $p0$  и  $p1$  в точности достигает  $6 \cdot 10^{-17}$ . Такую точность координат пересечения эллипсов распределения  $p$  получают только подбором добавки  $\Delta$ .

$$\Sigma_0 := \begin{pmatrix} 1 & r_{XY0_{i,j}} \\ r_{XY0_{i,j}} & 1 \end{pmatrix} \quad \Sigma_1 := \begin{pmatrix} 1 & r_{XY1_{i,j}} \\ r_{XY1_{i,j}} & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$X_0 := \begin{pmatrix} \frac{x - \text{MENX}_0_i}{\sigma \Delta X_0_i} \\ \frac{y - \text{MENY}_0_j}{\sigma \Delta Y_0_j} \end{pmatrix} \quad X := \begin{pmatrix} \frac{x - \text{MENX}_i}{\sigma \Delta X_i} \\ \frac{y - \text{MENY}_j}{\sigma \Delta Y_j} \end{pmatrix}$$

$$\Delta := -0.17935404680205483$$

$$f(x,y) := \frac{d}{dx} \left[ \ln \left[ \frac{(|\Sigma_1|)^{-0.5}}{(2 \cdot \pi)} \right] + \frac{-1}{2} \cdot (X^T \cdot \Sigma_1^{-1} \cdot X) \right] - \left[ \ln \left[ \frac{(|\Sigma_0|)^{-0.5}}{(2 \cdot \pi)} \right] + \frac{-1}{2} \cdot (X_0^T \cdot \Sigma_0^{-1} \cdot X_0) \right] - \Delta$$

$x := 390.0$        $x := 400.0$

Given

$$g(x,y) := \left[ \frac{d}{dx} \left[ \ln \left[ \frac{(|\Sigma_1|)^{-0.5}}{(2 \cdot \pi)} \right] + \frac{-1}{2} \cdot (X^T \cdot \Sigma_1^{-1} \cdot X) \right] \quad \frac{d}{dy} \left[ \ln \left[ \frac{(|\Sigma_1|)^{-0.5}}{(2 \cdot \pi)} \right] + \frac{-1}{2} \cdot (X^T \cdot \Sigma_1^{-1} \cdot X) \right] \right] \\ \left[ \frac{d}{dx} \left[ \ln \left[ \frac{(|\Sigma_0|)^{-0.5}}{(2 \cdot \pi)} \right] + \frac{-1}{2} \cdot (X_0^T \cdot \Sigma_0^{-1} \cdot X_0) \right] \quad \frac{d}{dy} \left[ \ln \left[ \frac{(|\Sigma_0|)^{-0.5}}{(2 \cdot \pi)} \right] + \frac{-1}{2} \cdot (X_0^T \cdot \Sigma_0^{-1} \cdot X_0) \right] \right]$$

$$f(x,y) = 0$$

$$g(x,y) = 0$$

$$v_2 := \text{Find}(x,y) \quad v_2 = \begin{pmatrix} 398.439542 \\ 371.170082 \end{pmatrix}$$

$$f(v_2_0, v_2_1) = 2.498001805406602 \times 10^{-16} \quad g(v_2_0, v_2_1) = 2.3852447794681098 \times 10^{-17}$$

Получаемые плотности вероятностей для точки пересечения эллипсов распределения интенсивностей переизлучения рамановских спектров приведены в выражениях (3-4):

$$p1 := \frac{1}{(2 \cdot \pi) \cdot [(|\Sigma 1|)^{0.5}]} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left[ \left( \frac{v20-MENX_i}{\sigma \Delta X_i} \quad \frac{v21-MENY_j}{\sigma \Delta Y_j} \right) \cdot (\Sigma 1)^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \frac{v20-MENX_i}{\sigma \Delta X_i} \\ \frac{v21-MENY_j}{\sigma \Delta Y_j} \end{pmatrix} \right]} \quad (3)$$

$$p0 := \frac{1}{(2 \cdot \pi) \cdot [(|\Sigma 0|)^{0.5}]} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left[ \left( \frac{v20-MENX0_i}{\sigma \Delta X0_i} \quad \frac{v21-MENY0_j}{\sigma \Delta Y0_j} \right) \cdot (\Sigma 0)^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \frac{v20-MENX0_i}{\sigma \Delta X0_i} \\ \frac{v21-MENY0_j}{\sigma \Delta Y0_j} \end{pmatrix} \right]} \quad (4)$$

$$p0=0.00082199604570957 \quad p1= 0.00082199604570951$$

При поправке  $\Delta=0.0000$ , не  $\Delta=-0.179354046802054835$ , плотности вероятностей пересечения составят:  $p0=0.00004038912315146$  и  $p1=0.00000015689378237$  с разницей 25743%.

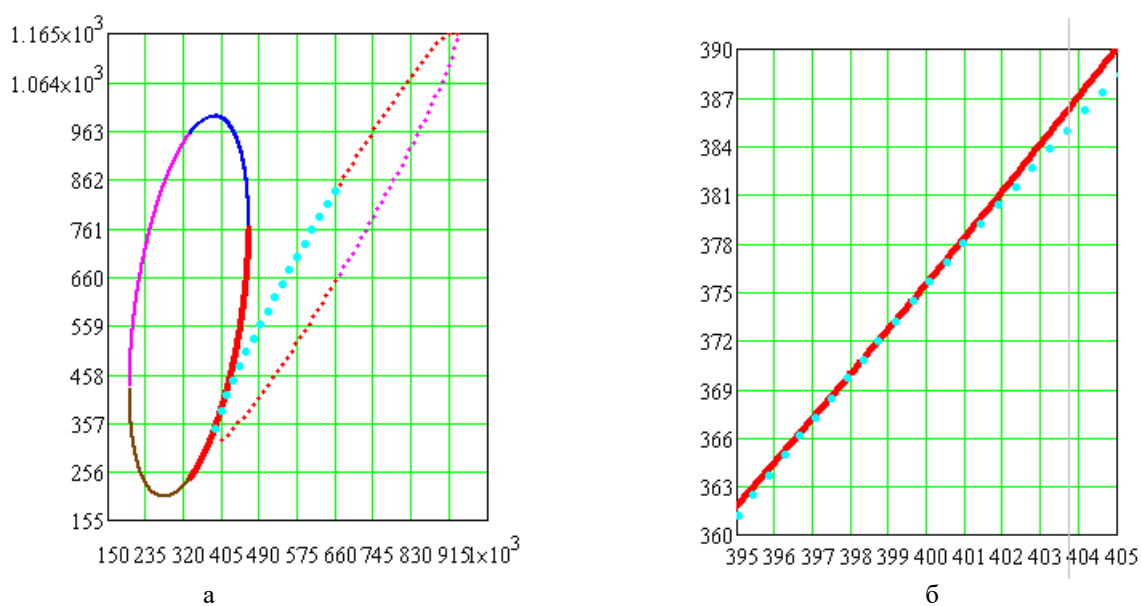


Рисунок 1 –Графическое моделирование пересечения эллипсов распределения рамановских спектров при идентификации наночастиц серебра с X и Y поляризацией при  $\Delta=-0.179354046802054835$ :

а – общий вид пересечения эллипсов распределения;

б - фрагмент точки пересечения в увеличении: X=398.439542; Y=371.170082



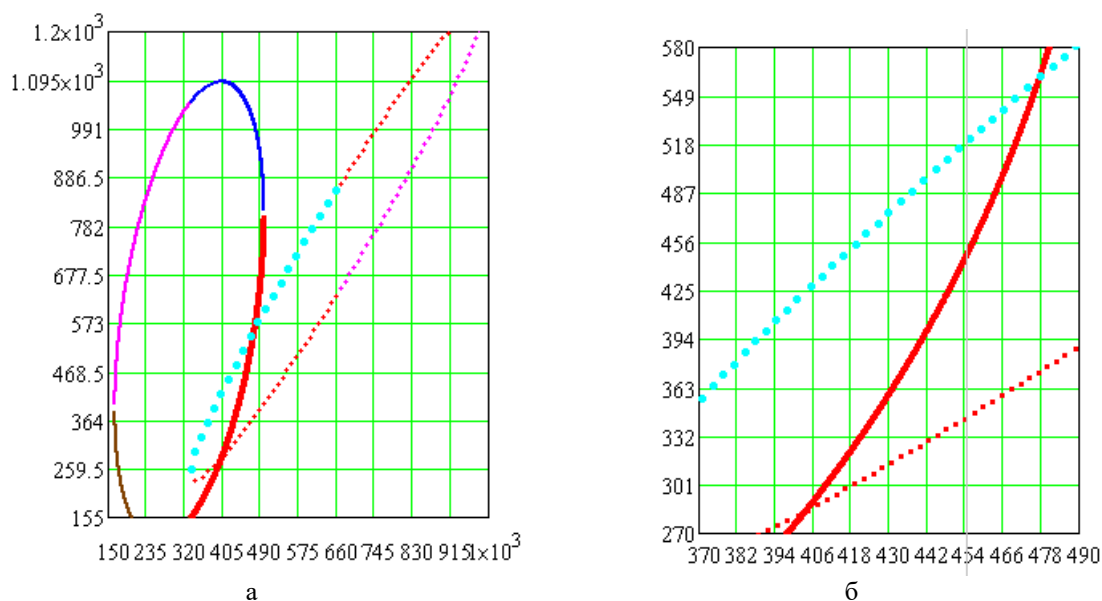


Рисунок 2 – Оценка пересечения эллипсов распределения рамановских спектров наночастиц серебра при  $\Delta=0.000$ :

а – пересечение эллипсов в двух точках (общий вид);

б - увеличенный фрагмент двух точек пересечения: 1 точка –  $X_1=403.12$ ,  $Y_1=232.08$ ; 2 точка –  $X_2=478.27$ ;  $Y_2=561.8$ .

#### Заключение

Решением дифференциальных уравнений (1-2) без добавки  $\Delta$  получена неопределенность в результатах, т.к. возникает пересечение эллипсов в двух точках (рисунок 2) из-за значительного увеличения радиусов эллипсов при пересечении распределений рамановских спектров основы без наночастиц и с наночастицами серебра.

Поэтому введена добавка  $\Delta=-0.179354046802054835$ . Тогда эллипсы пересекаются в одной точке (рисунок 1) и неопределенность исчезает. Значение добавки подбирается вручную только для одного конкретного решения системы уравнений для определенных параметров. Для других параметров значение подобранной добавки не подходит. Это затрудняет получение результатов с высокой точностью и с высоким быстродействием. Для 25743% точности решение нельзя проводить без добавки ( $\Delta=0.000$ ) при любых параметрах системы дифференциальных уравнений и даже нельзя использовать для предварительных результатов. Необходимо использовать метод Emelyan [11].

Для практического применения необходимо использовать метод Emelyan [11], разработанный в 2020 г. Точность результатов зависит от необходимой разрешающей способности (чувствительности) предложенного метода идентификации наночастиц серебра. Для оценки разных концентраций наночастиц серебра необходимо обеспечить различную разрешающую способность: так для (1-2)% концентрации наночастиц серебра необходимо проводить обработку результатов с точностью  $10^{-17}$ , а точность получения значения каждого параметра должна быть  $(1-2) \cdot 10^{-16}$ .

В данном исследовании получена точность решения по уравнению  $f(v_0, v_1)=-2.498 \cdot 10^{-16}$  и по уравнению  $g(v_0, v_1)=2.385 \cdot 10^{-17}$ . В этом случае точность параметров  $p_0$  и  $p_1$  составляет  $6 \cdot 10^{-17}$ . Точность вычисления неопределенности в пересечении эллипсов дает 25743% для уравнений без добавки  $\Delta$ , а в зависимости от точности добавки  $\Delta$  зависит и точность вычисления координат для решения уравнений с добавкой  $\Delta$  (в данном случае решение имеет достаточную точность).

В дальнейших исследованиях необходимо, чтобы решение системы дифференциальных уравнений при дифференцировании было одновременно по  $X$  и  $Y$  и следует объединить эти методы при раздельном дифференцировании как по  $X$ , так и по  $Y$ , а также провести дифференцирование одновременно для исключения применения добавки  $\Delta$ .

#### Литература

1. T. Joshua Moore, Amber S. Moody, Taylor D. Payne, Grace M. Sarabia, Alyssa R. Daniel and Bhavya Sharma. In Vitro and In Vivo SERS Biosensing for Disease Diagnosis/ Biosensors 2018, 8, 46. - 11 May 2018. DOI 10.3390/bios 8020046.

2. Katsuhiko Ariga, David Tai Leong, and Taizo Mori. Nanoarchitectonics for Hybrid and Related Materials for Bio-Oriented Applications/ Advanced Functional Materials. - September 2017. DOI 10.1002/201702905. surface-enhanced Raman spectroscopy of silver nanoparticles.
3. Aida Hernández-Arteaga, José de Jesús Zermeño Nava, Eleazar Samuel Kolosovas-Machuca, J. Jesús Velázquez-Salazar, Ekaterina Vinogradova, Miguel José-Yacamán, Hugo Ricardo Navarro- Contreras. Diagnosis of breast cancer by analysis of sialic acid concentrations in human saliva by surface-enhanced Raman spectroscopy of silver nanoparticles/ Nano Research.-November 2017, Volume 10, Issue 11, pp 3662–3670.
4. Q. Tang, J. Liu, L. K. Shrestha, K. Ariga, Q. Ji, ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 18922.
5. E. A. Prasetyanto, A. Bertucci, D. Septiadi, R. Corradini, P. Castro-Hartmann, L. De Cola, Angew. Chem. Int. Ed. 2016, 55, 3323.
6. A. H. Khan, S. Ghosh, B. Pradhan, A. Dalui, L. K. Shrestha, S. Acharya, K. Ariga, Bull. Chem. Soc. Jpn. 2017, 90, 627.
7. W. Tao, X. Zhu, X. Yu, X. Zeng, Q. Xiao, X. Zhang, X. Ji, X. Wang, J. Shi, H. Zhang, L. Mei, Adv. Mater. 2017, 29, 1603276.
8. В.М. Емельянов, Т.А. Добровольская, В.В. Емельянов. Система уравнений с дифференцированием по XY-X радиусов кривизны эллипсов распределения при идентификации наночастиц серебра // Труды XIII международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» (ИНФО-2019), 1-10 октября 2019, Сочи. С. 387-391.
9. Emelyanov Viktor Mikhailovich, Dobrovolskaya Tatiana Alexandrovna, Emelyanov Viktor Viktorovich. Multidimensional system of equations with XY-Y differentiation of probability densities p0-p1 for identification of gold nanoparticles//Biointerface Res. Appl. Chem., Volume 8, Issue 6, 2018 (December 15th, 2018).
10. Matthew T. Moores, Jake Carsony, Kirsten Gracie, Karen Faulds, Duncan Graham, Mark Girolami. Bayesian Modelling and Quantification of Raman Spectroscopy// arXiv:1604.07299v2 [stat.AP] 24 Jan 2018.
11. Т.А. Добровольская, В.М. Емельянов, В.В. Емельянов. Improving the accuracy of the solution of a multidimensional system by differentiating the XY probability density equations for the identification of gold nanoparticles on fibers// 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). Proceedings. – Moscow: National Research University "Higher School of Economics". Russia, Moscow, March 11-13, 2020. 978-1-7281-2572-5/20/\$31.00 ©2020 IEEE, g45.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАЛОГОВЫХ ПОСТУПЛЕНИЙ

Осипов А.Л., Трушина В.П  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭКОНОМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ  
+7 (905) 932-37-21, [alosip@mail.ru](mailto:alosip@mail.ru)

В статье анализируется влияние различных макроэкономических показателей на планирование налоговых поступлений в РФ. Разработаны нелинейные модели, которые исследованы с помощью эконометрических методов на выборке поступления налогов в РФ в период с 2009 по 2018 годов. Разработаны информационные технологии, инструментальные средства и многофакторные модели по предсказанию налоговых поступлений. Проведены вычислительные эксперименты, показывающие высокую эффективность предложенных зависимостей с использованием информационных технологий.

Ключевые слова: регрессионный анализ; факторный анализ; предсказание, инструментальные средства, факторы, корреляционная зависимость, математические модели.

INFORMATION TECHNOLOGIES IN TAX REVENUE FORECASTING. Osipov A. L., Trushina V. P. NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND MANAGEMENT.

The article analyzes the impact of various macroeconomic indicators on tax revenue planning in the Russian Federation. Nonlinear models have been developed, which were studied using econometric methods on a sample of tax receipts in the Russian Federation in the period from 2009 to 2018. Information technologies, tools and multi-factor models for predicting tax revenues have been developed. computational experiments have been Conducted to demonstrate the high efficiency of the proposed dependencies using information technologies.

Keywords: regression analysis; factor analysis; prediction, tools, factors, correlation, mathematical models.

### Введение

В период широкого развития и распространения информационно-коммуникационных технологий огромное значение представляют информационные системы передачи, хранения и обработки экспериментальных данных в социально-экономической деятельности.

Актуальной задачей в мировой практике представляет собой проблема собирания налогов и тщательного их анализа с целью выработки эффективных механизмов их прогнозирования.

Выявление взаимосвязи между всевозможными налоговыми поступлениями и макроэкономическими показателями, влияющими на их собираемость, разумно применять регрессионные методики и в сочетании с ними нелинейные зависимости типа Кобба-Дугласа.

Механизмы влияния макроэкономических показателей на сбор налогов позволяют более качественно и надежно контролировать этот процесс. При изучении зависимостей между макроэкономическими параметрами и налоговыми поступлениями требуется применять многофакторные нелинейные математические модели в сочетании с информационными системами с базами данных и инструментальными средствами предсказания налоговых поступлений. Нелинейные модели типа Кобба-Дугласа достаточно хорошо зарекомендовали себя при прогнозировании количества пожаров, а также при предсказании доходов гостиниц и ресторанов [1].

Выявление влияния зависимости макроэкономических факторов на целевой фактор дает возможность разрешить проблему научного исследования возможность предвидеть, а также прогнозировать состояние процесса при изменении макроэкономических факторов.

В качестве научных исследований используются методы: корреляционного, регрессионного и факторного анализов, теории принятия решений; программирования; моделирования и прогнозирования. В качестве моделей рассматривались различные варианты производственных функций, которые позволяют описывать и прогнозировать экономику страны с более надежными статистическими параметрами [2-4].

#### Постановка проблемы

Далее исследовались следующие многофакторные модели вида  $Y_t = AX_1^\alpha X_2^\beta X_3^\gamma X_4^\tau e^{\lambda t}$ , где  $Y_t$  - вид налога в  $t$ -ом году,  $X_1, X_2, X_3, X_4$  - макроэкономические факторы, влияющие на налог в  $t$ -ом году,  $\lambda$  - коэффициент, характеризующий экспоненциальный временной тренд. Для расчета налоговых поступлений разработана база данных и компьютерное приложение на языке программирования Python для расчета налоговых поступлений.

Для переключения между налогами и функциональными блоками реализовано следующее меню, представленное на рисунке 1.

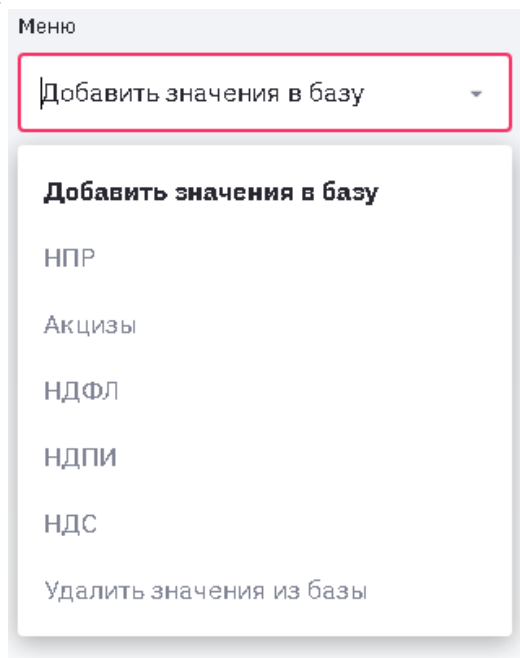


Рисунок 1 –Выбор налога

Основная страница прогнозирования налоговых поступлений выглядит следующим образом, представленном на рисунке 2.



Рисунок 2 –Форма прогнозирования

На рисунке 3 представлен результат прогнозирования показателя налога на добавленную стоимость по значимым макроэкономическим показателям, которые рассчитываются на основе корреляционного анализа.

Разработанное приложение дает возможность анализировать данные, которые хранятся в базе данных, проводить корреляционный анализ и на его основе быстро строить модели степенной регрессии, с учетом различных вариаций факторов, для прогнозирования налоговых поступлений в Федеральный бюджет.

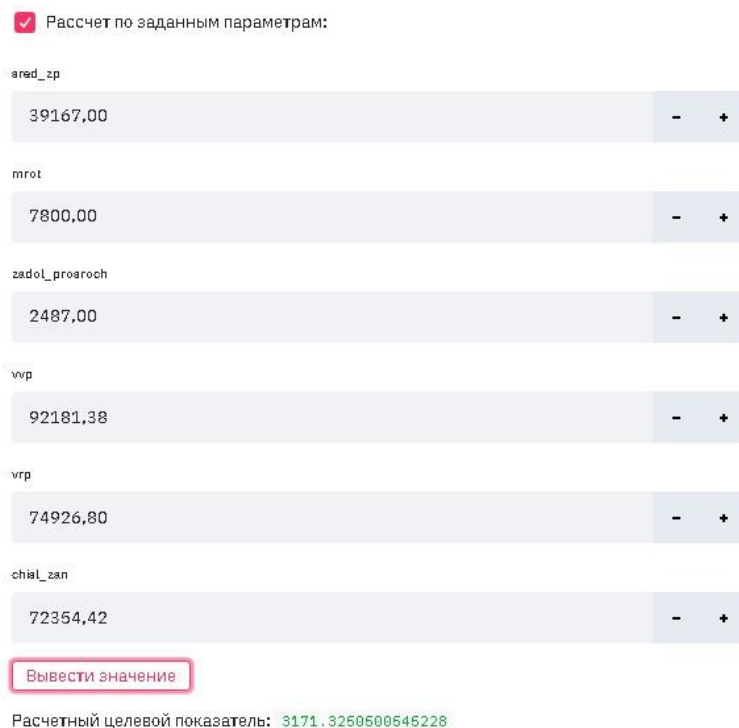


Рисунок 3 –Результат прогнозирования

Расчетный целевой показатель равен 3171 млрд рублей. Фактически поступления составили 3251 млрд рублей. Относительная ошибка составила 2,46%.

Система позволяет строить графические зависимости между истинными показателями налога и их прогнозируемыми значениями. На рисунке 4 представлен график налога на добавленную стоимость и его прогнозируемым поступлением.

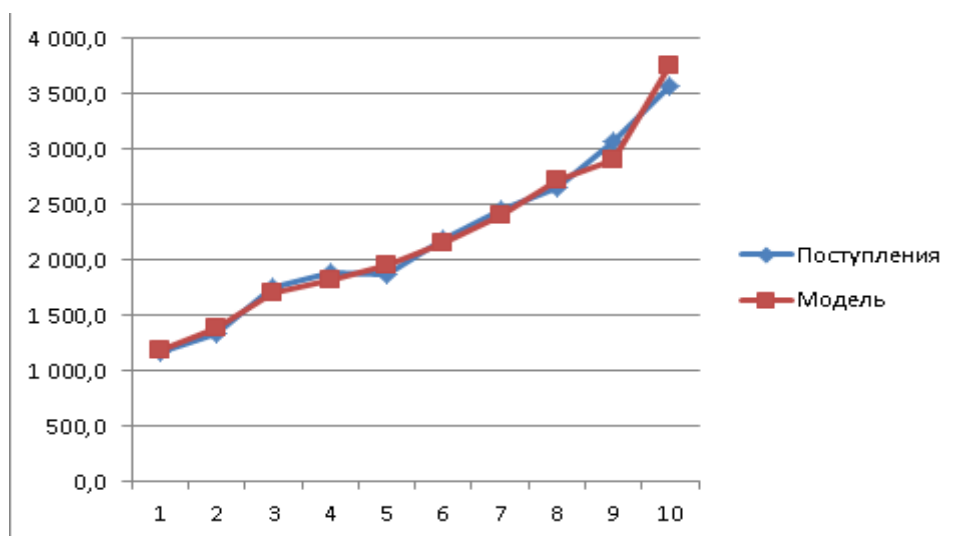


Рисунок 4 – График фактических и прогнозируемых поступлений

#### Заключение

В заключении следует отметить, что разработанная методика позволяет учитывать при прогнозировании налоговых поступлений значимые макроэкономические показатели, что позволяет не только повысить достоверность расчетной оценки, но и выявить причины, влияющие на уровень рассчитанных налоговых поступлений. Проведено исследование и апробация многофакторных нелинейных моделей типа Кобба-Дугласа, которые продемонстрировали высокую значимость используемых факторов на собираемость налогов. На реальном экспериментальном материале продемонстрирована высокая эффективность разработанных методик. Созданы программные средства для выявления нелинейных зависимостей налоговых поступлений от значимых макроэкономических факторов.

#### Литература

1. Пранов Б.М. Адекватные междисциплинарные модели в прогнозировании временных рядов статистических данных / Б.М. Пранов // Программные продукты и системы. – Том 31. - № 3. – 2018. – С. 444-447.
2. Кирилук И.Л. Модели производственных функций для российской экономики // Компьютерные исследования и моделирование. - 2013. - Т. 5. - № 2. - С. 293-312.
3. Осипов А.Л., Трушина В.П., Осипов Ф.Л. Влияние макроэкономических показателей на налог на прибыль: факторные модели и инструментальные методы // Наука Красноярья. - 2019. - Том 8. - № 5-3. - С. 111-115.
4. Осипов А.Л., Трушина В.П., Осипов Ф.Л. Макроэкономические показатели и их влияние на налог на добавленную стоимость: факторные модели и инструментальные средства // Наука Красноярья. - 2020. - Том 9. - № 3-2. - С. 108-113.

#### МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ТРАНЗАКЦИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ АСУ ТП НА ОСНОВЕ СИГНАТУРНОГО ПРИНЦИПА

Абрамова Т.В., Аралбаев Т.З.  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»  
+7 (922) 856-51-22, taya357@gmail.com

В работе представлены результаты разработки и исследования модели контроля транзакций пользователей автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) на основе сигнатурного принципа. Предложенное решение позволяет контролировать управляющие воздействия на технологический объект на каждом из этапов управления в режиме реального времени, что снижает риск выполнения несанкционированных транзакций.

Ключевые слова: информационная безопасность АСУ ТП, контроль команд управления, сигнатурный анализ транзакций, объекты нефтегазовой промышленности.

Transaction control model of the user of an automated control system based on the signature principle. Abramova T.V., Aralbaev T.Z. FSB EI «Orenburg State University».

The paper presents the results of the development and research of a transaction control model for a user of an automated process control system (APCS) based on the signature principle. The proposed solution makes it possible to monitor the control actions on the technological object at each of the control stages in real time. This reduces the risk of performing unauthorized transactions.

Keywords: information security of APCS, command control, signature analysis of transactions, objects of the oil and gas industry.

### Введение

На современных нефтедобывающих производствах пользователи автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) являются важным звеном при эксплуатации системы. При этом все действия, выполняемые пользователем, регламентируются типовым набором инструкций и решений. Анализ модели угроз для АСУ ТП нефтегазовой отрасли [7] показал, что контроль действий пользователей АСУ является актуальной задачей системы информационной безопасности.

Вопросы, связанные с контролем поведения пользователя в информационных системах, представлены в публикациях научной и патентной литературы [1-5]. В большинстве доступных работ рассматриваются вопросы защиты АСУ от внешнего нарушителя, и контроль сводится к анализу отдельных операций, а не последовательности действий [4]. Разработки, направленные на контроль команд внутренних пользователей системы [1] чаще всего основаны на работе с ретроспективной информацией (лог-файлами, журналами событий, архивными данными) и не позволяют контролировать действия пользователей в реальном режиме времени и проводить их анализ. Данные факторы являются причиной низкой производительности и недостаточной достоверности распознавания операций и транзакций пользователей системы.

Целью настоящей работы является снижение риска реализации несанкционированных команд управления элементами АСУ ТП. Для достижения данной цели необходимо разработать математическую модель контроля поведения пользователя, структурно-функциональную модель контроля транзакций пользователя и вероятностную модель оценки риска несанкционированных команд управления при реализации модели.

### Математическая модель контроля поведения пользователя

В основу математической модели контроля поведения пользователя положены принципы модели Гогена-Мезигера. В данной модели переход системы из одного состояния в другое выполняется только в соответствии с базой правил, в которой указано, какие операции может выполнять пользователь. Для перевода системы из одного состояния в другое используются транзакции, то есть некоторые совокупности команд, обеспечивающие смену состояний.

К исходным данным задачи контроля поведения пользователя отнесены:

- множество  $Q$  контролируемых транзакций, выполняемых пользователем:  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_N\}$ ;
- множество  $P$  информативных признаков:  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_M\}$ ;
- код транзакции  $K$ ;
- номер операции в транзакции  $NO$ ;
- код операции транзакции  $KOT$ .

Математическая модель мониторинга поведения пользователя, представленная в работе [7], описывает процедуру контроля действий пользователя, представляемую параметрами:  $K$ ,  $NO$ ,  $KOT$  в конкретный момент времени  $t$ .

При этом совокупный признак  $P(t)$  имеет следующий вид:

$$P(t) = (K\_NO\_KOT)_t \quad (1)$$

В каждый момент времени  $t$  совокупный признак ассоциируется ( $\equiv$ ) с кодом соответствующей легитимной (правомерной) операции  $\langle KOT \rangle_t$ , хранящейся в ассоциативной памяти (АП) [7]:

$$(K\_NO\_KOT)_t \equiv \langle KOT \rangle_t \quad (2)$$

В случае отсутствия ассоциации производится запрет на ввод следующей команды.

Контроль поведения пользователя реализуется подачей совокупного кода на адресные входы блока ассоциативной памяти. При наличии ассоциации с выходов АП поступает код легитимной операции  $KLO$ , который сравнивается с кодом операции  $KOT$ , набираемым пользователем. При равенстве  $KLO = KOT$

санкционируется ввод следующего совокупного признака  $P(t+1)$ . После выполнения всех операций транзакции контроль завершается.

#### Структурно-функциональная модель контроля транзакций пользователя

Структурно-функциональная модель последовательного контроля операций пользователя при выполнении транзакций в исходной автоматизированной системе показана на рисунке 1. В данной модели переходы пользователя от одной команды к другой осуществляются без учета результатов предыдущих этапов контроля.

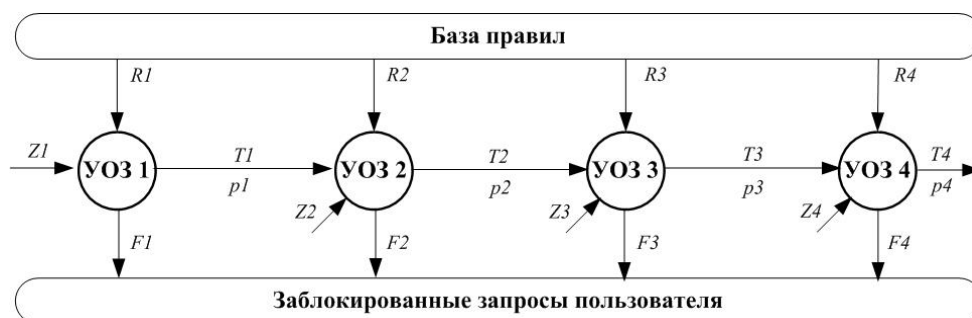


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель последовательного контроля операций пользователя в исходной автоматизированной системе

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

- $Z1 - Z4$  – сигналы запросов на выполнение операций транзакции;
- $УОЗ 1 - УОЗ 4$  – узлы обработки запроса;
- $T1 - T3$  – сигналы разрешения на выполнение операций;
- $F1 - F4$  – сигналы блокировки запроса;
- $R1 - R4$  – правила контроля операций пользователя;
- $p1 - p4$  – оценки вероятностей реализации несанкционированной операции.

При использовании модели, представленной на рисунке 1, контроль операций в транзакции осуществляется последовательно с учетом действующих правил и ограничений на ввод команды. Подобный способ не предусматривает проверку результатов предыдущих этапов контроля. Таким образом, злоумышленник получает возможность реализации заключительной операции транзакции без проверки выполнения предыдущих операций в случае получения несанкционированного доступа к ней. Ошибочные команды санкционированных пользователей (операторов, диспетчеров АСУ) на предыдущих этапах транзакции также не учитываются.

Модель, представленная на рисунке 2, описывает процедуру выполнения транзакции при полном контроле всех операций пользователя на каждом этапе выполнения.

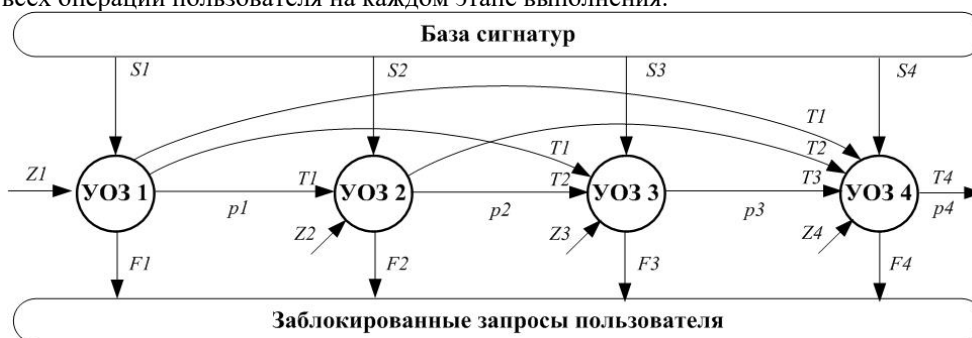


Рисунок 2 – Структурно-функциональная модель полного контроля операций пользователя основе сигнатурного принципа

В данной модели в качестве правил контроля выступают сигнатуры операций пользователя  $S1 - S4$ . При выполнении каждой операции производится проверка санкционированности ее выполнения, а также проверка всех предыдущих операций с использованием соответствующих сигнатур. Если проверка не пройдена – запрос на выполнение операции блокируется.

Модель позволяет контролировать каждый переход состояния компьютерной системы с учетом санкционированности всех предыдущих переходов. Отличительной особенностью разработанной модели является невозможность выполнения транзакции в случае несанкционированного доступа нарушителя к

заключительной операции, минуя все предыдущие. Также осуществляется мониторинг ошибочной последовательности команд диспетчеров и операторов АСУ при отправке управляющей транзакции.

Вероятностная модель оценки риска несанкционированных команд управления

Оценка риска определяется вероятностями реализации несанкционированных операций транзакции. При равновероятных значениях  $p_i$  в исходной автоматизированной системе вероятность реализации транзакции  $P_1$  определяется по формуле (3):

$$P_1 = \prod_{i=1}^N p_i \quad (3)$$

где  $N$  – число эшелонов защиты, представленных узлами обработки запроса. В случае контроля каждой операции пользователя с учетом санкционированности всех предыдущих операций вероятность реализации транзакции  $P_2$  одинакова на каждом из этапов ее выполнения и соответствует вероятности, описанной в формуле (1) при максимальном количестве эшелонов защиты. Графики зависимости вероятностей реализации транзакции от числа эшелонов защиты представлен на рисунке 3.

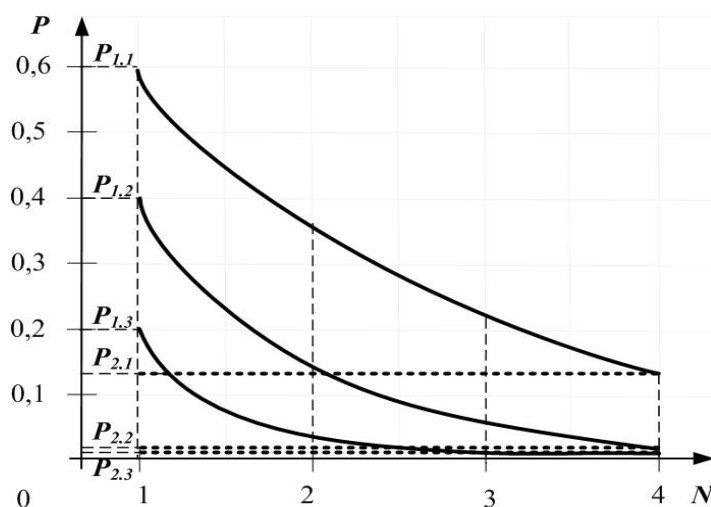


Рисунок 3 – Графики зависимости вероятностей реализации транзакции  $P_1$  и  $P_2$  от числа эшелонов защиты

На рисунке видно, что вероятности реализации несанкционированной транзакции  $P_{1.1}, P_{1.2}, P_{1.3}$  в исходной системе в значительной степени зависят от числа эшелонов защиты. Соответственно, при получении неправомерного доступа к последней операции транзакции вероятность ее несанкционированного выполнения максимальна. При реализации разработанной модели соответствующие вероятности  $P_{2.1}, P_{2.2}, P_{2.3}$  постоянны для всех операций и соответствуют значениям при максимальном уровне защиты. Полученные результаты демонстрируют значительное снижение вероятности ошибочного распознавания и осуществления неправомерной транзакции, и, как следствие, повышение достоверности распознавания несанкционированной последовательности управляющих команд. Анализ полученных результатов также показал необходимость усиления защиты заключительной операции транзакции от несанкционированного выполнения.

#### Заключение

Разработанная модель позволяет контролировать управляющие воздействия на технологический объект на каждом из этапов управления, включая заключительный, с учетом санкционированности выполнения всех предыдущих этапов в режиме реального времени. Предложенное решение позволяет повысить производительность и достоверность контроля действий пользователей АСУ ТП, что снижает риск выполнения несанкционированных управляющих транзакций. Полученные результаты были реализованы при разработке устройства для контроля поведения пользователя на основе мониторинга информационных потоков сетевого трафика [6].

#### Литература

1. Бояркин, М. А., Моделирование деятельности операторов АСУ ТП НГК/ М. А. Бояркин, В. А. Шапцев // Вестник кибернетики. – 2006. – № 5. – С.77-87.



2. Каскинов, И. И. Ассоциативно-мажоритарная модель системы контроля поведения пользователя на основе теории автоматов/ И. И. Каскинов // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XXII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11(22). URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/11\(22\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/11(22).pdf) (дата обращения 11.11.2018).

3. Каскинов И.И. Сигнатурный метод контроля поведения пользователя на основе теории автоматов // Science and world. 2017. № 1 (41). Vol. 1. URL: [http://scienceph.ru/d/413259/d/science\\_and\\_world\\_no\\_1\\_41\\_january\\_vol\\_i.pdf](http://scienceph.ru/d/413259/d/science_and_world_no_1_41_january_vol_i.pdf) (дата обращения: 18.03.2020)

4. Машечкин, И. В. Мониторинг и анализ поведения пользователей компьютерных систем/ И. В. Машечкин, М. И. Петровский, С.В. Трошин // Проблемы программирования. – 2008. – № 2-3. – С. 541-549.

5. Пат.2012156444 Российская Федерация, МПК G06F21/50, G06F21/62, G06Q90/00. Система и способ адаптивного управления и контроля действий пользователя на основе поведения пользователя/ Леденев Александр Вячеславович (RU), Колотинский Евгений Борисович (RU), Игнатъев Константин Сергеевич (RU); заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "Лаборатория Касперского" (RU). - 2012156444/08; заявл. 25.12.2012; опубл.27.06.2014

6. Патент 2675896 Российская Федерация, МПК G06K9/62. Устройство для контроля поведения пользователя / Абрамова Т.В., Аралбаев Т.З., Каскинов И.И., Хатеев М.Д./ заявитель и патентообладатель ОГУ. – № 2018100997/08; заявл. 10.01.2018; опубл. 25.12.2018, Бюл. № 36. – 17 с.

7. Аралбаев, Т. З. Оптимизация методов контроля технического состояния распределенных автоматизированных систем в условиях воздействия пространственно-временных угроз на основе мониторинга сетевых информационных потоков: монография / Т. З. Аралбаев, Г. Г. Аралбаева, Т. В. Абрамова, Р. Р. Галимов, А. В. Манжосов; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2018.

#### ТЕХНОЛОГИЯ SPACEFIBRE В СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ашарина И.В.  
АО "НИИ "Субмикрон"  
+7 (916) 705-85-51, [asharinairina@mail.ru](mailto:asharinairina@mail.ru)

Статья посвящена исследованию возможности применения технологии SpaceFibre при разработке сбое- и отказоустойчивых космических систем. Показаны свойства канала SpaceFibre, декларируемые в описании российского Стандарта SpaceFibre. Сделаны выводы о целесообразности использования его при построении управляющих систем ответственного применения.

Ключевые слова: сбое- и отказоустойчивость, SpaceFibre, статическая и динамическая избыточность, враждебная (Византийская) неисправность.

SpaceFibre technology in space failure-and fault-tolerant control systems. Asharina I.V. Joint-Stock Company "Scientific Research Institute 'Submicron'"

The article is devoted to the study of the possibility of using SpaceFibre technology in the development of failure- and fault-tolerant space systems. The properties of the SpaceFibre channel declared in the description of The Russian spacefibre Standard are shown. Conclusions are made about the feasibility of using it in the construction of control systems for responsible use.

Keywords: failure- and fault-tolerance, SpaceFibre, static and dynamic redundancy, hostile malfunction, adversarial ("Byzantine") fault.

#### Введение

В эпоху активного развития космической техники как никогда важными являются вопросы обеспечения надежности, сбое- и отказоустойчивости, достоверности работы всех систем космических аппаратов и наземных структур что направлено на увеличение длительности сроков активного существования (САС). Бортовые цифровые вычислительные системы (БЦВС) современных бортовых комплексов управления (БКУ) в различных сочетаниях (группировки малых космических аппаратов (КА), бортовая компьютерная сеть искусственного спутника (БЦВС, БКУ), компьютерная сеть наземного центра управления, совокупность группировки малых КА и ЦВМ наземного центра управления, совокупность бортовой компьютерной сети спутника и ЦВМ наземного центра управления и т.д.) образуют космические сетевые информационно-управляющие системы (КСИУС).

Возрастающее применение таких КСИУС в критических областях человеческой деятельности, к которым относится и космос, отражают их возможную чрезвычайную архитектурную, алгоритмическую,

аппаратурную и программную сложность, и эти факторы делают проблему обеспечения их сбое- и отказоустойчивости весьма актуальной и трудноразрешимой.

В настоящее время особое внимание уделяется вопросам применения технологии SpaceFibre, специально разработанной для бортовых применений как одного из средств коммуникации в области космической техники.

**Цель работы** заключается в анализе российского Стандарта SpaceFibre с точки зрения возможности использования их при организации сбое- и отказоустойчивых распределенных управляющих систем в космосе.

#### Анализ российского Стандарта SpaceFibre

В процессе работы с российским Стандартом SpaceFibre, в нем были обнаружены фрагменты, которые способны создать существенные проблемы при его использовании.

В [1] в качестве одного из достоинств SpaceFibre, декларируется следующее: "SpaceFibre включает встроенные техники выявления, локализации и восстановления после ошибки (FDIR), которые в значительной степени упрощают использование SpaceFibre с предоставлением существенных преимуществ на уровне системы без необходимости в реализации сложных, ограничивающих технические возможности, протоколов программного обеспечения".

В [2 - 6] перечислены требования FDIR, суть которых заключается в последовательной реализации принципов функционирования любой бортовой системы управления в случае возникновения в ней различных неисправностей:

1. Организация функционального и тестового контроля с заданной глубиной локализации отказов.
2. Должны применяться схемы мажоритарного резервирования с количеством зарезервированных каналов не менее трех.
3. Применение «горячего» и «холодного» резервирования бортовых подсистем основного корабля.
4. Регистрация неисправностей и сбоев в аппаратном и программном обеспечении бортовых систем космического аппарата.
5. Осуществление блокировки данных от воздействия неисправных подсистем.
6. Восстановление неисправных бортовых подсистем космического аппарата за счет высокоуровневой реконфигурации его функциональных и зарезервированных бортовых систем.
7. Непрерывная самопроверка каналов обработки функциональной и диагностической информации.
8. Вывод всех данных о каждой из проделанных процедур в режиме реального времени по каналам телеметрии на земные комплексы управления.

Технология FDIR (Fault Detection, Isolation, and Recovery) – защиты КСИУС от воздействия неисправностей, обеспечение их гарантированности [7] (включающей сбое- и отказоустойчивость) при выполнении заданной космической миссии, предполагает использование научно и практически обоснованной совокупности действий, теоретическая доказанность которых гарантирует достижение искомого результата. Включение лишь отдельных компонентов технологии FDIR не может гарантировать положительного результата при их использовании.

Следующее достоинство Стандарта [1]: "SpaceFibre позволяет создать единую бортовую сеть для различных космических миссий, что позволяет снизить стоимость и предоставляет возможность повторного использования схемы". Такое положение, прежде внесения его в Стандарт, должно быть теоретически обосновано и экспериментально доказано на многих примерах реализаций, иначе при реальной попытке построения подобной сети могут возникнуть неожиданные негативные эффекты, которые не будут противоречить Стандарту, но и не позволят построить эффективную и сбое- и отказоустойчивую сеть.

Рассмотрим терминологию. Здесь также имеют место неточности, которые могут создать проблемы при неправильном толковании каждого из терминов пользователями Стандарта SpaceFibre.

Приведем лишь несколько примеров таких неточностей.

Одним из основных понятий для канала передачи данных является понятие линии, лежащее в основе многих понятий данного Стандарта SpaceFibre. Согласно [1], «3.2.66 *Линия (lane)* – физическое соединение SpaceFibre между двумя устройствами», другое определение линии, имеющее место в том же Стандарте «3.2.71 *Линия (line)* – среда передачи данных между драйвером и приемником», причем не указано, являются ли эти два понятия синонимами и какое из понятий следует использовать в каждом из определений, базирующихся на понятии «*линия*». Какой из терминов является актуальным в каждом конкретном случае, нужно пытаться понять из контекста, что может привести к появлению ошибочных трактовок.

«3.2.43 *Драйвер (driver)* - электронная схема, которая передает сигнал в определенной среде передачи данных» [1]. «3.2.72 *Драйвер линии (line driver)* - электронная схема, которая передает сигналы в определенной среде передачи данных» [1]. Из текста Стандарта непонятно, чем «*драйвер (3.2.43)*» отличается от «*драйвера линии (3.2.72)*», что также чревато неоднозначными трактовками.

«3.2.40 *Адрес пункта назначения (destination address)* - маршрут, по которому следует пакет при перемещении от отправителя к получателю, или идентификатор, задающий получателя» [1]. В отличие от идентификатора, адрес не может быть маршрутом ни в какой терминологии, ни в специальной, относящейся к программированию или сетевым технологиям, ни в общеупотребительной.

Приведенных примеров более чем достаточно, чтобы понять, что такие недочеты терминологии в тексте Стандарта SpaceFibre ECSS-E-ST-50-11C-15 мая 2019 способны нанести непоправимый вред и привести к огромным потерям всех видов ресурсов, если ей будут следовать разработчики систем ответственного применения.

Поскольку целью работы является анализ российского Стандарта SpaceFibre с точки зрения возможности использования их при организации сбое- и отказоустойчивых управляющих систем, то наибольший интерес представляет собой понятие сбоя [1]: «3.2.133 *Сбой (transient error) – ошибка в канале*, которую можно устранить повторной передачей данных без необходимости повторной инициализации канала».

Здесь имеет место неточность, связанная с собственно понятием ошибки (*error*), которое может трактоваться в нескольких смыслах: 1) ошибка в построении модели (в разработке), так называемый, человеческий фактор, обусловленный непониманием разработчиком необходимых свойств изделия (или программы), такая ошибка обычно бывает постоянной (повторяемой); 2) некорректные значения данных, возникающие вследствие выхода за область допустимых значений, такая ошибка устраняется подачей корректных данных; 3) ошибка, вызванная неисправностью аппаратуры, которая может быть единичной, постоянной или перемежающейся в зависимости от состояния аппаратуры.

Для случая, когда ошибка является проявлением неисправности, следует считать более правильным такое определение *сбоя* [8]: *сбой* неделимого объекта неисправности (НО) (т.е. такого объекта, с точностью до которого можно или необходимо определять место возникновения неисправности в системах рассматриваемого вида) – однократное, не повторяющееся проявление неисправности, предполагающее, что искажению подверглась информация в НО (здесь – в канале), не влияющая на ход и последующие результаты вычислительного (рабочего) процесса в этом НО, и тогда можно говорить о способах устранения последствий сбоя, например, повторной передачей данных без необходимости повторной инициализации канала.

И, наконец, приведем фрагмент раздела «Отказ от прав» Стандарта: «ECSS не предоставляет никаких гарантий, четко выраженных, подразумеваемых или установленных по закону, включая, без ограничения, какие-либо гарантии товарной пригодности или пригодности для какой-либо конкретной цели, или любых других гарантий относительно отсутствия ошибок в рассматриваемом продукте» [1]. При такой постановке дела использовать Стандарт SpaceFibre для систем ответственного применения, к которым относятся все космические и наземные системы, недальновидно и опасно.

#### Выводы и заключение

Исходя из вышесказанного можно сделать следующие выводы, касающиеся возможности использования российского Стандарта SpaceFibre при организации сбое- и отказоустойчивых распределенных управляющих систем в космосе:

1. Стандарт не имеет сертифицированного качественного перевода, что чревато большими сложностями в толковании его терминологии.
2. Авторы Стандарта SpaceFibre ECSS-E-ST-50-11C-15 снимают с себя всякую ответственность за проблемы, возникающие вследствие его использования.
3. Авторы Стандарта SpaceFibre ECSS-E-ST-50-11C-15 утверждают, что Стандарт содержит лишь указания, что следует делать, но не содержит информации, каким образом следует организовывать и выполнять необходимую работу.

Любая система управления, созданная на основе SpaceFibre, из-за отмеченных недостатков Стандарта, должна быть обязательно реализована практически в экспериментальных или макетных образцах, тщательно, всесторонне и очень качественно исследована и испытана для всех возможных допустимых неисправностей и нештатных ситуаций, с возможностью физической инъекции этих неисправностей и исследуемых нештатных ситуаций, всестороннего исследования их влияний. Без этого применение стандарта SpaceFibre перспективных разработках недопустимо! Но такие действия необходимы для любой реализации системы с любым каналом. Тогда в чем же преимущества от использования SpaceFibre. Верификация и испытания системы с каналом SpaceFibre будут намного сложнее и дороже из-за самого этого Стандарта!

Возможность и полезность совместного применения канала обмена SF и теории создания сбое- и отказоустойчивых вычислительных систем при построении космических сетевых информационно-управляющих систем рассматривается в [9]

#### Литература

1. ECSS-E-ST-50-11C-15 мая 2019.
2. Zolghadri, "Advanced model-based FDIR techniques for aerospace systems: Today challenges and opportunities," Progress in Aerospace Sciences, 2012.
3. R. Gessner, B.
4. Kusters, A. Hefler, R. Eilenberger, J. Hartmann, and M. Schmidt, "Hierarchical fdir concepts in s/c systems," in Proc. 8th International Conference on Space Operations (SpaceOps), Montreal, Canada, May. 2004.
5. R. Patton, Ed, Issues of Fault Diagnosis for Dynamic Systems, London [u.a.]: Springer, 2000.
6. Fault-Detection, Fault-Isolation and Recovery Techniques. Utilize FDIR Design Techniques to provide for Safe and Maintainable On-Orbit Systems/NASA. [Online]. pp. 1-6. Technique DFE-7. Available: [http://paso.esa.int/5\\_training\\_materials/training\\_11\\_fault%20techniques.pdf](http://paso.esa.int/5_training_materials/training_11_fault%20techniques.pdf).
7. Wander and R. Forstner, "Innovative fault detection, isolation and recovery strategies on-board spacecraft: State of the art and research challenges," Deutscher Luft-und Raumfahrtkongress, 2012.
8. Авиженис А., Лапри Ж.-К. Гарантоспособные вычисления: от идей до реализации // ТИИЭР. 1986. Т. 74. №. 5. С. 8–21.
9. Лобанов А.В. Модели замкнутых многомашинных вычислительных систем со сбое- и отказоустойчивостью на основе репликации задач в условиях возникновения враждебных неисправностей // Автоматика и телемеханика. 2009. № 2.С. 171 – 189.
10. Лобанов А.В. Совместное применение канала обмена SpaceFibre и теории Создания сбое- и отказоустойчивых вычислительных систем при построении космических сетевых информационно-управляющих систем // Данный сборник.

#### АВИАЦИОННЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПОЛИГОНЫ

Бестугин А.Р., Филин А.Д., Рачков В.П., Киршина И.А.

Государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург, Россия

На основе результатов исследований вопросов совершенствования летно-тактической подготовки ВВС представлена концепция и облик перспективного автоматизированного комплекса «электронный полигон».

Ключевые слова. Летно-тактическая подготовка, летательные аппараты, электронный полигон, радионавигация, имитационное моделирование.

Aviation virtual electronic polygons. Bestugin A. R., Filin, A. D., Rachkov V.P Kirshina I.A. State University of aerospace instrumentation (GUAP), Saint Petersburg, Russia.

The article presents the concept and appearance of a promising automated complex "electronic polygon" based on the results of research on improving air force flight and tactical training».

Keyword. Flight and tactical training, aircraft, electronic polygon, radio navigation, simulation.

#### Введение

Анализ современного состояния и развития инфраструктуры оперативно-тактической подготовки летных экипажей (ЛЭ) и расчетов боевого управления авиацией (БУА) в наиболее развитых странах мира [1,2] позволяет определить тенденции ведущих держав к созданию условий обучения близких к реальным боевым действиям, реализуемым с помощью специальных авиационных виртуальных электронных полигонов (АВЭП).

Активная разработка и внедрение электронных полигонных комплексов в США начались с 1973 года. В настоящее время созданная инфраструктура обучения и подготовки ВВС и ВМФ США и НАТО насчитывает около 21 полигона. Они широко используются как в повседневной летно-тактической подготовке, так и при подготовке летных экипажей и расчетов БУА к специальным акциям.

Основными направлениями технического совершенствования оборудования и программных средств электронных полигонов являются [2,3]:

- расширение функциональных возможностей с учетом развития тактики различных родов авиации и опыта локальных войн на конкретных театрах военных действий;
- развертывание современных средств и систем координатно-временного обеспечения, значительно расширяющих зону контролируемого воздушного пространства с высокочастотным

определением координат, основные усилия направлены на использование спутниковых навигационных систем;

- внедрение современных и помехозащищенных средств связи и передачи данных высокой пропускной способности, в частности на базе объединенной системы распределения тактической информации JTILS (MIDS), спутниковых связанных систем со скоростью обмена 1,54 Мбит/с;

- внедрение новых средств отображения информации, в частности, на основе трехмерного изображения местности и цифровых моделей рельефа;

- разработка и внедрение когнитивных методов оперативного оценивания уровня подготовки авиационных специалистов;

- развитие методологии организации подготовки авиационных специалистов.

Наряду с совершенствованием электронных полигонов за рубежом уделяется большое внимание развитию тактических компьютерных тренажеров, используемых как самостоятельно, так и в составе комплексных пилотажно-навигационных тренажеров.

#### Постановка задачи

Структурный анализ инфраструктуры электронных полигонов, реализующих совместную подготовку летных экипажей и специалистов БУА, позволяет выделить два основных направления реализации: создание тактических условий на базе реальной техники с реальными полетами и на базе тренажерных тактических обучающих систем. Эти два основных направления определяют и принципиальные противоречия.

Первое направление связано с высокой стоимостью реализации. Поэтому разработка оперативно-тактических задач в условиях реального пилотирования и управления боевыми действиями для нашей страны весьма сложна.

При отработке тактических задач на современных тактических тренажерах оказывает влияние психологический (мотивационный) фактор нереальности полета.

Совершенствование, повышение адекватности тренажерных обучающих систем позволяет снизить требования к количеству последующих реальных полетов и, таким образом, добиваться снижения уровня затрат на подготовку ЛЭ и специалистов БУА [4].

Дальнейшее повышение эффективности как индивидуальной, так и, особенно, оперативно-тактической подготовки ЛЭ лиц БУА, приводит к идее создания среды функционирования комплекса моделей воздушной и наземной оперативно-тактической обстановки, работающей синхронно с процессом выполнения реальных полетов одним или несколькими ЛА, а в перспективе со смешанными тактическими группами ЛА, участвующими в учениях. В этой среде должны синхронно функционировать средства измерения, передачи данных, контроля, анализа, регистрации и оценки боевых действий.

Организация совместного функционирования набора моделей систем вооружения, летательных аппаратов, наземных средств обеспечения полетов и ПВО синхронно с реальными полетами одного или нескольких ЛЭ позволит найти то компромиссное направление в развитии полигонной обучающей инфраструктуры ВВС, которое может сочетать и экономические факторы и обеспечивать необходимый уровень организации оперативно-тактической подготовки с учетом фактора реального полета. На базе данной концепции в ВВС РФ выполняется разработка и модернизация эффективных средств обеспечения боевой подготовки командного и летного состава ВВС, что особенно актуально в настоящее время, в связи с требованием увеличения налетов у летчиков и необходимостью увеличения практического опыта по боевому управлению авиацией у лиц БУА, с одновременным повышением требований к высокой боеготовности авиации.

Основой реализации данного направления инновационного развития полигонной инфраструктуры в авиации является разработка комплексной автоматизированной системы оперативно-тактической подготовки (КАС ОТП) ВВС – АВЭП, гипотетическая структура которого может быть представлена в виде рис.1.

АВЭП решит задачу совместного обучения, тренировки и оценки уровня оперативно-тактической подготовки летных экипажей и специалистов БУА подразделений ВВС боевым действиям в условиях маневренного, огневого и радиоэлектронного противодействия.

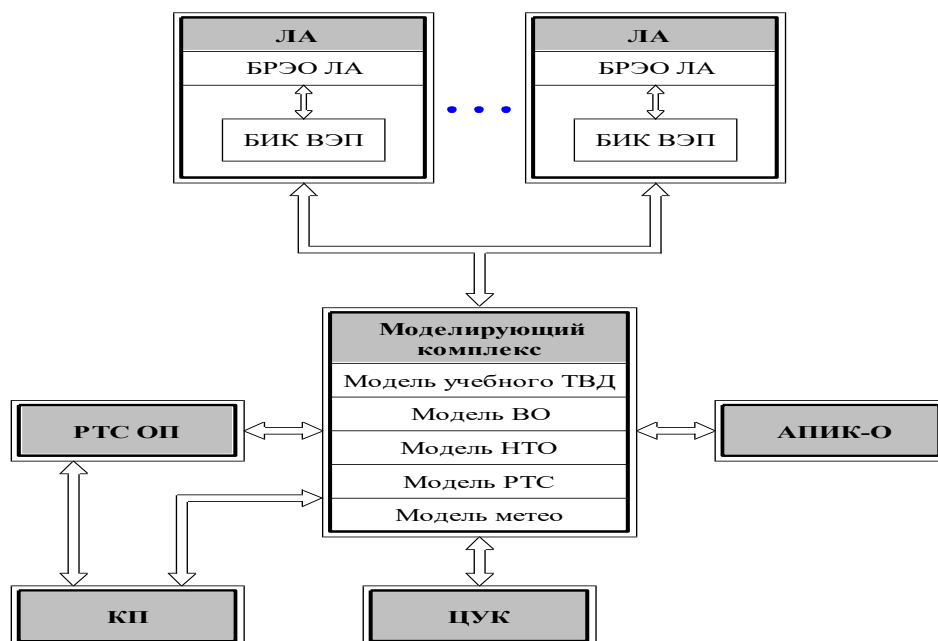


Рисунок 1 – Гипотетическая структура АВЭП

АВЭП является многофункциональной системой, объединяющей в рамках единого комплекса средства измерения, имитации и моделирования условных боевых действий частей ВВС с целью создания оперативно-тактической обстановки, максимально приближенной к реальной. В пределах полигона могут располагаться два аэродрома с радиотехническими средствами обеспечения полетов (РТС ОП) для работы двух противоборствующих полков и функциональные компоненты системы, входящие в состав АВЭП:

- центр управления и контроля (ЦУК);
- наземный моделирующий комплекс (МК);
- аппаратура передачи данных (АПД);
- бортовой информационный комплекс (БИК), встраиваемый в бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) ЛА в комплексе с АПД;
- автоматизированный полигонный измерительный комплекс огневой (АПИК-О);
- командный пункт (КП) авиационного полигона и радиотехнические средства обеспечения полетов (РТС ОП).

В МК обеспечивается синхронное функционирование следующих основных моделей:

- модели театра военных действий (ТВД);
- воздушной обстановки (ВО);
- модель наземной тактической обстановки (НТО), включая модель средств противовоздушной обороны (ПВО);
- модель радиотехнических средств обеспечения полетов (РТС ОП);
- модель метео обстановки в районе АВЭП.

Таким образом, в структурном исполнении АВЭП представляет собой набор взаимосвязанных компонентов, расположенных на самолетах и на местности в пределах территории полигона, который включает организованное воздушное и наземное пространство.

Система обеспечивает оснащение тактического воздушного и огневого полигонов системами координатометрии и передачи данных, а также оснащение мишенного поля огневого наземного полигона системами измерения координат попадания авиационных средств поражения (АСП) и регистрации попаданий различных средств поражения.

Вся воздушная и наземная информация в процессе учений собирается в ЦУК, где отображается в различных форматах на автоматизированных рабочих местах группы руководства учений. В составе форматов отображается следующая информация: воздушная обстановка, кабинная информация с реальными показаниями приборов, индикации прицельных комплексов, результаты боевого применения АСП, трассы полетов самолетов и их наблюдение из любой выбранной точки пространства и др.

Важнейшим свойством системы является высокоточный контроль в реальном масштабе времени групповых действий авиации в ходе решения различных боевых задач, что по предварительным расчетам позволит обеспечить реальное снижение аварийности в ходе летно-тактической подготовки на 35-40%.

На наземных полигонах АИК-О размещаются системы измерения координат падения моделируемых и реальных АСП и система регистрации попаданий различных средств поражения.

Воздушный тактический полигон обеспечивает применение с реального борта имитируемых АСП «воздух-воздух».

В системе реализуется комплекс координатометрии на базе комплексирования информации спутниковой навигационной системы и информации пилотажно-навигационного комплекса ЛА, что позволяет выполнять имитацию боевого применения АСП по наземным и воздушным целям с определением результатов на всей территории полигона. Высокая точность измерения координат ЛА с использованием производительной линии передачи данных «борт-земля-борт» при параллельной работе наземного моделирующего комплекса позволяет создать воздушную обстановку требуемой степени сложности и получить необходимые данные для оценки и анализа выполнения полетного задания.

Задающим звеном в этой обучающей среде является МК. Информация о моделируемой тактической наземной и воздушной обстановке из МК передается по линии передачи данных на реальные борта для подмешивания в бортовые системы. Кроме того, информация МК подмешивается к реальной радиолокационной и навигационной информации наземных радиотехнических средств обеспечения полетов, отображаемой на наземном командном пункте лиц БУА.

Совместное функционирование комплекса моделей МК при выполнении реальных полетов позволяет:

- моделировать оперативно-тактическую обстановку боевых действий и в условиях этой обстановки выполнять реальные полеты;
- моделировать полеты противника необходимого состава и полеты своей тактической группы заданного состава, в числе которого могут выполнять полеты один или несколько реальных ЛА;
- проводить совместную отработку тактических задач ЛЭ со специалистами БУА наземных КП;
- обеспечивать детальный контроль за ходом учебно-боевых действий и оценивать их результаты в реальном масштабе времени;
- проводить летно-тактические учения (ЛТУ) при весьма низких затратах;
- отрабатывать новые тактические приемы;
- подготавливать ЛЭ и специалистов БУА к выполнению тактических операций в конкретном заданном географическом регионе и воздушном пространстве с предполагаемым противником.

Объединяя в составе АВЭП средства измерения, моделирования, имитации, контроля, анализа, передачи данных, отображения и регистрации информации, объективной оценки боевых действий, комплекс обеспечивает возможность создания и внедрения новой методологии организации боевой подготовки в ВВС в соответствии с передовыми мировыми тенденциями. При этом обеспечивается:

- создание среды обучения, приближенной к реальной боевой в условиях маневренного, огневого и радиоэлектронного противодействия.

Значительным недостатком и сдерживающим фактором существующей полигонной инфраструктуры является высокая стоимость средств обеспечения летно-технической подготовки (ЛТП) (управляемые мишени, реальное применение АСП и т.п.). Кроме того, затруднительно проведение ЛТП со средствами ПВО и радиоэлектронной борьбы (РЭБ), имеющими характеристики современных зарубежных аналогов. Стоимость управляемых мишеней и АСП современных ЛА достаточно высока, а для приобретения соответствующих навыков и достижения и поддержания необходимого уровня подготовки их расход приводит к значительным материальным затратам на обеспечение боевой подготовки.

Значительно более эффективно организация ЛТП может обеспечиваться в АВЭП. Это достигается за счет следующих факторов:

- применения аналогов средств ПВО и РЭБ противника, его средств воздушного нападения и АСП использованием моделей имитирующих силы и средства, реально не представленные на учениях;
- имитация применения моделируемых АСП с реальных ЛА;
- использованием автоматизированных систем контроля и анализа за действиями участвующих в ЛТУ экипажей.

При этом снижение стоимости ЛТП при одновременном совершенствовании ее форм и методов достигается использованием математического моделирования воздушной и наземной тактической обстановки в МК.

Основные функциональные характеристики электронного полигона АВЭП:

- размер контролируемого пространства - 150 x 300 км;
- диапазон высот - 50 – 25000 м;
- количество одновременно контролируемых экипажей - до 24;
- точность определения координат - 3 – 5 м;
- количество имитационных управляемых целей - до 64;
- количество формируемых имитационных средств ПВО и РЭБ – в соответствии с нормативной плотностью для моделируемого ТВД;
- режимы работы: - реальные полеты;

- реальные полеты с имитацией воздушной и наземной обстановки;
- тренажерный в реальном масштабе времени;
- обработка и анализ результатов учений в режиме воспроизведения.

Предварительные расчеты на базе использования методик определения военно-экономической эффективности показывают, что внедрение АВЭП в ВВС РФ обеспечит:

- увеличение показателя качества подготовки частей ВВС - в 1,3 раза;
- снижение налета экипажей при подготовке авиаполка до заданного уровня - в 2,5 раза;
- снижение материальных затрат при подготовке авиаполка до заданного уровня - в 2 раза;
- снижение аварийности входе ЛТП - на 35-40%.

Вложенные затраты на разработку АВЭП окупаются при подготовке:

- частей истребительной авиации - через 1,1 года;
- частей ударной авиации - через 2,9 года.

Результаты экспертных оценок относительных характеристик АВЭП представлены в табл. 1 [4].

Таблица 1 – Экспертные оценки относительных характеристик КАС ОТП

Показатели	Реальная боевая обстановка	Действующие авиабазы	КАС ОТП ВВС
Коэффициент тактического подобия	1,0	0,3	0,7
Среднее количество вылетов, необходимое для подготовки экипажей до заданного уровня	6,2	20,6	8,9
Количество вылетов для подготовки экипажей до заданного уровня	10	33	14
Относительное качество подготовки с КАС ОТП		По уровню подготовки при одинаковом количестве полетов – 1,66 По количеству полетов для достижения уровня подготовки – 2,36	

Сравнительная ожидаемая пропускная способность АВЭП представлена в табл. 2.

Таблица 2. Ожидаемая пропускная способность КАС ОТП [4]

Показатели	Действующие авиабазы	КАС ОТП ВВС
Количество полковых вылетов в год	90	180
Количество подготовленных до заданного уровня полков в год	2,7	12,9

Указанные показатели обеспечиваются за счет:

- совместной подготовки к выполнению задач ЛТП летного состава и специалистов БУА;
- моделирования маневренного, огневого и радиоэлектронного противодействия;
- определения координат ЛА с высокой точностью;
- отработки новых тактических приемов и способов боевых применений в условиях приближенных к реальным;
- автоматизированного достоверного контроля всех осуществляемых действий;
- объективной оценки действий экипажей ЛА, лиц БУА в реальном масштабе времени;
- экономии АСП, горюче-смазочных материалов, ресурса авиатехники
- моделирования полетов ЛА, РТО, АСП, средств ПВО и РЭБ;
- высокого уровня обеспечения безопасности полетов.

#### Выводы

В целом представленная научная концепция направления создания АВЭП отвечает военным, политическим и экономическим требованиям военной доктрины, предусматривающей реформирование ВС РФ при обеспечении необходимого уровня боевой подготовки, в том числе летного состава и специалистов БУА в условиях ограниченного финансирования. Позволяет значительно повысить эффективность организации боевой подготовки летного и командного состава ВВС РФ и соответствует основным задачам военно-экономического обеспечения обороны РФ в современных условиях.



*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 20-07-00437А.*

#### Литература

1. Филин А.Д., Рачков В.П., Шатраков Ю.Г. Виртуальные авиационные электронные полигоны – состояние и тенденции развития. Вестник воздушно-космической обороны. М.: 2018. - № 4. – С.109-122.
2. Бестугин А.Р., Киришина И.А., Филин А.Д., Рачков В.П. Организация эксплуатации воздушного пространства: монография. М.: ИНФРА-М, 2020. 344 с.
3. Филин А.Д., Бестугин А.Р., Рачков В.П. Исследования вопросов методического обеспечения функционирования автоматизированных комплексов летно-тактической подготовки-электронных полигонов. Вестник воздушно-космической обороны. М.: 2019. - № 4. – С.51-58.
4. Бестугин А.Р., Киришина И.А., Филин А.Д., Шатраков Ю.Г. Безопасность полетов и направления развития тренажеров специалистов управления авиацией: монография. СПб.: ГУАП, 2015. -515 с. .

### РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Бобровская О.П., Девицын И.Н.  
Сургутский государственный университет  
o-bobrovskaya@mail.ru

В статье рассмотрен процесс разработки автоматизированной системы планирования и контроля вычислительных экспериментов. Рассмотрены аналоги, определены функциональные возможности системы. Формализована задача оптимизации и приведены результаты тестового запуска алгоритма поиска оптимального набора параметров программы. Приведен интерфейс разработанной системы, а также демонстрация возможностей, перспективы развития.

Ключевые слова: автоматизация, планирование, контроль, вычислительные эксперименты, проектирование системы.

Development of an automated system for planning and control of computational experiments. Bobrovskaya O.P., Devitsyn I.N., Surgut State University.

The article describes an automated system for planning and controlling computational experiments development process. Analogs are considered, the functional capabilities of the system are determined. The optimization problem is formalized and test run results of optimal program parameters search algorithm are presented. The interface of the developed system is presented, as well as a system's features demonstration and development perspectives.

Keywords: automation, planning, control, computational experiments, system engineering.

#### Введение

Исследователь при проведении вычислительного эксперимента осуществляет опытным путем подбор значения различных параметров для получения лучшего результата. Это могут быть параметры компиляции программ или параметры, связанные с математическими расчетами в рамках эксперимента. Время, затрачиваемое исследователем на наблюдение и внесение изменений в код программы, неудовлетворительно велико.

Для решения данной проблемы была поставлена цель - разработать АС, осуществляющей функции планирования и контроля вычислительных экспериментов (далее SPaCCE – system for planning and controlling computational experiments).

#### Основная часть

Такую АС можно рассматривать как подвид АСНИ – организационно-технической системы, состоящей из средств автоматизации проведения научных исследований. Ее программно-аппаратный комплекс состоит из средств методического, программного, технического, информационного и организационно-правового обеспечения [1]. Отличием АСНИ от других типов автоматизированных систем (АСУ, АСУТП, САПР и т.д.) является характер информации, получаемой на выходе системы. Это обработанные или обобщенные экспериментальные данные, а также полученные на основе этих данных математические модели исследуемых объектов, явлений или процессов. Кроме того, в АСНИ могут использоваться готовые математические модели для изучения поведения тех или иных объектов и процессов, а также для уточнения самих этих моделей [2]. АСНИ поэтому являются системами для

получения, корректировки или исследования моделей, используемых затем в других типах автоматизированных систем для управления, прогнозирования или проектирования [3].

Среди аналогов разработанной системы можно выделить сTuning CC [4] – развивающийся проект, нацеленный на создание компилятора, автоматически оптимизирующего программу по нескольким критериям с использованием открытой базы данных, пополняющейся участниками проекта. Использование инструмента СК [5] данного проекта позволит решить проблему подбора параметров компиляции, что облегчит проведение вычислительных экспериментов, но взаимодействие с другими параметрами программ остается за рамками его возможностей. Второй рассматриваемый аналог – Slurm [6], позволяет планировать распределение ресурсов во время исполнения эксперимента, в том числе в случае параллельных вычислений, и предоставляет инструменты их мониторинга. При этом отсутствует возможность изменять внутренние параметры запуска программ, не относящиеся к используемым ресурсам процессора и отсутствуют инструменты контроля результатов работы программ. Рассмотренные аналоги решают отдельные требуемые задачи, но их функциональности недостаточно. Поэтому было принято решение разработать новую систему для решения задач планирования и контроля вычислительных экспериментов.

Так как для проведения вычислительных экспериментов в основном используется операционная система Linux (или Unix-подобные), то и разработка АС велась в Linux. Для компиляции нескольких файлов, составляющих программу вычислительного эксперимента используется утилита make и файл автоматизации сборки Makefile. В качестве СУБД была выбрана объектно-реляционная клиент-серверная СУБД PostgreSQL. Для разработки приложения для взаимодействия с АС использовался высокоуровневый язык программирования Python и кроссплатформенный фреймворк Qt.

Функциональные возможности SPaCCE:

1. Предоставление пользователю возможности задавать параметры вычислительных экспериментов.
2. Запуск сборки и/или запуск модулей, реализующих вычислительные эксперименты, заданное количество раз и в определенной последовательности.
3. Контроль выполнения запущенных модулей или их сборки.
4. Нахождение набора параметров экспериментов из заданных пользователем, приводящих к получению кода, выполняющегося за минимальное время.
5. Сохранение результатов экспериментов структурированным образом.
6. Предоставление отчета о проведении эксперимента и его результатах.

Обобщенное описание предметной области, выполненное с использованием языковых средств, не зависящих от используемых в дальнейшей реализации программных средств и ЭВМ, представлено на рис. 1.

1. Модуль – это определенная программа, которую пользователь хочет исследовать, проводя тестовые запуски и изменяя параметры. Для одной программы можно создать несколько модулей с одинаковыми или разными наборами параметров. Проект – это набор модулей с определенным набором параметров, в определенном порядке, запускаемых определенное количество раз каждый.



Рисунок 1 – Инфологическая модель предметной области

В ходе эксперимента система осуществляет запуски модулей с заданными пользователем параметрами. Пользователь может указать для некоторых параметров множество значений, из которого необходимо выбрать оптимальный набор.

Задача оптимизации – среди элементов конечного множества  $F = \{f | \forall f_i \neq f_j, i \neq j, i, j = 1..n\}, f_i \in F_u$ , где  $F_u$  – задаваемое пользователем конечное множество параметров для перебора; найти

такое  $f^*$ , являющееся подмножеством  $F_u$ , для которого значение  $p(pr, f^*, f_{fix}, m, c) \rightarrow \min$  для заданного функционала  $p(pr, f, f_{fix}, m, c) = t \in R^1$ , где  $pr$  – экземпляр программы,  $f$  – подмножество параметров, рассмотренное ранее,  $f_{fix}$  – подмножество фиксированных параметров,  $m$  – аппаратная конфигурация,  $c$  – компилятор конкретной версии,  $t$  – время выполнения откомпилированной программы; который описывает процесс тестирования, включающий компиляцию и запуск программы, у которой осуществляется измерение времени исполнения.

Для нахождения оптимальной комбинации параметров эксперимента система использует генетический алгоритм. Из заданных пользователем значений параметров случайным образом формируется 4 набора – особи начальной популяции. Затем на протяжении фиксированного количества итераций, зависящего от общего количества заданных пользователем значений параметров, происходит следующее: выбор двух особей родителей, скрещивание, возникновение мутаций, добавление новой особи в популяцию и удаление из нее особи с наибольшим значением целевой функции (временем исполнения модуля). Кроме генетического алгоритма пользователь так же может выбрать для использования алгоритм полного перебора.

На рис. 2 проведена диаграмма времени исполнения модулей при тестовом запуске с поиском лучшего набора параметров. Количество заданных параметров равно 5.

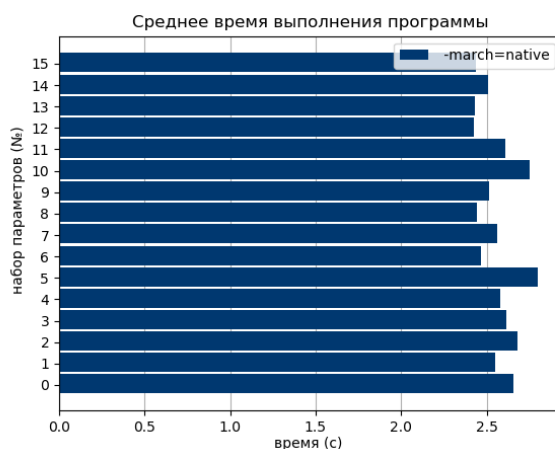


Рисунок 2 – Результат работы генетического алгоритма для 5 параметров

Как можно заметить из графика (начиная просмотр с 0-го столбца и вверх), время исполнения модулей в 4-х популяциях из 4-х особей постепенно уменьшается. Одиночные выбивающиеся столбцы объясняются случайными мутациями. Общее время работы генетического алгоритма поиска параметров компиляции на тестовых задачах показало уменьшение времени поиска в среднем в 2 раза по сравнению с алгоритмом полного перебора.

Далее следует пример работы с графическим пользовательским интерфейсом SPaCCE. Для проведения эксперимента вводится название проекта и путь до его основной директории, где потом будет производиться сохранение результатов эксперимента (рис. 3а). После ввода название отобразится в верхней части экрана (рис. 3б).

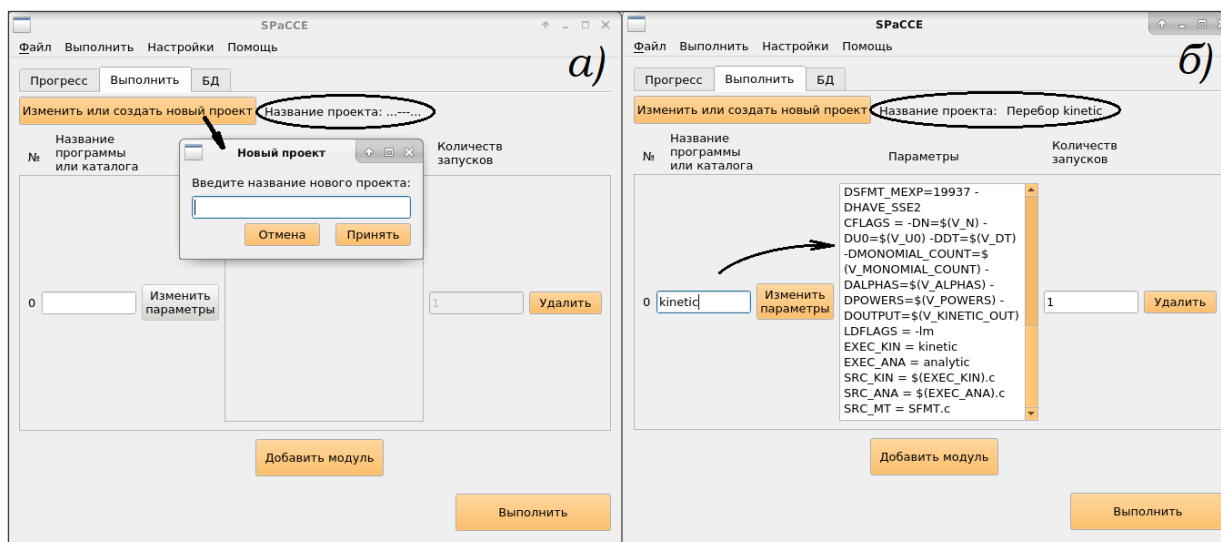


Рисунок 3 – Создание проекта: а) ввод названия проекта; б) ввод названия модуля, вывод системой найденных параметров

В текстовое поле на форме вводится название или путь до модуля. Если такой модуль будет обнаружен, но остальные поля разблокируются (рис. 3б) и заполнятся значениями, в которые можно вносить изменения или выбирать их для перебора. Пользователь может задавать последовательность запуска необходимых модулей и определять количество повторов этих запусков.

Нажатие кнопки «Выполнить» запускает исполнение проекта, то есть последовательный запуск каждого модуля. Происходит переключение на левую вкладку «Прогресс», на которой выводится текущее состояние эксперимента, и выполняемые системой действия (рис. 4). После окончания работы становится доступной кнопка «Открыть отчет в браузере». Вся информация о проекте сохраняется в базе данных, результат работы проекта сохраняется в виде диаграмм времени исполнения модулей в формате .png и отчета в формате .html.

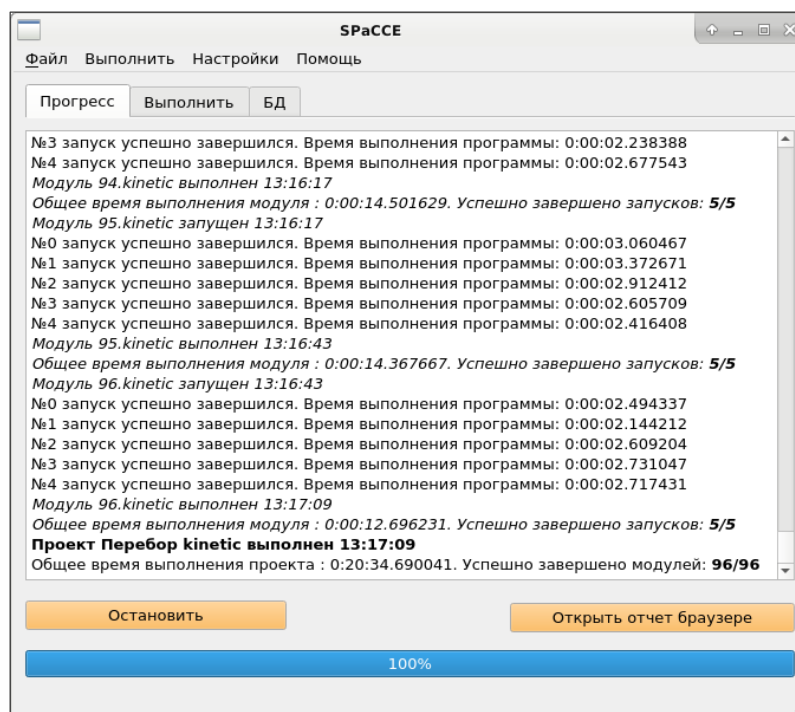


Рисунок 4 – Ход выполнения проекта

Во время работы системы, можно обратиться к боту мессенджера Telegram для получения информации о текущем состоянии системы или для экстренной остановки выполнения проекта.

Если в ходе работы возникает ошибка, система реагирует на нее, в зависимости от выбранного режима исполнения: игнорирует, останавливает выполнение или пропускает модуль при возникновении ошибки в одном из его тестов.

Если пользователю потребуется повторить какой-либо проведенный ранее эксперимент, он может осуществить запуск сохраненного в БД проекта. Также возможно внесение изменений в этот проект для получения нового результата.

#### Заключение

Выгода от использования разработанной системы SPaCCE заключается в автоматизации рутинных действий и структуризации результатов проведения вычислительных экспериментов, позволяющих ускорить процесс их проведения и анализ результатов, возможности осуществления планирования и контроля хода выполнения.

Данная система позволяет проводить вычислительные эксперименты, определять параметры, при которых получаются программы, выполняющиеся за минимальное время, структурировано сохранять результаты запусков программ и отчетов по проведению экспериментов.

В перспективе планируется добавить кроме времени исполнения скомпилированной программы другие критерии оптимальности набора параметров модуля, как например объем исполняемого файла, а также разработка консольной версии для контейнеризации системы.

#### Литература

1. Федотова Д.М. Автоматизированные системы научных исследований // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 6. URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=19841> (дата обращения: 15.08.2020).

2. Семенова И.И., Швებель А.А. Концепция автоматизированной системы поддержки научных исследований // Вестник ВГТУ. 2010. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-avtomatizirovannoy-sistemy-podderzhki-nauchnyh-issledovaniy> (дата обращения: 15.08.2020).

3. Фомичев Н.И. Автоматизированные системы научных исследований: Учеб. пособие / Н.И. Фомичев; Яросл. гос. ун-т. – Ярославля, 2001. – 112 с.

4. Collective Tuning [электронный ресурс] : страница проекта Collective Tuning. - Режим доступа: <https://ctuning.org/wiki/index.php/CTools:MilepostGCC> (дата обращения: 16.06.2020).

5. GitHub, cTuning, CK [электронный ресурс] : страница проекта Collective Knowledge – части проекта cTuning CC на платформе GitHub. - Режим доступа: <https://github.com/ctuning/ck/wiki> (дата обращения: 16.06.2020).

6. Slurm Workload Manager [электронный ресурс] : страница проекта Slurm Workload Manager. - Режим доступа: [https://slurm.schedmd.com/quickstart\\_admin.html](https://slurm.schedmd.com/quickstart_admin.html) (дата обращения: 17.06.2020).

## АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКОЙ И ЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА USB

Богодистова Е.С.

Российский университет транспорта (РУТ-МИИТ), г. Москва

В целях подготовки лекционного курса по теме «Универсальная последовательная шина (интерфейс USB)» в рамках дисциплины «Периферийные устройства» и организации обучающего пространства для лабораторного практикума исследованы особенности развития USB как представителя класса последовательных интерфейсов, использующих последние достижения цифровой схемотехники и сетевых технологий. Выполнен анализ версий спецификаций USB 2.0, 3.x, включая USB 3.2 (поколения Gen 1×1, 1×2, 2×1, 2×2). Определены режимы использования витых пар и коаксиальных пар в кабелях USB, включая полнофункциональный кабель USB типа C, типы применяемых методов канального кодирования в сочетании со скремблированием. Обсуждаются различия в реализации канального уровня и уровней протокола в USB 2.0 и USB 3.x, включающие, в частности, упрощение маркерного доступа, переход к многоканальным режимам, применение монопольного режима для больших объемов данных и типы используемых корректирующих кодов.

Ключевые слова: универсальная последовательная шина (USB), спецификация USB, устройство USB, режим передачи, витая пара, коаксиальная пара, полоса передачи, канальное кодирование, скремблер, циклический код

Analysis of the physical and logical USB organization. Bogodistova E.S. Russian University of Transport (RUT-MIIT)

Universal Serial Bus (USB) represents a class of the serial interfaces that use the latest state-of-the-art digital circuitry and network engineering. In this article, the USB development features are considered with a

prospective to prepare lectures on USB devices within the “Peripherals” module. The USB 2.0 and 3.x specifications are considered including USB 3.2 (Gen 1×1, 1×2, 2×1, 2×2). The following physical layer features are made clear (are defined): cable types, including USB Full-Featured Type-C Cable, usage modes of twisted pairs and coaxial pairs, and channel codes in combination with scrambling for half-duplex and dual simplex operations. The main differences in the link layer and protocol layer implementation of USB 2.0 and USB 3.2 are discussed including the marker access simplification, transition to the multichannel and burst modes operations, and the cyclic codes used.

Keywords: Universal Serial Bus (USB), USB specification, USB device, transfer mode, twisted pair, coaxial pair, lane, channel coding, scrambler, cyclic code

#### Введение

В условиях цифровизации образования и всех сфер общественной жизни важная роль отводится персональным компьютерам с развитым набором периферийных устройств. Для подключения периферии широко используется универсальная последовательная шина (Universal Serial Bus, USB). USB является развивающимся интерфейсом, что характеризуется, прежде всего, повышением скорости передачи информации по проводам при использовании последних достижений цифровой схемотехники и сетевых технологий. Со времени первой версии USB 1.0 1996 года появилось несколько спецификаций Форума по внедрению USB (USB Implementers Forum, USB-IF), относящихся к интерфейсу и кабелю [1-11], перечислим их по годам появления: USB 1.1 (1998), USB 2.0 (2000), USB 3.0 (2008 и 2011), USB 3.1 (2013), USB 3.2 (2017), спецификации на кабель USB 3.1 (2017) и кабель типа C (Release 1.3, 2017; Release 1.4, 2019; Release 2.0, 2019) и, наконец, USB4 (2019).

#### Постановка задачи

При подготовке лекций в вузе по теме «USB» в рамках дисциплины «Периферийные устройства» представляет интерес анализ особенностей развития USB и организация обучающего пространства для лабораторного практикума. В статье [12] была рассмотрена организация и методика проведения лабораторных работ в условиях вычислительного класса вуза с учетом возможностей домашних компьютеров студентов и имеющейся у них периферии USB. В данной работе проводится анализ физической реализации и логической организации ступеней развития USB с опорой на спецификации USB I/F, работы отечественных авторов, Гука М.Ю. [13] и Агурова П.В. [14], а также серию работ «USB Complete» Джен Аксельсон (Jan Axelson) [15-17].

#### Общая характеристика шины USB

USB представляет собой сеть с пакетной передачей, содержащая один хост-контроллер, корневой концентратор и произвольное количество подчинённых устройств. Топология сети – многоярусная звезда. В центре каждой звезды находится концентратор. Количество устройств в звезде переменное. В типичном случае концентратор имеет два, четыре или семь портов. Последовательно могут быть соединены пять внешних концентраторов, максимальное число устройств и концентраторов – 127, включая корневой.

Источниками и приемниками данных в устройстве USB являются конечные точки (Endpoint, EP). Типичная конечная точка – буфер FIFO в памяти данных или регистр микроконтроллера в составе устройства. В USB используется понятие интерфейса для одной или нескольких конечных точек в соответствии с выполняемыми ими функциями.

Большим преимуществом USB является подача питания устройствам через интерфейс.

#### Физическая реализация шины USB версий 1.1, 2.0, 3.x

В спецификациях USB 1.1, 2.0, 3.0 и 3.1 [1-5] приняты следующие обозначения устройств, скоростей и режимов работы:

- низкоскоростные устройства и режимы – Low Speed (Low, или LS), скорость 1.5 Mbit/s;
- полноскоростные – Full Speed (Full, или FS), 12 Mbit/s;
- высокоскоростные – High Speed (High, или HS), 480 Mbit/s;
- сверхскоростные – Enhanced SuperSpeed, в том числе SuperSpeed (SS), 5 Gbit/s и SuperSpeedPlus (SSP), 10 Gbit/s.

Спецификация USB 3.2 вводит новые режимы и определяет сверхвысокие скорости соединения Enhanced SuperSpeed в общем виде как Gen X×Y, то есть, Speed × Lanes – единиц скорости × количество полос передачи [3.2, p. 8]:

- Gen 1×1 (5G), 5 Gbit/s;
- Gen 1×2 (5G×2 = 10G), 10 Gbit/s;
- Gen 2×1 (10G), 10 Gbit/s;
- Gen 2×2 (10G×2 = 20G), 20 Gbit/s.

Как отмечено, в частности, в [17, раздел 1], спецификация USB 1.1 заменяет USB 1.0, USB 2.0 заменяет USB 1.1, USB 3.0 дополняет, но не заменяет USB 2.0, USB 3.1 заменяет USB 3.0 и дополняет, но не заменяет USB 2.0. При этом спецификация USB 3.2 вбирает в себя все предыдущие спецификации 3.x [6, р. 1]. Все спецификации USB 3.x поддерживают USB 2.0. Таким образом, имеет место обратная совместимость версий USB.

В таблице 1 приведены характеристики спецификаций и режимов работы USB (Transfer mode), в том числе теоретическая (максимальная) скорость передачи данных в сети, базовая скорость (Net Gross Data Rate). Три параметра характеризуют кабели USB, используемые для различных режимов. Через  $N_{ЭВП}$  обозначено число экранированных витых пар в кабеле,  $N_{КП}$  – возможное число коаксиальных пар в кабеле,  $N_{ПП}$  – число полос передачи (lanes) в каждом направлении. Полоса передачи определяется как соединение между передатчиком одного порта и приемником другого порта.

Характеристики этапов кодирования передаваемой информации на различных уровнях протокола включают методы канального кодирования, скремблирования и помехоустойчивого кодирования. Полином скремблера приведен в краткой записи. Для защиты от ошибок в USB применяются циклические избыточные коды (Cyclic Redundancy Code, или Cyclic Redundancy Check, CRC). В графе «Помехоустойчивое кодирование» приведены обозначения используемых порождающих полиномов CRC и их вид в краткой записи для демонстрации различий.

Таблица 1 – Характеристики режимов передачи в интерфейсе USB версий 1.1, 2.0, 3.x (3.0, 3.1, 3.2)

Спецификация	Режим	Теоретическая скорость передачи	$N_{ЭВП}$	$N_{КП}$	$N_{ПП}$	Канальное кодирование	Скремблер *1)	Помехоустойчивое кодирование
USB 1.1	Low Speed; Full Speed	1.5 Mbit/s; 12 Mbit/s	-	-	-	NRZI	-	CRC-5 (00101b), CRC-16 (8005h)
USB 2.0	High Speed *2)	480 Mbit/s	-	-	-	NRZI	-	CRC-5 (00101b), CRC-16 (100Bh)
USB 3.0	SuperSpeed (SS)	5 Gbit/s	2	-	1	8b/10b	0039h	CRC-5 (00101b), CRC-16 (100Bh), CRC-32 (04C11DB7h)
USB 3.1 Gen 1	SuperSpeed (SS)	5 Gbit/s	2	-	1	8b/10b	0039h	CRC-5, CRC-16, CRC-32
USB 3.1 Gen 2	SuperSpeed plus (SSP)	10 Gbit/s	-	4	2	128b/132b	210125h	CRC-5, CRC-16, CRC-32
USB 3.2 Gen 1×1	Enhanced SuperSpeed	5 Gbit/s (5G)	2	-	1	8b/10b	0039h	CRC-5, CRC-16, CRC-32 (04C11DB7h)
USB 3.2 Gen 1×2	Enhanced SuperSpeed	10 Gbit/s (5G×2=10G)	-	4	2 *3)	8b/10b	0039h	CRC-5, CRC-16, CRC-32
USB 3.2 Gen 2×1	Enhanced SuperSpeed	10 Gbit/s (10G)	-	4	2	128b/132b	210125h	CRC-5, CRC-16, CRC-32
USB 3.2 Gen 2×2	Enhanced SuperSpeed	20 Gbit/s (10G×2=20G)	-	8	2 *4)	128b/132b	210125h	CRC-5, CRC-16, CRC-32

\*1) указан полином скремблера в краткой записи. \*2) с поддержкой Low Speed и Full Speed; \*3) спецификация USB 3.2 организует режим Gen 1×2 как две полосы по 5 Gbit/s на базе USB 3.1 Gen 1; \*4) спецификация USB 3.2 организует режим Gen 2×2 как две полосы по 10 Gbit/s на базе USB 3.1 Gen 2.

Согласно спецификации USB 2.0 устройства Low, Full и High Speed используют одну дифференциальную полудуплексную линию связи для обмена данными. В кабеле это обеспечивает неэкранированная витая пара (unshielded twisted pair, UTP), которая сохраняется в кабелях всех типов для поддержки этих устройств.

Все кабели USB имеют луженую медную оплетку (экран). В кабелях USB 1.1 и USB 2.0 два питающих и два сигнальных провода окружены внутренним экраном из полиэстера, который металлизирован алюминием, и внешним экраном (оплеткой из луженой меди). Между экранами расположен многожильный луженый медный дренажный провод.

Для скоростей High и выше применяется согласование передатчика и приемника с волновым сопротивлением линии.

В USB 3.0 [3, 4] для обеспечения сверхвысокой скорости SuperSpeed (5 Gbit/s) в кабель добавляются две экранированных витых пары (Shielded Differential Pair, SDP) с дренажными проводами, они обеспечивают две дифференциальные симплексные линии (двойной симплекс, dual simplex) для организации двухстороннего обмена. В работе [16, р. 457] отмечается, что при организации полного дуплекса (full duplex) дренажный провод был бы общим для обеих экранированных витых пар.

Спецификация USB 3.1 вводит систему Enhanced SuperSpeed, в которую включены две шины: SuperSpeed (USB 3.1 Gen 1) и SuperSpeedPlus (USB 3.1 Gen 2) [5, р. 1-1]. Сообщается о двух вариантах кабелей [5, Figure 5-15, р. 5-34]. В первом варианте кабеля имеются две экранированные витые пары с дренажными проводами, и это соответствует USB 3.1 Gen 1 и USB 3.0.

В варианте USB 3.1 Gen 2 скорость проводного подключения увеличивается в два раза. Для этого имеется второй вариант кабеля, в котором вместо двух экранированных витых пар с дренажными проводами реализованы четыре тонких коаксиальных кабеля (coaxial signal pairs) [5, Figure 5-15, р. 5-34; 7, Figure 5-15, р. 40]. По двум коаксиальным парам организуется две полосы передачи к хосту, по двум другим – две полосы передачи к устройству, в результате получается двойной симплекс (dual simplex) и теоретическая скорость 10 Gbit/s. Реализуется двухканальный режим работы (двойные симплексные каналы).

Спецификация USB 3.2 определяет двухшинную архитектуру с двумя одновременно активными шинами: шиной USB 2.0 и шиной Enhanced SuperSpeed [6, р. 15]. При этом расширяются возможности архитектуры Enhanced SuperSpeed, которая включает в свою очередь две шины. Шина SuperSpeed поддерживает устройства, работающие на скорости Gen 1×1 (аналог 3.0 и 3.1 Gen 1). Шина SuperSpeedPlus обеспечивает работу устройств в режимах Gen 1×2 ( $5G \times 2 = 10G$ , 10 Gbit/s), Gen 2×1 (10G, 10 Gbit/s, аналог 3.1 Gen 2) и Gen 2×2 ( $10G \times 2$ , или 20G, 20 Gbit/s) [6, р. 19, Figure 3-2].

Применен 24-контактный кабель USB Type-C с поддержкой USB 3.2, имеющий симметричный разъем (flip-flop capability), и достигается увеличение скорости передачи в четыре раза, до 20 Gbit/s.

В кабеле USB Type-C имеются варианты использования четырех экранированных витых пар или восьми тонких коаксиальных кабелей (micro-coaxial wires) [10, pp. 69, 70, Figures 3-21, 3-22]. Если используются экранированные витые пары, то необходимы дренажные провода, которые должны быть подключены к контактам заземления (GND). Если используются коаксиальные провода, то дренажных проводов нет, сигнал заземления возвращается через экраны коаксиальных проводов [10, р. 71].

По одной четверке коаксиальных пар можно организовать четыре полосы передачи к хосту, по другой четверке – четыре полосы передачи к устройству. Таким образом, теоретическая скорость передачи данных в каждом направлении может увеличиться в четыре раза, до 20 Gbit/s, и этот режим работы можно назвать четырехканальным. Однако отметим, что спецификация USB 3.2 организует режим Gen 2x2 как две полосы по 10 Gbit/s, а не четыре полосы по 5 Gbit/s, так как одна полоса здесь реализуется на базе USB 3.1 Gen 2.

Подобное умножение скорости реализуется при параллельно-последовательном способе передачи, когда производится расслоение данных (data striping) и передача фрагментов параллельно, одновременно, но не синхронно, по нескольким каналам, а при приеме фрагменты склеиваются. Происходит чередование полос при передаче (lane striping) и склеивание полос при приеме (lane bonding) [18, 19]. Расслоение выполняется только для блоков данных, передача управляющих блоков в полосах дублируется [6, р. 109]. Для устранения перекоса, смещения между символами в полосах двухполосной связи (lane-to-lane skew) используются специальные решения.

В версиях спецификаций на кабель и разъем USB Type-C [8-10] приводится два варианта кабеля с восемью коаксиальными парами. Один из них содержит специальный проводник под названием  $V_{CONN}$ , имеет так называемую электронную маркировку “Electronically Marked Cable”, ему соответствует массивная вилка разъема со встроенной электроникой. Вилка имеет специальный крепеж для предотвращения случайного рассоединения. Через проводник  $V_{CONN}$  обеспечивается питание схем в вилке разъема. Все это характеризует полнофункциональный кабель USB типа C (USB Full-Featured Type-C Cable) и позволяет идентифицировать поддержку кабелем спецификации USB Power Delivery (USB PD) [9, р. 130; 10, р. 143]. Обеспечивается подача питания повышенной мощности до 100 Ватт (5 Ампер, 20 Вольт) и гибкий, многоуровневый механизм управления энергосбережением, поддерживающий режимы (состояния) ожидания (idle), сна (sleep) и приостановки (suspend) [6, р. 18; 17, раздел 17].

В полнофункциональном кабеле USB типа C используется служебный конфигурационный канал (Configuration Channel, CC) для распознавания, конфигурирования и управления обменом, включая управление питанием согласно USB PD [10, р. 35]. Для канала CC используются контакты розетки разъема A5, B5 и контакт вилки A5, к контакту вилки B5 подсоединен проводник  $V_{CONN}$ , упомянутый выше.

В полнофункциональном кабеле имеются еще два проводника и контакта разъема, обозначенные SBU1 и SBU2 (SBU – Sideband Use), назначение которых согласно версии “Release 1.3” [8, pp. 60, 123], должно быть определено в будущих версиях USB. В более позднем документе, “Release 2.0” [10, р. 139], указано, что полнофункциональный кабель для USB4 включает эти проводники и представляет собой



кабель с электронной маркировкой. Применение этих проводников проясняется в спецификации USB4, которая вводит маршрутизаторы в архитектуру; они представляют канал боковой полосы (Sideband (SB) Channel) – соединение между портами USB4 двух соединенных между собой маршрутизаторов, этот канал обеспечивает начальные функции связи и настройки [11, р. 8]. Отметим, что в спецификации на полнофункциональный кабель специально отмечена группа низкоскоростных сигнальных линий (low speed signal lines), к которым отнесены пары линий CC, SBU, а также линии D+, D– USB 2.0) [10, р. 106].

Спецификация USB 2.0 определяет использование повторителей в составе концентраторов (Hub Repeater). Спецификации USB 3.2 и USB Type-C регламентируют применение активного кабеля, содержащего в самом кабеле повторители-ретрансляторы сигнала (repeater/forwarder), которые включают схемы для восстановления уровня сигнала (re-drivers, ре-драйверы), временных параметров сигнала и уменьшения нестабильности длительности импульсов (re-timers, ре-таймеры) [6, Figures E-2, E-3, р. 486].

Используются дифференциальные передатчики и приемники, обеспечивающие защиту от синфазных помех. Рекомендуется, чтобы дифференциальное волновое сопротивление для экранированных дифференциальных пар составляло  $90 \text{ Ом} \pm 5 \text{ Ом}$ , волновое сопротивление несимметричной коаксиальной пары –  $45 \text{ Ом} \pm 3 \text{ Ом}$  [10, р. 88].

Методы канального кодирования в USB направлены на ограничение количества последовательных единиц и нулей, уменьшение (устранение) постоянной составляющей в спектре передаваемого сигнала, обеспечение самосинхронизации (выделения тактовой частоты из принимаемого сигнала) и надежной работы схемы фазовой автоподстройки частоты (Phase-Locked Loop, PLL).

В режимах USB 2.0 применяется метод NRZI (Non-Return-to-Zero Inverted) со вставкой бит (bit stuffing) и поля синхронизации пакетов. Метод NRZI применяется в варианте NRZS (NRZ Space), когда бит 0 кодируется переключением уровня сигнала, бит 1 – его отсутствием; производится вставка нулей для ограничения количества последовательных единиц.

В режимах USB 3.x методы канального кодирования дополняются скремблированием для создания псевдослучайных последовательностей и уменьшения электромагнитных помех:

– схема кодирования 8b/10b с предварительным скремблированием данных (Data Scrambling) в режимах USB 3.0, USB 3.1 Gen 1, USB 3.2 Gen 1×1 и Gen 1×2; для реализации скремблера используется полином 16-ой степени  $G(X) = X^{16} + X^5 + X^4 + X^3 + 1$  (0039h в краткой записи);

– схема кодирования 128b/132b в сочетании со скремблированием в режимах USB 3.1 Gen 2, USB 3.2 Gen 2×1 и Gen 2×2; полином 23-ей степени  $G(X) = X^{23} + X^{21} + X^{16} + X^8 + X^5 + X^2 + 1$  (210125h в краткой записи); разность в четыре бита в схеме 128b/132b относится к четырехбитовому заголовку, который кодирует тип блока – данные или блок управления (встречается также наименование «синхронизирующие биты») (sync bits).

Скремблирование осуществляется независимо в каждой полосе с различным кодом предустановки сдвигающего регистра. В USB 3.1 Gen 1 и USB 3.2 Gen 1 (Gen 1×1 и Gen 1×2) скремблируются все передаваемые данные. В USB 3.1 Gen 2 и USB 3.2 Gen 2 (Gen 2×1 и Gen 2×2) скремблируются символы в блоках данных, скремблирование символов в управляющих блоках, заголовках блоков зависит от их типа. Скремблирование может быть отключено при тестировании и отладке.

В режимах USB 3.2 Gen 2×1 и Gen 2×2 контролируется текущий баланс постоянного тока (DC Balance) [6, pp. 61, 67] – разница между количеством переданных единиц и нулей.

#### Логическая организация шины USB версий 1.1, 2.0, 3.x

В USB используются четыре типа передачи: управляющие передачи (Control Transfers, далее Control), осуществляемые, как правило, с конечной точкой 0 (EP0); передачи массивов данных (Bulk Data Transfers, Bulk); передачи прерываний (Interrupt Data Transfers, Interrupt); изохронные передачи (Isochronous Data Transfers, Isochronous).

Интерфейс USB 2.0 использует полудуплексный обмен и пакетную передачу данных с применением маркеров, «токенов» (token) для идентификации пакетов. Согласно спецификации 2.0 хост-контроллер периодически посылает пакет-маркер транзакции (token packet) SOF (Start Of Frame), который маркирует начало кадра/микрокадра и является синхронизирующим для изохронных устройств и концентраторов. (Применяются фиксированные интервалы в 1 миллисекунду для Low и Full Speed, 125 микросекунд для High Speed.) Маркеры транзакций вывода данных (OUT), ввода данных (IN) и управления (SETUP) содержат идентификатор конечной точки устройства. При управлении потоком используется маркер PING для проверки возможности приёма данных высокоскоростным устройством (High Speed). Преамбула (маркер) передачи на низкой скорости (PRE) разрешает трансляцию данных на низкоскоростной порт концентратора. Маркер SPLIT используется для организации разделённой передачи с целью преобразования скоростей обмена по шине: высокой (High) на стороне восходящего порта в полную или низкую (Full/Low) на стороне нисходящих портов, к которым подключены устройства USB 1.1.

В USB 2.0 выполняется поочередный опрос устройств на наличие данных для передачи [2, р. 8].

В спецификациях USB 3.x отмечается обратная совместимость с USB 2.0 на базовом уровне. Различия между протоколами связаны, прежде всего, с различиями в организации двухстороннего обмена. Существенное повышение скорости передачи сигналов вызвало изменение способов канального кодирования и введение скремблирования, отмеченное выше.

Физический уровень SuperSpeed и Enhanced SuperSpeed, двойной симплекс (dual simplex), позволяет передавать информацию одновременно в двух направлениях, выполнять параллельные транзакции IN и OUT. Для передач OUT информация, содержащаяся в «токене» USB 2.0, в USB 3.x включена в заголовок пакета данных, поэтому отдельный «токен» не требуется. Для передач IN опроса устройств не требуется, квитирование используется устройством для запроса данных. При вводе устройство может не ждать подтверждения каждого пакета данных, переданного в хост. Введены новые виды пакетов ERDY (Endpoint Ready) и NRDY, которые позволяют устройству асинхронно уведомить хост о готовности/неготовности к обмену, и отменяют для хоста необходимость опроса устройства, что существенно ускоряет обмен. Устройство может отвечать передачей данных, квитированием STALL («остановлено») или квитированием Not Ready (NRDY), чтобы отложить передачу до тех пор, пока не будет готово.

При передаче массивов данных (Bulk) поддерживается монопольный режим (data bursting) передачи пакетов между хостом и устройством, передатчик может отправлять несколько пакетов данных до получения квитирования. Каждая конечная точка устройства SuperSpeed или Enhanced SuperSpeed (SuperSpeed и SuperSpeedPlus) указывает количество пакетов, которые она может отправить / получить (так называемый максимальный размер пакета данных) без ожидания квитирования [4, р. 4-5; 5, р. 4-5; 6, р. 36]. По сравнению с SuperSpeed архитектура SuperSpeedPlus создает дополнительные условия монопольного режима для пакетов данных: множественные одновременные транзакции IN; концентраторы с дополнительной буферизацией и локальными арбитражными решениями; концентраторы с разной скоростью связи с нисходящими портами [6, р. 249].

В Enhanced SuperSpeed не используется пакет-маркер транзакции SOF/микро-SOF, но хост передает всем активным устройствам специальные пакеты подобного типа, содержащие метки времени (timestamps) [6, р. 24], и добавляется механизм для участия устройств в настройке интервала шины.

Поддерживается управление питанием на уровне канала, которое может быть инициировано с другого конца линии, а не только хостом.

Разработанные стандарты USB 3.x обеспечивают обратную совместимость с USB 2.0 и представляют двухшинную архитектуру, включающую две одновременно активных шины, шину USB 2.0 и сверхскоростную шину USB. Хост-контроллеры и концентраторы USB 3.x поддерживают скорости всех устройств, подключенных к шине. Так, в USB 3.1 поддерживаются пять скоростей (Low Speed, Full Speed, High Speed, SuperSpeed, SuperSpeedPlus) [17, раздел 1], аналогичная ситуация в USB 3.2 [6, р. 16, Figure 3-1].

Для защиты от помех в USB применяются циклические избыточные коды (CRC – Cyclic Redundancy Code или Cyclic Redundancy Check). В USB 1.1 и USB 2.0 для защиты пакетов служебных сообщений (пакетов-маркеров) используется образующий полином CRC-5,  $G(X) = X^5 + X^2 + 1$ , в краткой записи 00101b, для пакетов данных – CRC-16,  $G(X) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$  (8005h).

В USB 3.x для защиты слова управления потоком на уровне канала (Link Control Word) используется образующий полином CRC-5 (00101b). Для защиты заголовков всех пакетов используется полином CRC-16,  $G(X) = X^{16} + X^{12} + X^3 + X + 1$  (100Bh), не совпадающий с CRC-16 спецификаций USB 1.1, USB 2.0. Для пакетов данных применен более мощный полином CRC-32 (04C11DB7h).

Для всех типов передачи, кроме изохронных, предусмотрена коррекция ошибок. В изохронном режиме не используются пакеты квитирования. Ошибочные изохронные данные не корректируются, а игнорируются.

Безусловно, особый интерес представляет версия USB4, в которой вводятся новые режимы и их обозначения: Gen2×1 (10 Gbit/s), Gen2×2 (20 Gbit/s), Gen3×1 (20 Gbit/s) и Gen3×2 (40 Gbit/s). Примечательно, что удвоенная скорость передачи сигналов достигается в том же кабеле через 24-контактный разъем, возможно использование оптически изолированного активного кабеля с дальностью передачи до 50 метров (что отмечено в [10, р. 261]), в архитектуру вводятся маршрутизаторы, поддерживаются альтернативные режимы DisplayPort и Thunderbolt 3, а также обмен “host-to-host”. При этом обеспечивается обратная совместимость с USB 3.2 и USB 2.

#### Заключение

Проведенный анализ послужит для обогащения лекционного изложения и позволит поставить различные вопросы для исследований и вычислений, в том числе: особенности использования дифференциальной передачи в различных интерфейсах; организация многоканальной передачи в USB, PCI-Express и DisplayPort; возможности канальных кодов, применяемых при передаче длинных

последовательностей данных на расстояние или при записи на различные носители, т.е. в пространстве и во времени. Присутствие подобной тематики в лекционном курсе будет способствовать повышению компетентности студентов в области информационных технологий.

#### Литература

1. Universal Serial Bus Specification. Compaq, Intel, Microsoft, NEC. Revision 1.1 September 23, 1998. – 311 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
2. Universal Serial Bus Specification. Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC, Philips. Revision 2.0 April 27, 2000. – 622 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
3. Universal Serial Bus 3.0 Specification. Hewlett-Packard Company, Intel Corporation, Microsoft Corporation, ST-NXP Wireless, NEC Corporation, Texas Instruments. Revision 1.0 November 12, 2008. – 482 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
4. Universal Serial Bus 3.0 Specification (including errata and ECNs through May 1, 2011) Hewlett-Packard Company, Intel Corporation, Microsoft Corporation, NEC Corporation, ST-Ericsson, Texas Instruments. Revision 1.0 June 6, 2011 – 531 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
5. Universal Serial Bus 3.1 Specification. Hewlett-Packard Company, Intel Corporation, Microsoft Corporation, Renesas Corporation, STMicroelectronics, Texas Instruments. Revision 1.0 July 26, 2013. – 631 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
6. Universal Serial Bus 3.2 Specification. Apple Inc., Hewlett-Packard Inc., Intel Corporation, Microsoft Corporation, Renesas Corporation, STMicroelectronics, Texas Instruments. Revision 1.0 September 22, 2017. – 518 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
7. USB 3.1 Legacy Cable and Connector Specification. Hewlett-Packard Inc., Intel Corporation, Microsoft Corporation, Renesas Corporation, STMicroelectronics, Texas Instruments. Revision 1.0 (including all errata and ECNs through June 2017) September 22, 2017. – 64 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
8. Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification Release 1.3 July 14, 2017. – 247 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
9. Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification Release 1.4 March 29, 2019. ([www.usb.org](http://www.usb.org)) – 329 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
10. Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification Release 2.0 August 2019. – 373 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
11. Universal Serial Bus 4 (USB4) Specification. Apple Inc., Hewlett-Packard Inc., Intel Corporation, Microsoft Corporation, Renesas Corporation, STMicroelectronics, Texas Instruments, Version 1.0 August, 2019. – 535 p. ([www.usb.org](http://www.usb.org))
12. Богодистова Е.С., Тельнов Г.Г., Воюев Ю.К. Анализ работы периферийных устройств с использованием программы-монитора USB // «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии»: Сборник трудов XVI международной научно-практической конференции. – М: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019. – С. 30-35.
13. Гук М.Ю. Шины PCI, USB и FireWire. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2005. – 540 с.
14. Агуров П.В. Практика программирования USB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 624 с.
15. Axelson, Jan. USB Complete: Everything You Need to Develop USB Peripherals, Third Edition. – Lakeview Research LLC Madison, WI 53704. Copyright 1999-2005 by Janet L. Axelson. 572 p. [Электронный ресурс] [http://janaxelson.com/files/usb\\_complete\\_chapter1.pdf](http://janaxelson.com/files/usb_complete_chapter1.pdf) (дата обращения: 17.06.2019)
16. Axelson, Jan. USB Complete: The Developer's Guide, Fourth Edition. – Lakeview Research LLC Madison, WI 53704. Copyright 1999-2009 by Janet L. Axelson. 504 p. [Электронный ресурс] [http://boxbox.ru/USB%20Complete%20Dev\\_Guide.pdf](http://boxbox.ru/USB%20Complete%20Dev_Guide.pdf) (дата обращения: 23.01.2019)
17. Axelson, Jan. USB Complete: The Developer's Guide, Fifth Edition. Copyright 1999-2015 by Janet L. Axelson. 770 p. [Электронный ресурс] <http://janaxelson.com/usbc.htm> (дата обращения: 17.06.2019)
18. Heads Up on USB 3.2 and USB Type-C [Электронный ресурс] <http://eecatalog.com/usb/2019/02/27/heads-up-on-usb-3-2-and-usb-type-c/> (дата обращения: 07.05.2020)
19. Understanding USB 3.2 and Type-C [Электронный ресурс] <https://www.techdesignforums.com/practice/technique/understanding-usb-3-2-and-type-c/> (дата обращения: 23.04.2020)

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ С  
КОМПЕНСАЦИОННЫМ КАНАЛОМ

Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Истомина Т.В.\*, Славкин И.Е., Бадеев В.А.  
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», \*ФГБОУ ИВО «Московский государственный  
гуманитарно-экономический университет»  
+79656377632, badeeva\_elena@mail.ru

Предлагаются меры конструктивно-технологического характера по улучшению эксплуатационных и метрологических характеристик волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом для узких полостей. Предложено дифференциальное преобразование оптических сигналов с помощью аттенюатора заменить компенсационным преобразованием, осуществляемым с помощью оптико-модулирующего элемента в виде неподвижной зеркальной поверхности и непрозрачного аттенюатора, перемещающегося перпендикулярно оптической оси оптических волокон при прогибе мембраны под воздействием измеряемого давления.

Ключевые слова: волоконно-оптический датчик, давление, компенсационный канал, микроперемещение, аттенюаторно-отражательный преобразователь, оптическое волокно, световой поток

Small fiber optic pressure sensor with compensation channel. <sup>1</sup>Badeyeva E.A., <sup>1</sup>Murashkina T.I., <sup>2</sup>Istomina T.V., <sup>1</sup>Slavkin I.E., <sup>1</sup>Badeev V.A., <sup>1</sup>ФГБОУ ИВО Penza State University, <sup>2</sup>ФГБОУ ИВО "Moscow State University of Humanities and Economics"

Structural and technological measures are proposed to improve the operational and metrological characteristics of fiber-optic pressure sensors with an open optical channel for narrow cavities. Differential conversion of optical signals with the help of attenuator is proposed to be replaced by compensation conversion carried out with the help of optical-modulating element in the form of fixed mirror surface and opaque attenuator moving perpendicular to optical axis of optical fibers at deflection of membrane under the influence of measured pressure.

Keywords: fiber-optic sensor, pressure, compensation channel, micro-displacement, attenuator-reflector converter, optical fiber, light flux

#### Введение

На объектах РК и АТ измерение и контроль давления занимает до 50 % от общего числа всех измерений. К современным информационно-измерительным системам (ИИС) ракетно-космической и авиационной техники (РК и АТ) предъявляются требования повышенной надежности, точности измерений, искро-взрыво-пожаробезопасности, радиационной стойкости, работоспособности при воздействии электромагнитных помех повышенной интенсивности. ИИС на основе применения волоконно-оптических датчиков (ВОД) в отличие от «электрических» позволяют добиться реализации данных требований [1].

#### Постановка проблемы

В работах [1-3] рассмотрены волоконно-оптические датчики с открытым оптическим каналом, используемые как в нормальных, так и в жестких условиях эксплуатации. Особенности их конструктивного исполнения в том, что их корпус, как правило вытянут вдоль оптической продольной оси, что затрудняет их использование в зауженных полостях.

Диапазоны измерений таких датчиков определяются в основном параметрами мембраны.

В волоконно-оптических измерительных преобразователях давления (ВОПД) с предельными аттенюаторами, перемещающимися в соответствии с изменением измеряемого параметра, модуляция оптического сигнала осуществляется за счет перемещения границы «непрозрачный экран – воздух» аттенюатора в направлении Z относительно торцов подводящих (ПОВ) и отводящих (ООВ) оптических волокон, расположенных с разных сторон относительно аттенюатора [4 – 6]. Такое расположение требует крутого изгиба оптического волокна в корпусе ВОПД, что ведет, во-первых, к увеличению габаритов датчика, а, во-вторых, снижает уровень сигнала и, соответственно, снижает чувствительность преобразования оптических сигналов в зоне измерения.

На рисунке 1 приведена упрощенная конструктивная схема волоконно-оптического датчика избыточного давления (ВОДД) аттенюаторного типа [4], который является прототипом разрабатываемого ВОДД аттенюаторно-отражательного типа с компенсационным каналом.

Мембрана 1 жестко соединена со штуцером 2. В центре мембраны жестко закреплен дифференциальный предельный аттенюатор 3 с круглым отверстием на расстояниях  $l_1$  и  $l_2$  относительно излучающего торца подводящего оптического волокна ПОВ 4 и приемных торцов отводящих оптических волокон ООВ 5 первого и второго измерительных каналов соответственно. ПОВ 4 и ООВ 5 жестко закреплены в корпусе 6.

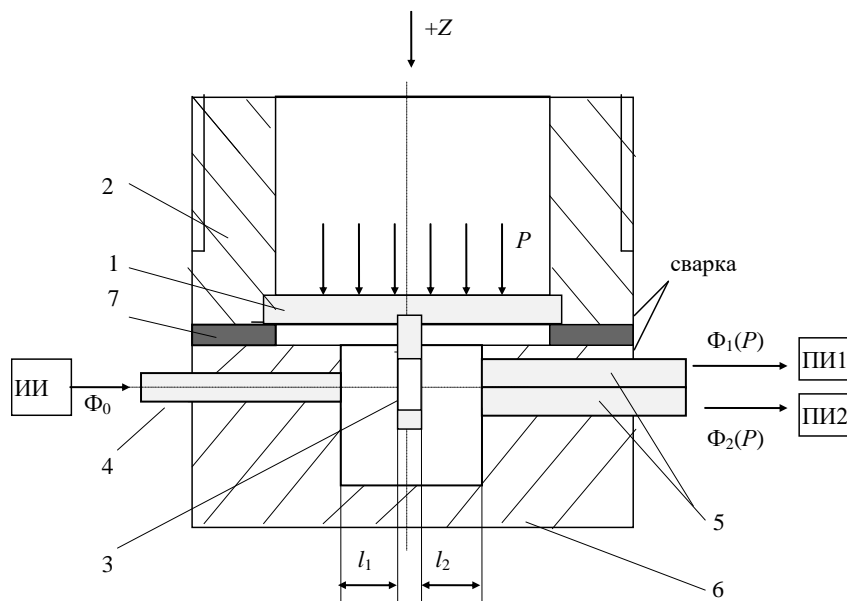


Рисунок 1 – Упрощенная конструктивная схема ВОДД аттенуаторного типа

Юстировка волокон относительно отверстия в аттенуаторе 3 осуществляется с помощью металлической прокладки 7, толщина которой подбирается в процессе настройки датчика.

Работает ВОДД аттенуаторного типа следующим образом: измеряемое давление воспринимается мембраной 1, при этом аттенуатор 3 смещается относительно торцов оптических волокон, что ведет к изменению интенсивности световых потоков, поступивших в ООВ5. Таким образом, преобразователем измерительной информации является дифференциальный волоконно-оптический преобразователь микроперемещений [5, 6].

Основными недостатками такого ВОДД являются:

- для повышения чувствительности преобразования оптических сигналов должен быть обеспечен большой ход аттенуатора относительно оптических волокон, что возможно при большом прогибе мембраны. Это ведет к увеличению динамической погрешности датчика, а также к возможному изгибу аттенуатора при внешних механических воздействиях (поперечных вибрации и ударов) и, соответственно к большим дополнительным погрешностям;

- необходимость изгиба оптического волокна внутри корпуса датчика, что ведет к возникновению вытекающих мод и, соответственно, к резкому снижению чувствительности преобразования оптического сигнала [7];

- дифференциальное преобразование оптического сигнала непосредственно в зоне восприятия измерительной информации предполагает точную юстировку аттенуатора относительно оптических волокон и волокон относительно друг друга с точностью до 1...5 мкм, что снижает технологичность конструкции датчика [8, 9].

Основным недостатком такого датчика являются его существенные продольные габаритные размеры, которые не позволяют разместить датчик в полости того или иного объекта, имеющего узкую или невысокую установочную полость.

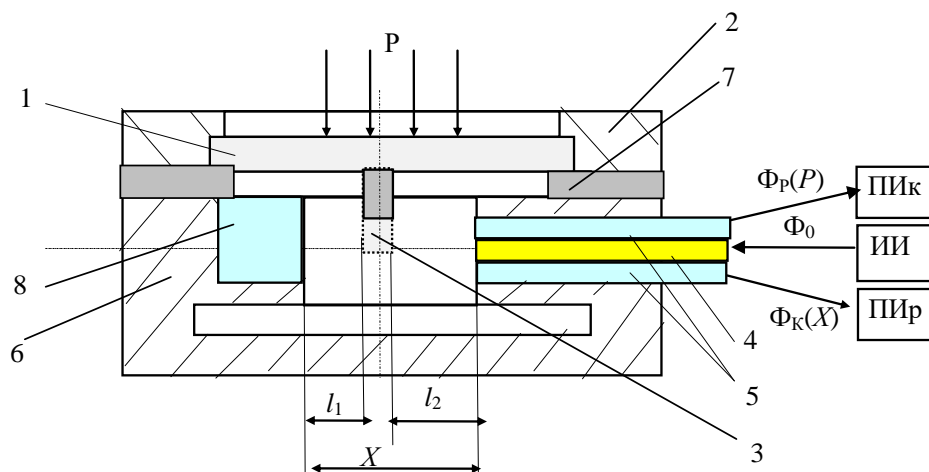
#### Результаты

На рисунке 2 изображена упрощенная конструктивная схема разрабатываемого ВОДД аттенуаторно-отражательного типа с компенсационным каналом, в котором устранены вышеперечисленные недостатки.

В отличие датчика, приведенного на рисунке 1, в предлагаемом датчике ПОВ 4 и ООВ 5 располагаются относительно аттенуатора 3 с одной стороны, причем аттенуатор 3 имеет такие габариты и установлен относительно торцов оптических волокон так, что в отсутствие прогиба мембраны 1 не перекрывает световой поток от ПОВ 4. С противоположной стороны аттенуатора 3 установлен зеркальный отражатель 8, габаритные размеры которого превышают внешний радиус светового пятна, падающего на него от ПОВ 4.

Разработана обобщенная структурная схема ВОДД аттенуаторно-отражательного типа с компенсационным каналом (рисунок 3). ВОДД преобразует измеряемое давление в изменение интенсивности оптического сигнала. Волоконно-оптический кабель (ВОК) необходим не только для передачи светового потока от источника излучения в зону измерения, а затем к приемнику излучения, но и для реализации компенсационного преобразования светового потока в зоне открытого оптического

канала. Оптоэлектронный блок (ОЭБ) является связующим звеном между оптической и электрической системами датчика. ОЭБ включает один источник излучения ИИ и два приемника излучения первого рабочего ПИр и второго компенсационного ПИК измерительных каналов.



1- чувствительный элемент (мембрана); 2- крышка; 3- аттенюатор (непрозрачный экран); 4- подводящее оптическое волокно; 5- отводящие оптические волокна; 6 - корпус; 7 - прокладка; 8 – отражатель (зеркало); ИИ - источник излучения; ПИр, ПИК - приемники излучения рабочего и компенсационного измерительных каналов

Рисунок 2 - Упрощенная конструкция ВОДД аттенюаторно-отражательного типа

БПИ служит для питания светодиодов и фотодиодов и преобразования электрического сигнала с выхода ОЭБ в унифицированный электрический сигнал, например (4...25) мА. ОЭБ и БПИ располагаются в отсеках космических аппаратов с повышенной защитой, в том числе и от радиации.

ВОДД состоит из измерительного преобразователя компенсационного типа и волоконно-оптического кабеля (ВОК). ВОК включает в себя подводящее оптическое волокно (ПОВ) и отводящие оптические волокна рабочего ООВ<sub>р</sub> и компенсационного ООВ<sub>к</sub> каналов. Оптические волокна расположены относительно друг друга так, чтобы обеспечить компенсационное преобразование оптических сигналов.

*Датчик работает следующим образом. Световой поток  $\Phi_0$ , сформированный источником излучения, по ПОВ 4 передается в зону измерений в направлении зеркальной поверхности 8. Отраженные световые потоки  $\Phi_r=f(P)$  и  $\Phi_k=const$  по ООВ<sub>р</sub> и ООВ<sub>к</sub> поступают на рабочий ПИр и компенсационный ПИК приемники излучения соответственно, где преобразуются в электрические сигналы  $I_r(P)$  и  $I_k(X=const)$ , которые далее поступают на вход модуля сбора и преобразования информации (МСПИ).*

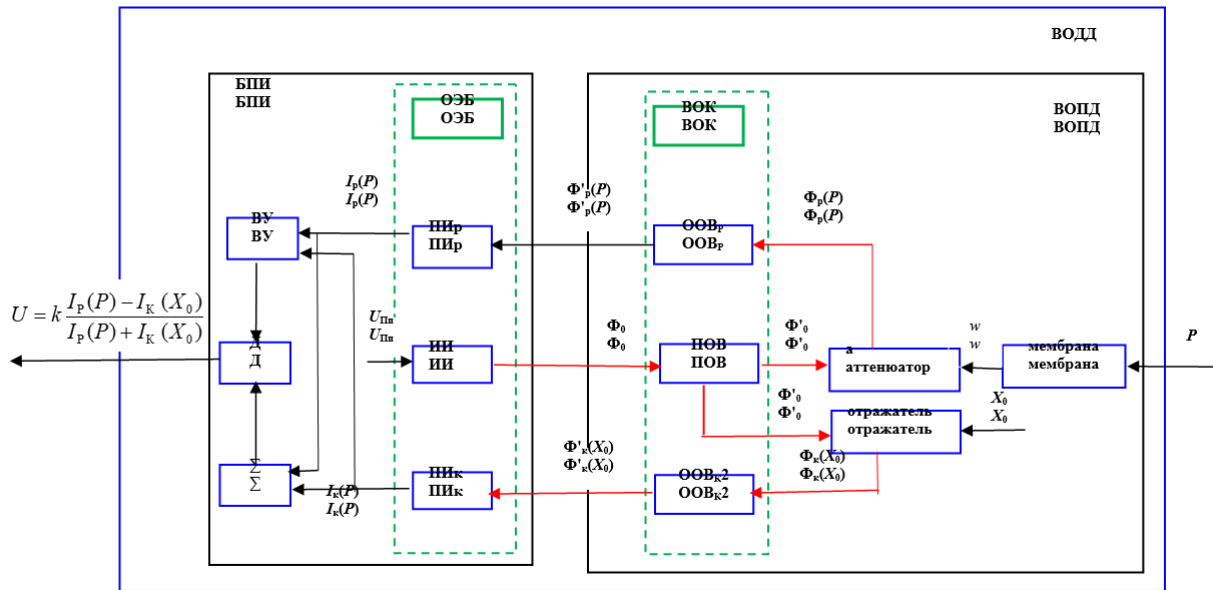
В нейтральном положении при  $Z=0$  аттенюатор установлен относительно общего торца оптических волокон таким образом, чтобы освещенная кольцевая зона, полученная отражением от неподвижной зеркальной поверхности, расположенной в непосредственной близости от аттенюатора, полностью перекрывала поверхность отводящего оптического волокна.

При перемещении непрозрачного аттенюатора под действием измеряемой физической величины в направлении  $Z$  относительно торцов ПОВ и ООВ, расположенных в одной плоскости, лучи света от подводящего оптического волокна ПОВ проходят в прямом направлении расстояние  $X$  до зеркала 8 и расстояние  $X$  в обратном направлении до ООВ под апертурным углом  $\Theta_{НА}$  к оптической оси волокна [6, 7]. На ПИр и ПИК формируются электрические сигналы  $I_r(P)$  и  $I_k(X_0)$ , первый из которых пропорционален прогибу мембраны  $w$ , соответственно измеряемому давлению  $P$ , а второй имеет постоянное значение, пропорциональное постоянному расстоянию  $X_0$  от оптических волокон компенсационного канала до отражателя.

В БПИ осуществляется операция суммирования и вычитания сигналов  $I_r(P)$  и  $I_k(X_0)$ , а затем – операция деления разности сигналов на их сумму:  $[I_r(P) - I_k(X_0)]/[I_r(P) + I_k(X_0)]$ .

#### Заключение

Предложенный ВОДД в отличие датчика-прототипа имеет существенно меньшие продольные габаритные размеры, которые позволяют разместить датчик в узкой полости. Кроме того, ВОДД имеет более простую конструкцию и более высокую технологичность за счет упрощения процедур юстировки микро-оптико-механической системы и сборки датчика в целом.



ВОПД - волоконно-оптический преобразователь давления; ИИ - источник излучения; ВОК – волоконно-оптический кабель; ПОВ - подводящее оптическое волокно; ООВР, ООВК – отводящие оптические волокна рабочего и компенсационного каналов; ОЭБ – опико-электронный блок; ПИР, ПИК – приемники излучения рабочего и компенсационного каналов; БПИ – блок преобразования информации; ВУ - вычитающее устройство; Σ - сумматор; Д - делитель

Рисунок 3 - Структурная схема ВОДД аттенуаторно-отражательного типа с компенсационным каналом

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №18-38-20045.

#### Литература

1. Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом: *Монография* / Е.А. Бадеева, А.В. Гориш, Т.И. Мурашкина и др. // Под общ ред. Т.И. Мурашкиной и А.В. Гориша - М.: МГУЛ, 2004.–246 с.
2. Технологические основы проектирования ВОД давления для искро-, взрыво-, пожароопасных инженерно-технических объектов / Бадеева Е.А., Пивкин А.Г., Мурашкина Т.И. // *Надежность и качество: Тр. Междунар. симп.* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2011. – Т. 2., – стр. 130-135.
3. Конструирование ВОДД отражательного типа /Е.А. Бадеева, В.А. Мещеряков// *Надежность и качество: Тр. Международ. симп.* - 2005. - С. 377-380.
4. Волоконно-оптические датчики давления аттенуаторного типа для летательных аппаратов / Е. А. Бадеева, В. А Мещеряков, Т. И. Мурашкина, А.Г. Пивкин // *Датчики и системы.*-2003.-№4. – С. 11–14.
5. Патент РФ № 2308677, МПК<sup>6</sup> G01 В 11/00 Волоконно-оптический преобразователь перемещения/ А. Г. Пивкин, Т. И. Мурашкина, Т.Ю. Крупкина /Опубл.20.10.2007 Бюл. №29.
6. Пивкин А.Г., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптические датчики давления аттенуаторного типа для ракетной техники: *Монография.* - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. - 150 с.
7. Бадеева Е.А. ВОДД аттенуаторного типа для летательных аппаратов // *Труды Международной НТК «Методы и средства измерения в системах контроля и управления», 9-10 сентября 2002, Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та. - 2002. - С.26-27.*
8. Бадеева Е.А. Обоснование конструктивного исполнения предельных аттенуаторов волоконно-оптических датчиков // *Датчики и системы.* -2003.- №7. - С.47 – 49.
9. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ "Нанотехнологии волоконно-оптических систем" Пензенского государственного университета Ч. I / Т. И. Мурашкина, Е. А. Бадеева. СПб.: Политехника, 2018. 187 с.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ МОДУЛЯ ПИТАНИЯ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ СЛАБОВИДЯЩИМ ЛЮДЯМ

Вятчин Г.К., Палагута К.А.  
Московский Политехнический университет  
+7 (909) 698-16-15, [ka129@yandex.ru](mailto:ka129@yandex.ru)

Статья посвящена модернизации модуля питания системы помощи слабовидящим людям на основе ультразвуковых датчиков HC-SR04, управление которыми осуществляется с помощью микроконтроллера Arduino Nano. Основной проблемой, с которой сталкиваются слабовидящие люди, это обнаружение препятствий типа «ступенька вверх» и «ступенька вниз». Не замеченные вовремя данные препятствия могут привести к получению травмы человеком. Система должна обнаружить препятствие, определить его тип и выдать информацию человеку, оставаясь работоспособной в течение длительного времени.

Ключевые слова: система помощи, слабовидящие люди, модуль питания.

Modernization of the power supply module of the system for assistance to visually impaired people.  
Vyatchin G.K., Palaguta K.A. Moscow Polytechnic University.

The article is devoted to the modernization of the power supply module of the system for assistance to visually impaired people on the basis of ultrasonic sensors HC-SR04, which is controlled by a microcontroller Arduino Nano. The main problem faced by visually impaired people is the detection of obstacles such as "step up" and "step down". Not noticed in time, these obstacles can lead to injury to a person. The system must detect an obstacle, determine its type, and provide information to the person, while remaining operational for a long time.

Keywords: assist system, blind people, power supply module.

### Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения [1] (данные приведены на октябрь 2019 года) во всем мире, по меньшей мере, 2,2 миллиарда людей имеют нарушения зрения или слепоту. Среди них насчитывается 285 миллионов людей с умеренными и тяжелыми формами нарушения. В частности, слепых в мире 39 миллионов человек.

Все системы, услуги, устройства, которые используются людьми с ограниченными возможностями для помощи в их повседневной жизни, облегчения их деятельности и обеспечения безопасной мобильности, включены в один общий термин: вспомогательные технологии. Потребность в электронных устройствах для навигации и ориентации возрастает. Самыми простыми и доступными средствами навигации являются дрессированные собаки и белая трость. Хотя эти инструменты очень популярны, они не могут предоставить слепым всю информацию и функции для безопасной мобильности, которые доступны людям со зрением.

В предлагаемой статье речь идет о модернизации системы помощи именно слабовидящим людям. Такие люди способны различить крупные детали окружающего мира (например, двери, окна, автомобили). Однако в то же время они не могут отличить таких вещей, как небольшие ямы, ступени, ведущие вниз или вверх, бордюры и другие препятствия.

На сегодняшний день существует множество специальных устройств, которые в некоторой степени позволяют облегчить жизнь слабовидящего человека. Одно из таких устройств – это устройство для ориентации в пространстве WeWALK - это умная трость (рис. 1), разработанная для слабовидящих людей турецкой академией молодых гурзу (YGA) в сотрудничестве с компанией по производству электроники Vestel. Данное устройство прикреплено к традиционной белой трости и имеет встроенные в корпус ультразвуковые датчики, которые могут обнаруживать препятствия (дорожные знаки, столбы и т.д.) вокруг слепого человека, в том числе висящие выше уровня груди, и уведомлять его с помощью вибраций и звуков.

Устройство подключается к телефону какого-либо человека через специальное приложение (по Bluetooth) и обеспечивает пошаговую навигацию благодаря интеграции с GoogleMaps. С помощью жестов на сенсорной панели можно включить определение текущего местоположения или навигацию в сохраненные места, а также возможно включение, отключение обнаружения препятствий и поиск телефона. Двойное касание сенсорной панели активирует голосовое управление, которое помогает пользователю получить полезную для него информацию. В частности, приложение может читать вслух расписание автобусов.

Поскольку все действия выполняются с помощью сенсорной панели, пользователь может держать телефон в кармане и использовать свободную руку для других целей. Также имеется передний светодиод, который помогает слабовидящим людям лучше ориентироваться в темноте. WeWALK был выбран журналом TIME как лучшее изобретение 2019 года. Стоимость умной трости составляет 500 долларов США.





Рисунок 1 – Умная трость WeWALK

Основные характеристики трости WeWALK:

- Вес: 252 гр. (без белой трости);
- Длина: 28 см (без белой трости);
- Литий-ионный аккумулятор емкостью 1000 мАч, способный обеспечить 20 часов автономной работы;
- Обнаружения препятствий на расстоянии до 160 см;
- Подключение по Bluetooth 4.2 к смартфону (Android 4.4 и IOS 10 и выше);
- Водонепроницаемость: WeWALK не является водонепроницаемым.

Однако большинство из них имеют очень высокую стоимость, а некоторые из них находятся на стадии прототипа.

На протяжении ряда лет сначала в Московском государственном индустриальном университете, а затем в МАМИ и в Московском политехническом университете велась работа по созданию устройства, лишенного указанного недостатка [2-5].

В результате проведенных исследований первоначально было разработано и реализовано устройство [4], имеющее вид трости и показанное на рис. 2 (прототип 1).



Рисунок 2 – Прототип 1 разработанного устройства и стандартная трость

Это устройство в качестве датчиков расстояния использовало ультразвуковые датчики типа HC-SR04, размещенные как в верхней части трости (для обнаружения препятствий типа «ступенька вниз»), так и в нижней части трости (для обнаружения препятствий типа «ступенька вверх»).

Блок обработки информации и управления был реализован на основе платы Arduino Uno R3, размещенной в специально спроектированном и изготовленном корпусе.

Звуковая информация о препятствиях выводилась на два пьезоизлучателя.

Для размещения всех устройств была разработана и изготовлена специальная трость (рис. 2), на которой крепились два ультразвуковых датчика, корпус с платой Arduino Uno R3 и элементом питания, а также оба пьезоизлучателя. Программа была разработана таким образом, чтобы по мере приближения к препятствию высота звука увеличивалась.

Проведенные экспериментальные исследования показали работоспособность устройства, но одновременно выявили целый ряд недостатков.

Устройство подтвердило свою работоспособность при использовании в лабораторных условиях. При выходе на улицу обнаружился недостаток, связанный с устройством вывода информации. В обычной уличной среде из-за шума автомобилей звук от обычных пьезоэлектрических излучателей не слышен.

Другим недостатком является относительно большой размер устройства (рис. 1), что не позволяет слабовидящему человеку пользоваться таким устройством незаметно для окружающих.

Вес устройства также был значительным, 0,88 кг с элементом питания (батарея типа «Крона»), что требовало использования дополнительного плечевого ремня для длительного ношения.

Для устранения перечисленных недостатков был разработан прототип 2, показанный на рис. 3.



Рисунок 3 – Фотографии прототипа 2

При замене контроллера на более миниатюрный для ускорения разработки новой системы было желательно сохранить наработанное программное обеспечение. По этой причине выбор был сделан в пользу модуля Arduino Nano.

Для формирования сигнала о наличии и типе препятствия в системе был применен вибродвигатель, причем он был использован один. Информация о типе препятствия кодировалась частотой вибрации.

В результате движения с тростью в лабораторных условиях удалось определить, что система хорошо справляется с определением препятствий типа «ступенька вверх» и «ступенька вниз» на пути движения. Во время испытаний на улице с интенсивным движением информация о наличии и характере препятствия также уверенно воспринималась человеком.

#### Постановка проблемы

Оба прототипа в качестве элемента питания использовали батарею «Крона», что существенно ограничивало время использования устройства, особенно при работе вибромотора.

По этой причине требовалось заменить батарею на аккумулятор и включить в состав устройства плату для его зарядки, то есть полностью переработать модуль питания.

#### Обсуждение

Функциональная схема модернизированной системы управления приведена на рис. 4.

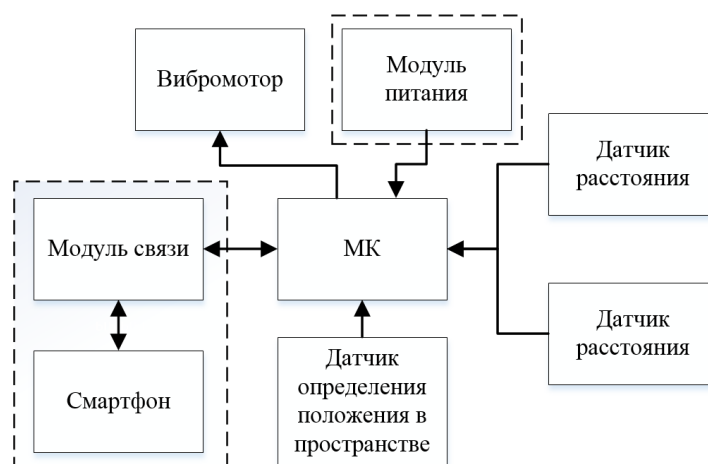


Рисунок 4 – Функциональная схема системы управления

Основными критериями при выборе аккумулятора для данного устройства являются емкость и компактность. Таким образом, целесообразно применить аккумуляторы форм-фактора 18650, которые бывают нескольких типов:

1) Литий-кобальтовые (NCR, ICR, LiCoO<sub>2</sub>). Этот вид батарей отличается наибольшей емкостью, но их запрещается заряжать путем быстрой зарядки и применять в приборах, оказывающих большую нагрузку.

2) Литий-марганцевые (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, IMR, LiNiMnCoO<sub>2</sub>). Они отличаются стабильной работой по сравнению с предыдущими и более длительным сроком службы. Литий-марганцевые аккумуляторы созданы с отличным соотношением емкости и силы тока разряда. Но несмотря на это их объем меньше, чем у аналогичных кобальтовых.

3) Литий-железо-фосфатные (LFP, LiFePO<sub>4</sub>, IFR). Этот вид считается наиболее безопасным в сравнении с другими. В конструкции батареек используется железо-фосфатный катод. Он нетоксичен и является устойчивым к высоким температурам. Взорваться или воспламениться они способны лишь если возникнут сильные повреждения корпуса.

Поскольку проектируемая система состоит из компонентов с низким потреблением, то был выбран аккумулятор типа NCR18650B (рис. 5), емкости которого достаточно для обеспечения автономной работы устройства в течение продолжительного времени.



Рисунок 5 – Аккумулятор «NCR18650B»

Таблица 1 – Технические характеристики аккумулятора «NCR18650B»

Габаритные размеры	18(Диаметр) мм65(Высота) мм
Напряжение	3.6 В
Емкость	до 3400 мАч
Масса	≈ 47.5 гр

В качестве платы зарядки аккумулятора был выбран компактный модуль (рис. 6), который построен на базе микросхемы МН-CD42. Очень важно, что на плате имеется повышающий DC-DC преобразователь до 5 вольт. Также модуль оснащен четырьмя светодиодами, которые являются индикаторами уровня заряда аккумулятора.

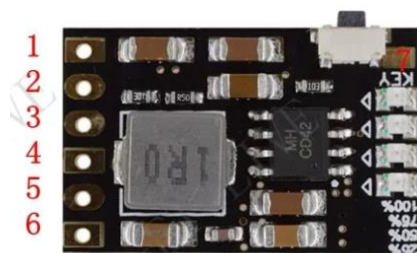


Рисунок 6 – Модуль питания MH-CD42

Таблица 2 – Технические характеристики платы MH-CD42

Ток зарядки	2,1А
Напряжение зарядки	4.5-5.5 В
Напряжение останковки зарядки	4.2 В ± 1%
Выходной ток	0-2.1 А
Выходное напряжение	5 В
Размеры	16 x 20 мм

Для эксперимента трость фиксировалась в рабочем состоянии перед препятствием, чтобы вибромотор был включен. Установим через приложение значение ШИМв 100. Также был включен фонарь. Затем измерялось время выключения всех четырех индикаторов уровня заряда аккумулятора, установленных на модуле питания MH-CD42. Ниже представлена таблица 3 с результатами проведенного эксперимента.

Таблица 3 – Результаты эксперимента

Разряд аккумулятора	время
25%	2 ч
50%	3 ч 23 мин
75%	4 ч 40 мин
100%	5 ч 40 мин

#### Заключение

Время работы устройства до полного разряда аккумулятора составило 5 часов 40 минут, что можно считать хорошим результатом, а если отключить фонарь, то это время увеличится до 9 часов. Важно отметить наличие на устройстве разъема micro=USB, который дает возможность подключить внешнее переносное зарядное устройство на 5 вольт и продолжить использовать трость, даже если разряжен внутренний аккумулятор.

#### Литература

1. Всемирная организация здравоохранения. Слабовидящие и слепые люди. [www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/index.html](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/index.html)
2. Бурдина Д.О., Бурдин А.М., Крюков А.И., Палагута К.А., Тройков С.М. «Разработка электронного средства ориентации в пространстве для слабовидящих людей». / Труды международного симпозиума «Надежность и качество». - 2014. - Т. 2. - с. 170-172.
2. K. Palaguta, A. Krukov, S. Troikov, I. Shubnikova; “Aid system for visually impaired people at spatial orientation”, in *Proc. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, Vol. 1, DOI: 10.1088/1757-899X/151/1/012028.
4. Качиони Е.А., Палагута К.А. «Устройство помощи слабовидящим людям на основе ультразвуковых датчиков». / Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. - 2015. - Т. 15. - № 4. - с. 61-62.
5. Палагута К.А., Саакян Г.Е. «Система помощи слабовидящим людям на основе Arduino Nano». / Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции / под ред. С.У. Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019. – с. 402-406.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Гатчин Ю.А., Сухостат В.В.\*

Университет ИТМО, \*Санкт-Петербургский государственный экономический университет, \*Северо-Западный институт управления филиал РАНХиГС

Статья посвящена исследованию теоретико-методологических аспектов в области обеспечения информационной (кибер) безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ). Рассмотрена классификация и виды систем обнаружения вторжений, необходимость новых подходов к применению комбинированной системы обнаружения вторжений, способной адаптироваться к изменчивому поведению сети и иметь при этом низкую частоту ложных срабатываний на основе искусственных иммунных систем (ИИС) и их алгоритмов.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, система обнаружения вторжений, искусственная иммунная система, информационная (кибер) безопасность.

Information security of critical information infrastructure: theoretical and methodological aspects. Gatchin Yu.A, Sukhostat V.V.\*, ITMO University, \*St. Petersburg State University of Economics, \*North-West Institute of Management branch of Ranepa

The article is devoted to the study of theoretical-methodological aspects in the field of information (cyber) security of critical information infrastructure (CII). The classification and types of intrusion detection systems (IDS) are considered, as well as the need for new approaches to the use of a combined intrusion detection system that can adapt to the changing behavior of the network and have a low frequency of false positives based on artificial immune systems (AIS) and their algorithms.

Keywords: critical information infrastructure, intrusion detection system, artificial immune system, information (cyber) security.

Введение

Масштабы и скорость развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) не перестают увеличиваться и становятся все более непредсказуемыми. Такое ускорение обуславливает появление новых, очень сложных вариантов вредоносных программ. Наряду с этим и сфера информационной (кибер) безопасности не перестает развиваться, эволюционируют технологии обеспечения информационной безопасности (ИБ). Так, началом этого эволюционного процесса послужило создание первого антивируса Reamer, характеристической особенностью которого было обнаружение компьютеров, зараженных вредоносной программой Creeper. Также это антивирусное решение способствовало удалению и самой вредоносной программы (1970-е годы). Дальнейший этап в обеспечении ИБ обусловлен разработкой программного обеспечения (ПО) на основе черных списков вирусов. ПО предназначалось для противодействия известным угрозам, путем создания периметров безопасности и эвристических стратегий на основе поведенческого анализа. В свою очередь развитие угроз предопределило появление первого известного примера оружия для кибер-войны вируса Stuxnet (2010 г.) и привело к тому, что вредоносные программы, использующие методы скрытности, становятся практически незаметными, проложили путь для атак нулевого дня [1, 2].

Так, согласно [1] в настоящее время очень быстрое обнаружение уязвимости нулевого дня в ПО злоумышленниками подтверждается данными отчета об Интернет-безопасности от компании WatchGuard Technologies. «В первом квартале 2020 года 67% вредоносных программ были зашифрованы, то есть они были доставлены по протоколам HTTPS, 72% зашифрованных вредоносных программ были классифицированы как угроза нулевого дня. Из чего можно заключить, что на тот момент не было никаких антивирусных сигнатур, способных замедлить их распространение, а сами угрозы стали все более незаметными для организаций. Эти данные согласуются с прогнозами компании Gartner, которая сообщила, что в течение 2020 года 70% вредоносных атак будут использовать шифрование». В современных условиях, усугубившихся пандемией коронавируса COVID-19 и увеличением числа сотрудников, работающих удаленно, необходимо значительно усиливать меры по ИБ организаций. В соответствии с этим обеспечение ИБ (кибербезопасности) критической информационной инфраструктуры (КИИ) является остроактуальным и определяет необходимость разработки теоретических и методологических основ и положений.

В этой работе основное внимание будет уделено анализу возможности выхода из постоянного цикла изучения атак на информационную систему после их обнаружения и перехода к восприятию атак изнутри, последующей их остановке до того, как они произойдут. При таком подходе вероятность угрозы как серьезной атаки снижается.

### Постановка проблемы

Основными подходами к обнаружению вторжений являются обнаружение на основе аномалий и сигнатурное обнаружение. Подходы, основанные на аномалиях, имеют потенциальную возможность обнаружения неизвестных атак (например, атак нулевого дня). Несмотря на эту возможность, подходы, основанные на аномалиях, используются значительно реже, чем подходы на основе сигнатур. Сдерживающим фактором развития систем на основе аномалий является то положение, что чем выше вычислительные затраты, тем выше ложноположительные показатели и более низкие показатели обнаружения.

Целью данной работы является обоснование повышения уровня эффективности обнаружения сетевых атак за счет системы обнаружения вторжений, способной адаптироваться к изменчивому поведению сети и иметь при этом низкую частоту ложных срабатываний.

Для этого необходимо рассмотреть классификацию систем обнаружения вторжений, параметры эффективности системы обнаружения вторжений, искусственные иммунные системы и алгоритмы искусственных иммунных систем.

### Классификация систем обнаружения вторжений

Анализ литературных источников показывает, что множество подключаемых к Интернету устройств создает предпосылки для пропорционального роста угроз, увеличивает численность злоумышленников и исходящих от них угроз. Это приводит к необходимости создания надежных, эффективных и устойчивых защитных средств. Система обнаружения вторжений – Intrusion Detection System (IDS) – это сетевые устройства, которые способны удовлетворить выше названные потребности, выполняя различные формы проверки трафика на разных уровнях и обнаруживая наличие вторжений. Могут быть классифицированы на основе таких критериев, таких как место развертывания IDS и методики, которую IDS, использует для обнаружения вторжений. IDS может быть развернута в разных местах относительно клиента для достижения различных результатов. Даже при условии использования одинаковых методов обнаружения, развертывание системы в разных местах с точки зрения безопасности и эффективности будет оцениваться по-разному [3, 4].

Существует два типа систем, зависящих от места размещения: IDS на основе сети (NIDS) и IDS на основе хоста (HIDS).

В таблице 1 приведены данные сравнения систем HIDS и NIDS.

Таблица 1 – Сравнение IDS на основе их места размещения

	Достоинства	Недостатки	Источник данных
HIDS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проверка сквозной зашифрованной связи</li> <li>- функционирование без дополнительного оборудования</li> <li>- обнаружение вторжения посредством проверки файловой системы хостов, системных вызовов или сетевых событий</li> <li>- просмотр всей сети</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- задержки в сообщениях об атаках</li> <li>- расход ресурсов хоста</li> <li>- необходимость установки на каждом хосте</li> <li>- отслеживание атаки только на установленной машине</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- аудит записей, файлов журналов, интерфейса прикладных программ, шаблона правил, системных вызовов</li> </ul>
NIDS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проверка сетевых пакетов</li> <li>- установка не на каждом хосте</li> <li>- одновременная проверка различных хостов</li> <li>- способность к обнаружению самых широких диапазонов сетевых протоколов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость в выделенном оборудовании</li> <li>- идентификация только сетевых атак</li> <li>- трудности в анализе высокоскоростной сети</li> <li>- подверженность инсайдерским атакам</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- простой протокол управления сетью (SNMP).</li> <li>- сетевые пакеты (TCP/UDP/ICMP).</li> <li>- база управляющей информации (MIB)</li> <li>- записи маршрутизатора NetFlow</li> </ul>

Анализ таблицы 1 показывает, что комбинация NIDS, развернутых в нескольких местах определенной топологии сети, вместе с HIDS и межсетевыми экранами, может обеспечить высокую, отказоустойчивую и многоуровневую защиту максимально большого спектра атак.

По классификации [4] методы обнаружения в целом могут быть классифицированы по двум категориям: обнаружение вторжений на основе сигнатур и обнаружение вторжений на основе аномалий.

В таблице 2 приведены показатели сравнения систем на основе аномалий и на основе сигнатур. Анализ содержания таблицы 2 относительно поставленной цели позволяет определить, что системы обнаружения на основе сигнатур имеют огромную зависимость от частоты обновления «черного списка», но при этом подвержены меньшему проценту ложноположительных срабатываний.

Таблица 2 – Сравнение IDS на основе методики обнаружения.

	Достоинства	Недостатки
На основе сигнатур	<ul style="list-style-type: none"> <li>- эффективность выявления вторжения с минимальным количеством ложных срабатываний</li> <li>- оперативность в выявлении вторжений</li> <li>- простота в использовании</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость частого обновления базы сигнатур</li> <li>- предназначенность для обнаружения лишь известных атак</li> <li>- невозможность обнаружения атаки нулевого дня</li> <li>- неспособность к обнаружению сложных атак</li> </ul>
На основе аномалий	<ul style="list-style-type: none"> <li>- способность к обнаружению новых атак</li> <li>- возможность использования для создания новых сигнатур</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неспособность к обработке зашифрованных пакетов</li> <li>- высокий уровень ложноположительных срабатываний</li> <li>- сложность в настройке нормального профиля для динамичной компьютерной системы</li> <li>- необходимость в начальном обучении</li> </ul>

В то время как системы обнаружения вторжений на основе аномалий, являются наиболее эффективными в обнаружении, но при этом процент ложноположительных срабатываний существенно выше. Следовательно, имеет место разрабатывать комбинированную систему обнаружения вторжений, которая способна как запоминать уже произошедшие и хранить их, так и выявлять новые неизвестные аномалии. Таким образом, на основе известных сигнатур мы будем формировать иммунную память.

#### Параметры эффективности системы обнаружения вторжений

Эффективность любой системы IDS основана на следующих параметрах [5].

Эти параметры могут быть использованы для сравнения результата исследования с существующими системами. К ним можно отнести ложные срабатывания, ложные отрицания, True Positives, True Negatives, эффективность. Таким образом, идеальная система обнаружения вторжений может иметь 0% ложных срабатываний.

#### Искусственные иммунные системы

Искусственная иммунная система (ИИС) представляет собой интеллектуальную вычислительную систему, относящуюся к классу систем роевого интеллекта, описывающих коллективное поведение объектов [6]. ИИС строится на основе естественной иммунной системы млекопитающих, в частности человека, и копирует механизмы и процессы в ней происходящие. Основной функцией биологической иммунной системы человека является осуществление многоуровневой защиты организма от чужеродных агентов. У иммунной системы есть своя система распознавания, которая способна выявлять изменения в шаблонах и сообщать об аномальном поведении в системе. Искусственная иммунная система – Artificial Immune Systems (AIS) – использует машинный язык, который включает в себя функциональность биологической иммунной системы.

По [7] исследования AIS, которые начались в середине 1980-х годов учеными J.D. Farmer, N. Packard and A. Perelson's, привели к созданию нового вида обучения, соответствующего структуре естественной иммунной системы.

Исследования в области компьютерной безопасности свидетельствуют о возможности использования иммунной системы в качестве аналогии для IDS. Основными элементами такой системы, являются лимфоциты, антитела, антиген, самостоятельный антиген. Лимфоциты являются основным защитным механизмом организма. Может содержать одно или несколько антител. Антитела – это детекторы на лимфоцитах, которые связываются с вредными антигенами, следовательно, могут нейтрализовать и уничтожить их. Антиген – инородное вещество, обычно белки, которые могут вызвать иммунный ответ. Самостоятельный антиген – не вредный антиген.

Для того чтобы применить структуру AIS на основе IDS, следует выполнить несколько шагов. Необходимо использовать иммунный язык и форму для представления элементов в сети и их взаимодействия. Задача заключается в том, чтобы показать элементы идентификатора путем создания абстрактных моделей частиц иммунологии, таких как клетки и молекулы. В этом случае вполне возможно

количественно определить взаимодействие между элементами по мерам сходства. Например, антиген используется в AIS, чтобы показать аномальную активность в IDS.

Данные шаги представлены на рисунке 1.

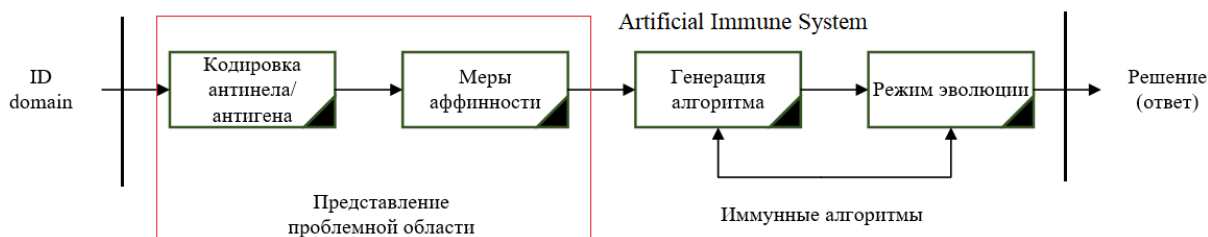


Рисунок 1 – Структура IDS на основе ИИС

Эта структура может быть использована для проектирования системы IDS на основе AIS. Необходимо создать алгоритмы и произвести их оптимизацию.

#### Алгоритмы искусственных иммунных систем

Область применения алгоритмов искусственного иммунитета основана на моделировании элементов из естественных иммунных систем, обнаруженных у животных. Цель алгоритмов AIS состоит в том, чтобы воспользоваться преимуществами адаптивных возможностей естественных иммунных систем, а также использовать способность запоминания довольно сложных паттернов. В этом направлении используют теоретические основы AIS: аффинность, клональный и отрицательный отборы.

Взаимодействия между компонентами системы определяется мерой аффинности как характеристики, оценивающей степень подобия или различия [6]. С формальной точки зрения аффинность может быть представлена в виде Евклидова алгоритма, алгоритма Хэмминга и алгоритма Manhattan с учетом указания координат антитела и антигена, а расстояние между ними и есть аффинность.

В [8] рассматриваются различные модели, которые используются в AIS для расчета сродства между антителами (защитой) и антигенами (атакующими). Модель сходства является очень важной, так как именно от нее зависит способность обнаружения сродства между детектором и антигеном.

Алгоритмы клонального отбора основаны на теории приобретенного иммунитета, описывают реакцию иммунной системы на антиген [6]. Антитела, распознающие антигены, размножаются и становятся на место тех, у которых отсутствует функция распознавания. Это позволяет детекторам клонировать своих родителей по механизму мутации с высокой скоростью, в то время как самореактивные антитела удаляются [9]. Этот алгоритм учитывает все аспекты клонирования лучших антител, созревание аффинности, выведение нестимулированных антител и поддерживая их разнообразие. Клональный отбор имеет хорошую стратегию для оптимизации и распознавания образов. Это свойство помогает развить иммунную систему, для того чтобы она смогла распознавать антигены, с которыми уже встречалась в прошлом [10].

Целью алгоритма отрицательного отбора является обеспечение толерантности к самоантигенам. Впервые данный алгоритм был создан Форрестом в AIS [11]. Он развивает способность к дифференциации вредных антигенов. После определения нормального паттерна образуются антигены, которые обнаруживают аномалии случайных антигенов. Этот алгоритм является моделью для нормального и аномального процессов создания (созревания) детекторов. Это позволяет AIS выявлять незрелые детекторы.

Таким образом, эффективность предотвращения угрозы зашифрованных вредоносных программ для КИИ должна основываться на стратегии с учетом методов искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа угроз для выявления подозрительных моделей поведения.

#### Заключение

В заключении следует отметить, что обзор классификации и видов систем обнаружения вторжения позволяет учитывать особенности комбинированных систем обнаружения вторжений и на основе известных сигнатур формировать иммунную память. Анализ алгоритмов, на которых может базироваться искусственная иммунная система, показал, что для достижения поставленной цели необходимо использовать алгоритм отрицательного отбора для формирования популяции нейросетевых детекторов. При условии обнаружения детектором аномалии на наборе данных, происходит его уничтожение и запрос на создание нового. Следовательно, может быть получена популяция детекторов, не реагирующих на легитимные события.

#### Литература



1. Атаки нулевого дня: кибер-эквивалент коронавируса COVID-19 [Электронный ресурс], URL: <https://www.securitylab.ru/blog/company/PandaSecurityRus/349325.php> (дата обращения 02.09.2020).
2. Gatchin Y.A., Sukhostat V.V. "Research of Vulnerabilities of Information Processing Processes Systems of Critical Information Infrastructure," 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), Saint-Petersburg, Russia, 2019, pp. 1-4.
3. Intrusion Detection Systems (IDS) [Электронный ресурс], URL: <https://www.intuit.ru/> (дата обращения 02.09.2020).
4. Акбарова Ш.А., Ганиев А.А. Классификация IDS // Сборник Молодой ученный № 15 (149) апрель 2017 г. Электронное издание [Электронный ресурс]. – 2017 – URL: <https://moluch.ru/archive/149/41931/> (дата обращения: 05.03.2020).
5. Абрамов Е.С., Половко И.Ю. Выбор характеристик систем обнаружения атак для выработки заключения о функциональных возможностях // Известия ЮФУ. Технические науки 2011 г. Электронное издание [Электронный ресурс]. – 2011. – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 21.04.2020).
6. Фокина А.М. Обзор иммунных алгоритмов // Методы и средства обработки и хранения информации: Межвузовский сборник научных трудов / Под ред. Б.В. Кострова; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2019. – 300 с., С. 56 -63.
7. Casey, B. Snort and the Value of Detecting the Undetectable / Технический портал Techopedia [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.techopedia.com/2/28294/security/snort-and-the-value-of-detecting-the-undetectable> (дата обращения 18.06.2020).
8. Shen, J. (n.d.). Network Intrusion Detection By Artificial Immune System. RMIT UNIVERSITY 2012г. [Электронный ресурс], URL: <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:161289/Shen.pdf> (дата обращения 09.05.2020).
9. Irimia, E. Ramona., & Gottschling, Marc. (2016) Taxonomic revision of Rochefortia Sw. (Ehretiaceae, Boraginales). Biodiversity Data Journal 4: E7720., [Электронный ресурс]. – 2016 – URL: <https://doi.org/10.3897/BDJ.4.e7720>; doi: 10.3897/bdj.4.e7720 (дата обращения 09.05.2020)
10. Greensmith, J. Artificial Immune Systems – Computerphile [Электронный ресурс]. – 2016 – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=u2qRUtg2k3Y> (дата обращения: 21.04.2020).

## МЕТОД РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПЛОСКИХ МАССИВОВ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА

Головинский П.А., Еникеев Э.И.  
Воронежский государственный технический университет  
eldar.enikai@yandex.ru

Рассмотрено развитие метода численного моделирования сечений экстинкции сферических наночастиц золота, образующих плоские структуры, в приближении взаимодействующих диполей. Такие расчёты необходимы для анализа экспериментальных спектров рассеяния/поглощения света на агрегатах металлических наночастиц в диэлектрических оболочках. На примере сечений экстинкции показаны особенности и ограничения метода. Для упрощения описания экспериментальных спектров для димеров введено понятие эквивалентного эллипсоида.

Ключевые слова: наночастицы, агрегат, сечение экстинкции, дипольное приближение, димер

Method for calculation the optical spectra of plane arrays of gold nanoparticles. P.A. Golovinski, E.I. Enikeev, Voronezh State Technical University

The development of the method for numerical simulation the extinction cross sections of spherical gold nanoparticles forming planar structures in the approximation of interacting dipoles is considered. Such calculations are necessary for the analysis of experimental light scattering/absorption spectra by aggregates of metallic nanoparticles in dielectric shells. Using the example of extinction cross sections, the features and limitations of the method are shown. To simplify the description of the experimental spectra for dimmers, the concept of an equivalent ellipsoid is introduced.

Keywords: nanoparticles, aggregate, extinction cross section, dipole approximation, dimmer

### Введение

Нанооптические компоненты обработки информации являются перспективным направлением развития современной элементной базы различных систем и устройств, и призваны изменить многие аппаратные решения на основе микроэлектроники. Важную роль среди перспективных наноустройств играют нанопроводники и наноантенны, в которых сигналы трансформируются и передаются за счет распространения плазмонов, путем преобразования оптического излучения в свободном пространстве в

поверхностные электромагнитные волны. В связи с этим, представляет интерес распространение плазмонов в регулярных и случайных структурах металлических наночастиц, помещенных в оптически прозрачную диэлектрическую матрицу. Одним из возможных приложений таких систем является их использование в качестве элементов фотонных резервуарных процессоров. Мезоскопическое рассеяние в среде, содержащей многочисленные плазмонные включения, способно сильно изменять свойства распространяющегося света [1]. В данной работе мы рассматриваем метод расчета рассеяния света на плоских структурах, состоящих из одинаковых случайно расположенных наночастиц золота в оболочках.

Приближения взаимодействующих диполей

Рассмотрим отклик на поле плоской монохроматической волны системы плотно расположенных в одной плоскости сферических наноплазмонных частиц в диэлектрических оболочках, учитывая их взаимный обмен взаимодействием в дипольном приближении [2, 3]. Пусть все частицы одинаковы и имеют поляризуемость  $\alpha$ . Наведенное поле диполей можно представить в виде суммы полей, создаваемых отдельными диполями системы

$$E_{\beta}^{i'} = - \sum_{j\gamma} W_{\beta\gamma}^{ij} d_{\gamma}^j, \quad (1)$$

где  $W_{\beta\gamma}^{ij} = (\delta_{\beta\gamma} - 3n_{\beta}^{ij}n_{\gamma}^{ij})(r^{ij})^{-3}$  есть тензор, описывающий поле, создаваемое диполем единичной величины,  $r^{ij} = \sqrt{(x^j - x^i)^2 + (y^j - y^i)^2}$  расстояние между центрами частиц, а  $n^{ij}$  - единичный вектор в направлении вектора  $\mathbf{r}^{ij} = \mathbf{r}^j - \mathbf{r}^i$ . Поскольку наведенный дипольный момент отдельной плазмонной наночастицы пропорционален суммарному действующему полю от всех частиц системы, то

$$d_{\beta}^i = \alpha(E_{\beta} + E_{\beta}^{i'}), \quad (2)$$

где  $E_{\beta}$  – напряженность внешнего электрического поля, а система уравнений для связанных диполей во внешнем однородном электрическом поле принимает вид

$$d_{\beta}^i = \alpha \left( E_{\beta} - \sum_{j\beta} W_{\beta\gamma}^{ij} d_{\gamma}^j \right). \quad (3)$$

Мы считаем, что падающее поле s-поляризовано, т.е. вектор его поляризации лежит в плоскости рассеивающей системы. Для внешнего поля единичной величины ( $\mathbf{E} = \mathbf{n}$ ) решение уравнений (3) даст значения дипольных моментов отдельных частиц, совпадающие с их поляризуемостями в системе. Система уравнений (3) является линейной и решается численно для конкретных экспериментальных распределений частиц. Данная процедура является статическим пределом общего метода приближения дискретных диполей для описания рассеяния света частицами произвольной формы и состава [4]. Исследование точности метода взаимодействия диполей методом разложения по мультиполям [5] показало существенное нарушение его точности вблизи касания сферических частиц, однако применимость классического подхода при расстояниях менее 1 нм в рассматриваемой задаче все равно неизбежно нарушается квантовым процессом переноса электронов между металлическими наночастицами [6], и мы такие предельные случаи не рассматриваем.

Поглощение света определяется мнимой частью поляризуемости, а интенсивность рассеяния задается модулем поляризуемости в квадрате. Поэтому изменение в полной интенсивности поглощения и рассеяния  $N$  частицами за счет их взаимодействия можно описать соотношениями

$$\frac{I_0^{abs}}{I_0^{abs}} = \frac{\sum_m \text{Im}d^m}{N \text{Im}\alpha}, \quad \frac{I_0^{sc}}{I_0^{sc}} = \frac{\sum_m |d^m|^2}{N |\alpha|^2}. \quad (4)$$

Для димера система уравнений (3) содержит всего два уравнения

$$d_{\beta}^1 = \alpha(n_{\beta} - W_{\beta\beta}^{12} d_{\beta}^2), \quad (5)$$

$$d_{\beta}^2 = \alpha(n_{\beta} - W_{\beta\beta}^{21} d_{\beta}^1).$$

Взаимодействие  $W_{\beta\beta}^{ji} = W_{\beta\beta}^{ij} = \left(1 - 3(n_{\beta}^{ij})^2\right)r^{-3} = w_d$ . С учетом этого,

$$d^1 = \frac{\alpha(1-w_d\alpha)}{1-\alpha^2 w_d^2} = \frac{\alpha}{1+w_d\alpha}. \quad (6)$$

Поляризуемость второй частицы точно такая же, как и первой. Для поляризации поля  $\mathbf{n}$  параллельной вектору  $\mathbf{r}^{12} = \mathbf{r}^2 - \mathbf{r}^1$  имеем  $n_{\beta}^{ij} = 1$  и  $w_d = w_{||} = -2r^{-3}$ , а для перпендикулярной поляризации  $n_{\beta}^{ij} = 0$  и  $w_d = w_{\perp} = r^{-3}$ . Поляризуемость системы в диэлектрической матрице больше на величину ее диэлектрической проницаемости  $\epsilon_m$ . Полученное в такой простой модели выражение (6) совпадает с формулой [7], выведенной путем бесконечных итераций изображений, точность которой высока при расстояниях между поверхностями частиц больше их радиуса и снижается при расстояниях около 0.05 радиуса до ~20%.

Для проведения расчетов с золотыми наночастицами, покрытыми диэлектрической оболочкой, воспользуемся выражением [9]

$$\alpha = a_1^3 \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_m)(\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1) + \beta(\varepsilon_m + 2\varepsilon_1)(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_m)(\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1) + 2\beta(\varepsilon_1 - \varepsilon_m)(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}, \quad (7)$$

где  $\beta = (a_2/a_1)^3$  – отношение объема ядра частицы к ее полному объему,  $a_1$  – внешний радиус наночастицы,  $a_2$  – радиус ядра частицы,  $\varepsilon_2, \varepsilon_1$  – диэлектрические проницаемости ядра и оболочки. Для диэлектрической поляризуемости золота при проведении конкретных расчетов используются экспериментальные значения [10, 11]. Для описания диэлектрической проницаемости оболочки из кремния используются данные [12] в виде аппроксимации [13].

Результаты численных расчетов и их сравнение с экспериментальными данными

Для проверки предложенной модели проведен ряд тестовых расчетов. Рис. 1 иллюстрирует влияние расстояния между частицами на сечение поглощения света димером из металлических частиц без оболочки. Расстояние между центрами частиц  $R = d + s$ ,  $d$  – диаметр частицы,  $s$  – расстояние между поверхностями частиц.

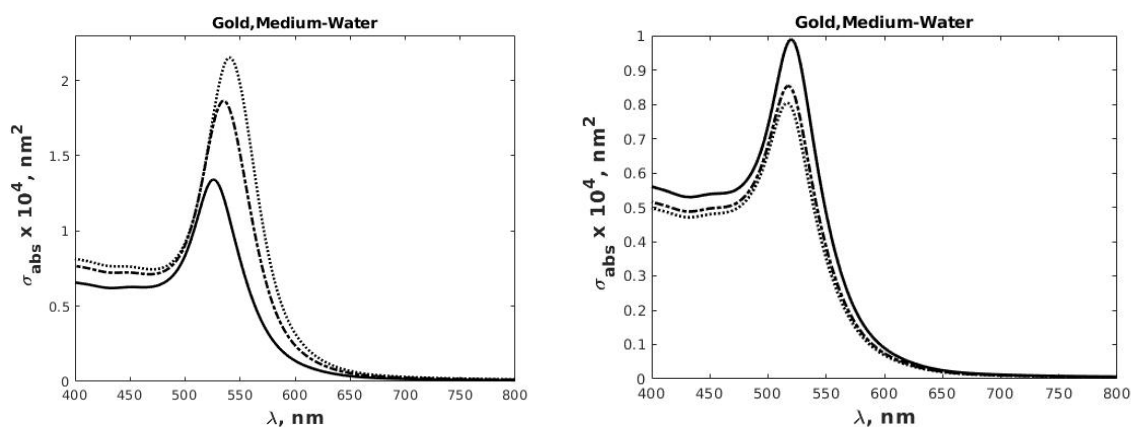


Рисунок 1 – Слева – сечение поглощения для сферических наночастиц золота радиусом 30 нм в воде, димер ориентирован параллельно полю. Справа – сечение поглощения для сферических наночастиц радиусом 30 нм в воде, димер ориентирован перпендикулярно полю. Непрерывная линия соответствует  $s/d=0.5$ , штрихпунктирная –  $s/d=0.1$ , пунктирная –  $s/d=0.01$ .

Полученные нами результаты расчетов хорошо согласуются с данными работы [8]. На рис. 2 представлены результаты аналогичных расчетов для димеров с оболочками. При сближении частиц наблюдается рост амплитуды пика зависимости и красное смещение для ориентации димера параллельно полю.

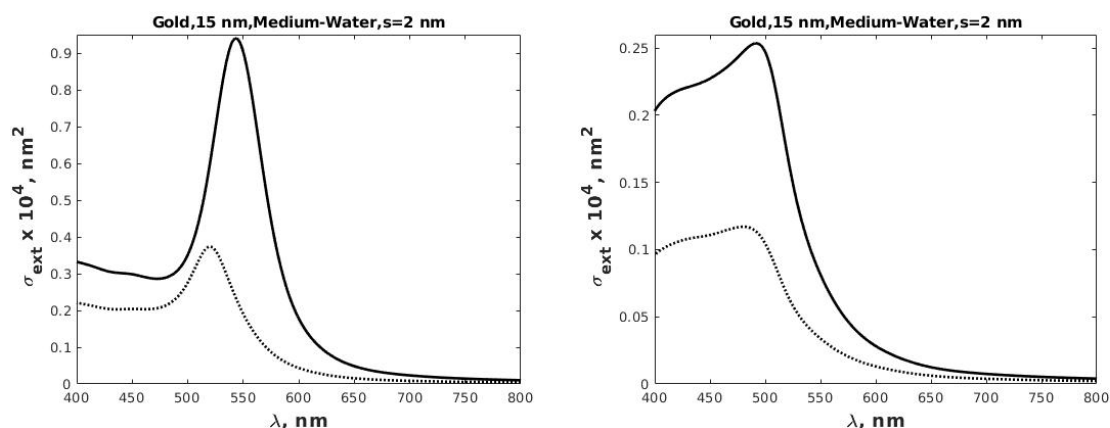


Рисунок 2 – Сечение экстинкции димера в оболочке: слева – из оксида кремния, справа – из кремния. Толщина оболочки 2 нм, сплошная линия – сечение для димера, пунктирная – сечение для отдельной частицы в оболочке. Димер ориентирован параллельно полю.

В работе [14] авторы отметили, что для частиц золота диаметром 35 нм, находящихся на расстоянии 1.5 нм друг от друга в сечении экстинкции наблюдаются два пика при длинах волн 525 нм и

630 нм. Расчёт, основанный на дипольном приближении, для обоих димеров не выявил такой особенности. Однако, если представить димер, как вытянутый эллипсоид, объём которого равен объёму двух наночастиц, то в сечении экстинкции появятся два пика возле указанных значений 525 и 630 нм. Этот простой прием позволяет вводить вместо димеров эллипсоиды с теми же поляризационными характеристиками, что существенно упростит расчеты спектральных свойств плотных агрегатов из наночастиц.

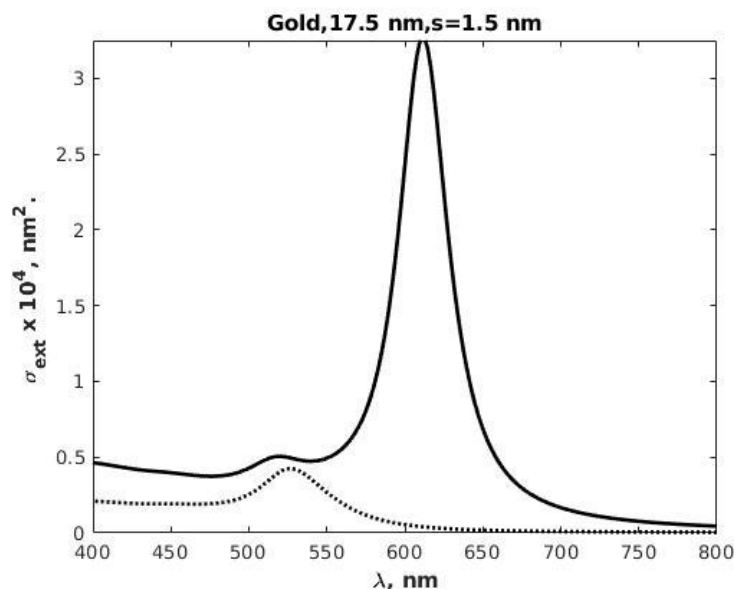


Рисунок 3 – Непрерывная линия – сечение экстинкции для спектрально эквивалентного эллипсоида, пунктирная – сечение экстинкции для отдельной сферической частицы золота диаметром 35 нм

На рис. 3 представлены результаты расчетов сечений экстинкции для эквивалентного эллипсоида, усредненных по ориентациям. Ясно проявляется наличие в сечении двух резонансных подъемов кривой спектральной зависимости.

#### Заключение

Сравнивая полученные нами спектральные зависимости с экспериментальными данными работы [14], можно определить параметры эффективного эллипсоида. Димеры, ориентированные параллельно полю, смещают пик сечения в длинноволновую область. Данный эффект наблюдается как для димера в оболочке, так и для безоболочечного димера. Дипольное приближение, использованное в нашей работе, согласуется с подходами и результатами других авторов. В тех случаях, когда дипольное приближение перестаёт количественно правильно описывать сечение экстинкции димера, предложено, путём согласования геометрических параметров эквивалентного эллипсоида получить описание спектра димера, как спектра эквивалентного эллипсоида. Полученные результаты позволяют усовершенствовать процедуру расчета оптических спектров плоских массивов наночастиц золота, более точно учитывая эффекты, связанные с тесным расположением частиц.

#### Литература

1. Rotter, S. Light fields in complex media: Mesoscopic scattering meets wave control/Rotter, S, Gigan, S. // *Reviews of Modern Physics*.-2017.-Т.89,№1.
2. Markel, V.A. Theory and Numerical Simulation of the Optical Properties of Fractal Clusters/V.A. Markel, L.S. Muratov, and M.I. Stockman// *Phys. Rev. B* -1991.-Т.43,№10
3. Stockman, M.I. Femtosecond Optical Responses of Disordered Clusters, Composites, and Rough Surfaces: "The Ninth Wave" Effect/ M.I. Stockman//*Phys. Rev. Lett.*-2000.- Т.84,№5- С.1011-1014 .
4. Yurkin, M.A. The discrete dipole approximation: An overview and recent developments/M.A. Yurkin, A.G.Hoekstra//*Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*.-2007.-Т.106,№1-3-С.558–589.
5. Pustovit, V. N. Coupled multipolar interactions in small-particle metallic clusters/V.N. Pustovit, J.A. Sotelo, G.A. Niklasson//*Journal of the Optical Society of America A*.-2002.-Т19,№3, С.-513-518.
6. Sivun, Dmitry. Optical Coulomb blockade lifting in plasmonic nanoparticle dimmers/Dmitry Sivun, Thomas A. Klar// *Opt. Express*-2020.- Т28,№3.-С.-4115-4126.
7. Stoy, Richard D. Interactive dipole model for two-sphere system/Richard D. Stoy//*Journal of Electrostatics*-1994.-Т.33,№3- С.-385-392.

8. Absorption and scattering of light by a dimer of metal nanospheres: comparison of dipole and multipole approaches/Boris Khlebtsov, Andrei Melnikov, Vladimir Zharov, Nikolai Khlebtsov//Nanotechnology-2006.-Т.17,№5-С.-1437-1445
9. Климов В.В. Наноплазмоника. /В.В.Климов -М.: Физматлит, 2010. - 480 с.
10. Johnson, P. B. Optical Constants of the Noble Metals./ P. B. Johnson, R. W. Christy//Phys. Rev. B-1972-Т.6,№12-С.-4370-4379.
11. Optical dielectric function of gold./R.L.Olmoh, B.Slovick, T.W.Jonson, D.Shelton, S-H. Oh,G.D. Boreman,M.B.Raschke//Phys. Rev. B-2012.-Т86,№23.
12. Palik E.W. Handbook of Optical Constants of Solids./E.W. Palik- San Diego: Academic,1985.
13. Luo, Yu, Zhao, Rongkuo, Pendry,J.B.Van der Waals interactions at the nanoscale: The effects of nonlocality/ Yu Luo, Rongkuo Zhao,J.B.Pendry,//PNAS-2014.-Т.111,№52.-С.-18422-18427
14. Bidault,S., Polman, A. Water-Based Assembly and Purification of Plasmon-Coupled Gold Nanoparticle Dimers and Trimers/ S. Bidault, A. Polman//International Journal of Optics-2012.-<https://doi.org/10.1155/2012/387274>

#### КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРАБЕЛЬНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ РЕЖИМАХ С АВИАНЕСУЩИХ КОРАБЛЕЙ

Горшков П.С., Ветошкин В.М., Лялюк И.Н., Потемкин А.В.  
ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»

В статье приведены некоторые результаты концептуального проектирования базы данных для системы оценки пространственно-временных характеристик летательных аппаратов корабельного базирования на взлетно-посадочных режимах с авианесущих кораблей, выполненного по методологии кафедры АСУ ВВС ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского.

Ключевые слова: атрибут, база данных, домен, инфологический граф, инфологическая модель, концептуальная схема базы данных, модель функционирования, нормальная форма отношения (таблицы), предикат, целостность и согласованность данных.

Database conceptual scheme of the system for evaluating the spatio-temporal characteristics of ship-based aircraft at take-off and landing. Gorshkov P.S., Vetoshkin V.M., Lyalyuk I.N., Potemkin A.V. ООО "Eksperimentalnaya masterskaya NaukaSoft".

The article presents some results of the database conceptual design for the system for evaluating the spatio-temporal characteristics of ship-based aircraft at take-off and landing, performed according to the methodology developed at the Department of the Air Force Automated Control Systems of the Air Force Engineering Academy named after professor N.E. Zhukovsky.

Keywords: attribute, database, domain, entity-relationship graph, the entity-relationship model, database conceptual schema, operating model, a normal form of relations (tables), predicates, data integrity and consistency.

Система накопления и ведения базы данных (СНБД) системы оценки пространственно-временных характеристик летательных аппаратов корабельного базирования (ЛА КБ) на взлетно-посадочных режимах с авианесущих кораблей предназначена для загрузки, обработки и хранения разнородной информации, получаемой от систем видеорегистрации и корабельных измерений, а также поиска в базе требуемых данных для отображения в графическом и цифровом виде параметров движения регистрируемых объектов.

СНБД реализована на базе защищенной переносной ЭВМ. Специальное программное обеспечение (СПО) СНБД обеспечивает:

— расчет траекторных параметров ЛА КБ (заданных видимых точек его конструкции) на взлетно-посадочных режимах (в прямоугольной системе координат относительно взлетно-посадочной палубы (ВППл), составляющих скорости);

— пересчет полученных траекторий в геоцентрическую систему координат ПЗ-90;

— расчет составляющих ускорений, скоростей и перемещений центра ВППл в геоцентрической системе координат ПЗ-90 по измеренным параметрам качки.

Для концептуального проектирования базы данных СНБД использована методология, разработанная на кафедре АСУ ВВС ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского [1, 2], в соответствии с которой процесс проектирования любой базы данных (БД) определяется необходимостью разработки следующей последовательности моделей, формируемых на соответствующих этапах (уровнях):

$$МФ \rightarrow М_{ил} \rightarrow М_{к} \rightarrow М_{л} \rightarrow М_{ф}. \quad (1)$$

Здесь МФ — функциональная модель процессов применения мобильного оптико-инерциального комплекса (МОИК) для высокоточного определения пространственно-временных характеристик (ПВХ) ЛА КБ на взлётно-посадочных режимах при испытаниях опытных и модернизированных (модифицированных) образцов авиационной техники. Основной задачей разработки МФ является максимально полный сбор требований, предъявляемых к содержанию процесса обработки данных всеми известными и потенциальными пользователями информационных ресурсов системы.  $M_{ил}$  — информационно-логическая (инфологическая) модель,  $M_k$  — концептуальная модель,  $M_l$  — логическая модель и  $M_f$  — физическая модель проектируемой базы данных СНБД.

Модели  $M_{ил}$ ,  $M_k$ ,  $M_l$  и  $M_f$  являются моделями данных соответствующих этапов (уровней) разработки и применения БД, в целом представляющих собой систему формальных описаний, необходимых для создания и функционирования СНБД МОИК.

Модель данных есть совокупность соглашений о способе и средствах формализованного описания сущностей и их связей, имеющих отношение к автоматизируемым процессам конкретных предметных областей.

Модель данных на каждом этапе разработки и/или применения БД представляется в виде тройки

$$M = \langle S, P, Q \rangle, \quad (2)$$

где  $S$  — структура модели, определяющая типы элементов, связей и их значений;  $P$  — множество операций над экземплярами  $S$  (правила интерпретации и манипулирования, которые могут быть применимы к любым экземплярам типов из  $S$  для поиска необходимой информации);  $Q$  — множество правил (условий, ограничений), обеспечивающих сохранение целостности и согласованности модели, и явно или неявно определяющих совокупность допустимых состояний  $S$  и информационной модели в целом.

На этапе эскизно-технического проектирования СНБД разрабатываются модели  $M_{ил}$  и  $M_k$ . Модели  $M_l$  и  $M_f$  разрабатываются на основе знания предыдущих моделей и после выбора конкретной аппаратно-программной среды реализации СНБД (т.е. выбора типов защищенных ПЭВМ, операционных систем и систем управления базами данных — СУБД).

Основой для разработки инфологической модели базы данных  $M_{ил}$  служит описание модели МФ процессов проведения летно-морских экспериментов с применением МОИК.

Результаты разработки инфологической модели (ИЛМ) базы данных СНБД представлены в виде тройки

$$M_{ил} = \langle S_{ил}, P_{ил}, Q_{ил} \rangle, \quad (3)$$

где  $S_{ил}$  — схема (структура) модели, представляемая в виде инфологического графа (ИЛГ) и описаний типов его объектов и связей, задаваемых именами типов, составом своих атрибутов и функционально определяемыми множествами их допустимых значений (доменов);  $P_{ил}$  — совокупность правил интерпретации ИЛГ;  $Q_{ил}$  — система ограничений целостности ИЛМ, выраженная описаниями доменов атрибутов ( $\bar{D}$ ), закономерностей ( $Z$ ), связывающих атрибуты, и исходной (задаваемой экспертами) системы функциональных зависимостей атрибутов  $F_{исх}$  [1, 2].

Разработанный ИЛГ представлен на рисунке 1.

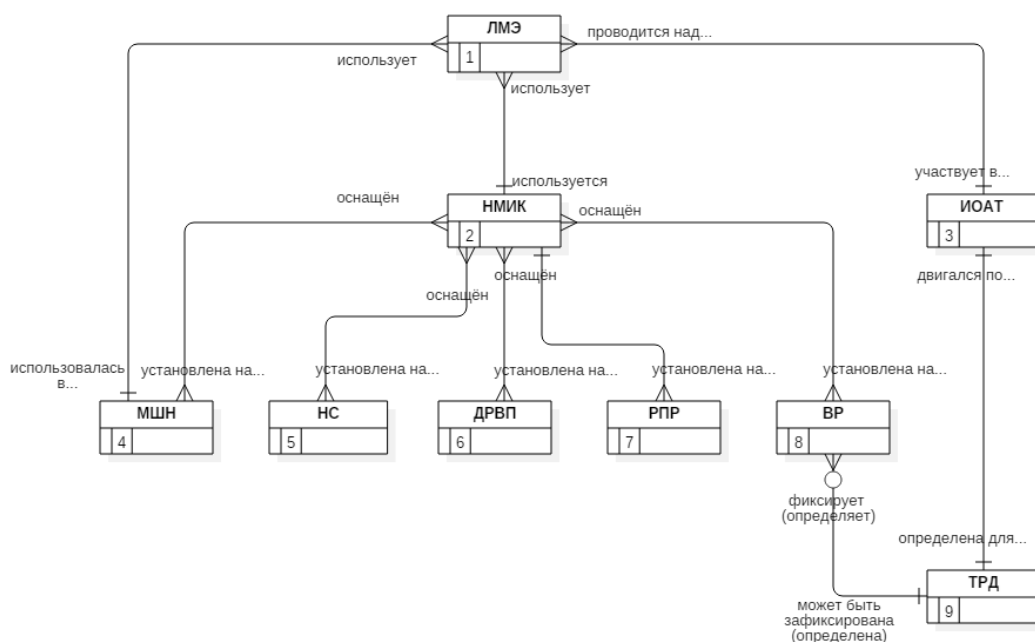


Рисунок 1 – Инфологический граф базы данных СНБД

Описание типов объектов ИЛГ базы данных СНБД определены в таблице 1, а формулировки правил интерпретации его структуры  $P_{ил}$ , представлены в таблице 2.

Представленные выше описания элементов ИЛМ автоматизируемых процессов (3) служат основой для синтеза оптимальной концептуальной модели  $M_k$  базы данных СНБД [1, 2], элементами которой являются схема концептуальной модели  $S_k = \langle \bar{A}, KS, SL \rangle$  и система ограничений целостности и согласованности модели (ОГЦС)  $Q_k = \langle \bar{D}, \bar{F}, LR \rangle$ , где  $\bar{A}$  — описание множества атрибутов отношений (таблиц), входящих в состав базы данных (для рассматриваемой системы — 136 атрибутов ИЛГ), разрабатываемая в ходе синтеза и уточнения состава и содержания атрибутов ИЛГ (рисунок 1);  $KS$  — концептуальная схема базы данных, соответствующая структурным свойствам реляционной модели;  $SL = SLR \cup SLS$  — схемы связей «рабочих» (SLR) и «системных» (SLS) таблиц, образуемые по зависимостям существования (вхождения, включения) между атрибутами;  $\bar{D}$  — описание доменов (правил формирования значений) атрибутов таблиц базы данных (разрабатывается на основе описаний доменов атрибутов ИЛГ; для рассматриваемой системы — 46 доменов ИЛГ);  $\bar{F}$  — полная система (замыкание) функциональных зависимостей (ФЗ) атрибутов таблиц базы данных (вычисляется на основе уточненной  $F_{исх}$  для атрибутов ИЛГ, мощность которой в рассматриваемой системе составляет 156 канонических ФЗ атрибутов);  $LR$  — описание процедур контроля целостности и согласованности данных, представляемое системой предикатов  $LR = PD \cup PA \cup PR$ , где  $PD$  — система предикатов, реализующая доменный контроль, т.е. проверку правильности вводимых значений атрибутов в таблицы базы данных в соответствии с разработанными требованиями;  $PA$  — система предикатов контроля целостности и согласованности данных, представляющих замыкание  $\bar{F}$ , для операций добавления их в таблицы базы;  $PR$  — система предикатов контроля целостности и согласованности данных представляющих  $\bar{F}$ , для операций их удаления [1, 2]. Для рассматриваемой системы  $PR = \emptyset$ , т.к. операция удаления строк в таблицах БД запрещены ввиду того, что СНБД предназначена только для накопления данных.

Таблица 1 – Описание типов объектов ИЛГ базы данных

№	Полное имя типа объекта	Короткое имя типа объекта	Определение содержания типа объекта (семантика)
1	Летно-морской эксперимент	ЛМЭ	Моделирует множество идентифицируемых лётно-морских экспериментов, проводимых с применением конкретного образца мобильного оптико-инерциального комплекса (МОИК), устанавливаемого на конкретном носителе.
2	Носитель мобильного измерительного комплекса	НМИК	Моделирует множество идентифицируемых носителей измерительных комплексов, в качестве которых могут использоваться плавучие морские платформы (баржи) с

№	Полное имя типа объекта	Короткое имя типа объекта	Определение содержания типа объекта (семантика)
			установленными на них мишенями и МОИК или авианесущие корабли (АНК), оснащенные МОИК.
3	Испытываемый образец авиационной техники	ИОАТ	Моделирует множество идентифицируемых испытываемых образцов ПКВ или ЛА КБ.
4	Мишень	МШН	Моделирует множество идентифицируемых заменяемых мишеней, имеющих специально обозначенную характерную точку: либо точку прицеливания (ТПР) для испытания ПКВ, либо точку отрыва (ТОТ) для испытания ЛА КБ при взлете с ВППл АНК, либо точку касания (ТКС) для испытания ЛА КБ при посадке на ВППл АНК.
5	Видеорегистратор	ВР	Моделирует множество идентифицируемых видеорегистраторов (оптико-электронных постов видеонаблюдения), используемых в составе конкретного МОИК.
6	Датчик результирующего воздушного потока	ДРВП	Моделирует множество идентифицируемых датчиков результирующего воздушного потока конкретного МОИК.
7	Навигационная система	НС	Моделирует множество идентифицируемых навигационных систем (бесплатформенных инерциальных и спутниковых), входящих в состав различных МОИК.
8	Репер	РПР	Моделирует множество реперов (вех, телескопических стоек), идентифицируемых в топологии каждого МОИК.
9	Траектория движения испытываемого образца ПКВ или ЛА КБ	ТРД	Моделирует множество идентифицируемых траекторий движения испытываемых образцов ПКВ или ЛА КБ, представляемых последовательностями координат точек, измеряемых с помощью МОИК в ходе конкретных ЛМЭ.

В результате реализации процедур концептуального проектирования базы данных СБД разработана её оптимальная концептуальная схема, содержащая систему нормализованных таблиц (отношений), принадлежащих к классу модифицированных нормальных форм Бойсса-Кодда (БКНФМ) и обеспечивающая минимальную сложность алгоритмов процедур целостности и согласованности создаваемой базы данных [1, 2].

Таблица 2 – Правила интерпретации ( $P_{ил}$ ) структуры ИЛГ базы данных

№ п/п	Формулировка правила
P1	Каждый летно-морской эксперимент (ЛМЭ) проводится над одним испытываемым образцом авиационной техники (ИОАТ), который может участвовать в одном или нескольких ЛМЭ.
P2	В каждом летно-морском эксперименте (ЛМЭ) используется единственный носитель мобильного измерительного комплекса (НМИК), который может использоваться в одном или нескольких ЛМЭ.
P3	В каждом летно-морском эксперименте (ЛМЭ) может применяться (использоваться) только один из трёх типов мишени, каждый из которых имеет только одну специально обозначенную характерную точку (точку прицеливания ТПР для испытания ПКВ, точку отрыва ТОТ для испытания ЛА КБ при взлете с ВППл АНК или точку касания ТКС для испытания ЛА КБ при посадке на ВППл АНК). Каждый тип мишени может применяться в нескольких различных ЛМЭ.
P4	Каждый носитель мобильного измерительного комплекса (НМИК) может оснащаться одним или несколькими типами мишеней (МШН), которыми также могут оснащаться и другие НМИК.
P5	Каждый НМИК в конкретном ЛМЭ использует несколько типов навигационных систем (НС): одну бесплатформенную инерциальную навигационную систему (БИНС) и не менее двух спутниковых навигационных систем (СНС).
P6	Каждая из НС может устанавливаться на различные НМИК, относительно которых имеет свой собственный порядковый номер установки (ПНУ НС) и конкретную дату (ДАТ УНС).
P7	На каждый носитель мобильного измерительного комплекса (НМИК) устанавливается не менее четырёх видеорегистраторов (ВР), каждый из которых может устанавливаться на различные



	НМИК в различных ЛМЭ в конкретных точках установки, имеющих свои порядковые номера (ПН ТВР).
P8	На каждый носитель мобильного измерительного комплекса (НМИК) устанавливается не менее двух датчиков результирующего воздушного потока (ДРВП), каждый из которых может устанавливаться в различных ЛМЭ и на другие НМИК, относительно которых имеет свой внутренний порядковый номер (ПН ДВП).
P9	На каждый носитель мобильного измерительного комплекса (НМИК) устанавливается не менее десяти реперов (РПР), каждый из которых может входить в состав только одного НМИК, относительно которого имеет внутренний порядковый номер (ПН РПР).
P10	Каждый испытываемый образец авиационной техники (ИОАТ) в ходе каждого летно-морской эксперимента (ЛМЭ) движется по единственной траектории (ТРД), каждая точка которой однозначно соответствует пространственному положению ИОАТ в конкретный момент времени ЛМЭ. Каждая ТРД является уникальной и должна быть зафиксирована хотя бы одним ВР.
P11	Координаты точек каждой ТРД вычисляются СПО АРМ видеообработки в системе координат БИНС по меткам оператора, фиксирующим положение ИОАТ на видеокдрах, полученных с помощью хотя бы одного ВР из числа используемых в конкретном ЛМЭ. Вычисленные координаты каждой точки траектории движения ИОАТ соответствуют моментам времени съемки видеокдрах, на которых оператором зафиксировано изображение ИОАТ.

В ходе концептуального проектирования были разработаны:

— замыкание (полная система канонических ФЗ, выводимая с помощью правил логического вывода [1, 2]) сформированной исходной системы —  $F_{\text{неч}}$ , содержащее 885 канонических ФЗ, каждая из которых должна поддерживаться в процессе функционирования создаваемой базы данных СНБД;

— функциональные базисы рабочих таблиц для оптимальной концептуальной схемы создаваемой базы данных и схему их связей SLR;

— функциональные базисы системных таблиц для оптимальной концептуальной схемы создаваемой базы данных и систему их связей SLS;

— описание оптимальной концептуальной схемы создаваемой базы данных, состоящей из нормализованных отношений (таблиц), которые принадлежат классу модифицированных нормальных форм Бойсса-Кодда (БКНФМ или КНФ) и обеспечивают минимальную сложность алгоритмов процедур контроля целостности и согласованности базы данных СНБД [1, 2];

— описание алгоритмов процедур контроля целостности и согласованности создаваемой базы данных в виде предикатов специального вида. Алгоритмы разрабатывались на основе формальных описаний схем таблиц (отношений) и их связей SLR и SLS.

#### Литература

1. Ветошкин В.М. Основы теории концептуального проектирования баз данных для автоматизированных систем. — М.: ВВИА, 2002. — 356 с.
2. Ветошкин В.М. Базы данных. — М.: ВВИА, 2005. — 311 с.
3. Леонг-Хонг Б., Плагман Б. Системы словарей-справочников данных/ Пер. с англ.: — М.: Финансы и статистика, 1986. — 311 с.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОИСКА РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ ATMEGA328P

Груненко Н.В., Палагута К.А.  
Московский Политехнический университет  
+7 (909) 698-16-15, [ka129@yandex.ru](mailto:ka129@yandex.ru)

Статья посвящена моделированию работы системы поиска резонансной частоты на микроконтроллерах Atmega328, что позволяет проверить сходимость алгоритма процесса поиска резонансной частоты колебаний объекта с высокой добротностью при выбранных параметрах.

Одной из основных причин выхода из строя газотурбинных двигателей (ГТД) является усталостное разрушение лопаток турбины и компрессора. В связи с этим особое внимание уделяется усталостным вибрационным испытаниям лопаток и созданию автоматизированных систем управления такими испытаниями. Система должна обеспечить заданную величину нагружения и поддержание резонансного режима работы на протяжении всего времени испытаний. Перевод таких систем на современную элементную базу, использующую микроконтроллеры, требует разработки и проверки алгоритмов их работы.

Ключевые слова: усталостные вибрационные испытания, цифровая система управления, микроконтроллер, поиск резонанса, моделирование.

Simulation of the operation of the resonance frequency search system on Atmega328p microcontrollers. Grunenkov N.V., Palaguta K.A. Moscow Polytechnic University.

The article is devoted to the simulation of the operation of the resonant frequency search system on Atmega328 microcontrollers, which allows us to check the convergence of the algorithm for searching for the resonant frequency of vibrations of an object with high q-factor at the selected parameters.

One of the main reasons for the failure of gas turbine engines (GTE) is the fatigue failure of the turbine and compressor blades. In this regard, special attention is paid to fatigue vibration tests of blades and the creation of automated control systems for such tests. The system must provide the specified load value and maintain the resonant mode of operation throughout the entire test time. The transfer of such systems to a modern element base that uses microcontrollers requires the development and verification of algorithms for their operation.

Keywords: fatigue vibration tests, digital control system, microcontroller, resonance search, simulation.

### Введение

Лопатки турбины и компрессора являются одними из наиболее нагруженных деталей газотурбинного двигателя (ГТД) [1]. Поэтому одной из основных причин выхода из строя газотурбинных двигателей (ГТД) является усталостное разрушение лопаток турбины и компрессора.

В то же время на сегодняшний день отсутствует теория, позволяющая рассчитать характеристики усталостной прочности этих деталей, и эти характеристики определяются экспериментально [2]. В связи с этим особое внимание уделяется усталостным вибрационным испытаниям лопаток и созданию автоматизированных систем управления такими испытаниями. Система должна обеспечить заданную величину нагружения лопатки и поддержание резонансного режима работы в течение всего времени испытаний.

На протяжении ряда лет сначала в Московском государственном индустриальном университете, а затем в МАМИ и в Московском политехническом университете ведутся работы по созданию автоматизированной системы управления усталостными вибрационными испытаниями [3-6].

В результате проведенных исследований было разработано устройство [3], реализованное первоначально на аналоговых элементах, а затем на микроЭВМ «Электроника-60М».

Оба варианта реализации физически и морально устарели, потому было решено реализовать аппаратную часть системы управления на основе микроконтроллера типа STM32.

### Постановка проблемы

Первоначально планировавшееся исследование сходимости алгоритма поиска резонанса при различных значениях его параметров на полунатурной модели оказалось невозможным в связи с введением режима самоизоляции. По этой причине моделирование пришлось проводить на более простой модели микроконтроллера, имеющей разрядность не 32, а только 8 бит.

Блок-схема алгоритма поиска резонансной частоты приведена на рис. 1.

После подачи питания и инициализации системы, пользователю предлагается установить начальную частоту формируемого гармонического сигнала, начальный шаг приращения по частоте, амплитудное значение сигнала на выходе усилителя мощности и допустимое отклонение.

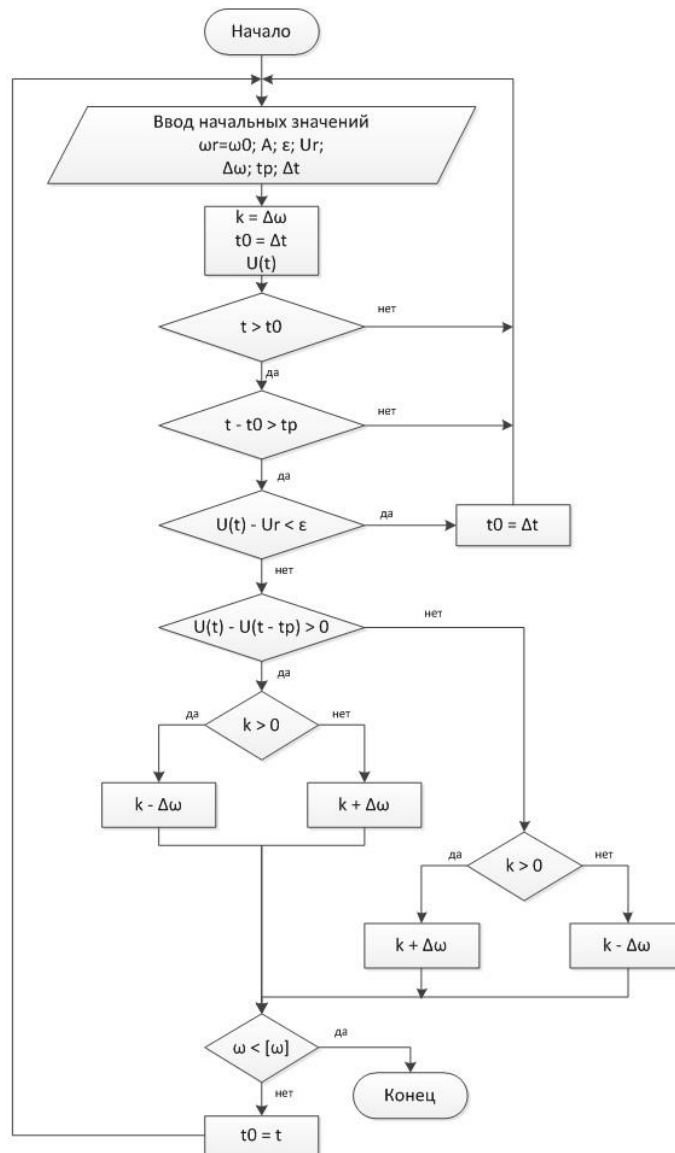


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма поиска резонансной частоты

Микроконтроллер формирует гармонический сигнал с начальной частотой и опрашивает датчик вибрации, полученное значение записывает в переменную и сохраняет его во Flash-памяти, после чего МК увеличивает частоту генерируемого сигнала на 1 шаг, снова опрашивает датчик и сохраняет полученные данные. Эти две переменные сравниваются между собой. Если значения второго пробного шага больше, чем первого, то контроллер продолжает увеличивать частоту сигнала.

Как только значение последнего шага стало меньше предыдущего, значит, была пройдена точка резонанса, микроконтроллер уменьшает выставленное пользователем значение шага в 2 раза и декрементирует частоту формируемого сигнала на 1 шаг.

По мере приближения к резонансной частоте МК будет уменьшать шаг по частоте, пока он не будет равен 1. Делается это для того, чтобы контроллер не совершал математических операций с дробными числами для повышения быстродействия системы.

Для расчета амплитуды была применена формула (1).

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{(\omega_{рез}^2 - \omega_{вын}^2)^2 + 4\beta^2\omega_{вын}^2}} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{\omega_{рез}}{2Q}$$

Где  $F_0$  – максимальное значение амплитуды;  
 $\omega_{вын}$  – частота вынуждающей силы;  
 $\omega_{рез}$  – частота резонанса;  
 $\beta$  – коэффициент затухания;

A – амплитуда колебаний;  
Q – добротность колебательного контура.

Частота резонанса принимается равной 1000 Гц, а  $Q=300$ .

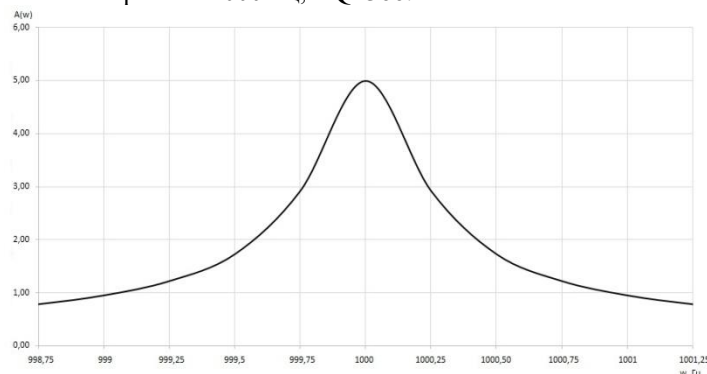


Рисунок 2 – Расчетное значение зависимости амплитуды от частоты

### Обсуждение

Для проверки работы системы была написана и исполнена программа на двух микроконтроллерах Atmega328P, первый из которых моделировал работу вибростенда с объектом исследования и датчиком вибрации, а второй выполнял функцию поиска резонанса.

Первый микроконтроллер воспринимал текущее значение частоты входного гармонического сигнала и, исходя из расчетов, подавал на контакт аналогового выхода сигнал определенного уровня.

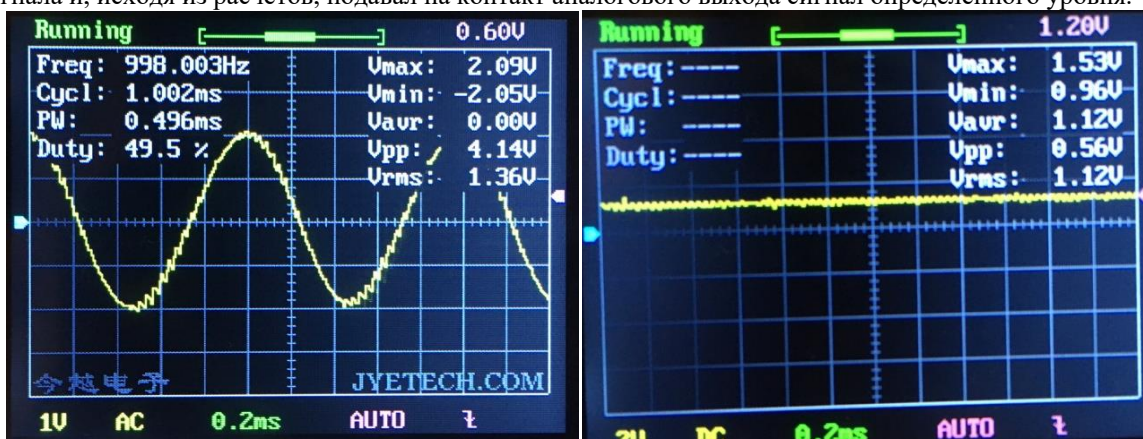


Рисунок 3 – Осциллограммы частоты и выходного сигнала

Как видно из рисунка 3, при частоте входного гармонического сигнала в 998 Гц значение выходного аналогового сигнала составило 1.12 В.



Рисунок 4 – Осциллограммы частоты и выходного сигнала

При приближении к резонансной частоте аналоговый сигнал увеличивается. Значение сигнала составляет 2.73 В при частоте 999 Гц.



Рисунок 5 – Осциллограммы частоты и выходного сигнала при резонансе

На частоте в 1000 Гц микроконтроллер выдает 4.75 В.

На основе предложенных алгоритмов была написана программа, результаты работы которой можно видеть на рисунках 6 и 7.

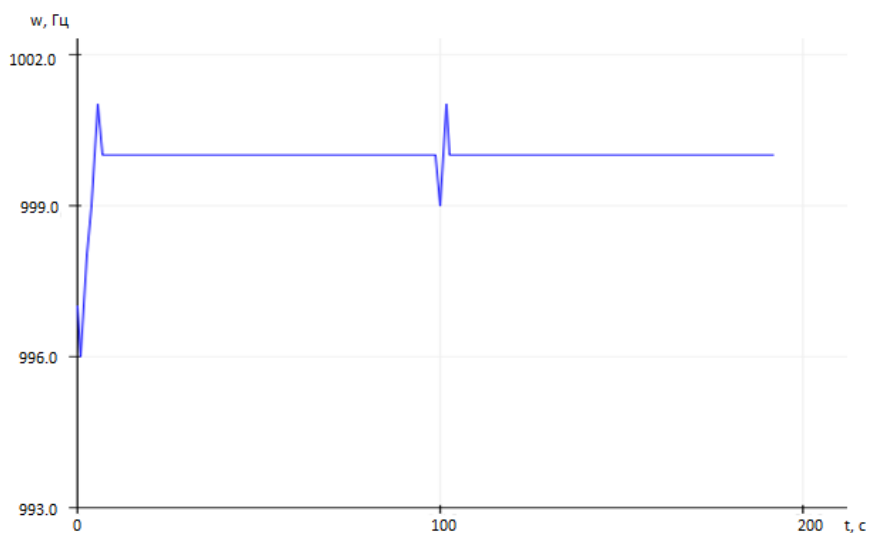


Рисунок 6 – График изменения частоты гармонического сигнала

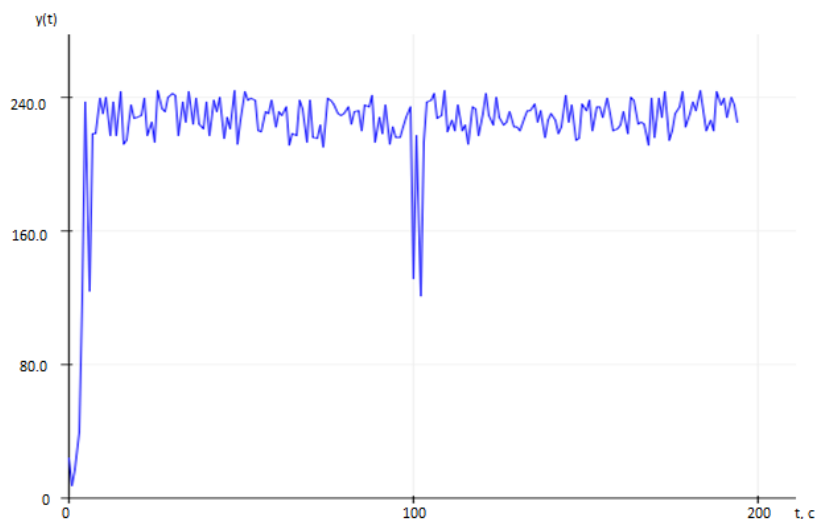


Рисунок 7 – График аналогового сигнала

Микроконтроллер делает пробный шаг по частоте и сравнивает полученный аналоговый сигнал с предыдущим, на основе результата сравнения увеличивает или уменьшает начальное значение частоты на

1 шаг. После нахождения резонансной частоты микроконтроллер переходит в режим поддержания резонанса.

Полученные с микроконтроллера численные значения частоты и амплитуды сигнала можно перевести на следующие графики (рис. 8, рис. 9).

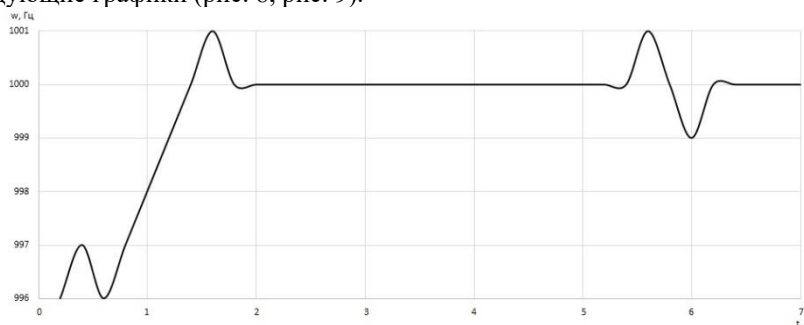


Рисунок 8 – График изменения частоты гармонического сигнала

На графике виден пробный шаг по частоте, делается он для того, чтобы определить, в какую сторону делать шаг по частоте, в сторону увеличения или уменьшения.

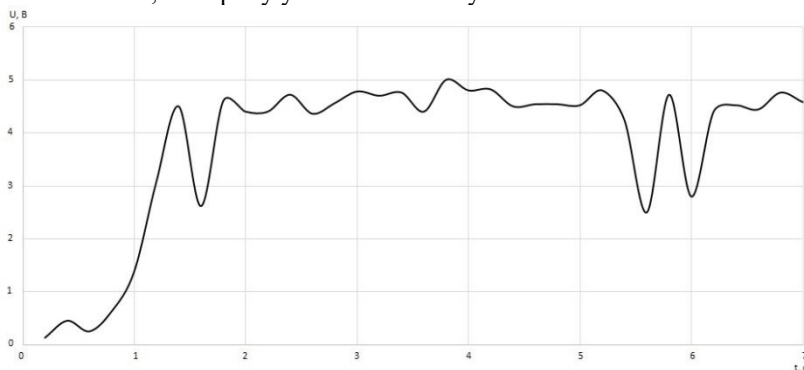


Рисунок 9 – Изменение амплитуды сигнала во времени

#### Заключение

Проведенное моделирование продемонстрировало сходимость алгоритма поиска резонанса. В то же время наблюдались скачки амплитуды сигнала порядка 40% от установившегося значения амплитуды, что недопустимо по условиям испытаний.

Выходом из данной ситуации является как уменьшения шага по частоте при увеличении разрядности микроконтроллера, так и использование не сигнала амплитуды колебаний, а внутреннего сигнала контура стабилизации амплитуды, который при резонансе будет иметь минимальное значение.

#### Литература

1. Акимов В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1981. — 207 с.
2. Испытания авиационных двигателей: учебник для вузов // под общ. ред. В.А. Григорьева и А.С. Гишварова. – М.: Машиностроение, 2009. — 504 с.
3. Авторское свидетельство СССР 1698650. Устройство для вибрационных испытаний на резонансных частотах. Палагута К. А.
4. Палагута К. А., Львов Н.Ю., Львовский Т. А. Автоматизация усталостных вибрационных испытаний при высоких температурах / материалы Международной научно-практической конференции "Информационные инновационные технологии" (I2T) (Прага, 23-27 апреля 2018 г.), с. 271-275.
5. Палагута К. А., Груненков Н.В. Автоматизация процесса усталостных вибрационных испытаний лопаток. / Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении / Сборник научных статей 5-й Всероссийской конференции с международным участием, 14 февраля 2020 г. – Курск, 2020. - с. 198-204.
6. Simulation of a Subsystem for Providing a Resonant Mode of Operation of an Automated Installation for Conducting Fatigue Vibration Tests. K. Palaguta, V. Bebenin, N. Grunenkov / 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Publication Number 9106948.

## ВЕРТИКАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ СЕНСОР ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ

Денисенко М.А., Исаева А.С.  
ФГАОУ ВО Южный федеральный университет  
dema@sfedu.ru

Работа посвящена разработке и исследованию конструкции вертикально ориентированного микроэлектромеханического туннельного акселерометра на основе самоорганизующихся слоев полупроводниковых структур. Предложены варианты конфигурации сенсора линейных ускорений. Приведена методика оптимизации геометрических параметров акселерометров. Представлены результаты моделирования (статический и модальный анализ) и проведен их анализ.

Ключевые слова: микроэлектромеханическая система, сенсор линейных ускорений, акселерометр, туннельный эффект, МЭМС.

Vertical oriented tunnel linear acceleration sensor. Denisenko M.A., Isaeva A.S. Southern Federal University.

This work is devoted to the development and study of a vertical oriented microelectromechanical tunneling accelerometer design based on self-organizing semiconductor layers structures. Different types of the linear acceleration sensor configuration are proposed. A technique for optimizing the geometric parameters of accelerometers is presented. The results of modeling (static and modal analysis) are presented and analyzed.

Keywords: microelectromechanical system, linear acceleration sensor, accelerometer, tunnel effect, MEMS.

### Введение

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – перспективное направление развития современной электроники, не теряющее своей актуальности. Сегодня на рынке широко представлены многоосевые датчики линейных ускорений, представляющие собой два-три устройства, выполненные на одной подложке. Для уменьшения габаритов и стоимости конечного продукта, а также повышения технологичности целесообразно развивать направление, когда такие приборы реализуются в едином технологическом цикле. В этой работе описывается конструкция одноосевого туннельного акселерометра, которая может быть выполнена как самостоятельное устройство, так и имеет потенциал для реализации в виде чувствительного элемента многоосевого сенсора. Разработка новых конструкторско-технологических решений и методов проектирования многоосевых МЭМС-сенсоров является важной научно-технической задачей, решение которой способно обеспечить конкурентоспособность российских устройств на мировом рынке.

Кроме того, актуальным направлением развития микроэлектромеханических акселерометров является создание туннельных и автоэмиссионных устройств. Принцип их работы основан на экспоненциальной зависимости туннельного тока, протекающего между двумя электродами (подвижным и неподвижным) от расстояния между ними, и аналогичен принципу работы сканирующего туннельного микроскопа. На подвижный (обычно выполненный в виде конусообразного острия) и неподвижный электроды туннельного контакта подается напряжение смещения. Когда острие и неподвижный электрод находятся на расстоянии нескольких ангстрем, возникает туннельный ток. Для регистрируемого изменения силы тока достаточно уменьшения или увеличения расстояния на величину порядка  $10^{-3}$  А. Такие сенсоры обладают высокой чувствительностью и большим потенциалом для миниатюризации конструкции, но требуют при этом применения высокопрецизионных технологий производства [1].

### Постановка проблемы

Туннельные акселерометры, как и емкостные, работают по схожему принципу: в результате воздействия ускорения отклоняется инерционная масса, связанная с подвижным контактом, что регистрируется соответствующей схемой обработки сигналов. Одной из основных проблем, возникающих при проектировании туннельных сенсоров ускорений является обеспечение необходимого туннельного зазора при производстве и эксплуатации устройства. Для решения этой проблемы обычно используют схему управления с обратной связью, которая позволяет поддерживать постоянный зазор между острием подвижного и неподвижным электродами [2]. Другой важной технической задачей является возможность реализации многоосевых туннельных сенсоров в едином технологическом цикле. Предложенная ниже конструкция имеет потенциал для решения указанных проблем.

Особенностью предложенной конструкции интегрального вертикально ориентированного наноразмерного сенсора линейных ускорений на основе туннельного эффекта является применение операции самосборки на основе управляемой самоорганизации механически напряженных полупроводниковых слоев, которая позволяет прецизионно контролировать формирование туннельного

контакта с зазором порядка единиц нанометров. Это обеспечит высокую технологичность конструкции за счет возможности ее интегрального изготовления групповыми методами обработки с использованием стандартных технологических операций, компактность, а также возможность построения высоко чувствительных сенсоров, обеспечивающих вместе чувствительность сразу по нескольким осям [3].

В работе [3] описываются горизонтальные структуры туннельных акселерометров. Реализация таких структур возможна с использованием Принц-технологии [4]. Такая структура основана на деформации напряженных слоев полупроводниковой гетеропленки в следствии высвобождения жертвенного слоя. Степень деформации гетеропленки зависит от того, какое количество жертвенного слоя вытравливается, что в свою очередь зависит от времени травления и состава травителя. Изменяя данные параметры возможно управлять ходом процесса формирования структуры сенсора, а именно упругого подвеса и всей подвижной части конструкции.

Если время травления достаточно, чтобы высвобожденная часть консоли стала условно-параллельна своей закрепленной части, то при осевых нагрузках упругий подвес покажет наибольшие отклонения по оси, перпендикулярной плоскости подложки (ось Y), что схематично показано на рисунке 1, а. В результате будет получена структура, описанная в [3]. А если уменьшить время травления и подобрать его таким образом, что свободная часть консоли станет условно-ортогональна основанию, то получится структура, в которой наибольшие отклонения консоли в следствии осевых нагрузок будут по оси, параллельной плоскости подложки (ось X), что показано на рисунке 1, б. Таким образом, данная технология позволяет создавать сенсоры, чувствительные по разным осям.

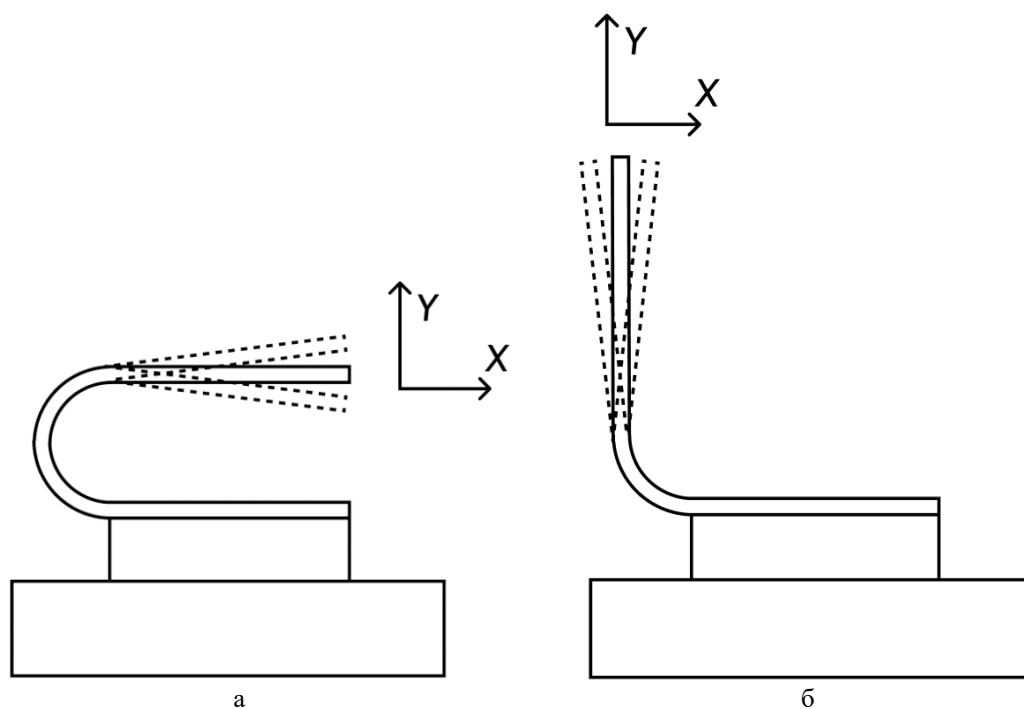


Рисунок 1 – Эскиз горизонтальной (а) и вертикальной (б) конструкции интегрального туннельного акселерометра

Следует отметить, что для того, чтобы высвобождающийся край консоли не принял форму трубки, а также для создания наиболее чувствительного к упругим перемещениям подвеса, на высвобождающейся части консоли располагают инерционную массу, и необходимые подвижные электроды. Условия и материалы, необходимые для получения конструкций, схематично показанных на рисунке 1 идентичны, поэтому становится возможным разместить их на одной подложке, произведя в едином технологическом цикле. На рисунке 2 приведен вертикальный вариант конструкции. Два таких сенсора, расположенных на подложке под прямым углом и выполненных совместно с одним горизонтальным сенсором позволят сформировать конструкцию трехосевого туннельного акселерометра.

Приведенная конструкция получена в ходе контролируемого селективного травления жертвенного слоя AlGaAs (на рисунке показан синим цветом), выполняющего также функцию буферного слоя, в результате чего происходит самосборка структуры. В качестве материалов для механически напряженного двухслойного упругого подвеса, представляющего собой в свернутом виде сегмент цилиндрической поверхности, выбрана композиция GaAs/InAs, ввиду подходящего соотношения постоянных кристаллических решеток. На подвижной части структуры помимо инерционной массы



находится также острие подвижного электрода туннельного контакта (красный треугольник на рисунке) и подвижный электрод электростатического актюатора (обозначен желтым цветом). Роль последнего состоит в том, чтобы обеспечить калибровку устройства после сворачивания структуры. При подаче напряжения на его контакты происходит изменения положения балки, вызванное электростатическими силами, и, соответственно, изменения туннельного тока. Острие туннельного контакта расположено вблизи упругого подвеса, что позволяет, сохранив чувствительность сенсора, уменьшить риск соприкосновения наконечника с противоконтактом и, как следствие, исключить вызванные этим возможные помехи.

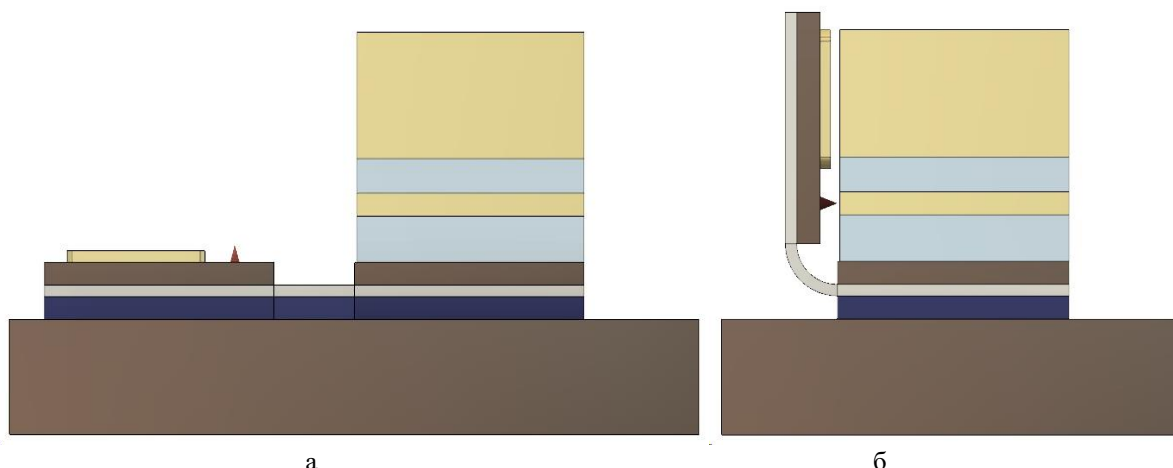


Рисунок 2 – Модель вертикальной конструкции интегрального туннельного акселерометра до сворачивания (а) и после (б)

Предложенная технология на этапе изготовления сенсоров позволяет в определенных пределах варьировать геометрические параметры конструкции – прежде всего в области упругого подвеса, изменяя его конфигурацию. Но, кроме этого, для получения новых результатов возможно также изменение длины подвижной балки, а также расположение туннельного контакта. Ниже приведены результаты моделирования основной конструкции, приведенной на рисунке 2 (статический и модальный анализ), полученные с использованием системы автоматизированного проектирования ANSYS.

Основной задачей моделирования было установить, на сколько переместится острие туннельного контакта при различных осевых нагрузках. Для этого была проведена симуляция ускорения величиной  $5g$  в отрицательном и положительном направлениях вдоль осей X, Y, Z. В результате данной симуляции был проведен статический анализ, результаты которого в таблице 1, в которой содержатся величины отклонения острия туннельного контакта. Одна из визуализаций отклонения приведена на рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты моделирования структуры

Направление ускорения $5g$	Смещение вдоль оси X (м)	Смещение вдоль оси Y (м)	Смещение вдоль оси Z (м)
- X	$0.102 \cdot 10^{-9}$	$-0.605 \cdot 10^{-10}$	$0.704 \cdot 10^{-12}$
X	$-0.154 \cdot 10^{-9}$	$0.476 \cdot 10^{-10}$	$0.704 \cdot 10^{-12}$
- Y	$0.826 \cdot 10^{-11}$	$0.750 \cdot 10^{-11}$	$-0.104 \cdot 10^{-12}$
Y	$-0.112 \cdot 10^{-10}$	$-0.760 \cdot 10^{-11}$	$0.104 \cdot 10^{-12}$
- Z	$-0.157 \cdot 10^{-11}$	$-0.201 \cdot 10^{-11}$	$0.281 \cdot 10^{-10}$
Z	$0.157 \cdot 10^{-11}$	$0.201 \cdot 10^{-11}$	$-0.281 \cdot 10^{-10}$

Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод, что предложенная структура наиболее чувствительна к ускорению вдоль оси X, что и ожидалось в теории.

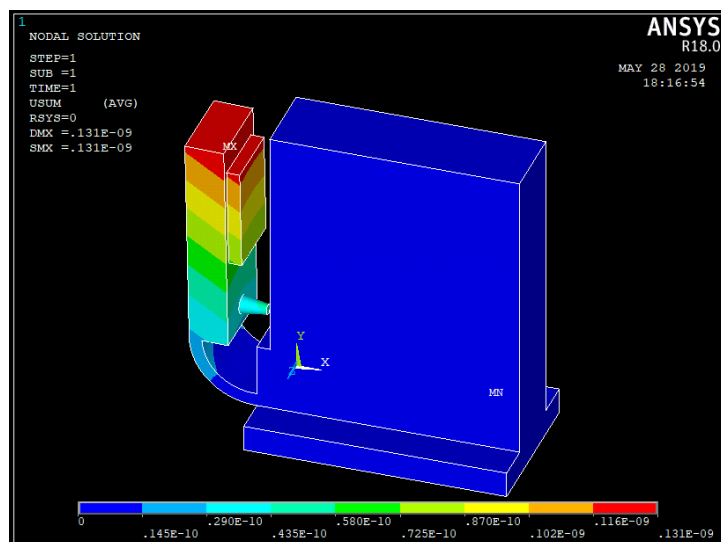


Рисунок 3 – Результаты моделирования при ускорении в 5g при отрицательном направлении ускорения вдоль оси Z

#### Заключение

В заключении следует отметить, что предложенная авторами конструкция вертикально ориентированного микроэлектромеханического туннельного акселерометра является перспективной разработкой, которая может найти применение как в качестве самостоятельного одноосевого сенсора линейных ускорений, так и в составе многоосевого сенсора. При этом такие структуры имеют потенциал для относительно несложных с технологической точки зрения модификаций с использованием следующих основных методик: изменение геометрических размеров структуры (как в целом, так отдельно длины балки); изменение расположения острия туннельного контакта и электростатического актюатора; модификация упругого подвеса; добавление в конструкцию дополнительного упругого подвеса. При этом любой из предложенных методов или их комбинация может найти применение на этапе моделирования и прототипирования сенсорных МЭМС структур для адаптации базовых конструкций под конкретные технические задачи. Результаты моделирования говорят об адекватности выбранных физико-геометрических параметров конструкций.

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (номер проекта МК-2130.2020.8).

#### Литература

1. Boyden E. et al. A High-Performance Tunneling Accelerometer. MIT Term Project Paper 6.777, Introduction to Microelectromechanical Systems, Spring 1999.
2. В Hubert, D Roberts, E Boyden, M Karpman, O El Rifai, A Micromachined Tunneling Accelerometer Final Project Presentation 10 May 1999 Online access. <http://www.stanford.edu/~eboyden3/accelerometer.pdf> Last retrieved 4 Dec 2004.
3. Denisenko M.A., Konoplev B.G., Isaeva A.S., Lysenko I.E. Integrated micro-mechanical tunneling accelerometer // J. Pharm. Sci. & Res. Vol. 9(11), 2017, pp. 2155-2158. ISSN: 0975-1459.
4. Prinz V.Ya. Precise semiconductor nanotubes and nanoshells fabricated on (110) and (111) Si and GaAs. Physica E. V.23, 2004. PP.260—268.

#### ВЛИЯНИЕ АДсорбции ВОДОРОДА НА ПРОцессы ЭЛЕКТроПЕРЕНОСА В ОКСИДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ И МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ НА ИХ ОСНОВЕ

Жилова О.В, Макагонов В.А., Панков С.Ю., Ситников А.В., Бабкина И.В.  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
zhilova105@mail.ru

В данной работе рассмотрено влияние водорода на электросопротивление новых гетерогенных пленок  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$  и  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ , полученных методом ионно-лучевого напыления. Проведен сравнительный анализ газовой чувствительности к водороду данных пленок с чистыми оксидными полупроводниками  $\text{ZnO}$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ , полученными при таких же условиях, что и многослойные структуры.

Ключевые слова: широкозонный полупроводник, многослойная система, газовая чувствительность, электросопротивление.

The influence of the hydrogen adsorption on the electrical transfer processes in oxide semiconductor films and multilayer systems based on them. Zhilova O.V., Makagonov V.A., Pankov S.Yu., Sitnikov A.V., Babkina I.V. Voronezh State Technical University.

In this work, the effect of hydrogen on the electrical resistance of new heterogeneous films  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$  and  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  is considered. The films has been obtained by ion-beam sputtering method. A comparative analysis of the gas sensitivity to hydrogen of multilayered films and oxide semiconductors  $\text{ZnO}$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$  obtained under the same conditions as the multilayer structures has been carried out.

Keywords: wide-gap semiconductor, multilayer system, gas sensitivity, electrical resistance

### Введение

В настоящее время широкое применение в качестве функциональных слоев для газовых датчиков имеют такие полупроводниковые материалы как оксиды цинка, индия и олова. В данных материалах адсорбция активных газов, как правило, происходит на поверхности и на границах раздела между кристаллами. Поэтому нанокристаллическая структура наиболее удобна для практического применения и создания газочувствительных пленок. Проблемой использования таких материалов является то, что при изменении состава окружающей среды происходит десорбция молекул газа, которая требует затрат энергии. Поэтому хорошие эксплуатационные свойства пленки приобретают при повышенных температурах (573-673 К). При этих температурах процессы структурной релаксации могут привести к росту размера кристаллитов и, как следствие, необратимому изменению электрических свойств функциональных покрытий. По этой причине многослойная полупроводниковая структура с толщинами слоев порядка нескольких нанометров, обладающая более низкими значениями энергии границ раздела, является перспективным материалом для газовых датчиков.

### Методика эксперимента

Исследуемые материалы были получены методом ионно-лучевого вакуумного напыления [1]. Для формирования многослойных систем в разных позициях вакуумной камеры, разделенных перегородкой, одновременно распрыскивались две мишени. Подложка поочередно занимала позицию осаждения одной из фаз. Для плавного изменения толщины пленок чистых полупроводников и толщины слоев многослойных структур между мишенью и подложкодержателем устанавливался V-образный экран. В качестве подложек использовались пластины ситалла СТ-50.

Таблица 1 – Параметры полученных пленок

Состав	Количество слоев	Толщина слоя 1, нм	Толщина слоя 2, нм	Толщина пленки, нм
$\text{In}_2\text{O}_3$	71	0,43-1,75	-	0,03-0,12
$\text{ZnO}$	69	0,63-1,68	-	0,04-0,12
$\text{SnO}_2$	83	0,40-3,30	-	0,03-0,27
$\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$	83	0,43-1,68	0,57-1,56	0,05-0,28
$\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$	69	0,40-2,30	0,40-3,40	0,06-0,39

Для анализа влияния газовой среды на электропроводимость исследуемых пленок была использована вакуумная камера с возможностью напуска активных газов. Предварительная подготовка образцов заключалась в покрытии поверхности пленок островковым слоем каталитического палладия и термостабилизации кристаллической структуры. Термостабилизация структуры проводилась в два этапа:

- 1) нагрев в вакуумной камере при давлении остаточных газов не хуже  $10^{-3}$  Торр до температуры 873 К;
- 2) охлаждение до 673 К, после чего в камеру напускался атмосферный воздух до давления 380 Торр и проводился изотермический отжиг в течение 60 минут.

После проведения описанной выше процедуры подготовки начинался цикл измерения электрических свойств полученных образцов, который заключался в следующем:

- 1) образец охлаждался до комнатной температуры;

- 2) при комнатной температуре в камеру добавлялся водород с парциальным давлением 5 Торр и образец нагревался до 673 К;
- 3) после достижения заданной температуры в атмосфере воздух с добавлением водорода образец охлаждался до комнатной температуры;
- 4) при комнатной температуре камера с образцом откачивалась, и напускался атмосферный воздух до давления 380 Торр, после чего происходил нагрев до 673 К и охлаждение до комнатной;
- 5) при необходимости цикл нагрева-охлаждения, описанный в пунктах 2-4, повторялся.

В процессе описанного выше термоциклирования фиксировались температура образца и его сопротивление. Таким образом, можно утверждать, что полученные зависимости  $R=f(T)$  характеризуют зависимость электросопротивления полученных пленок не только от температуры, но и от количества адсорбированного/десорбированного при данной температуре водорода, т.е. характеризует их газовую чувствительность. Относительная погрешность измерения сопротивления не превышала 10 %.

### Результаты и обсуждение

Измерения газовой чувствительности были проведены для чистых пленок оксидов цинка, индия и олова, а также многослойных систем  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2)_{69}$  и  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$  (рисунок 1).

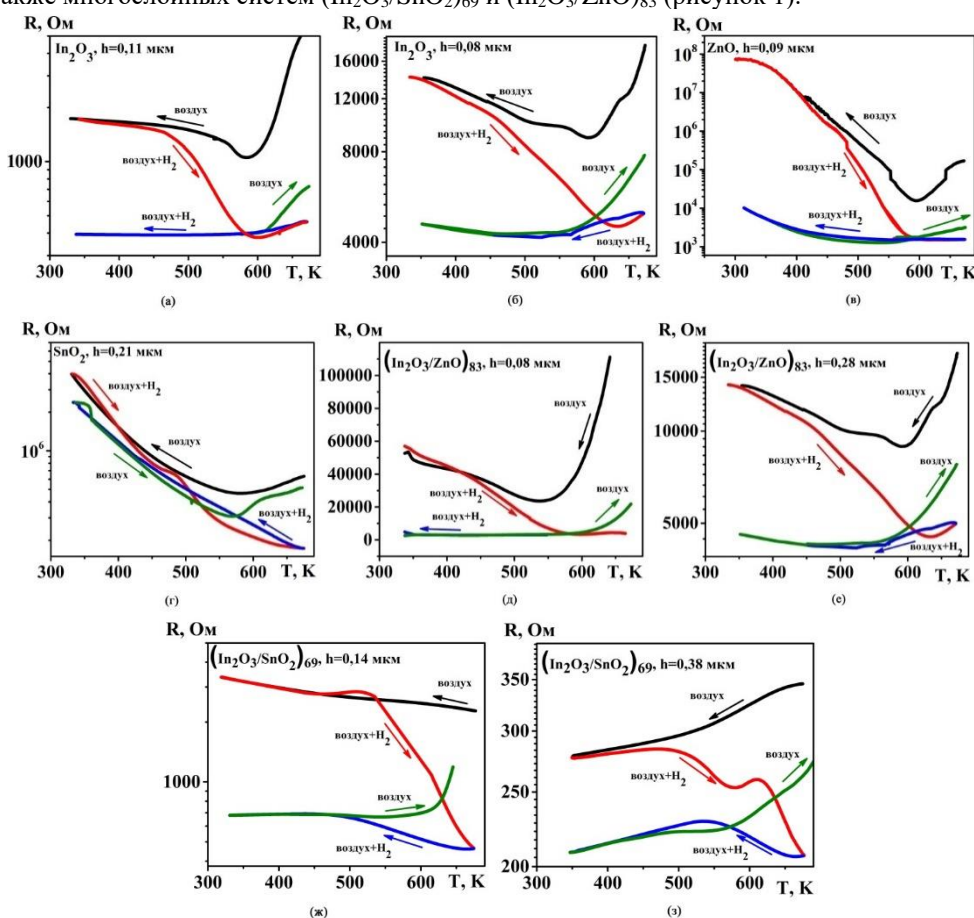


Рисунок 1 – Температурные зависимости электросопротивления тонких пленок ZnO,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2)_{69}$  и  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$  в различных газовых средах

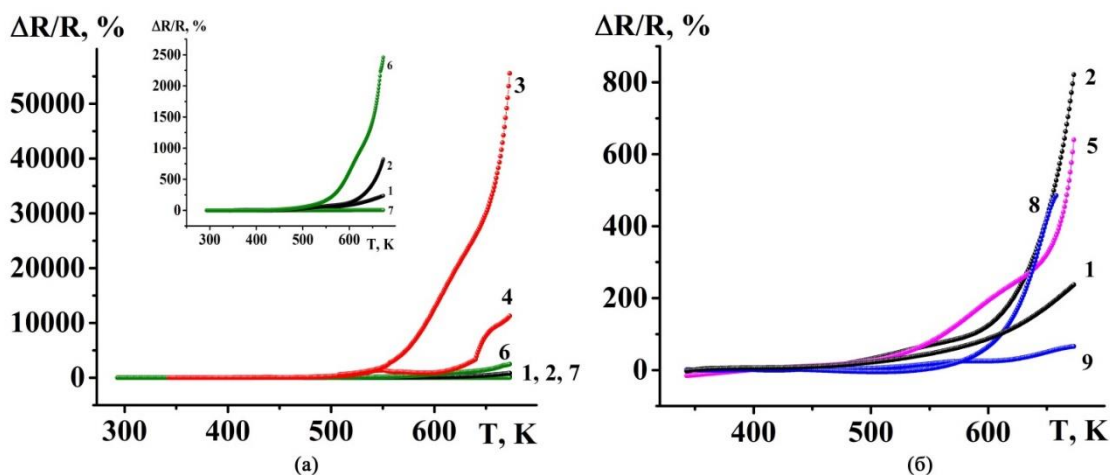
Из рисунка видно, что ход зависимостей  $R(T)$  совпадает для всех измеренных образцов. Добавление водорода в вакуумную камеру при температурах 300-423 К практически не приводит к изменению сопротивления. В области температур 423-673 К происходит заметное отклонение зависимости  $R(T)$  образца, охлаждаемого в воздушной среде и нагреваемого в среде, содержащей водород.

При температуре порядка 573 К на кривой  $R(T)$  в воздушной среде происходит значительное увеличение сопротивления. На образцах, находящихся в среде с добавлением  $\text{H}_2$  подобного роста нет. При последующем остывании ТКС в исследуемых пленках имеет отрицательное значение, и появляется существенное различие между сопротивлением образцов в воздушной атмосфере и после нагрева до 673 К в присутствии водорода. Нагрев пленок в воздушной среде после водородной термической обработки не приводит к существенным изменениям сопротивления вплоть до температуры 573 К. Выше этой температуры происходит увеличение сопротивления. Проведенные измерения свидетельствуют о значительной газовой чувствительности исследуемых пленок. Наблюдаемое различие в температурах

начала изменения сопротивления образцов при изменении состава окружающей газовой среды может быть обусловлено тем, что энергия адсорбции водорода ниже, чем энергия адсорбции кислорода.

На рисунке 2 представлены зависимости газовой чувствительности исследуемых пленок. Газовая чувствительность рассчитывалась по формуле 1, исходя из значений относительного изменения сопротивления пленок, снятых при остывании образца в воздушной среде и нагрева в атмосфере с добавлением водорода.

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{\text{воздух}} - R_{\text{воздух}+H_2}}{R_{\text{воздух}+H_2}} \quad (1)$$



1-[In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, h=0,08 мкм]; 2-[In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, h=0,11 мкм]; 3-[ZnO, h=0,09 мкм]; 4-[ZnO, h=0,12 мкм]; 5-[SnO<sub>2</sub>, h=0,21 мкм]; 6-[In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO)<sub>83</sub>, h=0,08 мкм]; 7-[In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO)<sub>83</sub>, h=0,28 мкм]; 8-[In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>)<sub>69</sub>, h=0,14 мкм]; 9-[In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>)<sub>69</sub>, h=0,38 мкм]

Рисунок 2 – Газовая чувствительность исследуемых пленок

Анализ полученных кривых показал, что пленки оксида цинка толщиной 0,09 мкм имеют наибольшую газовую чувствительность - 60000% при температуре 673 К (рисунок 2а, кривая 3). Достаточно высокое изменение сопротивления (2500%) в аналогичных условиях происходит в образцах (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO)<sub>83</sub>, толщиной 0,08 мкм (рисунок 2а, кривая 6). Это значение выше, чем в пленках чистого оксида индия. Более толстые пленки многослойной системы (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO)<sub>83</sub>, показала наименьшее значение газовой чувствительности (рисунок 2а, кривая 7).

Пленки оксида олова при температуре 673 К имеют газовую чувствительность 800% (рисунок 2б, кривая 5). Пленка (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>)<sub>69</sub> толщиной 0,14 мкм при аналогичных условиях изменила свое сопротивление на 480% (рисунок 2б, кривая 8), это несколько ниже, чем в чистых пленках оксида индия толщиной 0,11 мкм (640%) (рисунок 2б, кривая 2). В относительно толстых образцах (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>)<sub>69</sub> толщиной 0,38 мкм относительное изменение сопротивления пленки при 673 К составляет 65% (рисунок 2б, кривая 9).

Рассмотрим полученные результаты с точки зрения структурных преобразований пленок. Перед измерениями электросопротивления пленок в различных газовых средах все образцы были подвергнуты термической обработке 873 К для структурной стабилизации. Как показали рентгеновские исследования [2], пленки SnO<sub>2</sub> в исходном состоянии имеют аморфную структуру, которая переходит в кристаллическую при температуре 673 К, а пленки In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnO сохраняют кристаллическую структуру как в исходном состоянии, так и после отжига. Однако размеры кристаллитов при термообработке увеличиваются. Размеры кристаллитов для всех исследованных пленок после термообработки остаются нанометровыми. Совокупность этих факторов (мелкодисперсная кристаллическая структура) объясняет высокие значения газовой чувствительности. Пленки ZnO имеют более высокое значение электрического сопротивления после термической обработки относительно пленок In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [3], что определяет большее относительное изменение сопротивления ZnO в сравнении In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при добавлении в воздушную атмосферу водорода. Пленки SnO<sub>2</sub> при рассмотрении данного критерия занимают промежуточное место. Исследование сенсорных свойств полупроводников оксидов цинка, индия и олова полученных ионно-лучевым распылением несомненно интересная задача, но они проводятся только с позиции сравнительных характеристик и демонстрации некоторых закономерностей, которые могут быть применены в случае пленок (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO)<sub>83</sub> и (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>)<sub>69</sub>.

Заключение

К основным выводам работы следует отнести то, что относительное изменение сопротивления пленок оксида цинка толщиной 0,09 мкм после термической обработки при температуре 673 К составило 60000% после добавления в воздушную среду водорода парциальным давлением 7,8 Торр; в новых многослойных системах  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$  и  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2)_{69}$ , полученных методом ионно-лучевого напыления, после термической обработки 873 К обнаружено уменьшение сопротивления в воздушной среде, содержащей водород, в диапазоне температур от 423 до 673 К; относительное изменение сопротивления пленки  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$  толщиной 0,08 мкм, после термической обработки при температуре 673 К составило 2500% после добавления в воздушную среду водорода парциальным давлением 7,8 Торр.

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках государственного задания № FZGM-2020-0007.

#### Литература

1. Гриднев С.А. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах / С.А. Гриднев, Ю.Е. Калинин, А.В. Ситников, О.В. Стогней // Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2012. – 352 С.
2. Бабкина И.В. Структура пленок ZnO,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}$ ,  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$ ,  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2)_{69}$ ,  $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{In}_2\text{O}_3]_{92}$  / И.В. Бабкина, Т.И. Епрынцева, О.В. Жилова, В.А. Макагонов, А.В. Ситников // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. науч. конф. – Минск: Ковчег. – 2016. – с. С. 27-30.
3. Zhilova O.V. The structure and the gas sensitive properties of the thin films of zinc oxide / O.V. Zhilova, S.Yu. Pankov, A.V. Sitnikov, Yu.E. Kalinin, I.V. Babkina // AIP Conference Proceedings Proceedings of the IV International Young Researchers' Conference. 2017. - С. 020054.

#### ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ, КАК ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ SiC

Кардашова Г.Д., Сафаралиев Г.К., Ризаханова С.У. \*, Дибиргаджиев Д.Ш. \*  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», \*ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»  
[gulya-ka11@yandex.ru](mailto:gulya-ka11@yandex.ru)

В работе приведены основные преимущества метода искрового плазменного спекания (SPS) в сравнении с классическим методом горячего прессования для получения высокоплотной керамики на основе карбида кремния. Рассмотрены возможности получения высокоплотной керамики путем варьирования концентрационного состава исходных порошков. Представлены результаты исследования влияния концентрационного состава на плотность SiC-AlN керамических композитов. Исследования проводилось на образцах (SiC-AlN)-керамики (10, 40, 60, 90 мас. % AlN), изготовленных по технологии искрового плазменного спекания.

Ключевые слова: (SiC-AlN)-керамика, искровое плазменное спекание, параметры уплотнения, пористость.

Spark plasma sintering as an innovative technology for producing ceramic materials based on SiC. Kardashova G.D., Safaraliev G.K., Rizakhanova S.U.\*, Dibirgadzhev D.Sh.\*. Dagestan State University, \*Dagestan State Technical University.

The paper presents the main advantages of the spark plasma sintering (SPS) method in comparison with the classical hot pressing method for obtaining high-density ceramics based on silicon carbide. The possibilities of obtaining high-density ceramics by varying the concentration composition of the initial powders are considered. The results of studying the effect of the concentration composition on the density of SiC-AlN ceramic composites are presented. The investigations were carried out on samples of (SiC-AlN) -ceramics (10, 40, 60, 90 wt.% AlN), manufactured by the spark plasma sintering technology.

Keywords: (SiC-AlN)-ceramics, spark plasma sintering, compaction parameters, porosity.

#### Введение

Одной из главных проблем современного материаловедения это разработка и внедрение энергоэффективных, экономически выгодных технологий получения многофункциональных композитов нового поколения для использования их при создании изделий и конструкций с увеличенным ресурсом эксплуатации в экстремальных условиях.

В многообразном мире элементной базы керамике отведена заметная роль, обусловленная широким диапазоном ее физических и химических свойств, которые определяются ее составом, структурой и пористостью. А плотность зависит от технологических параметров получения керамического материала. Полупроводниковая керамика на основе карбида кремния отличается высокой износостойкостью, стойкостью к многократным тепловым нагрузкам и агрессивным средам, устойчивостью к радиационным воздействиям, высокой жаростойкостью и теплопроводностью. Совокупность таких физико-механических свойств определяет ее технологические перспективы.

Хотя в настоящее время методами порошковой металлургии получают различные модификации материалов на основе карбида кремния, однако получение керамики на его основе с требуемым набором физико-механических свойств затруднено в силу того, что преимущественно ковалентный тип химической связи в Si-C не позволяет получать из него обычным спеканием изделия высокой плотности без применения спекающих добавок. Введение модифицирующих добавок активизирует процессы спекания, изменяя процессы структурообразования при консолидации материалов. При этом возможно снижение температуры спекания и улучшение свойств готовых образцов. Поэтому для спекания карбида кремния применяют активирующие добавки. Наиболее близким к SiC по параметрам кристаллической решетки (отличие составляет 1 %), по типу связи между атомами, показателю теоретической плотности и молекулярному весу является нитрид алюминия  $2H \text{ AlN}$  [1]. Нитрид алюминия (AlN) является единственным материалом технической керамики, сочетающий очень высокую теплопроводность и электроизоляционные свойства. Однако, проблемы спекания плотных материалов из нитрида алюминия связаны, с одной стороны, с ковалентным характером связи Al-N, что определяет необходимость высоких температур спекания, а с другой – с наличием в исходных порошках примеси кислорода, который при спекании внедряется в решетку нитрида алюминия, создавая вакансии алюминия, на которых и происходит рассеяние фононов. Кроме того, из-за недостаточной прочности, возможности использования AlN под нагрузкой ограничены. Именно путем совместного спекания карбидов и нитридов можно получить материал с новым сочетанием свойств, соединив их различные характеристики в одну структуру, и преодолеть тем самым недостатки этих двух соединений по отдельности [2,3]. В широком композиционном диапазоне эти соединения могут образовывать твердые растворы, так как обладают схожей структурой и одинаковыми высокотемпературными свойствами [4,5].

Известные традиционные методы спекания керамики на основе карбида кремния, такие как горячее прессование, жидкофазное спекание, реакционное спекание и др, хотя и позволяют получить керамические материалы с требуемым набором физических свойств, но являются энергозатратными и трудоемкими и не обеспечивают необходимую массовость производства, что делает эти материалы дорогостоящими, несмотря на доступность и относительную дешевизну исходных компонентов. Решение упомянутых проблем видится в применении метода искрового плазменного спекания (Spark Plasma Sintering, SPS) для данной системы, как инновационной технологии консолидации порошковых материалов на основе карбида кремния и получивший в последние десятилетия интенсивное исследование и развитие [6,7]. Общим при любом синтезе керамики является влияние технологических факторов на процесс спекания, к которым относят: свойства исходных порошков, давление формования, температуру, продолжительность и атмосферу спекания. Поэтому задачей исследований было получение керамики SiC-AlN методом SPS с высоким уровнем физико-механических свойств и установление взаимосвязи «состав-плотность». Роль нитрида алюминия в данном решении заключается не в его участии в образовании однофазного материала на основе твердых растворов SiC-AlN, а в создании эффективного препятствия росту зерна карбида кремния [8].

#### Методы и результаты исследования

В качестве исходных сырьевых материалов в работе использовали порошки карбида кремния SiC зеленый М-20 (Карботермический синтез на Запорожском абразивном комбинате) и нитрида алюминия AlN CBC У (Институт структурной макрокинетики РАН, Черноголовка). Исходные порошки брались в различных пропорциях и тщательно смешивались. Были подготовлены SiC-AlN-составы порошков с содержанием AlN 10, 40, 60 и 90 вес.%. Главная отличительная черта таких заготовок – наличие неравенства концентраций компонентов в различных точках объема исходного порошкового тела (градиент химического потенциала). Поэтому необходимо очень тщательное перемешивание и проведение гранулометрического анализа, как исходных компонентов, так и готовых смесей.

Гранулометрический анализ проводился на лазерном анализаторе размера частиц ANALYSETTE 22 MicroTec plus (Германия), использующий два полупроводниковых лазера: Зеленый ( $\lambda = 532$  нм, 7 мВт), ИК ( $\lambda = 940$  нм, 9 мВт). Основными параметрами при определении размера частиц являются интенсивность ультразвука, воздействующая на взвесь, и условная мощность работы насоса. Ультразвуковая ванна Fritsch, встроенная в блок мокрого диспергирования, имеет выходную мощность до 50 Вт и частоту колебаний жидкости до 40 кГц. Диапазон измерения анализатора 0,08 – 2000 мкм. Использовалась жидкостная ячейка, причем в случае определения размеров частиц нанопорошков

применяется диспергатор для разрушения крупных агломератов частиц. Управление Analysette 22 осуществляется с помощью программного обеспечения MaScontrol. Посредством специальных алгоритмов MaScontrol позволяет проводить анализ согласно теории Фраунгофера или метода Ми. Точный измерительный процесс выполняется с помощью SOPs (стандартных эксплуатационных процедур), которые обеспечивают стандартизированные рабочие параметры измерений для распространённых систем отбора проб в одинаковых условиях выполнения анализа. Анализ измерений, а также графическое отображение результатов выдается в виде отчета. На рисунке 1 показано распределение по размерам частиц исходных порошков и готовых смесей.

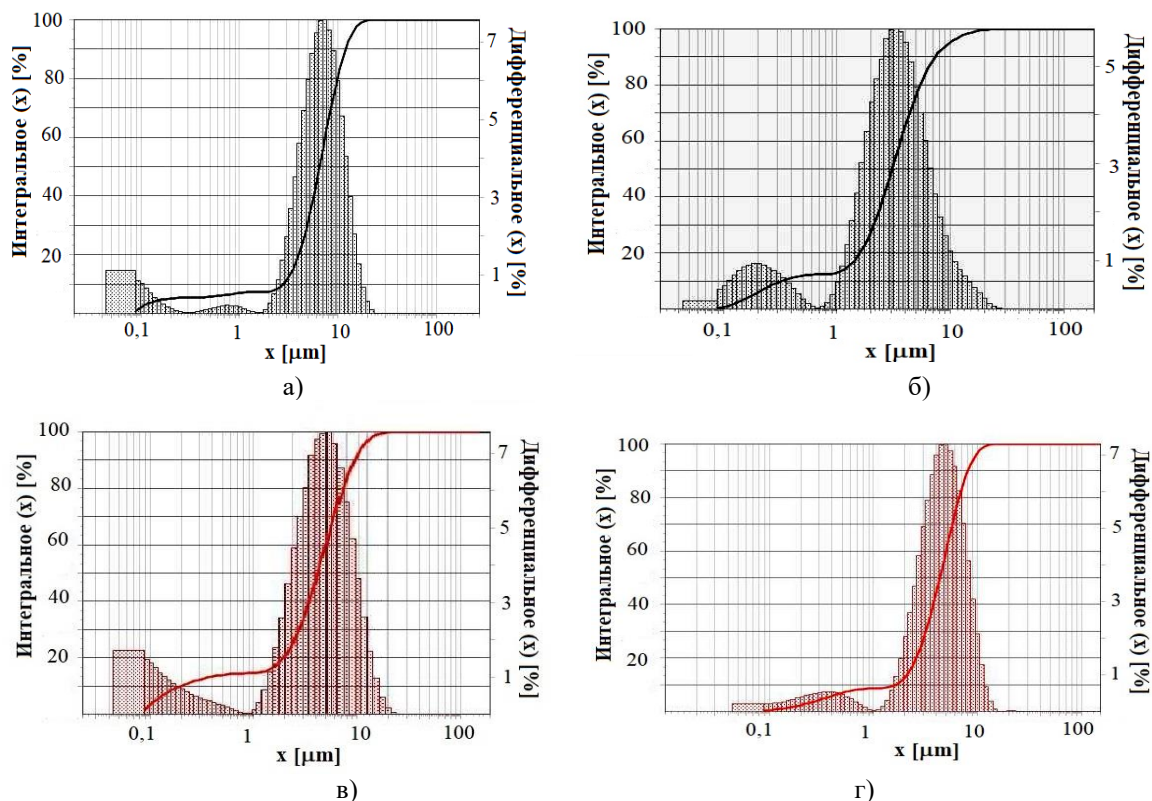


Рисунок 1 – Распределение по размеру частиц исходных порошков и смешанных составов: а) порошок SiC, б) порошок AlN, в) состав SiC(90 %)-AlN(10%), г) состав SiC(10 %)-AlN(90%)

Исходные порошки и готовые смеси после тщательного перемешивания содержали в основном фракцию 4-18 мкм и, как видно из рисунка 1(в,г), удалось добиться монодисперсности составов смеси порошков.

Формование и спекание смеси порошков путем пропускания через заготовку электрического тока осуществлялось в цилиндрических пресс-формах внутренним диаметром 15 мм, изготовленных из изостатического графита И-3, с использованием дополнительного слоя графитовой бумаги между матрицей и порошковой засыпкой и между графитовыми пуансонами и порошком для предотвращения реакции между порошком и материалом оснастки. Загрузка порошка – 4.2 г. Контроль температуры осуществляли оптическим пирометром. Параметры спекания были выбраны следующие: температура спекания 1800 °С; давление прессования 50 МПа; атмосфера – вакуум (остаточное давление 0.5Па – 0.1Па); длительность спекания при рабочей температуре 2 мин; выход на режим до температуры спекания 100 °С/мин. Спекание проводили при приложении постоянного давления к порошку в течение всего времени. Охлаждение образцов проходило свободно в камере.

Полученные спеченные образцы извлекали из пресс-формы, отчищались от налипаний графитовой бумаги шлифованием на ручном станке алмазными пастами дисперсностью 28–14 и 14–10 мкм в течение 5-10 минут и готовились к изучению на плотность (рис. 2,3). Плотность образцов измерялась методом заполнения и гидростатического взвешивания.



Рисунок 2 – Образцы керамики, полученные методом SPS



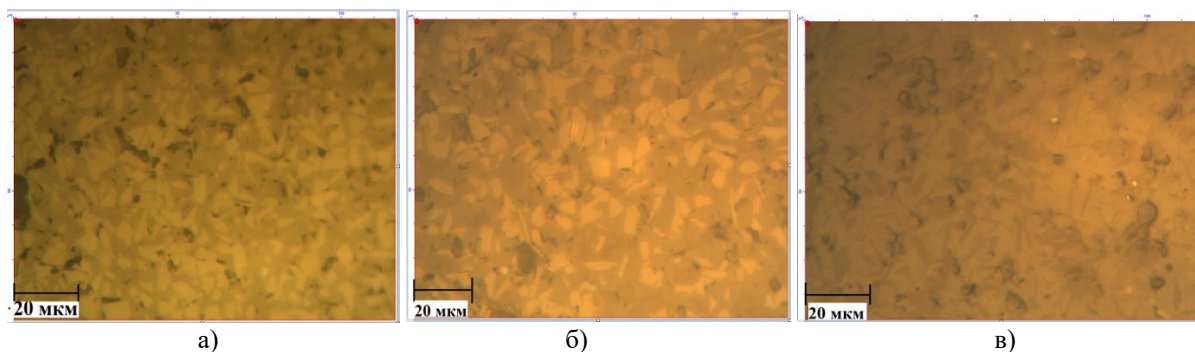


Рисунок 3 – Микрофотографии образцов керамики: а) SiC(90 %)-AlN(10%); б) SiC(40 %)-AlN(60%); в) SiC(10 %)-AlN(90%)

Свойства керамик связаны, прежде всего, с изменением их микроструктуры и задаются особенностями и размерами зерен, характером и плотностью их упаковки. Однако, в объеме керамических материалов всегда присутствует большое количество пор и включений с размерами от нескольких микрон до десятков и даже сотен микрон. И их присутствие, вовсе не означает, что должно происходить ухудшение свойств. Предполагается, что при определенном распределении пор и включений, керамический материал способен сохранять высокие прочностные и упругие свойства. Для проверки гипотезы были исследованы керамические образцы SiC-AlN различной плотности и пористости.

В процессе спекания при нагревании порошкового тела происходит уменьшение его линейных размеров (линейная и объёмная усадка) и, как следствие, сокращение числа и объема пор в результате их зарастания. В нашем случае для разных составов порошков ранняя стадия уплотнения экспериментально наблюдалась при различных температурах. Так, для состава SiC (10 % вес.) - AlN (90 % вес.) усадка начиналась с температуры 1150 °C, для SiC (40 % вес.) - AlN (60 % вес.) - с T=1290 °C, для SiC (60 % вес.) - AlN (40 % вес.) – с T=1330 °C, для SiC (90 % вес.) - AlN (10 % вес.) – с T=1400 °C. И, если для составов с AlN до 60 вес.% скорость усадки быстро падала, то для состава с 90% AlN усадка наблюдалась на протяжении всего режима выхода до температуры спекания.

На полученных образцах были измерены плотности и рассчитаны значения истинной пористости через относительную плотность. Представленные на рис.4 значения дают представление об изменении плотности формируемых образцов в зависимости от состава композита.

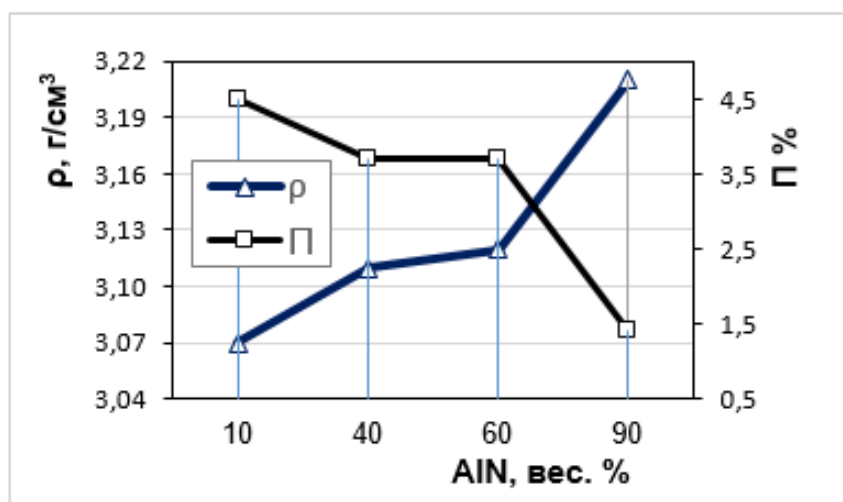


Рисунок 4 – Концентрационная зависимость плотности и пористости керамики SiC-AlN, полученной методом SPS

Как показывают данные, видно, что с увеличением концентрации AlN плотность увеличивается, что согласуется с данными для керамики, полученной другими методами при более высоких температурах спекания. [2,9,10]. Добавление 40% AlN заметно повышает плотность керамики SiC-AlN и понижает, соответственно, пористость. В пределах 40-60 % AlN плотность образца SiC-AlN меняется незначительно. И при 90 % AlN относительная плотность образца достигает 98,6 % от теоретической.

Из полученных образцов был отобран образец с высокой плотностью для изучения упругих свойств при комнатной температуре методом резонансной ультразвуковой спектроскопии (RUS). Так как для исследуемой керамики характерен ковалентный тип межатомных взаимодействий, то она будет проявлять максимальную прочность и минимальную сжимаемость. Для образца SiC (10%)- AlN (90 %) с наибольшей плотностью получено значение модуля Юнга 298,04 ГПа, коэффициент Пуассона- 0,2367 и объемный модуль упругости - 188,6 ГПа. Как и подавляющее большинство керамических материалов, полученный материал характеризуется высоким модулем Юнга ~300·ГПа.

Оценка в рамках единого подхода упругих параметров исследуемой керамики представляется важной как для анализа их изменения в зависимости от состава и плотности, так и для прогноза механических свойств многокомпонентных материалов.

#### Заключение

Таким образом, применение метода SPS обеспечивает получение высокоплотных керамических материалов, а сам процесс ЭИС является энергоэффективным и экономически выгодным.

Представленные результаты показывают, что SPS методом из порошка микронной фракции могут быть получены высокоплотные образцы керамики на основе карбида кремния с высокой плотностью и упругими модулями, что говорит о перспективности применения данного метода для экономичного производства высококачественных керамических изделий с прогнозируемыми свойствами для перспективных приложений в высокотемпературных трактах реактивных двигателей и продления ресурса безопасной эксплуатации электроники в экстремальных условиях. Исследования этих перспективных результатов продолжаются, и ведутся эксперименты с более мелкодисперсным сырьем.

#### Благодарности

Работа частично выполнялась в рамках Договора №12800ГУ при поддержке Программы «УМНИК».

#### Литература

1. А. Л. Ивановский, Г. П. Швейкин. Квантовая химия в материаловедении. / Неметаллические тугоплавкие соединения и неметаллическая керамика. Екатеринбург. - Изд-во “Екатеринбург“. 2000. -181 с.
2. Gu, J.; Sang, L.; Pan, B.; Feng, Y.; Yang, J.; Li, X. Thermal Conductivity and High-Frequency Dielectric Properties of Pressureless Sintered SiC-AlN Multiphase Ceramics. / Materials. – 2018.- 11.- p. 969.
3. Kobayashi, Ryota, et al. Electrical Properties of AlN-SiC Ceramics./ Key Engineering Materials. - Vol. 317–318. -2006. - p. 641–644.
4. Кардашова Г.Д. Процессы спекания и электрофизические свойства керамики на основе карбида кремния с активирующими добавками: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: 01.04.07 /Кардашова Гюльнара Дарвиновна. Махачкала. -2004.- 159 с.
5. J.-L. Huang, J.-M. Jih. Investigation of SiC–AlN system: part I. Microstructure and solid solution / J. Mater. Res. -1995. - Vol. 10. -№ 3. - p. 651–658.
6. K. Shirouzu, T. Ohkusa, T. Kawamoto, N. Enomoto and J. Hojo. Evaluation on microstructure and dissolution behavior of SiC-AlN composites fabricated by SPS process. /J. Ceram. Soc. Japan. -2008 – 116/. P.781-785.
7. Tokita M. Spark plasma sintering (SPS) method, systems and applications. /In: Handbook of Advanced Ceramics. Chapter 11.2.3.- 2013.- p. 1149–1177.
8. M. Hotta and J. Hojo, Inhibition of grain growth in liquidphase sintered SiC ceramics by AlN additive and spark plasma sintering./ J. Eur. Ceram. Soc.- 30(2010).- №10. - p. 2117
9. G D Kardashova and Sh Sh Shabanov. /2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. -525 012020.
10. J.-F. Li, R. Watanabe. Pressureless sintering and high-temperature strength of AlN–SiC ceramics. / J. Ceram. Soc. Jpn, Int. Ed. -1994. -Vol. 102. - № 1188. - p. 727–731.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ТРАНСЛЯЦИИ И ЭКСТРЕННОГО ОПОВЕЩЕНИЯ

Колпаков А.А., Бейлекчи Д.В.\*

\* Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
+7 (492) 347-72-73, kaf-eivt@yandex.ru

В статье рассматривается вопрос применения различных микропроцессорных платформ для разработки оконечных устройств телекоммуникационных систем трансляции и оповещения. Проводится исследование их характеристик и тестирование производительности выбранных платформ при микшировании аудиопотоков. Также рассматривается возможность использования параллельных алгоритмов обработки аудиоданных.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, микропроцессорные системы, графический процессор, параллельные вычисления, повышение производительности.

Research and development of the protocol of interaction between the components of the complex for broadcasting and emergency notification. Kolpakov A.A., Beylekchi D.V.\* \*Murom Institute (branch) Federal state budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs".

The article discusses the use of various microprocessor platforms for the development of terminal devices of telecommunication broadcasting and warning systems. Their characteristics are investigated and the performance of the selected platforms is tested when mixing audio streams. The possibility of using parallel audio processing algorithms is also being considered.

Keywords: telecommunication systems, microprocessor systems, graphics processor, parallel computing, performance improvement.

### Введение

При разработке телекоммуникационных систем трансляции и оповещения одним из важных вопросов является разработка протокола взаимодействия компонентов. Важно, чтобы разработанный протокол соответствовал заданным параметрам, потому что его очень сложно сменить, когда программное обеспечение уже разработано.

Для разработки современной телекоммуникационной системы трансляции и оповещения следует использовать современные сетевые протоколы [1]. Также для повышения производительности телекоммуникационной системы необходимо учитывать пропускную способность сети обмена информацией и объем используемого трафика, а также производительность используемых платформ.

### Постановка проблемы

В работе рассмотрена программно-аппаратная система трансляции и оповещения, состоящая из программного обеспечения автоматизированного рабочего места оператора (ПО АРМ) и коммутаторов сети оповещения (КОПВ) на основе микропроцессорных систем [2]. Макет КОПВ представлен на рис. 1.

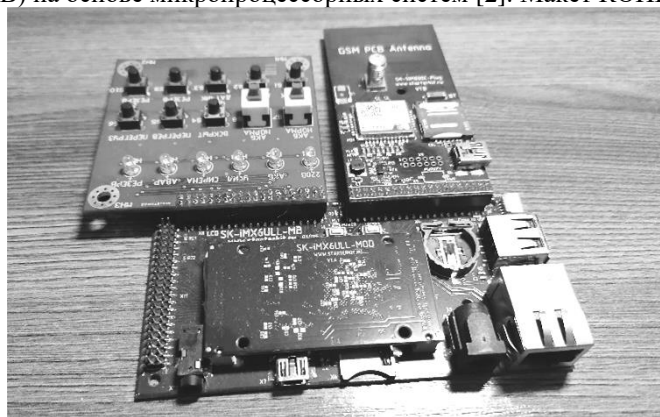


Рисунок 1 – Макет устройства трансляции и оповещения на базе SK-iMX6ULL

Для передачи служебной информации между ПО АРМ и КОПВ используется сеть на базе стандарта Ethernet и сотовая сеть стандарта GSM. Основной средой передачи информации является сеть Ethernet, GSM применяется как резервная.

Разработка протокола информационного обмена между КОПВ и терминалом оператора «ПО АРМ» для сети Ethernet

Командный обмен основан на протоколе транспортного уровня UDP в соответствии с RFC 768 [3]. Данный протокол позволяет обеспечить требуемую производительность и потоковую передачу звуковой информации. Для обеспечения надежности передачи информации в протоколе предусмотрены подтверждающие сообщения [4,5].

Для передачи сообщений применяются следующие форматы команд:

1. Пакет KSTATUS – пакет передачи состояния КОПВ. Формат пакета KSTATUS(sID,s1,s2,s3):  
<KSTATUS><0><adr><data>

<KSTATUS> – символьная строка “KSTATUS”, 7 байт

<0> – байт 0

<adr> – идентификатор (адрес) источника сообщения, 4 байта

<data> – четыре 32-битных слова:

Слово	Описание
0	идентификатор статуса (sID)
1	слово данных s1
2	слово данных s2
3	слово данных s3

Слово данных s1:

Биты	Описание
0..7	состояние датчиков
15..31	внутреннее состояние ПО

Слово данных s2:

Биты	Описание
0..7	состояние исполнительных устройств

Слово данных s3:

Биты	Описание
0..7	номер аудиофайла
8..15	номер сценария

2. Пакет KCONTROL – пакет опроса состояния КОПВ от ПО АРМ. Формат пакета KCONTROL(cID,cS): <KCONTROL><0><adr><data>

<KCONTROL> – символьная строка “KCONTROL”, 8 байт

<0> – байт 0

<adr> – идентификатор (адрес) источника сообщения, 4 байта

<data> – два 32-битных слова:

Слово (32 бит)	Описание
0	идентификатор команды cID
1	слово управления cS

Передача аудиопотока от «ПО АРМ» к КОПВ основано на протоколе транспортного уровня UDP и осуществляется в следующем формате:

Формат звукового пакета:

Байт	Описание
0..1	Размер пакета (len)
2..3	Идентификатор потока
4..5	Номер пакета
6.. (len-1)	Аудиоданные в формате 16 бит со знаком

Взаимодействие компонентов системы выглядит следующим образом:

Если команды исходят из ПО АРМ:

1. Опрос состояния (ID\_STATUS)

Команда от «ПО АРМ»: KCONTROL(1,0)

Действие КОПВ: выдать KSTATUS(1,s1,s2,s3)

2. Установить состояние исполнительных устройств (ID\_SWITCHES)

Команда от «ПО АРМ»: KCONTROL(2,S)

Действие КОПВ:

1) Установить состояние исполнительных устройств в S,

2) Ответить KSTATUS(2,s1,s2,s3)

3. Запуск/останов воспроизведения аудиофайла из памяти КОПВ (ID\_PLAYER)

Команда от «ПО АРМ»: KCONTROL(3,S)

Действие КОПВ:

1) Если S=0 остановить воспроизведение

2) Если S>0 начать воспроизведение аудиофайла с номером S:

3) Ответить KSTATUS(3,s1,s2,s3)

4. Запуск/останов внутреннего сценария КОПВ (ID\_SCENARIO)

Команда от «ПО АРМ»: KCONTROL(4,S)

Действие КОПВ:

- 1) Если S=0 остановить сценарий
  - 2) Если S>0 начать выполнение сценария с номером S:
  - 3) Ответить KSTATUS(4,s1,s2,s3)
5. Запуск/останов воспроизведения аудиопотока от «ПО АРМ» (ID\_SOUND). Только по сети Ethernet.

Команда от «ПО АРМ»: KCONTROL(5,S)

Действие КОПВ:

- 1) Если S=0 остановить воспроизведение
- 2) Если S={8000;11025;16000;22050} начать воспроизведение аудиопотока с частотой дискретизации S
- 3) Ответить KSTATUS(5,s1,s2,s3)

6. Запуск/останов сирены (ID\_SIRENA)

Команда от «ПО АРМ»: KCONTROL(7,S)

Действие КОПВ:

- 1) Если S=0 остановить сирену
  - 2) Если S>0 запустить сирену с параметрами:  
S(биты 0..11) – время сирены в секундах  
S(биты 12..15) – номер (тип) сирены
  - 3) Ответить KSTATUS(7,s1,s2,s3)
7. Подтверждение приема об изменении состояния датчика ЧС (ID\_ALARM)

Команда от «ПО АРМ»: KCONTROL(6,S)

Действие КОПВ: ожидать действия от «ПО АРМ»

КОПВ самостоятельно может отправлять ПО АРМ следующие пакеты:

1. Изменение состояния датчика ЧС (ID\_ALARM)  
Команда от КОПВ: KSTATUS(6,s1,s2,s3)  
Действие от «ПО АРМ»: Ответить KCONTROL(6,0)
2. Передача состояния (ID\_STATUS) периодически по сети Ethernet или при изменении состояния (кроме датчика ЧС)  
Команда от КОПВ: KSTATUS(1,s1,s2,s3)  
Действие от «ПО АРМ»: Обновить информацию об КОПВ

Разработка протокола информационного обмена между КОПВ и терминалом оператора «ПО АРМ» для сети GSM

В качестве резервного способа обмена информацией используется сеть GSM. Обмен основан на формате обмена текстовыми сообщениями SMS. Данный способ является облегченным, он не обеспечивает передачу потоковой информации, запуск звукового оповещения в таком режиме возможен только с использованием заранее записанных звуковых фрагментов, находящихся во внутренней памяти КОПВ.

Для передачи сообщений применяются следующие форматы команд:

1. Сообщение KSTATUS – передача состояния КОПВ. Формат сообщения:  
<KSTAT><data><sID><s1><s2><s3>

<KSTAT> – символьная строка “KSTAT”, 5 символов

<sID> – идентификатор статуса, 2 символа, шестнадцатеричная форма

<s1> – слово данных s1, 8 символов, шестнадцатеричная форма

<s2> – слово данных s2, 8 символов, шестнадцатеричная форма

<s3> – слово данных s3, 8 символов, шестнадцатеричная форма

Слово данных s1:

Биты	Описание
0..7	состояние датчиков
15..31	внутреннее состояние ПО

Слово данных s2:

Биты	Описание
0..7	состояние исполнительных устройств

Слово данных s3:

Биты	Описание
0..7	номер аудиофайла
8..15	номер сценария

2. Сообщение KCONTROL – опрос состояния КОПВ от ПО АРМ. Формат сообщения:  
<KCTRL><cID><cS>  
<KCTRL> – символьная строка “KCTRL”, 5 байт  
<cID> – идентификатор команды, 2 символа, шестнадцатеричная форма  
<cS> – слово управления cS, 8 символов, шестнадцатеричная форма

#### Заключение

Разработанный протокол позволяет обеспечивать надежный обмен информации между компонентами программно-аппаратного комплекса трансляции и экстренного оповещения. Сообщения протокола имеют небольшой размер, поэтому не оказывают существенного влияния на загруженность сети, поэтому разработанный протокол возможно использовать в уже существующей сети [6,7]. Также небольшой размер сообщений протокола позволяет применять его в микропроцессорных системах, а также во встраиваемых микроконтроллерах с невысокой производительностью [8]. Разработанный протокол позволяет применять потоковую передачу звуковой и речевой информации, что существенно увеличивает сферу его применения.

Экспериментальное тестирование разработанного протокола с применением макетов КОПВ и разработанного ПО АРМ показало, что протокол позволяет обеспечить надежный обмен информацией с 50 устройствами в локальной вычислительной сети стандарта Ethernet, а также позволяет обеспечить работу программно-аппаратного комплекса трансляции и экстренного оповещения с применением связи через сеть Internet при условии применения сети VPN.

#### Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-2378.2020.9.

#### Литература

1. Кропотов Ю.А. Информационно - управляющие телекоммуникационные системы аудиообмена и автоматизированного мониторинга / Ю.А. Кропотов, Д.В. Бейлекчи, А.А. Белов, В.А. Ермолаев, О.Е. Карасев, А.А. Колпаков, А.Н. Коноплев, А.Ю. Проскуряков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. - №1(13). – С. 99-113.
2. Manual SK-iMX6ULL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.starterkit.ru/html/doc/Manual-SK-iMX6ULL.pdf> (19.08.2020).
3. Протокол Пользовательских Датаграмм [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc768> (19.08.2020).
4. Бейлекчи Д.В. Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом / Д.В. Бейлекчи, А.А. Белов, В.А. Ермолаев, Ю.А. Кропотов // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 1. – С. 1-15.
5. Kropotov Yu.A. On the transmission of asynchronous data streams over packet switched networks with random multiple access / Yu.A. Kropotov, A.A. Kolpakov // International journal of computer networks and communications, vol. 10, no. 2, pp. 107-117a, 2018.
6. Kropotov Yu.A. Application method of barrier functions in the problem of estimating the probability density of the parameterized approximations, / Yu.A. Kropotov, A.A. Belov // 13TH International Scientific Technical Conference On Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE) – 39281 Proceedings, vol. 2, pp. 69-72, Oct. 2016.
7. Kropotov Y. A. A method for predicting changes in time series parameters in digital information management systems, / Y. A. Kropotov, A. Yu. Proskuryakov, A. A. Belov // Computer optics, vol. 42, no. 6, pp. 1093–1100, Sept.-Oct. 2018.
8. Колпаков А.А. Аспекты оценки увеличения производительности вычислений при распараллеливании процессоров вычислительных систем / А.А. Колпаков, Ю.А. Кропотов // Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2011. - №13. – С. 124-127.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТРАНСЛЯЦИИ И ОПОВЕЩЕНИЯ ОТ ВИДА  
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПЛАТФОРМ

Колпаков А.А., Белов А.А.\*

\* Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
+7 (492) 347-72-73, kaf-eivt@yandex.ru

В статье рассматривается вопрос применения различных микропроцессорных платформ для разработки оконечных устройств телекоммуникационных систем трансляции и оповещения. Проводится исследование их характеристик и тестирование производительности выбранных платформ при микшировании аудиопотоков. Также рассматривается возможность использования параллельных алгоритмов обработки аудиоданных.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, микропроцессорные системы, графический процессор, параллельные вычисления, повышение производительности.

Research on improving the performance of telecommunication broadcasting and warning systems from the type of microprocessor platforms. Kolpakov A.A., Belov A.A.\* \*Murom Institute (branch) Federal state budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs".

The article discusses the use of various microprocessor platforms for the development of terminal devices of telecommunication broadcasting and warning systems. Their characteristics are investigated and the performance of the selected platforms is tested when mixing audio streams. The possibility of using parallel audio processing algorithms is also being considered.

Keywords: telecommunication systems, microprocessor systems, graphics processor, parallel computing, performance improvement.

#### Введение

При разработке телекоммуникационных систем одним из важных вопросов является выбор аппаратной платформы. Важно, чтобы выбранная платформа соответствовала заданным параметрам, потому что ее очень сложно сменить, когда программное обеспечение уже разработано.

Для разработки современной телекоммуникационной системы трансляции и оповещения следует использовать высокопроизводительную микропроцессорную платформу с заданными техническими параметрами и с соответствующим программным обеспечением [1]. Также для повышения производительности телекоммуникационной системы возможно использование алгоритмов параллельных вычислений, поэтому выбранная микропроцессорная платформа должна иметь возможности реализации вышеуказанных алгоритмов.

#### Постановка проблемы

В работе рассмотрена в качестве основной микропроцессорной платформы SK-iMX6ULL, которая производится отечественной компанией Starterkit с применением процессора NXP iMX6ULL. Данная платформа построена на базе одноядерного процессора ARM Cortex-A7 800МГц, имеет оперативную память DDR3 512Мбайт, встроенную память eMMC Flash 8Гбайт, сетевой адаптер стандарта Ethernet 100/10М РНУ, а также необходимые разъемы для подключения датчиков. [2] Используется операционная система Linux. Этот одноплатный микрокомпьютер был выбран из-за того, что имеет встроенную память и имеет возможность воспроизведения звука через встроенную звуковую карту. Вычислительных возможностей процессора достаточно для обработки данных с датчиков и передачи их по локальной сети, а также для воспроизведения звуковых фрагментов, полученных по сети или хранящихся в локальной памяти. В то же время этих возможностей совершенно не достаточно для микширования большого количества звуковых потоков и воспроизведения видео. Поэтому при расширении функционала потребовалась более производительная платформа.

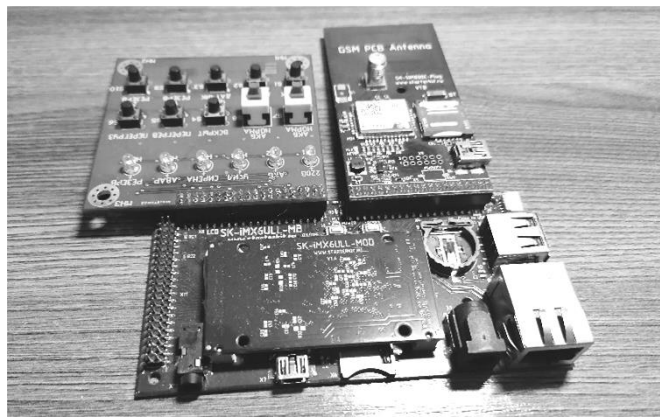


Рисунок 1 – Макет устройства трансляции и оповещения на базе SK-iMX6ULL

Для микропроцессорного устройства перехвата видеопотока потребовалась более производительная микропроцессорная система. В этом случае рассмотрена возможность использования одноплатных компьютеров Raspberry Pi3 B+ и Orange Pi One.

Raspberry Pi3 B+ построена на базе процессора Broadcom BCM2837B0, который имеет 4 64-разрядных ядра Cortex-A53 с частотой 1,4 ГГц, 1Гб оперативной памяти, сетевой адаптер стандарта Gigabit Ethernet и разъем GPIO для подключения периферии. [3] Используется операционная система Linux на базе Debian.

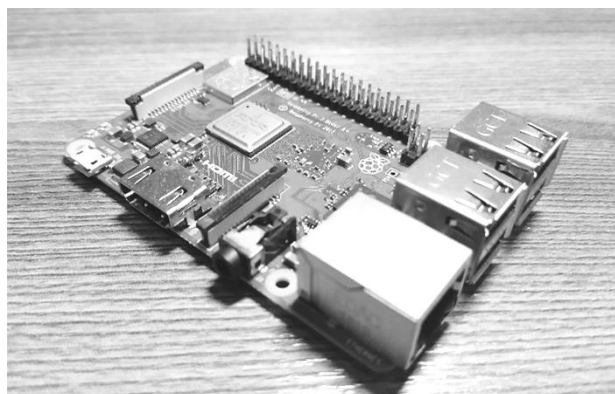


Рисунок 2 – Одноплатный компьютер Raspberry Pi3 B+

Orange Pi One является более дешевой упрощенной копией Raspberry Pi, построена на платформе Allwinner H3, имеет 32-битный 4-ядерный процессор ARM Cortex-A7 с тактовой частотой 1.2 ГГц, 512 MB оперативной памяти, поддерживает передачу данных по локальной сети по стандарту Ethernet, а также разъем GPIO, унифицированный с Raspberry Pi. [4] Используется операционная система Linux, схожая с Raspberry Pi3 B+.

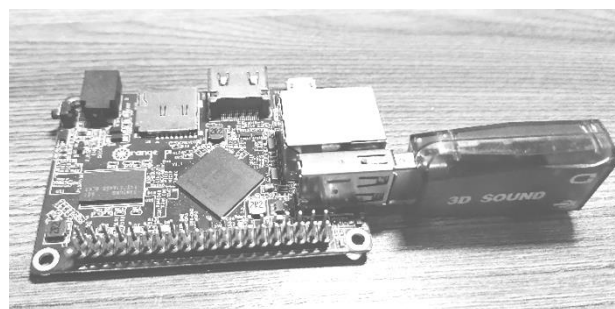


Рисунок 3 – Одноплатный компьютер Orange Pi One

Как видно из характеристик, обе платформы имеют возможность многопоточной обработки данных за счет многоядерных процессоров, а также обладают достаточной производительностью для воспроизведения видеопотока и микширования аудиопотоков в реальном времени. Однако они обладают и некоторыми недостатками. Обе платформы требуют для загрузки операционной системы карту MicroSD и не имеют встроенной памяти. Также в Orange Pi One оперативной памяти явно недостаточно для обработки больших объемов информации. Стоимость Raspberry Pi3 B+ несколько выше, однако для нее имеется развитая техническая поддержка и большое сообщество разработчиков.



Все представленные выше одноплатные компьютеры работают на операционной системе Linux, однако последние две имеют гораздо больший репозиторий для программных компонентов, что существенно облегчает разработку программного обеспечения. Однако для применения параллельной обработки данных с большим количеством потоков требуется микропроцессорная система с большим количеством вычислительных элементов. Поэтому было решено обратить внимание на одноплатный компьютер NVIDIA Jetson Nano.

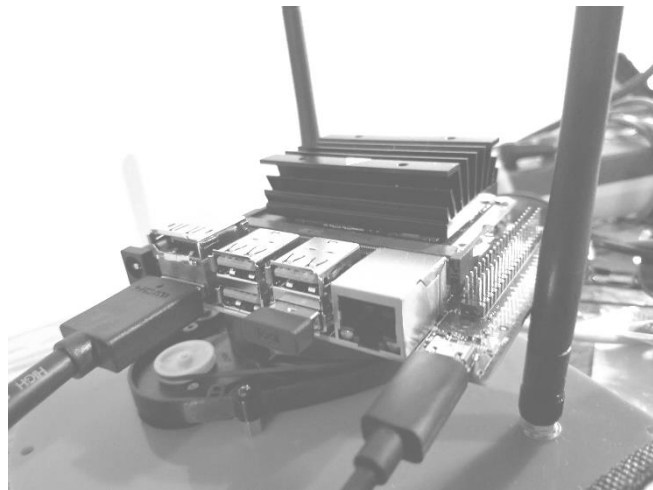


Рисунок 4 – Одноплатный компьютер NVIDIA Jetson Nano

Данная микропроцессорная система построена на базе четырехъядерного процессора ARM Cortex-A57, имеет встроенный графический процессор архитектуры NVIDIA Maxwell с 128 ядрами NVIDIA CUDA, 4 Гб оперативной памяти и 16 Гб постоянной. [5] Также имеется поддержка Gigabit Ethernet и разъемы для подключения периферии, в том числе разъем SDIO, совместимый с Raspberry PI3 B+. Т.к. эта микропроцессорная система имеет поддержку технологии NVIDIA CUDA, она может быть задействована в параллельной обработке аудиоданных с большим количеством потоков. Однако для начала требуется сравнить производительность всех платформ на схожих тестах.

#### Сравнительное тестирование микропроцессорных систем обработки данных

Дальнейшим развитием телекоммуникационной системы трансляции и оповещения является система телефонной и конференцсвязи, для которой требуется микширование аудиопотоков в реальном времени. Также планируется в дальнейшем доработка программного обеспечения для организации видеосвязи. Т.к. разрабатываемая система является одноранговой и в ней нет выделенного сервера, который мог бы взять на себя нагрузку по микшированию потоков, необходимо, чтобы окончательное устройство на базе микропроцессорной системы обладало необходимой производительностью.

Рассмотрев характеристики вышеперечисленных одноплатных компьютеров можно с уверенностью сказать, что SK-iMX6ULL явно не обладает необходимыми характеристиками, тогда же как остальные три системы могут быть использованы как основа для окончательного устройства телефонной и конференцсвязи при использовании соответствующей периферии и программного обеспечения. Однако требуется провести более детальное сравнение их характеристик и провести соответствующие тесты.

В таблице ниже приведены сравнительные характеристики всех представленных микропроцессорных систем.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики рассматриваемых микропроцессорных систем

Параметры	Спецификации			
	SK-iMX6ULL	Raspberry PI3 B+	Orange PI One	NVIDIA Jetson Nano
Ядра ЦПУ, шт.	1	4	4	4
Частота ЦПУ	800 MHz	1400 MHz	1200 MHz	1500 MHz
Архитектура ЦПУ	ARM Cortex-A7	ARM Cortex-A53	ARM Cortex-A7	ARM Cortex-A57
Графическое ядро	-	VideoCore IV	Mali400MP2	NVIDIA Maxwell
Оперативная память	512 Mb	1024 Mb	512 Mb	4096 Mb
Флеш-память	8 Gb	MicroSD	MicroSD	16 Gb
Lan	1000	10000	100	10000
Операционная система	Linux	Linux	Linux	Linux
Цена	3000 rub.	5000 rub	1800 rub.	10000 rub

Как видно из таблицы 1, у NVIDIA Jetson Nano самая высокая цена, но при этом имеет самые высокие технические характеристики. Ее преимуществом является самая новая версия ядра процессора, наибольший объем оперативной памяти и наличие постоянного хранилища Flash. При этом, хотя три из приведенных выше устройств имеют в своем составе графический процессор, только NVIDIA Jetson Nano имеет возможность использовать его в качестве вычислительного модуля. Хотя на рынке существуют более производительные микропроцессорные системы, наличие ядер CUDA делает NVIDIA Jetson Nano очень привлекательной для применения параллельных алгоритмов. Потому стоит оценить ее производительность относительно других приведенных устройств.

Первый тест, который был проведен – программа вычисления числа Пи. Результаты тестирования представлены в таблице ниже.

Таблица 2 – Экспериментальное тестирование представленных микропроцессорных систем.

Вычисление числа Пи	
Микропроцессорная система	Время, сек
SK-iMX6ULL	10.6
Raspberry PI3 B+	3.06
Orange PI One	4.1
NVIDIA Jetson Nano	0.8

Как видно из результатов тестирования, представленных выше, даже без применения параллельных вычислений и задействования ядер CUDA устройство NVIDIA Jetson Nano показывает гораздо более высокую производительность.

Далее предлагается провести тест с использованием параллельных вычислений. [6,7] Как видно из характеристик исследуемых систем, использование параллельных систем в SK-iMX6ULL невозможно, поэтому данное устройство в следующем тесте исследоваться не будет.

Тестирующая программа считает синусы в параллельном режиме. Данная программа задействует возможности NVIDIA CUDA [8,9], поэтому для устройства NVIDIA Jetson Nano были проведены расчеты как на CPU, так и на GPU. Результаты тестирования приведены в таблице ниже.

Таблица 3 – Экспериментальное тестирование представленных микропроцессорных систем.

Параллельный алгоритм вычисления синусов	
Микропроцессорная система	Время, сек
Raspberry PI3 B+	41.85
Orange PI One	58.6
NVIDIA Jetson Nano CPU	13.3
NVIDIA Jetson Nano GPU	0.67

Также, как и в первом тесте, исследование показало, что производительность CPU NVIDIA Jetson Nano намного выше других имеющихся устройств. Однако, в этом тесте хорошо видно преимущество параллельной обработки данных с использованием NVIDIA CUDA.

Приведенные выше тесты показали, что NVIDIA Jetson Nano превосходит по производительности применяемые ранее микропроцессорные системы и с успехом может быть применено как основа устройства телефонной и конференцсвязи с применением параллельных алгоритмов обработки аудиоинформации.

#### Экспериментальное применение алгоритма микширования аудиопотоков на выбранных микропроцессорных системах

Применение микропроцессорной системы как основы для телекоммуникационного устройства телефонной и конференцсвязи предполагает использование алгоритма микширования аудиопотоков, поступающих от абонентов. Т.к. платформа SK-iMX6ULL показала недостаточную производительность в предыдущих тестах, было решено не исследовать ее в дальнейшем.

Был разработан тестирующий программный комплекс, состоящий из двух частей. [11] Программное обеспечение для персонального компьютера генерировало аудиопотоки для абонентов и транслировало их в локальную сеть, а программное обеспечение для микропроцессорной системы должно было принимать сетевые пакеты с аудиосемплами, распаковывать их, микшировать и выводить на звуковое устройство. Основой для протокола передачи данных был выбран UDP, кодирование аудиопотока производилось кодеком G.711, транслировался поток 256 кбит/с. Шифрование пакетов не проводилось.

Для обработки аудиоданных был использован уже разработанный алгоритм микширования [10] с применением многоядерной архитектуры, также этот алгоритм был модифицирован для применения технологии NVIDIA CUDA. [12-14] Результаты тестирования приведены на рис. 5.

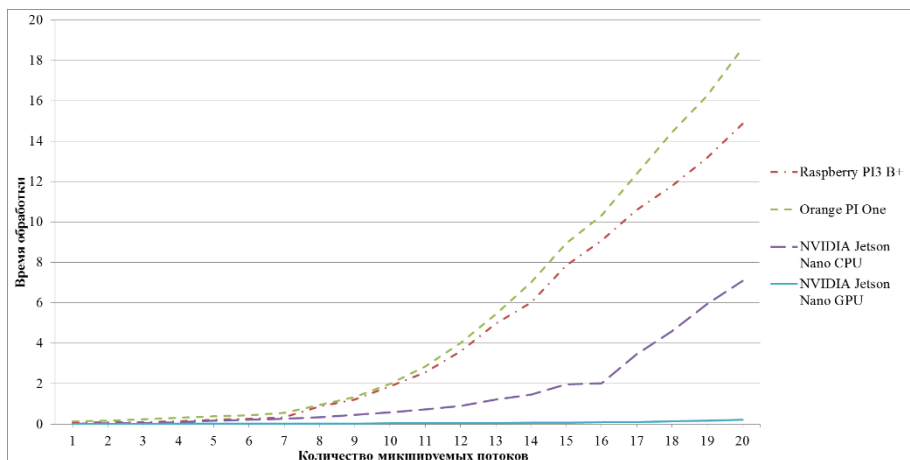


Рисунок 5 – Результаты экспериментального тестирования алгоритма микширования на исследуемых платформах

Как видно из результатов тестирования, до 10 абонентов микшируются с приемлемой задержкой около 1 сек., хотя видно, что более современная архитектура микропроцессора NVIDIA Jetson Nano позволяет получить некоторое преимущество. Однако увеличение количества абонентов приводит к появлению задержки воспроизведения более 2 сек., что в разрабатываемом устройстве является недопустимым. Для устранения этой задержки возможна оптимизация применяемого алгоритма, однако стоит учитывать, что в таком режиме микропроцессор помимо обработки аудиопотоков обрабатывает также запросы операционной системы, обрабатывает сетевые пакеты, а также декодирует аудиосемплы. Перенос же только алгоритма аудиомикширования на отдельный вычислитель NVIDIA Maxwell [15-17] позволяет получить очень существенный прирост производительности: задержка остается в пределах 1 сек. на всех протяжении тестирования. Таким образом, можно сделать вывод, что использование платформы NVIDIA Jetson Nano полностью оправдано.

#### Заключение

Экспериментальное исследование показало, что применение платформы NVIDIA Jetson Nano в сочетании с использованием вычислений на графическом процессоре NVIDIA Maxwell позволяет получить задержку микширования аудиопотоков от 20 абонентов в 0,22 сек., тогда как использование современного CPU ARM Cortex-A57 дает задержку в 7,1 сек., а использование CPU предыдущего поколения – в 18,61 сек. Возможно дальнейшее увеличение производительности путем применения параллельных алгоритмов для других задач телекоммуникационной системы. Также очевидно, что использование высокопроизводительной платформы позволяет применить более качественные параметры аудиопотока, а также задействовать шифрование.

Платформа NVIDIA Jetson Nano имеет унифицированный с Raspberry Pi разъем GPIO, что позволяет подключать уже разработанную периферию, имеет большое количество периферийных разъемов, а также может быть представлена в виде отдельного процессорного модуля, для которого можно разработать собственную платформу с использованием необходимой периферии. Недостатком данной платформы является высокая стоимость, поэтому ее применение целесообразно в случае использования высокопроизводительных вычислений с широким применением параллельных алгоритмов.

#### Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-2378.2020.9.

#### Литература

1. Owens, J. D. A survey of general-purpose computation on graphics hardware. / J. D. Owens, D. Luebke, N. Govindaraju, M. Harris, J. Kruger, A. E. Lefohn, T. J. Purcell. //Computer Graphics Forum. – 2007. – vol. 26(1). – P. 80–113.
2. Manual SK-iMX6ULL [Электронный ресурс]. – Access mode: <http://www.starterkit.ru/html/doc/Manual-SK-iMX6ULL.pdf> (13.06.2020).
3. Raspberry Pi Documentation [Электронный ресурс]. – Access mode: <https://www.raspberrypi.org/documentation/> (13.06.2020).

4. Allwinner H3 datasheet v.1.2 [Электронный ресурс]. – Access mode: <https://drive.google.com/drive/folders/1JmgtWTIGA-hPv47cLtEYZa-Y3UZPSQNN> (13.06.2020).
5. NVIDIA Jetson Nano Developer Kit User Guide [Электронный ресурс]. – Access mode: <https://developer.nvidia.com/embedded/dlc/jetson-nano-developer-kit-user-guide> (13.06.2020).
6. CUDA C Programming Guide [Электронный ресурс]. – Access mode: [http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA\\_C\\_Programming\\_Guide.pdf](http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Programming_Guide.pdf) (13.06.2020).
7. Bahvalov N. S. Modern Problems of Computational Mathematics and Mathematical Modelling. / N. S. Bahvalov, V.V. Voevodin// Vol. 1, Computational Mathematics Book. Moscow: Science, 2005, 342 p.
8. Боресков А.В. Разработка и отладка шейдеров. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 488 с.
9. Боресков А.В. Расширения OpenGL. СПб.: БХВ-Петербург, 2005, – 672 p.
10. Kropotov, Y.A. Experimental study of the model for predicting the performance of a heterogeneous computer system in telecommunications / Y.A. Kropotov, A.A. Kolpakov. // 12th International Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines", Dynamics 2018, 2019, DOI: 10.1109/Dynamics.2018.8601478.
11. Kropotov Yu.A. Application method of barrier functions in the problem of estimating the probability density of the parameterized approximations, / Yu.A. Kropotov, A.A. Belov // 13TH International Scientific Technical Conference On Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE) – 39281 Proceedings, vol. 2, pp. 69-72, Oct. 2016.
12. Barkalov K. A., Parallel global optimization on GPU / K. A. Barkalov, V. P. Gergel // Journal of Global Optimization, vol.66, no 1, pp. 3-20.
13. Strongin R. G., Parallel computing for globally optimal decision making on cluster systems, / R. G. Strongin, V. P. Gergel // Future Generation Computer Systems, vol.21, Issue 5, pp. 673-678.
14. Галимов М.Р. Некоторые технологические аспекты применения высокопроизводительных вычислений на графических процессорах в прикладных программных системах / М.Р. Галимов, Е.В. Биряльцев // Вычислительные методы и программирование. – 2010. – Т.11. – С. 77-93
15. Белозеров А.С. Реализация вычислений на графическом процессоре с использованием платформы NVIDIA CUDA / А.С. Белозеров, В.В. Коробицын // Программные продукты и системы. 2010. N 1. С. 62-64.
16. Kropotov Y. A. A method for predicting changes in time series parameters in digital information management systems, / Y. A. Kropotov, A. Yu. Proskuryakov, A. A. Belov // Computer optics, vol. 42, no. 6, pp. 1093–1100, Sept.-Oct. 2018.
17. Колпаков А.А. Аспекты оценки увеличения производительности вычислений при распараллеливании процессоров вычислительных систем / А.А. Колпаков, Ю.А. Кропотов // Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2011. - №13. – С. 124-127.

#### МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Кузьмич Р.И.

Сибирский федеральный университет  
+7 (391) 249-71-47, [romazmich@gmail.com](mailto:romazmich@gmail.com)

Статья посвящена исследованию этапов формирования базы знаний на основе метода логического анализа данных. Ключевой особенностью статьи является детальное описание этапов рассматриваемого метода с предложением модификаций, позволяющих улучшить качество базы знаний.

Ключевые слова: база знаний, закономерность, классификатор, информативность, модификация.

Methodology of formation of a knowledge base for the problem of classification by the method of logical analysis of data. Kuzmich R.I. Siberian Federal University.

The article dwells on the research of the stages of forming knowledge base in accordance with the method of logical analysis of data. A key feature of the article is a detailed description of the stages of the considered method with a proposal for modifications to improve the quality of the knowledge base.

Keywords: knowledge base, pattern, classifier, informativity, modification.

#### Введение

В работе исследуется метод логического анализа данных, который относится к группе методов индуктивного обучения. Основная идея таких методов заключается в извлечении знаний из первичных данных и формировании базы знаний, состоящей из закономерностей или логических правил.

В исследовании сосредоточено внимание на задаче бинарной классификации. Исходные данные представлены двумя непересекающимися множествами  $\Psi^+$  (множество наблюдений положительного класса) и  $\Psi^-$  (множество наблюдений отрицательного класса)  $n$ -мерных объектов. Элементы объекта, принимают значения разной природы (бинарные, количественные и т.д.). В итоге, необходимо принять решение относительно принадлежности к классу для некоторого нового наблюдения, которое также является  $n$ -мерным объектом.

Исходя из постановки задачи, необходимо сформировать базу знаний, представленную в виде классификатора, состоящего из логических правил. Полученный классификатор должен быть интерпретируемым, т.е. логические правила, из которых он составлен, должны быть наглядными и понятными человеку. Также он должен иметь хорошую обобщающую способность, т.е. уметь правильно определять класс для наблюдения экзаменующей выборки.

#### Этапы исследуемого метода и его модификации

##### Этап 1. Бинаризация признаков.

Изначально необходима процедура бинаризации для количественных и номинальных признаков, так как метод предназначен для работы в бинарном признаковом пространстве. Сама процедура может быть реализована с помощью единичного способа бинаризации признаков [1] или способа, представленного в [2].

##### Этап 2. Построение опорного множества.

Изначально в выборке число признаков может быть избыточным, поэтому необходимо определить некоторое подмножество  $S$ , которое позволит с высокой точностью решить задачу классификации. В дальнейшем будут использоваться проекции  $\Psi_s^+$  и  $\Psi_s^-$  множеств  $\Psi^+$  и  $\Psi^-$  на  $S$  [3].

Следует считать, что множество  $S$  является опорным, если множество наблюдений положительного класса не пересекается с множеством наблюдений отрицательного класса в признаковом пространстве. Минимальный набор переменных, который позволит разделить  $\Psi^+$  и  $\Psi^-$ , назовем минимальным опорным множеством.

Сформулируем в виде задачи оптимизации задачу нахождения минимального опорного множества. Поставим в соответствие каждому признаку  $f_i$  ( $i=1, \dots, t$ ) исходной выборки новую бинарную переменную  $r_i$ . Значения  $r_i$  равные 0 свидетельствуют о непринадлежности к  $S$ , а равные 1 принадлежности  $S$ . Вводятся обозначения  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_t)$  – вектор, связанный с  $\Psi_s^+$ , и  $P = (p_1, p_2, \dots, p_t)$  – с  $\Psi_s^-$ . Вводится переменная

$$m_i(Q, P) = \begin{cases} 1, & q_i \neq p_i, \\ 0, & q_i = p_i. \end{cases}$$

Условие непересекающихся  $\Psi_s^+$  и  $\Psi_s^-$  требует выполнения неравенства  $\sum m_i(Q, P)r_i \geq 1$  для любых  $Q \in \Psi_s^+$  и  $P \in \Psi_s^-$ . Следует подчеркнуть, что для усиления ограничения оптимизационной модели можно заменить число 1 в правой части неравенства на целое число  $g$ .

В результате, получаем следующую оптимизационную модель для поиска опорного множества:

$$\sum_{i=1}^t r_i \rightarrow \min ,$$
$$\sum_{i=1}^t m_i(Q, P)r_i \geq g \text{ для любых } Q \in \Psi_s^+ \text{ и } P \in \Psi_s^- ,$$

где  $r \in \{0,1\}^t$ .

Возможно, формировать опорное множество признаков на основе предлагаемой алгоритмической процедуры, базирующейся на оценке важности признаков [4].

##### Этап 3. Формирование закономерностей.

Закономерность – ключевой элемент рассматриваемого метода. Закономерности получаются на базе наблюдений обучающей выборки для каждого класса. Если они формируются для  $\Psi_s^+$ , то они положительные, если для  $\Psi_s^-$ , то они отрицательные.

Рассмотрим формирование набора закономерностей для наблюдений положительного класса. Для каждого наблюдения  $\alpha \in \Psi_s^+$  будем искать  $\alpha$ -закономерность, которая позволяет покрывать максимальное число наблюдений множества  $\Psi_s^+$ . Для этого зададим искомое логическое правило с помощью бинарных переменных  $X=(x_1, x_2, \dots, x_t)$ :

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-ый признак в правиле} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При построении чистых закономерностей  $\alpha$ -закономерность не должна покрывать ни одного наблюдения  $\Psi_s^-$ . Следовательно, должно выполняться неравенство:

$$\sum_{\substack{k=1 \\ \beta_k \neq \alpha_k}}^t x_k \geq 1 \text{ для любого } \beta \in \Psi_s^-.$$

Для усиления ограничения можно поменять на другое целое положительное число  $g$  значение 1 в правой части неравенства.

Напротив, наблюдение  $\sigma \in \Psi_s^+$  тогда входит в формируемую закономерность, когда отличается от  $\alpha \in \Psi_s^+$  только по тем признакам, которые не входят в полученную закономерность. Таким образом, суммарное количество наблюдений  $\Psi_s^+$  для  $\alpha$ -закономерности рассчитывается по формуле:

$$\sum_{\sigma \in \Psi_s^+} \prod_{\substack{j=1 \\ \sigma_k \neq \alpha_k}}^t (1 - x_k).$$

В итоге, оптимизационная модель для формирования закономерностей [5]:

$$\sum_{\sigma \in \Psi_s^+} \prod_{\substack{j=1 \\ \sigma_k \neq \alpha_k}}^t (1 - x_k) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{\substack{k=1 \\ \beta_k \neq \alpha_k}}^t x_k \geq g \text{ для любого } \beta \in \Psi_s^-, x \in \{0,1\}^t. \quad (2)$$

Согласно модели оптимизации (1-2) будем формировать чистые закономерности, которые не захватывают ни одного наблюдения  $\Psi_s^-$ .

Выборки в реальных задачах классификации характеризуются наличием пропущенных данных, выбросов, что приводит к проблеме трудноразделимости наблюдений  $\Psi_s^+$  и  $\Psi_s^-$ . Отсюда происходит увеличение степени (число переменных в закономерности) и уменьшение покрытия получаемых правил. Данный факт резко сокращает возможность построения интерпретируемого классификатора с высокой обобщающей способностью.

В этом случае предлагается переход к построению частичных закономерностей, т.е. закономерностей, которые могут покрывать некоторое число наблюдений противоположного класса. Практические исследования показывают, что степень частичных закономерностей, как правило, меньше, чем у чистых закономерностей, а покрытие больше [5].

Переход к частичным закономерностям осуществляется путем ослабления ограничения (2) в модели оптимизации (1-2):

$$\sum_{\beta \in \Psi_s^-} z_\beta \leq G, \quad (3)$$

$$z_\beta = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum_{\substack{j=1 \\ \beta_k \neq \alpha_k}}^t x_k \geq g; \\ 1, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $G$  – число наблюдений противоположного класса, которым можно быть покрытыми закономерностью.

Важным критерием качества построенных закономерностей является информативность. Для ее оценки в [6] приводится несколько возможных метрик, а в данной работе для этой цели предлагается использовать нормированный критерий бустинга:

$$H(p, n) = \sqrt{p/P} - \sqrt{n/N}, \quad (4)$$

где  $p$  – число захватываемых правилом наблюдений своего класса;  $P$  – суммарное число наблюдений своего класса в обучающей выборке;  $n$  – число захватываемых правилом наблюдений другого класса;  $N$  – суммарное число наблюдений другого класса в обучающей выборке.

Отметим, что для оценки средней информативности набора закономерностей класса используется среднее арифметическое для всех закономерностей в этом наборе.

Согласно модели (1,3) получаем закономерности с максимальным покрытием. Степень таких закономерностей невелика. Такая ситуация, в конечном счете, приводит к уменьшению информативности формируемого правила, поэтому предлагается следующая алгоритмическая процедура для уже построенных правил [7]:

$$\sum_{k=1}^t x_k \rightarrow \max ,$$
$$fc(X) = fc'(X) ,$$

где  $fc(X)$  – покрытие наблюдений своего класса для закономерности до выполнения процедуры,  $fc'(X)$  – покрытие наблюдений своего класса для закономерности после выполнения процедуры.

Результатом такой процедуры для закономерностей будет классификатор (база знаний), состоящий из правил с максимальным покрытием и со степенью выше исходной. Качество классификатора должно повыситься, так как информативность составляющих его правил растет. Рост информативности формируемого правила связан с сокращением числа наблюдений противоположного класса, которые покрываются этим правилом.

Этап 5. Построение классификатора.

Классификатор составляем из всех логических правил, найденных на предыдущем этапе. Решение о классификации наблюдения экзаменуемой выборки принимаем согласно алгоритму простого голосования или согласно алгоритму взвешенного голосования. Веса закономерностей, покрывающих наблюдение экзаменуемой выборки, при принятии решения будут равными (простое голосование) или будут определяться с учетом информативности закономерности (взвешенное голосование) [8]. Следует отметить, если наблюдение экзаменуемой выборки не покрывается ни одной построенной закономерностью, то оно остается неклассифицированным.

Как показано выше, классификатор составляется из правил, полученных на базе всех наблюдений обучающей выборки. Поэтому в случае роста объема обучающей выборки увеличивается и число правил в классификаторе. Причем, на основании оценки информативности, построенные правила имеют разное качество. Поэтому предлагается подход, заключающийся в удалении менее информативных правил (редукция) из исходного классификатора. Для реализации подхода необходимо построить исходный классификатор с применением процедуры наращивания правил, оценить информативность каждой закономерности в классификаторе на базе формулы (4), ранжировать закономерности по убыванию значения информативности для каждого класса, удалять закономерности из классификатора, повышая пороги информативности для каждого класса. Редукцию проводим до тех пор, пока число закономерностей для класса и количество непокрытых наблюдений в экзаменуемой выборке больше установленных значений исследователем. Отметим, что увеличение количества непокрытых наблюдений напрямую свидетельствует о недостаточности числа закономерностей в классификаторе. В итоге, применение такого подхода приведет к редукции классификатора без потери его качества классификации.

#### Заключение

В заключении следует отметить, что предлагаемая методология формирования базы знаний на основе метода логического анализа данных содержит ряд модификаций на каждом этапе метода, что делает исследуемый метод адаптивным инструментом при решении реальных задач классификации. Несомненным преимуществом программных систем, созданных на основе данного метода, является способность интерпретировать полученные решения и обосновывать даваемые рекомендации.

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (код проекта МК-1376.2020.9)

#### Литература

1. Растринин Л.А., Фрейманис Э.Э. Решение задач разношкальной оптимизации методами случайного поиска // Проблемы случайного поиска. – 1988. – №11. – С. 9-25.
2. Кузьмич Р.И., Гулакова Т.К. Способы бинаризации разнотипных признаков в задачах классификации // Материалы VI всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Актуальные проблемы авиации и космонавтики»: в 2 т. Т. 1. Технические науки / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2010. – С.323–325.
3. Hammer P.L., Bonates T. Logical Analysis of Data: From Combinatorial Optimization to Medical Applications. RUTCOR Research Report 10-2005, 2005.

4. Кузьмич Р. И. Определение важности признаков при формировании паттернов в задаче классификации // Материалы XIV международной научной конференции «Решетневские чтения», Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2010. – Ч. 2. – С. 394–395.
5. Головенкин С.Е., Гулакова Т.К., Кузьмич Р.И., Масич И.С., Шульман В.А. Модель логического анализа для решения задачи прогнозирования инфаркта миокарда // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнева. – 2010. – № 4(30). – С. 68-73.
6. Furnkranz J., Flach P.A. Roc 'n' rule learning-towards a better understanding of covering algorithms // Machine Learning. – 2005. – Vol. 58, no. 1. – Pp. 39–77.
7. Кузьмич Р.И., Масич И.С., Ступина А.А. Модели формирования закономерностей в методе логического анализа данных // Системы управления и информационные технологии. – 2017. – №1(67). – С. 33-37.
8. Кузьмич Р. И. Поиск закономерностей при решении задачи управления приземлением космического корабля // Материалы VIII Всероссийской научной-практической конференции творческой молодежи «Актуальные проблемы авиации и космонавтики», посвященной 55-летию запуска первого искусственного спутника Земли: в 2 т. Т. 1. Технические науки. Информационные технологии. Сообщения школьников. – Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2012. – С. 306–307.

#### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ФАКТОРА УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ТУРБОКОМПРЕССОРА СУДОВОГО ГЛАВНОГО МАЛООБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

Пиотровский Д.Л., \*Подгорный С.А., \*Куколев А.А.

Кубанский казачий государственный институт пищевой индустрии и бизнеса, филиал МГУТУ имени К.Г. Разумовского, \*Кубанский государственный технологический университет  
[piotrovsky2005@yandex.ru](mailto:piotrovsky2005@yandex.ru), \* [saptich@rambler.ru](mailto:saptich@rambler.ru)

Для реализации задач выработки большого количества энергии в малооборотных двигателях большого объема, таких, как MAN B&W 6S90, их компрессоры должны обладать высокими показателями степени сжатия воздуха и увеличенным КПД [1]. Устанавливаемые на такие двигатели агрегаты МНІ МЕТ серии МА обладают всеми необходимыми качествами, однако в условиях серьезной конкуренции изготовитель зачастую не предоставляет каких-либо справочных данных о динамических свойствах турбокомпрессора. В то же время, для общеизвестной задачи исследования управления судовым главным двигателем необходима реализация передаточных функций данного агрегата. Данная статья ставит собой задачу реализации одного из подобных методов.

Ключевые слова: судовой главный двигатель, дизельный двигатель, управление, передаточная функция, турбокомпрессор, переходной процесс, наддув, устойчивость, теория управления.

Sustain factor partial derivative calculation method for main diesel engine turbocharger transfer functions coefficients estimation. Piotrovsky D.L., \*Podgorny S.A., \*Kukolev A.A., Cuban Cossack State Institute of Food Industry and Business, \*Kuban State Technological University.

To respond to high output of recent large bore diesel engines , such, as MAN B&W 6S90 the turbocharger must have a high pressure ratio of compressor and enhanced turbocharger efficiency [1]. All the installed turbochargers for such engines of МНІ МЕТ-МА series possess all the required features, however, the maker often does not provide reference data about any dynamic turbocharger features. In the same time, for the aim of main engine control observations, it is necessary to calculate all the involved transfer functions with the coefficients. The article states one of the calculation methods for sustainability factor partial derivatives estimation with the help of main engine maker data and some numerical and analytic relations.

Keywords: main engine, diesel engine, control, transfer function, turbocharger, transient process, scavenge, sustainability, control theory.

По различным оценкам, более 90% реально используемых в системах автоматического регулирования регуляторов - это классические ПИД-регуляторы, синтезированные на основе традиционных инженерных методов [2]. Причиной этого служит тот факт, что к настоящему времени накоплен огромный опыт эксплуатации таких регуляторов, разработаны и апробированы различные методы синтеза и настройки параметров, а также простота построения и промышленного использования, ясность функционирования, пригодность для решения большинства промышленных задач [3]. Не становятся исключением и современные системы управления частотой вращения судовыми главными малооборотными дизелями, в той или иной модификации использующие ПИД –закон управления. В связи с этим, остаются актуальными классические методы исследования устойчивости систем и построения



передаточных функций. В отношении судового главного двигателя данная задача обычно сводится к построению математической модели собственно двигателя, турбокомпрессора, впускного и выпускного коллекторов и вспомогательной топливной и приводной аппаратуры [4]. Корректное построение передаточных функций турбокомпрессора тесно связано с точным определением характеристических коэффициентов дифференциальных уравнений, описывающих агрегат. Поэтому при исследовании актуальным становится получение практических и аналитических зависимостей эксплуатационных показателей входящих в состав системы механизмов.

С точки зрения математического описания, работа турбокомпрессора не представляет большой сложности. Корректное описание справедливо для уравнения, записанного в соответствии с принципом Д'Аламбера:

$$J_k \frac{d\Delta\omega_k}{dt} = \Delta M_T - \Delta M_k, \text{ где}$$

$J_k$  – момент инерции турбокомпрессора;

$\omega_k$  – частота вращения турбокомпрессора;

$\Delta M_T$  – изменение момента турбины,

$\Delta M_k$  – изменение момента компрессора.

Момент сопротивления компрессора зависит от давления наддува, а также от угловой частоты вращения ротора  $M_k = f(\omega_k, p_k)$ . Расход газа через турбину и создаваемый на ее валу момент зависит от количества выхлопных газов  $p_T$ , определяемого частотой вращения двигателя, а, следовательно, подачей топлива, зависящей от хода штока клапана подачи топлива либо относительного изменения подачи  $h$ , а также от частоты вращения компрессора  $\omega_k$ , то есть  $M_T = f(\omega_T, p_T, h)$ .

В операторной форме это уравнение имеет вид:

$$(T_T p + k_T) \varphi_k = \mu + \bar{p}_k * k_h - k_p * \bar{h};$$

Следовательно, передаточные функции можно сформировать в виде:

- по цикловой подаче топлива:

$$W_{kh} = \frac{k_h}{T_T p + k_T};$$

- по давлению наддува:

$$W_{k\mu} = \frac{1}{T_T p + k_T};$$

- по изменению количества выхлопных газов:

$$W_{kp} = \frac{-k_p}{T_T p + k_T}.$$

Для исследования устойчивости и качества переходного процесса в системе, включающей в себя турбокомпрессор, необходимо определить постоянные времени  $T_T$  и коэффициенты усиления  $k_T, k_h$  и  $k_p$  по соответствующим регулирующим воздействиям.

В соответствии с обозначенной операторной формой уравнения работы турбокомпрессора, характеристические коэффициенты и постоянную времени можно определить по формулам:

$$T_T = \frac{J_T}{F_T}; \quad k_T = \frac{\partial M_k}{\partial p_k} \frac{p_{k0}}{F_T \omega_{T0}}; \quad k_h = \frac{\partial M_T}{\partial h_p} \frac{h_{p0}}{F_T \omega_{T0}}; \quad k_p = \frac{\partial M_T}{\partial p_T} \frac{p_{T0}}{F_T \omega_{T0}}.$$

Фактор устойчивости турбокомпрессора, исходя из его дифференциального уравнения, равен:

$$F_T = \frac{\partial M_k}{\partial \omega_T} - \frac{\partial M_T}{\partial \omega_T},$$

где частные производные  $\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}$  и  $\frac{\partial M_T}{\partial \omega_T}$  определяются взаимным наклоном характеристик  $M_k = f(\omega_T)$  и  $M_T = f(\omega_T)$  в точке исследуемого статического режима.

Однако, справочная литература [5,6] по современным судовым дизельным двигателям зачастую не предоставляет подобных зависимостей. Поэтому определение  $M_k = f(\omega_k)$  предлагается произвести при помощи формулы [7] и паспортных данных проведенных испытаний.

$$M_k = \frac{\dot{m}_k}{\omega_k \eta_k} \cdot c_{BK} \cdot T_{K,ВХ} \cdot \left[ \Pi_k \frac{k_e - 1}{k_e} - 1 \right],$$

где  $\omega_k$  – частота вращения вала турбокомпрессора,  $\eta_k = \frac{T_{K,ВЫХ,ИЗ} - T_{K,ВХ}}{T_{K,ВЫХ} - T_{K,ВХ}}$  – адиабатический КПД компрессора,  $T_{K,ВЫХ,ИЗ}$  – температура воздуха на выходе из компрессора в изоэнтропическом процессе,  $T_{K,ВЫХ}$  – температура воздуха на выходе из компрессора в реальном процессе,  $\dot{m}_k$  – проток воздуха через компрессор,  $T_{K,ВХ}$  – температура воздуха на входе в компрессор,  $c_{BK}$  – теплоемкость воздуха во впускном коллекторе турбокомпрессора,  $\Pi_k$  – степень сжатия компрессора, равная отношению давления воздуха перед турбиной к давлению воздуха за турбиной,  $k_e = M_{e,max}/M_e$  коэффициент приспособляемости для двигателя с наддувом.

Проток воздуха через компрессор  $\dot{m}_k$  представляет из себя выражение:

$$\dot{m}_k = \frac{p_{к.вх}}{p_{реф.к}} \cdot \sqrt{\frac{T_{реф.к}}{T_{к.вх}}} \cdot \dot{\mu}_k,$$

где  $\dot{\mu}_k$ - производительность компрессора, определяемая по турбокарте нагнетателя- зависимости степени повышения давления в нагнетателе от расхода воздуха,  $p_{реф.к}$ - давление атмосферного воздуха при стандартных условиях,  $T_{реф.к}$ - температура воздуха при стандартных условиях. Для турбокомпрессора МЕТ83МА данная зависимость имеет вид, представленный на рисунке 1 [8]. Например, для частоты вращения вала турбокомпрессора 9800 об/мин при степени сжатия, равной 3,5, массовый проток воздуха составляет 34,2 м<sup>3</sup>/с. Таким образом, задаваясь значениями частоты вращения турбокомпрессора и текущей степенью его сжатия и используя паспортные данные, полученные во время ходовых испытаний, также некоторые справочные данные [5], можно построить зависимость развиваемого компрессором момента от его частоты вращения. Для двигателя MAN B&W 6S90 ME-C данная зависимость имеет представленный на рисунке 1 вид.

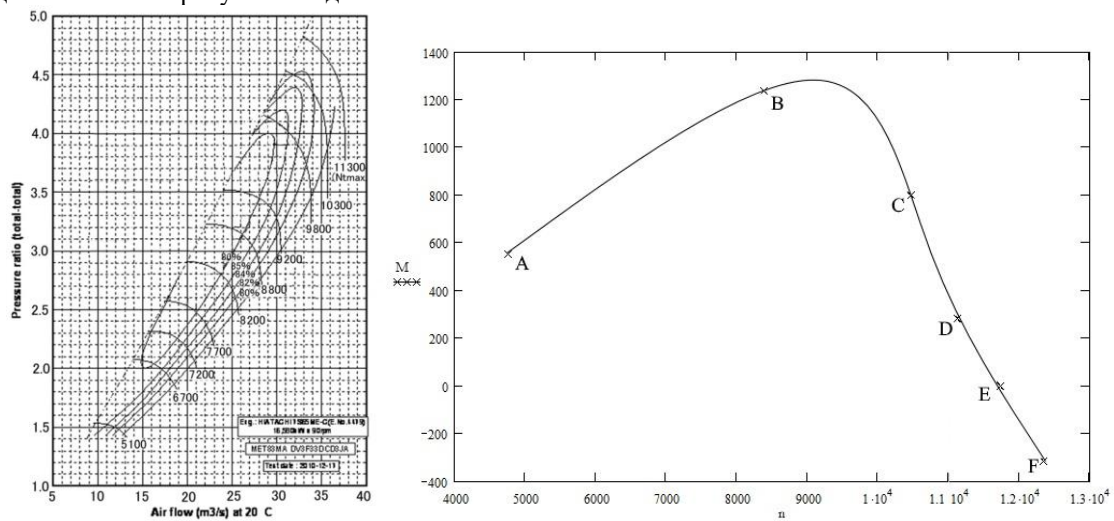


Рисунок 1 – Турбокарта турбокомпрессора МНТ МЕТ83МА, а также зависимость развиваемого компрессором момента от его частоты вращения

Определяя частную производную  $\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}$  в основных рабочих точках работы компрессора, можно получить значения  $\left(\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}\right)_A = 0,223$ ,  $\left(\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}\right)_B = 0,072$ ,  $\left(\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}\right)_C = -0,357$ ,  $\left(\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}\right)_D = -0,591$ ,  $\left(\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}\right)_E = -0,624$ ,  $\left(\frac{\partial M_k}{\partial \omega_T}\right)_F = -0,62$ , используемые в дальнейшем для расчета фактора устойчивости и характеристических коэффициентов передаточных функций.

Частную производную  $\frac{\partial M_T}{\partial \omega_T}$  в выражении фактора устойчивости турбокомпрессора целесообразно определить при помощи характеристики  $M_T = f(\omega_T, p_T, T_T)$ . При этом стоит учесть, что помимо частоты вращения, момент собственно турбины  $M_T$  зависит от температуры выхлопных газов в выпускном коллекторе и от давления выхлопных газов. Количественно эта зависимость имеет вид [7]:

$$M_T = \frac{\dot{m}_{вг}}{\omega_T} \cdot c_{вг} \cdot \eta_T \cdot T_{т.вх} \cdot \left[ 1 - \Pi_T \frac{k_e - 1}{k_e} \right],$$

где  $\omega_T$ - частота вращения вала турбокомпрессора,  $\eta_T$ - адиабатический КПД турбины,  $\dot{m}_k$ - проток выхлопных газов через турбину,  $T_{т.вх}$ - температура газа на входе в турбину,  $c_{вг}$ - теплоемкость газа в выпускном коллекторе двигателя,  $\Pi_T$ - степень сжатия турбины,  $k_e = M_{e,max}/M_e$  коэффициент приспособляемости для двигателя с наддувом.

Проток выхлопных газов через турбину можно определить соотношением:

$$\dot{m}_T = \frac{p_{т.вх}}{p_{реф.т}} \cdot \sqrt{\frac{T_{реф.т}}{T_{т.вх}}} \cdot \dot{\mu}_T,$$

где  $\dot{\mu}_T$ - производительность турбины, определяемая по турбокарте,  $p_{реф.т}$ - давление атмосферного воздуха при стандартных условиях,  $T_{реф.т}$ - температура воздуха при стандартных условиях. Зависимость  $\dot{\mu}_T = f(\Pi_T)$  встречается в литературе достаточно редко, поэтому, зачастую, с достаточной степенью

точности для целей изучения управления заменяется моделью движения сжатого воздушного потока через клапан либо рассчитывается аналитически [7] по формуле:

$$\dot{m}_T = A_T \sqrt{\left\{ \frac{2\gamma}{(\gamma-1)R} \left[ \left( \frac{1}{\Pi_T} \right)^{2/\gamma} - \left( \frac{1}{\Pi_T} \right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right] \right\}}$$

где  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$  - коэффициент передачи тепла турбины,  $c_p$ - теплоемкость газа при постоянном давлении,  $c_v$ - теплоемкость газа при постоянном объеме,  $R$ - универсальная газовая постоянная, равная 8,3 Дж/моль·К,  $\Pi_T$ - степень сжатия турбины,  $A_T = K_{t1} \left( \frac{1}{\Pi_T} \right) + K_{t2}$ - площадь проходного сечения турбины,  $K_{t1}$  и  $K_{t2}$ - постоянные [8]. Для турбины турбокомпрессора MET83MA в соответствии с ее геометрическими размерами [5] данная характеристика примет следующий вид (рисунок 2).

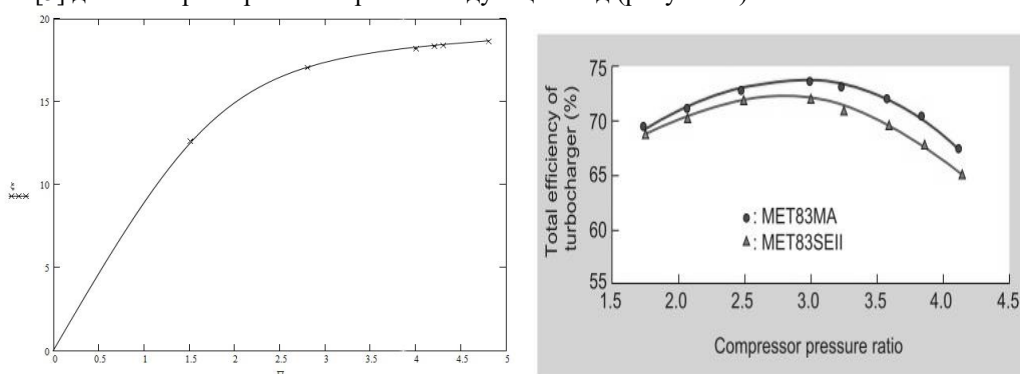


Рисунок 2 – Зависимости  $\dot{m}_T = f(\Pi_T)$  и  $\eta_T = f(\Pi_T)$

Рассчитав момент по указанному соотношению, используя зависимость адиабатического КПД турбины турбокомпрессора модели MET83MA[8] в функции степени сжатия (рисунок 2), получим зависимость  $M_T = f(\omega_T)$  (рисунок 3)

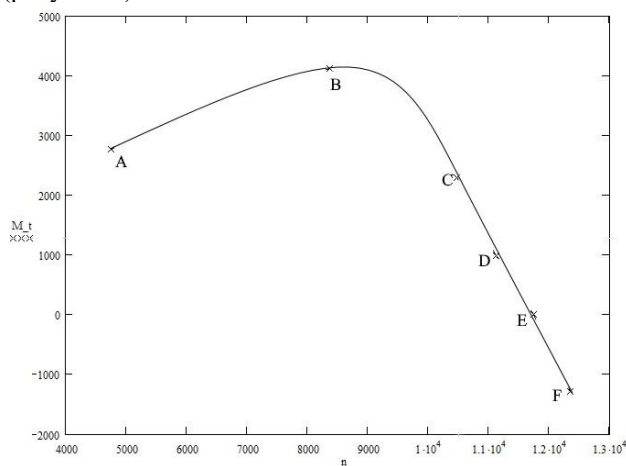


Рисунок 3 – Зависимость  $M_T = f(\omega_T)$  турбокомпрессора МНІ MET83MA

Определяя по аналогии частную производную  $\frac{\partial M_T}{\partial \omega_T}$  в основных рабочих точках работы турбины, можно получить значения  $\left( \frac{\partial M_T}{\partial \omega_T} \right)_A = 0,42$ ,  $\left( \frac{\partial M_T}{\partial \omega_T} \right)_B = 0,268$ ,  $\left( \frac{\partial M_T}{\partial \omega_T} \right)_C = -1,854$ ,  $\left( \frac{\partial M_T}{\partial \omega_T} \right)_D = -2,246$ ,  $\left( \frac{\partial M_T}{\partial \omega_T} \right)_E = -1,881$ ,  $\left( \frac{\partial M_T}{\partial \omega_T} \right)_F = -2,204$ .

#### Литература

- 1 Shiraishi K., Techima T., Nichino H., Iwasa Y., Hirano Y.. Development of High- Efficiency turbocharger MET-MA Series for large-bore diesel engine. Mitsubishi heavy industries Ltd. Technical review Vol.43 №1.– 2006. – 3 стр.
2. Program for International Conference on PID Controllers [Electronic resource]. – Access mode: <https://panel.waset.org/conference/2019/10/new-york/program> (Address date 24.12.2019).
3. K.J. Astrom Advanced PID control / K.J. Astrom, T. Hagglund,. ISA The Instrumentation, System and Automation Society. 2006. - 460 p.

4. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов.- М.: Легион- Автодата, 2004.- 344 с., ил.
5. Shop test result for Main Engine HYUNDAI-MAN B&W 6S90 ME-C8.2 Engine № AA4624 Hull №2585 m/t "Brightoil Grace"- 12 pages.
6. Shop test result for Main Engine HYUNDAI-MAN B&W 6S70 MC-C7 Engine № AA2636/39 Hull №RH1017/26 m/t "Everbright"- 18 pages.
7. Yong Shu, M. Nieuwstadt Transient turbocharger shaft speed with steady state stabilization in a turbocharged diesel engine- Internal combustion engine fundamentals, 2004- 4 стр.
8. Ono Y., Yamashita Y., Shiraishi K., Application of large hybrid turbocharger for marine electric power generation. Mitsubishi heavy industries Ltd. Technical review Vol.49 №1 . – 2012.– 5 стр.

#### СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КАНАЛА ОБМЕНА SPACEFIBRE И ТЕОРИИ СОЗДАНИЯ СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Лобанов А.В.  
АО «НИИ Субмикрон»  
+79916) 492-17-47, Lobanov1045@yandex.ru

Обсуждается применение канала обмена и сетевой технологии SpaceFibre (SF) при создании космических сетевых информационно-управляющих систем (КСИУС). Рассматриваются особенности канала и технологии SF и возможность их использования в «классической» технологии построения сбое- и отказоустойчивых вычислительных систем для создания рассматриваемых КСИУС.

Ключевые слова: сбое- и отказоустойчивость, канал и технология SpaceFibre, статическая и динамическая избыточность, «классическая» технология сбое- и отказоустойчивых вычислительных систем.

Joint application of the exchange channel SpaceFiber and the theory of creation of space failure- and fault-tolerant computing systems in the construction of space networked information control systems. Lobanov A.V. Joint-Stock Company "Scientific Research Institute "Submicron"

The use of the exchange channel and SpaceFibre (SF) network technologies in the creation of spaces network information control systems (CSIUS) is discussed. The features of the channel and SF technology and the possibility of their use in the "classical" technology of building fault-tolerant and fault-tolerant computing systems for creating the considered KSIUS are considered.

Keywords: failure- and fault-tolerance, channel and SpaceFibre technology, static and dynamic redundancy, "classic" technology of fault and fault tolerant computing systems.

#### Введение

По мнению создателей Международного стандарта ECSS-E-ST-50-11C DIR1 15 мая 2019 года, определяемые им сверхскоростной последовательный канал и сетевая технология SpaceFibre специально созданы для использования на борту космических аппаратов и обеспечивают, например: 1) согласованный механизм предоставления качества сервиса, поддерживающий зарезервированную пропускную способность (ширину полосы), планирование и приоритетный сервис, 2) «Более того, он значительно улучшает возможности по обнаружению ошибок, локализации и восстановления после них (FDIR) по сравнению со стандартом SpaceWire», 3) «SpaceFibre позволяет создать единую бортовую инфраструктуру для различных космических миссий, что позволяет снизить стоимость и предоставляет возможность повторного использования схемы». В данной работе рассматривается обоснованность реализации этих намерений и отсутствие действительных существующих в Международном стандарте ECSS-E-ST-50-11C DIR1 15 мая 2019 года препятствий для такой реализации.

#### Объект исследования и требования к нему

Ниже под термином КСИУС понимается космическая сетевая информационно-управляющая система для многофункционального космического аппарата, включая его наземную инфраструктуру (КА), группировки таких КА, группировки таких группировок и т. д., без ограничений по функциональной и структурной сложности. В КСИУС параллельно решаются целевые задачи, взаимодействующие между собой и с внешней средой (обслуживаемые со стороны КСИУС космические объекты и объекты наземной инфраструктуры). К внутренним объектам КСИУС относятся сетевая информационно-управляющая система для многофункционального космического аппарата, включая его наземную инфраструктуру (КА), группировки таких КА, группировки таких группировок и т. д., без

ограничений по функциональной и структурной сложности, но с заданными требованиями для каждой решаемой целевой задачи по уровню ее сбое- и отказоустойчивости, по срокам активного существования, по возможности функционально-структурной как самореконфигурации и самоуправляемой деградации, так и задаваемой извне реконфигурации и деградации.

#### Предмет и методы исследования

Рассматривается проблема создания исследуемых сбое- и отказоустойчивых КСИУС на основе вышеуказанного канала и технологии SF, определяемых международным стандартом ECSS-E-ST-50-11C DIR1 15 мая 2019 года [1], используемых как для взаимодействия с внешней средой, так и для внутрисистемных взаимодействий между всеми участниками КСИУС.

Для понимания того, что вышеуказанный канал и технология SF являются только отдельными элементами в процесса построения сбое- и отказоустойчивых КСИУС, и могут как способствовать достижению положительного конечного его результата, так и существенно препятствовать такому результату, вплоть до невозможности такого получения, необходимо указать, что Теория построения живучих, сбое- и отказоустойчивых вычислительных управляющих и информационных систем имеет значительные историю, объем, широту и глубину обоснованно и доказательно решаемых научных проблем и задач, исторически развитый понятийный и терминологический аппараты. Однако объем и сложность систем, построенных по этой теории, ограничивалась небольшими локальными вычислительными системами, ограниченными размерами и сложности, и вопрос построения сбое- и отказоустойчивых КСИУС – «системы систем» пока не выходил на первый план. Жесткая необходимость проведения научных исследований в области сбое- и отказоустойчивости вычислительных систем стала понятной довольно давно. Это хорошо описывается основоположником данной научной и практической областей [2] следующим образом. «Поскольку вычисления и коммуникации стали незаменимыми инструментами современного общества, возникает один основополагающий принцип: чем больше преимущества этих систем для нашего благосостояния и качества жизни, тем больший их потенциал для вреда, когда они не могут выполнять свои функции или выполнять их неправильно. Рассмотрим управления воздушного, железнодорожного и автомобильного движения; систем реагирования на чрезвычайные ситуации; управление полетами авиакомпаний; системы безопасности АЭС; и прежде всего, нашей быстро растущей зависимостью от медико-санитарной помощи через высокопроизводительные вычисления и коммуникации. Когда эти системы ошибаются, могут быть потеряны жизни и судьбы. В то же время угрозы для надежной работы растут в масштабах и тяжести. Остаточные неисправности проектирования (ошибки и сбои) могут вызвать сбои системы во время пикового спроса, приводя к нарушениям в обслуживании и финансовым потерям. Сложные системы страдают проблемой стабильности из-за непредвиденных взаимодействий перекрывающихся ошибочных событий и несоответствия защитных механизмов. Хакеры и преступно настроенные лица вторгаются в систему, вызывая сбои, неправильное использование и повреждения. Несчастные случаи приводят к разрыву связи, затрагивающие целые регионы. Наконец, мы сталкиваемся с возможностью повреждения системы «Инфо-террористами.» Отказоустойчивость является нашей лучшей гарантией, что высококонфиденциальные системы не предадут их строителей и не подорвут доверие их пользователей из-за незащитности к физическим, проектным ошибкам или ошибкам взаимодействия человек-машина, и не позволят вирусам и злонамеренным действиям сорвать основные услуги».

Здесь же Авиженис А. упоминает о первоначальной формулировке концепции отказоустойчивости, данной им в [3]: «Мы говорим, что система отказоустойчивая, если ее программы могут быть выполнены должным образом, несмотря на возникновение логических неисправностей».

Эта формулировка, определяющая ГАРАНТИРОВАННОЕ ПРАВИЛЬНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММ в условиях возникновения неисправностей, до недавнего времени устраивала разработчиков рассматриваемых систем, пока создаваемые и исследуемые сбое- и отказоустойчивые системы ограничивались отдельными вычислителями (ЦВМ) или несложными вычислительными системами (ВС), состоящими из небольшого количества таких взаимосвязанных вычислителей и их подсистем. При этом используемые понятийный и терминологический аппараты, обладающие значительной инерцией для модернизации и изменений, также являлись относительно простыми, интуитивно, но не формализовано определяющими ограничения, которые следовали из незначительной сложности разрабатываемых ВС. Возможность возникновения эффектов негативной эмерджентности, состоящей в появлении непонятного неправильного и опасного поведения неисправных ВС, причины которого разработчики таких ВС не могут объяснить, не рассматривалась и даже теоретически не предполагались, а практические случаи такого возникновения «списывались» на другие трудноподтверждаемые факторы, например, недостаточную радиационную стойкость используемой элементной базы, что не требовало обоснований и строгих доказательств для задаваемой эффективности и обоснованности применяемых методов. Да и критерии оценки эффективности применяемых методов и строгости их обоснований и научных доказательств были разработаны очень слабо. Отсутствуют они и сейчас практически во всех современных иностранных и

отечественных исследованиях и разработках по данной тематике, что явно видно из научной иностранной и отечественной литературы, соответствующей научной дисциплине, получившей в РФ общепризнанное и даже официальное стандартизованное название «Техническая диагностика и отказоустойчивые вычислительные системы».

Общепризнано, что основными способами обеспечения сбое- и отказоустойчивости вычислительных систем является введение в них необходимой временной, информационной, аппаратурной и программной избыточности двух видов: 1) статическая избыточность и 2) динамическая избыточность [4, 5].

При статической избыточности проявления неисправностей (ошибки - error) «маскируются» и правильный выходной результат получается за счет избыточного числа его копий, например, путем их мажорирования или кворумирования, в предположении, что при любой неисправности большинство таких копий остаются правильными. Существенным недостатком статической избыточности в ВС является отсутствие механизмов восстановления сбившегося вычислителя или подсистемы, поэтому при сбое вычислителя, состоящем, например, в случайном неправильном переходе в исполняемой программе, вероятность возникновения которого существенно выше вероятности возникновения отказа элемента ВС, восстановление целевой работы сбившегося вычислителя или подсистемы не предполагается, хотя это по своим последующим воздействиям может быть эквивалентно отказу ВС или ее подсистемы. В случае статической избыточности используются только механизмы маскирования неисправностей, предназначенные для защиты от распространения проявлений неисправностей (сбоев и отказов) за границы региона ограничения распространения неисправности [6, 7]. При применении динамической избыточности, вводимой для обеспечения максимально возможной длительности срока активного существования ВС обязательны также обнаружение случившихся проявлений неисправностей, их идентификация по месту возникновения и по типу (сбой, программный сбой, или отказ). Динамическая избыточность кроме отмеченных механизмов парирования неисправностей, обеспечивающих правильность выходной информации, должна включать также механизмы ликвидации проявлений сбоя внутри границ региона ограничения распространения неисправности. Именно динамическая избыточность позволяет осуществлять восстановление вычислителя (или подсистемы) или всей ВС после программного сбоя, а также гибридное резервирование, когда выполняется изоляция и отключение отказавшего элемента, замена его запасным элементом и последующим втягивания этого элемента в возможную целевую работу.

ВС может быть представлена как совокупность соединенных различных вычислительных элементов (модулей) и элементов связи, составляющих иерархически взаимосвязанные подсистемы, на верхнем уровне иерархии которой находится сама ВС, обменивающаяся информацией с внешней средой.

Способы взаимодействия отказоустойчивой ВС и внешней среды зависят от условий применения, требований управляемой внешней среды и определяют:

- 1) допустимое время реакции ВС на сбой, программный сбой или отказ ее элементов;
- 2) степень резервирования каналов связи между ВС и внешней средой, и количество каналов связи из числа резервных, на которых допускается одновременное возникновение сбоев или отказов без нарушения взаимодействия ВС и внешней среды;
- 3) допустимую рассинхронизацию информации, передаваемой по каналам связи между ВС и внешней средой;
- 4) степень различия информации, передаваемой по резервным каналам связи (одинаковая либо различающаяся в допустимом диапазоне);
- 5) ситуацию в ВС и внешней среде при нарушении предыдущих требований (может ли это приводить к ошибочному воздействию на внешнюю среду, возможно ли исправление ошибки путем повторения передачи, как об этой ситуации станет известно в ВС и внешней среде и правила ее обработки);

Способ взаимодействия ВС и внешней среды, требуемый ресурс, сроки активного существования системы, допустимое энергопотребление определяют требования к элементам ВС, видам вводимой в ВС избыточности и способам управления ею.

Традиционно, обоснованно и доказательно используются три общих метода обеспечения сбое- и отказоустойчивости при помощи избыточного набора модулей в отдельном вычислителе или подсистеме ВС [8]:

- 1) N-ирование модулей ( $N > 2$ ) и голосование их результатов (гибридное резервирование - при наличии запасных модулей и возможности замены ими неисправных модулей);
- 2) дублирование модулей и сравнение результатов с последующей идентификацией отказавшего модуля путем их тестирования и заменой его на исправный;
- 3) применение самопроверяемых модулей, способных обнаруживать и идентифицировать собственную неисправность, с заменой неисправного модуля на запасной.

При обнаружении сбоя дальнейшее развитие вычислительного процесса в ВС или КСИУС может происходить двумя способами [8, 9]: во-первых, переходом вперед, когда вычислительный процесс продолжается так же, как и при отсутствии сбоя, в сочетании с восстановлением сбившегося модуля, если это необходимо, и во-вторых, возвратом назад к предварительно запомненной контрольной точке и повторением выполненных после этой точки действий. Первый способ возможен при N-ировании модулей и голосовании их результатов. В случае дублирования модулей со сравнением результатов либо использования самопроверяемых модулей для восстановления применяется возврат назад.

В настоящей работе рассматриваются КСИУС, основанные на динамической избыточности в виде гибридного резервирования (N-ирование модулей и голосование их результатов, с самореконfigurацией и заменой отказавших модулей на запасные и управляемой самодеградацией), с переходом, при возможности, вычислительного процесса вперед при обнаружении неисправностей, с возможной структурной и функциональной, а также структурно-функциональной реконfigurациями и восстановлением в КСИУС возможного целевого вычислительного процесса, с безусловным переходом в режим безопасного останова подсистемы или КСИУС в целом в чрезвычайных случаях и ситуациях, последующего ожидания управляющих указаний из внешней среды и выполнения этих указаний.

При этом необходим учет выдвигаемых заказчиком требований по резкому увеличению потребительских характеристик, сложности и объема разрабатываемых КСИУС, а значит, и значительному увеличению требуемых для обеспечения сбое- и отказоустойчивости ресурсов КСИУС.

Общая тенденция развития методов обеспечения сбое- и отказоустойчивости таких сложных объектов проектирования состояла и состоит в том, что в сами резервируемые модули стараются вносить как можно меньше аппаратно-программных средств для механизмов обеспечения сбое- и отказоустойчивости, а эти механизмы, которые должны быть, по мнению разработчиков, относительно несложными, необходимо реализовывать в основном на межмодульном уровне с возможно простым обоснованием и доказательством их необходимой действенности: **ГАРАНТИРУЕМОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ КСИУС!** Попытки усложнять резервируемые модули путем внесения в них дополнительных внутренних средств обеспечения сбое- и отказоустойчивости как самих модулей, так и всей КСИУС в целом, как и должно быть в силу роста сложности системы, безусловно приводят к увеличению вероятности возникновения неучтенных разработчиками КСИУС синергетических эффектов и возникновению вышеотмеченных негативных эффектов эмерджентности, поскольку значительно усложняется достижение синхронности и согласованности действий всех внутримодульных и межмодульных взаимодействий между целевыми средствами и средствами обеспечения сбое- и отказоустойчивости КСИУС. Этот, не учитываемый многими разработчиками систем управления эффект будет проявляться все чаще по мере роста сложности таких КСИУС. **ОДНАКО ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПЕРЕВОД СТАНДАРТА SF ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ВЕСЬМА ЗНАЧИТЕЛЬНУЮ, ДОВОЛЬНО ХАОТИЧЕСКУЮ И СЛОЖНУЮ СОВОКУПНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ РАЗЛИЧНЫХ, ТОЧНО НЕ ОБОСНОВАННЫХ И НЕДОКАЗАННЫХ ПО СВОЕЙ ДЕЙСТВЕННОСТИ, ПРАВИЛЬНОСТИ И ПОЛНОТЕ, ПОЛОЖЕНИЙ (ЧТО ХОРОШО ОПИСЫВАЕТСЯ И ОБОСНОВЫВАЕТСЯ В ПРЕДИСЛОВИИ И РАЗДЕЛЕ «ОТКАЗ ОТ ПРАВ» ПРОЕКТА САМОГО СТАНДАРТА SF)**, который опирается на предлагаемое куцее определение «ошибки» в качестве основного определения как неисправности, так и ее проявления (хотя истинными носителями неисправностей и функциональными наполнителями их ошибочных проявлений являются **ФИЗИЧЕСКИЕ НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ВМЕСТЕ С АЛГОРИТМИЧЕСКИМИ, АППАРАТУРНЫМИ И ПРОГРАММНЫМИ ОШИБКАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, А ТАКЖЕ ОШИБКАМИ В ОБСЛУЖИВАНИИ ЭТИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**). А также в стандарте SF предлагаются некоторые механизмы защиты от «ошибок», вводимые внутрь действующих функциональных компонентов и алгоритмов работы КСИУС, которые делают невозможным теоретическое обоснование правильности их действий в сочетании с необходимыми целевыми функциональными действиями и всеми действиями других компонентов КСИУС. Это обстоятельство возлагает на конкретных разработчиков конкретной КСИУС необходимость самостоятельно предлагать, обосновывать, доказывать полноту, правильность и точность всех решений и методов по обеспечению сбое- и отказоустойчивости проектируемой КСИУС. И сложность и трудоемкость такого подхода еще более и намного возрастают при использовании предлагаемого перевода стандарта SF

Предлагаемые в стандарте способы исправления проявившихся ошибок практически полностью сводятся к локальному взаимодействию стороны, непосредственно, по предположению, передавшей ошибочную информацию, и стороны, непосредственно, по предположению, принявшей эту информацию, и обнаружившей в ней ошибку, без учета необходимых действий других участников общесистемной работы. Этот **ГЛУБОКО ОШИБОЧНЫЙ ПОДХОД** безусловно должен приводить к несогласованной работе различных элементов и подсистем КСИУС и даже может вызывать **ЭФФЕКТ ПАДАЮЩИХ ДОМИНО** (теория домино), заключающийся в том, что «какое-либо изменение, само по себе

незначительное, влечёт за собой линейный ряд других изменений, аналогично тому, как падают косточки домино, выстроенные в ряд!»

Такая «местечковая» локальная обработка ошибок, значительная сложность реализации предлагаемых в стандарте SF внутренних механизмов работы являются ОСНОВНЫМИ ПРИЧИНАМИ, по которым этот стандарт в предлагаемом виде АБСОЛЮТНО НЕ ПРИГОДЕН ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ рассматриваемых сбое- и отказоустойчивых сложных КСИУС и требует весьма значительной переработки для обеспечения гарантированной правильной работы рассматриваемых КСИУС при возникновении любой неисправности из заранее задаваемого в ТЗ перечня!!! При этом не помогут никакие дополнительные вышестоящие протокольные уровни (например, протокол транспортного уровня, поскольку любой такой протокол будет сохранять все отмеченные выше недостатки и поскольку проектирование такой КСИУС по-прежнему можно образно представить как то приведенное выше болота (условия применения) с островком из веточек и листьев (стандарт SF и его положения), и т. д.)!!! И выход здесь только один: И ВЫХОД ЗДЕСЬ ТОЛЬКО ОДИН: ИСПОЛЬЗОВАТЬ КЛАССИЧЕСКИЙ ОБЩИЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОБОСНОВАННЫХ И ДОКАЗАННЫХ СБОЕ И ОТКАЗООУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ, ДОРАБОТАТЬ ЕГО ТЕОРЕТИЧЕСКИ С ПРАКТИЧЕСКИМИ ИСПЫТАНИЯМИ И ОЦЕНКАМИ ДЛЯ КСИУС РАССМАТРИВАЕМОГО КЛАССА И ПОД НЕГО ИЗМЕНИТЬ ПРЕДЛАГАЕМЫЙ СТАНДАРТ SF!!!

Вышеприведенный вывод должен обязательно учитываться в перспективных КСИУС, выполняющих изменяемые совокупности целевых, взаимодействующих между собой задач, в качестве модулей которых рассматриваются отдельные вычислители или подсистемы (комплексы). Причем, каждый из таких вычислителей или подсистем должен (должна) решать отдельную целевую задачу ВС. Тогда целевая работа КСИУС будет состоять в том, что каждая целевая задача решается параллельно на отдельных вычислителях или подсистемах, которые затем обмениваются результатами, и каждый исправный вычислитель или подсистема определяет свой правильный результат в предположении, что только меньшая часть этих полученных результатов могут быть неправильными. Такой универсальный подход обеспечения правильности результатов решений называется МЕТОДОМ РЕПЛИКАЦИИ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ и именно он предлагается в данной работе в качестве решения проблем обеспечения сбое- и отказоустойчивости в перспективных неограниченного размера и сложности распределенных, самореконфигурируемых и самодеградируемых КСИУС. При резком возрастании структурной и функциональной сложности перспективных КСИУС, а также требований к ним по части обеспечения заданной сбое- и отказоустойчивости и значительного увеличения сроков активного существования перспективных КСИУС также резко возрастают сложность и объемы требуемых решений научных и практических проблем и задач по их проектированию. И своевременное решение этих проблем и задач в данный момент является ключевой проблемой развития космических КСИУС.

Необходимо обязательно отметить, что решение поставленной комплексной научно-практической проблемы не может быть достигнуто без разработки соответствующих средств моделирования таких КСИУС и их внешней среды, их аппаратной и программной отработки, средств проведения требуемых всесторонних испытаний (включая модельную и практическую инъекцию возможных неисправностей) и оценки полученных характеристик, СОЗДАНИЯ ДОСТАТОЧНО ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И МАКЕТНЫХ ОБРАЗЦОВ ТАКИХ КСИУС И ПРОВЕДЕНИЯ ИХ ВСЕСТОРОННИХ ИСПЫТАНИЙ И ОЦЕНОК!

В заключение отметим, что представленный стандарт SF не содержит положений, способствующих применению этого стандарта в качестве какой-либо основы (теоретической, технологической, практической и др.) при построении сбое- и отказоустойчивых систем управления сетевой архитектуры для перспективных космических объектов). Однако содержит большое количество, по сути, рекламных, ничем не подтвержденных заявлений. Например, «Более того, он (канал SF) значительно улучшает возможности по обнаружению ошибок, локализации и восстановлению после них (FDIR) по сравнению со стандартом SpaceWire», хотя таких возможностей ни в канале SF, ни в канале SW не имеется вообще!

В [10] приведен более подробные анализ и перечень недостатков стандарта ECSS-E-ST-50-11C DIR1 15 мая 2019 года.

#### Литература

1. Международного стандарта ECSS-E-ST-50-11C DIR1 15 мая 2019 года,
2. Avizienis A. Toward Systematic Design of Fault-Tolerant Systems // Computer, April 1997, С.51-58.
3. Avizienis A., "Design of Fault-Tolerant Computers," Proc. 1967 Fall Joint Computer Conf., AFIPS Conf. Proc., Vol. 31, Thompson Books, Washington, D.C., 1967, pp. 733-743.
4. Авиженис А. Отказоустойчивость - свойство, обеспечивающее постоянную работоспособность цифровых систем//ТИИЭР. 1978. Т.66. N10. С.5-25



5. Пархоменко П.П., Согомоян Е.С. Основы технической диагностики: оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства. М.: Энергия, 1981.
6. Yousey W.J., Arabjan A.M., Schindler T.M. AFTI/F-16 DFCS development summary - a report to industry. Redundancy management system design//Proc. NAECON-83. Dayton, 1983. P.1227-1234.
7. Лобанов А.В. Модели замкнутых многомашинных вычислительных систем со сбое- и отказоустойчивостью на основе репликации задач в условиях возникновения враждебных неисправностей // Автоматика и телемеханика. 2009. № 2.С. 171 – 189.
8. Rennels D. Fault-tolerant computing - concepts and examples// IEEE Tr. Comput. 1984. V. C-33. N12. P.1116-1129.
9. Мамедли Э.М., Соболев Н.А. Механизмы операционных систем, обеспечивающие отказоустойчивость в управляющих многомашинных вычислительных системах//Автоматика и телемеханика. 1995. N8. С.3-63
10. Ашарина И.В. Технология SpaceFibre в сбое- и отказоустойчивых управляющих космических системах // Данный сборник.

## ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ЦИФРОВОЙ ИНДУСТРИИ

Мартынов В.В., Филосова Е.И., Ширяев О.В.  
ФГБОУ ВО УГАТУ  
+7 (347) 273-08-22, vvmartynov@bk.ru

Для повышения эффективности использования информационных технологий в цифровой индустрии была разработана методология построения оптимальной архитектуры предприятия, направленная на обеспечение информационной поддержки производственных систем с использованием современных интегрированных информационных технологий. В качестве практических инструментов предлагается проектирование подсистемы информационной поддержки перспективной архитектуры предприятия цифровой индустрии. В результате формируются ее элементы в области информационных технологий, рассчитывается комплексный показатель эффективности заданной архитектуры предприятия. В состав моделируемой подсистемы входит модуль хранения и управления элементами архитектуры предприятия, модуль хранения и управления критериями выбора архитектуры предприятия, модуль создания перспективной архитектуры предприятия на базе реализации алгоритмов ее моделирования, модуль формирования отчетности. Применение подсистемы позволит предприятию сформировать условия для эффективного создания и освоения новых видов научно-технической продукции, своевременного вывода на рынок данной продукции.

Ключевые слова: архитектура предприятия, информационная архитектура, цифровая индустрия, информационные технологии.

Development of a subsystem of information support for modeling perspectives of the architecture of a digital industry. Martynov V.V., Filosova E.I., Shiryayev O.V., Ufa State Aviation Technical University.

A methodology for building an optimal enterprise architecture was developed to improve the efficiency of using information technologies in the digital industry, aimed at providing information support for production systems using modern integrated information technologies. We propose to design of an information support subsystem for development of digital industry enterprise promising architecture as a practical tool. Its elements are formed in the field of information technology as a result, and a comprehensive indicator of the effectiveness of a given enterprise architecture is calculated. The modeled subsystem includes a module for storing and managing enterprise architecture elements, a module for storing and managing enterprise architecture selection criteria, a module for creating a promising enterprise architecture based on the implementation of its modeling algorithms, and a module for generating reports. The subsystem will enable the company to create the conditions for efficient creation and exploration of new types of scientific and technical products, timely to market these products.

Keywords: Enterprise Architecture (EA), enterprise architecture, information architecture, digital industry, information technology.

### Введение

Прогресс в науке и технике находит свое отражение в формировании технологических укладов [1], определяемых уровнем автоматизации процессов производства. Сегодня для всех предприятий цифровой индустрии актуальна промышленная концепция Индустрия 4.0, которая представляет собой глобальную, сложную, многоуровневую организационно-техническую систему, основанную на

объединении совместно информационного пространства физических операций и сопутствующих процессов, именно: управление жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management), большие данные (Big Data), умное производство (SMART Factory), киберфизические системы (Cyber-physical systems), интернет вещей (Internet of Things) и другие [2]. Необходимая трансформация должна быть также в русле национальных программ, определяющих развитие государства в целом. Национальная технологическая инициатива законодательно поддержана в таких документах как Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2016 г. № 317 «О реализации Национальной технологической инициативы» [3], национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [4]. Концепция Индустрия 4.0 должна найти отражение в соответствующих ИТ-системах и технологиях, используемых на предприятиях и составляющих их архитектуру. Известные подходы и модели архитектуры предприятия (АП) обеспечивают только системный подход с определенной точки зрения к ее созданию, направлены на построение АП в рамках существующей организации управления производством, которая отличается от технологий концепций Индустрии 4.0. Метрики в моделях АП также отсутствуют. В данной статье описана методология построения перспективной архитектуры предприятия, согласованной с национальными программами развития России, на основе которой осуществляется разработка подсистемы информационной поддержки производственных систем с использованием современных интегрированных информационных технологий как основы цифровой экономики.

#### Архитектура предприятий цифровой индустрии

При переходе к цифровой индустрии современные инновационно развивающиеся предприятия кардинально меняют технологии проектирования и производства сложных технических изделий. Для выпуска продукции в единых технологических цепочках с высокой добавленной стоимостью предполагается создание цифровизованных предприятий, оснащенных передовыми производственными технологиями, связанными с компьютерной обработкой информации. К таким технологиям относятся автоматизированные системы хранения, поиска и организации обменом технической, проектно-конструкторской, технологической электронной информацией, создание компьютерных интегрированных производств, использование технологий искусственного интеллекта и другие. Особое внимание при организации цифровых производств и цифровых предприятий должно уделяться созданию их цифровых двойников. В связи с этим увеличилось количество информационных технологий, используемых на предприятиях, соответственно растут ИТ-бюджеты компаний.

Направленные на динамическое управление предприятием в отношении методов и средств промышленной автоматизации производственные процессы становятся более гибкими, легко соединяющимися друг с другом. В соответствии с этим значительно меняется роль компьютеров: они используются повсюду: начиная от применения датчиков, автоматизации технологических процессов и заканчивая интеграцией и визуализацией данных, интеллектуальной поддержкой бизнес-процессов. Информационные системы предприятия цифровой индустрии представляют собой сложные комплексы программного обеспечения, которые содержат механизмы, способные поддерживать управление всем предприятием и интеграции всех сфер его функционирования, что повышает требования к его архитектуре.

Для эффективности функционирования цифрового производства не только информационные системы, но и все предприятие требует наличия соответствующей рациональной архитектуры. Существуют различные подходы к формированию архитектуры предприятия в условиях цифровой трансформации: например, в Германии предложена эталонная модель архитектуры для Индустрии 4.0 под названием RAMI4.0 (Reference Architecture Model Industrie 4.0), в США модель IIRA от Industrial Internet Consortium, ПС. Использование данных моделей способствует улучшению взаимодействия как между специалистами, так и между промышленными предприятиями и служит основой для разработки стандартов, обеспечивающих унификацию деятельности предприятий, повышение интеграции всех его систем.

В настоящее время компании должны быть способны быстро трансформироваться, реагируя на изменения внешней среды. Проведение таких интегрированных изменений требует понимания работы компании в целом и всех ее бизнес процессов, целей, организационной структуры. Построение архитектуры предприятия помогает обеспечить целостное понимание устройства предприятия. Использование для построения архитектуры соответствующих методологий и стандартов обеспечивает ее участникам то, что вся необходимая информация будет учтена и представлена с использованием системного подхода. В настоящее время существует множество разных методологий для описания архитектуры предприятия такие, как Zachman Framework, TOGAF (The Open Group Architecture Framework), DoDAF (Department of Defense Architecture Framework) и другие. Методологии АП реализованы в соответствующих методиках и моделях. В тоже время, не смотря на существование множества методик описания архитектуры предприятия, существует целый ряд проблем, связанных с ее

разработкой, такие как низкая формализованность методов планирования перехода от текущего состояния АП к целевому, методов разработки общей структуры системы, способов организация взаимосвязи между ее элементами и с внешней средой. В настоящее время формирование АП происходит стихийно, с использованием существующих моделей АП. Существующие модели хоть и используют для описания АП системный подход, однако они не позволяют численно оценить варианты планируемой архитектуры.

Сегодня не совсем ясно, как лучше всего проводить идентификацию, представление и измерение критических компонентов АП, включая бизнес-процессы, бизнес-системы, модель данных и инфраструктуру. Предлагается математическая модель оценки эффективности составления компонентов архитектуры, которая позволит инженерам и практикам использовать концепции, методы и виды деятельности, уже имеющиеся в областях разработки программного обеспечения, исследования операций, экономики, математики для принятия решений по улучшению состояния представления, проектирования и оценки архитектуры предприятия [5]. Используя математическую модель АП можно продемонстрировать, что все архитектурные виды являются частичными видами одного и того же многомерного проекта, к которому стремятся инженеры при разработке архитектуры предприятия.

Математически ЕА определена как 8 множеств  $EA = \{R, B, S, D, A, T, C, M\}$  [6]. Набор требований  $R=(r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$  хранит всю базовую линию функциональных и нефункциональных системных требований. По мере развития архитектуры и функциональности все артефакты в логическом и физическом дизайне, включая бизнес-процессы, бизнес-операции, бизнес-правила и контрольные примеры, должны быть прослежены до этого набора системных требований. Набор бизнес-процессов  $B=(b_1, b_2, b_3, \dots, b_p)$  хранит бизнес-процессы предприятия, которые включены в системные требования. Метаданные о входных и выходных данных каждой бизнес-системы хранятся в разделе *C*. В наборе бизнес-систем  $S=(s_1, s_2, s_3, \dots, s_q)$  хранятся логические бизнес-системы, которые предоставляют различные услуги, необходимые для реализации бизнес-процессов. Набор элементов данных  $D=(d_1, d_2, d_3, \dots, d_g)$  хранит все элементы данных, которые составляют базу данных в архитектуре. Метаданные об организации этих элементов данных в таблицы и их взаимосвязи, а также целостность данных и ссылочные правила для эффективного хранения, поиска и управления данными хранятся в наборе *C*. Экземпляром этого набора может служить архитектурный вид данных. В наборе приложений  $A=(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k)$  хранятся программные приложения, в том числе готовые к продаже продукты, которые обеспечивают услуги, предоставляемые бизнес-системами. Набор технологий  $T=(t_1, t_2, t_3, \dots, t_w)$  хранит технологии (например, компьютерные платформы, серверы, базы данных, системы управления базами данных), а также компоненты, которые реализуют множество инфраструктурных сервисов (например, форматирование данных, управление корпоративной системой и т. д.). В наборе ограничений ресурса  $C=(c_1, c_2, c_3, \dots, c_h)$  хранится информация обо всех ограничениях на финансирование, доступных для построения АП, стандартах, которым должны соответствовать программные и аппаратные компоненты, руководящих указаниях по распределению ресурсов обработки по организационным, географическим, коммерческим и маркетинговым подразделениям организации: иерархия бизнес-правил и процедур управления, схема данных и связанные метаданные. Набор метрик  $M=(m_1, m_2, m_3, \dots, m_p)$  хранит все метрики, используемые для оценки АП на протяжении его жизненного цикла, включая анкеты, заданные для пользователей АП, шкалы измерений, формулы, используемые для агрегирования ценности и ценности отдельных компонентов архитектуры. За основу для выбора метрик взята методика Захмана, как наиболее универсальная модель [7]. Рассматривается архитектурное содержание трех верхних рядов в матрице Захмана. Предлагается набор показателей, позволяющих сравнивать различные сочетания таких компонент архитектурных представлений как: бизнес-процессы, бизнес-системы, данные, приложения и инфраструктура.

#### Информационная поддержка моделирования перспективной архитектуры предприятия

На основе проведенного анализа особенностей предприятий цифровой индустрии, существующих методологий описания архитектуры предприятий, построенных алгоритмов и моделей предложена технология построения перспективной архитектуры предприятия с учетом специфики производства и ИТ-стратегией предприятия. Данная технология включает несколько этапов:

1) Определение стратегических целей и построение стратегической карты. С помощью инструмента стратегического менеджмента «сбалансированная система показателей» (BSC, Balanced Scorecard) определяются или корректируются стратегические цели в соответствии с планом перехода предприятия к цифровой экономике. Отличительная особенность данного инструмента заключается в том, что он тесно связан с бизнес-процессами. Для описания стратегии развития предприятия моделируется стратегическая карта, представляющая собой набор стратегических целей и причинно-следственных связей между ними.

2) Выстраивание бизнес-процессов и построение архитектурного представления бизнес-процессов. Анализ деятельности бизнес-подразделений предприятия, а также подробное рассмотрение

циркулирующих в них бизнес-процессов позволит построить компоненты архитектурного представления бизнес-процессов. Стоит отметить, что изменение стратегических целей может повлечь за собой корректировку существующих бизнес-процессов. Как правило, предприятие цифровой индустрии может иметь сотни бизнес-процессов, которые уже внедрены или которые планируется оптимизировать. При этом каждый из них может включать в себя от 5 до 10 бизнес-процессов. Такие бизнес-процессы могут быть модернизированы и оптимизированы. Если принимается решение о создании новых бизнес-процессов, то некоторые протекающие на предприятии бизнес-процессы могут прекратить свое существование.

3) Создание иерархии бизнес-систем для информационной архитектуры предприятия. Бизнес-системы являются поставщиками услуг, которые применяются для выполнения действий, требуемых в бизнес-процессах. При этом для выполнения одного действия могут быть использованы услуги из нескольких бизнес-систем. Для того, чтобы адаптировать новую бизнес-организацию и успешно распределить по городам или регионам бизнес-группа, которая занимается созданием бизнес-систем, должна прийти к комплексному пониманию новой организации предприятия. С помощью специального опросника проводится бизнес-интервьюирование клиентов и владельцев предприятия. На основе полученных результатов разрабатываются модель взаимодействия предприятия с клиентами, информационная модель базы данных и другие модели (диаграммы) системы. Таким образом, на данном этапе определяется состав бизнес-систем и осуществляется их распределение в иерархическом дереве.

4) Выбор компонентов и обоснование окончательного архитектурного дизайна с учетом технических и стоимостных ограничений. На заключительном этапе в зависимости от результатов корректировки бизнес-процессов изменению подвержены и технологии. В свою очередь применение новых технологий ведет к процессу подбора новых приложений, способных преобразовать существующие данные и осуществлять обмен ими. Сложность данного процесса заключается в том, что существуют устаревшие подсистемы, выполняющие непрерывно ключевые функции. Такие подсистемы не могут быть оперативно отключены или заменены новыми компонентами архитектуры. Поэтому решения по выбору компонентов и окончательному архитектурному дизайну принимаются с учетом технических и стоимостных ограничений.

На основе предложенной технологии построения перспективной архитектуры предприятия разработан алгоритм работы подсистемы информационной поддержки моделирования перспективной архитектуры предприятия (рис. 1).

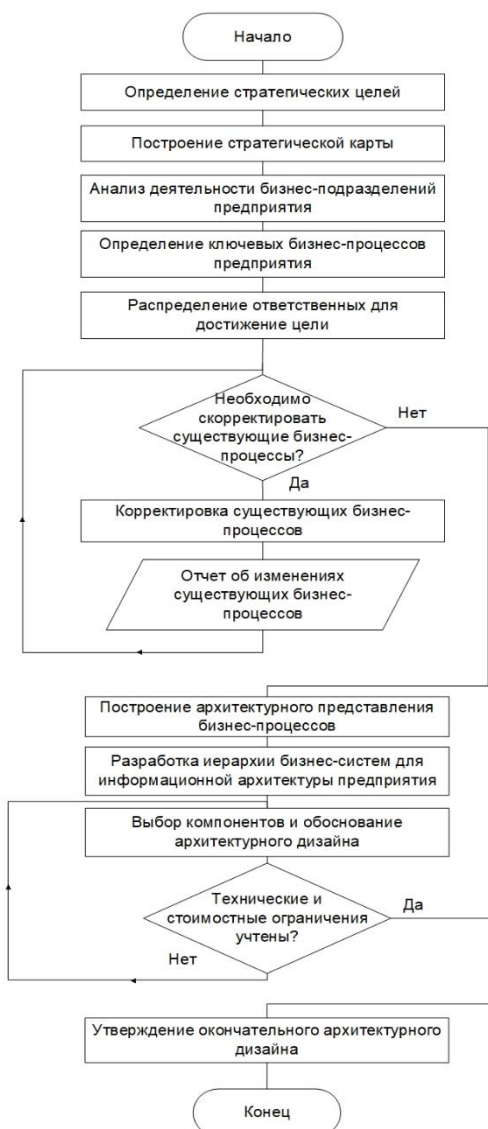


Рисунок 1 – Алгоритм работы подсистемы информационной поддержки моделирования перспективной архитектуры предприятия

Подсистема информационной поддержки моделирования перспективной архитектуры предприятия разрабатывается для следующих категорий пользователей: руководителей, архитекторов, бизнес-аналитиков, системных аналитиков, менеджеров и исполнителей процессов. Для руководителей предприятия подсистема предоставит инструменты для мониторинга внешней среды предприятия, что позволит принимать управленческие решения по изменению стратегии развития предприятия, а также выявлять и оперативно реагировать на потенциальные угрозы и изменения ситуации на рынке. Для менеджеров – инструменты для определения целей, стратегий и предложений по изменению бизнес-процессов. Для архитекторов – инструменты для определения бизнес-процессов, которые необходимо модернизировать или оптимизировать, а также интерфейс для назначения задач бизнес-аналитикам и системным аналитикам. Для бизнес-аналитиков, системных аналитиков исполнителей процессов – инструменты для модернизации бизнес-процессов.

Выбор стратегии развития предприятия осуществляется с помощью модулей, входящих в состав подсистемы информационной поддержки моделирования перспективной архитектуры предприятия: хранения и управления элементами архитектуры предприятия, хранения и управления критериями выбора архитектуры предприятия, создания перспективной архитектуры предприятия на базе реализации алгоритмов ее моделирования, формирования отчетности и выдачи рекомендаций.

На основании информации о предприятии, используемом программном обеспечении, а также технических и стоимостных ограничений осуществляется расчет необходимых суммы и программного обеспечения для моделирования перспективной АП. В результате, система формирует элементы архитектуры предприятия в области информационных технологий, рекомендации по модернизации

архитектуры приложений с учетом возможных ограничений, отчеты о результатах сопоставления различных конфигураций информационных технологий предприятия, а также рассчитывает комплексный показатель эффективности заданной АП.

#### Заключение

Основной идеей поддержки моделирования перспективной архитектуры предприятия цифровой индустрии является создание информационной базы, включающей все необходимые данные для проведения трансформации, использование разработанных методов поддержки принятия решений и технологии построения АП, опирающейся на метрики характеризующих компонентов для эффективного процесса перехода. Составной частью такой автоматизированной среды поддержки являются как сотрудники предприятия, так и поставщики, взаимодействие которых осуществляется с помощью современных телекоммуникационных средств. Применение подсистемы моделирования перспективной АП позволит предприятию эффективно трансформироваться в цифровую индустрию, приведут к сокращению длительности производственного цикла, повышению эффективности находящегося в эксплуатации технологического оборудования.

#### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Башкортостан в рамках научных проектов № 19-410-020018 "Разработка базовых принципов стратегического социально-экономического развития предприятий Республики Башкортостан на основе моделирования оптимальной архитектуры организаций цифровой экономики" и №20-08-00796 "Интеллектуальное управление промышленным комплексом как динамическим многоагентным объектом на основе методов когнитивного моделирования и машинного обучения".

#### Литература

1. Мартынов В.В., Шавалеева Д.Н., Дидык Т.Г. Переход к цифровому обществу и далее к Индустрии 5.0 и на базе существующих и перспективных технологий. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019. С.86-91.
2. Мартынов В.В., Филосова Е.И., Зайцева А.А. Проектирование информационной архитектуры вуза на основе методологии Захмана. Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XIX Международной научной конференции. Уфа, 2019. С. 294-297.
3. Постановление правительства РФ от 18 апреля 2016 года №317 «О реализации Национальной технологической инициативы». [Электронный ресурс] // URL: <http://government.ru/docs/22721/>.
4. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». [Электронный ресурс] // URL: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/>.
5. Мартынов В.В., Салимова А.И., Шавалеева Д.Н. Формальные основы процесса построения архитектуры предприятия. Вестник РГРТУ. 2019. №70, с. 52-64, doi (CrossRef): 10.21667/1995-4565-2019-70-52-64.
6. Мартынов В.В., Салимова А.И., Шавалеева Д.Н. «Формализация построения архитектуры предприятия на языке теории множеств». Материалы XVIII Международной научной конференции «Управление экономикой: методы, модели, технологии». 2018. С. 369-372.
7. Zachman J.A. Architectural Structure of Information Systems. IBM Systems Journal. Vol.26, №3b, 1987.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫМ СЕНСОРОМ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛМАЗА

Недосекин П.Г., Саргсян Г.А.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» НИУ ВШЭ, Департамент  
электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ  
Skfir@mail.ru, [Sargsyangr@gmail.com](mailto:Sargsyangr@gmail.com)

Аннотация — В работе проведено компьютерное моделирование в среде Geant 4, регистрации гамма излучения сенсором, состоящем из трех активных элементов на основе монокристаллического алмаза. Исследуется процесс взаимодействия гамма излучения с сенсором из алмаза при излучение источником излучения  $^{137}\text{Cs}$ . Получены результаты абсолютной эффективной скорости счета зарядового сигнала однослойного, двухслойного и трехслойного алмазного сенсора. Использование трехслойной

структуры алмазного сенсора, дает возможность повысить амплитуду выходного зарядового сигнала сенсора и значительно расширить динамический диапазон работы сенсора.

Ключевые слова: алмазный сенсор; космическое излучение; гамма излучение; космический аппарат; радиационная обстановка; линейная передача энергии; Geant4.

Simulation of the registration of gamma radiation by a three-layer sensor based on monocrystalline diamond. Nedosekin P., Sargsyan G. National Research University Higher School of Economics. Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics (NRU HSE). Moscow, Russia.

Abstract — In this work, a computer simulation in the Geant 4 environment was carried out, the registration of gamma radiation by a sensor consisting of three active elements based on single crystal diamond. The process of interaction of gamma radiation with a diamond sensor under radiation from a  $^{137}\text{Cs}$  radiation source is studied. The results of the absolute effective counting rate of the charge signal of a single-layer, two-layer, and three-layer diamond sensor are obtained. The use of a three-layer structure of a diamond sensor makes it possible to increase the amplitude of the output charge signal of the sensor and significantly expand the dynamic range of the sensor.

Keywords: diamond sensor; cosmic radiation; gamma radiation; spacecraft; radiation situation; linear power transmission; Geant4.

### Введение

Сенсоры радиационной обстановки, в настоящее время стали необходимой частью контроля работоспособности и управления объектов, систем с длительным сроком службы до 20 – 25 лет, где возможность замены комплектующих регистрирующей радиационный фон аппаратуры затруднен или не предусмотрен. Одно из актуальных направлений применения сенсоров для измерения радиационных потоков с длительным сроком службы, это применение для регистрации гамма фона на космических аппаратах. Сенсоры радиационной обстановки, производят непрерывный мониторинг окружающего пространства [1], при увеличении радиационного потока излучения, реагируют и дают управляющий электрический сигнал на включение радиационно-устойчивых режимов работы электронной аппаратуры.

Применение радиационных сенсоров в космической отрасли, сопряжено с трудностями использования и применения их в космическом пространстве длительное время. Сенсор регистрации радиационных потоков должен обладать высокой радиационной стойкостью, соответствующими габаритными размерами, работать в агрессивных условиях окружающего пространства, высоких перепадах температур и при этом запитываться от бортовой сети космического аппарата в 100В. Одним из материалов для сенсоров радиационного излучения является монокристалл алмаза. Радиационные сенсоры на базе алмаза, удовлетворяет требованиям применения в космическом пространстве и по некоторым свойствам превосходят другие полупроводниковые твердотельные радиационные сенсоры [2].

Космическое излучение состоит из множества радиационных поток, где объекты подвержены электронному, протонному, нейтронному, гамма излучению и др. Для оптимальной регистрации гамма излучения, радиационный сенсор из алмаза должен обеспечивать полный сбор заряда в своем объеме. Гамма излучение - энергия гамма квантов, проходя через объем рабочего вещества и взаимодействуя с ним, передает энергию неравновесным носителям заряда в алмазе и собираются электрическим полем на соответствующих электродах радиационного сенсора. В зависимости от толщины и плотности вещества, через которую пройдут гамма кванты, будет определяться, сколько энергии гамма квантов поглотится радиационным сенсор, тем лучше будет его абсолютная эффективность регистрации. В связи с этим, алмазные пластины из которых формируют конструкцию радиационного сенсора, необходимо подбирать по толщине, но чем больше толщина материала, тем больше увеличится напряжение питания для создания электрического поля на металлизированных контактах радиационного сенсора.

Исходя из условия применения радиационного сенсора в космических аппаратах, при ограничении электропитания, необходимо найти альтернативное решение, решению увеличения габаритных размеров радиационного сенсора и питающего его напряжения, без ущерба, с целью улучшения абсолютной счетной эффективности радиационного алмазного сенсора и оптимизации конструкции.

Одно из возможных решений, рассматривается в этой статье, используя многослойность построения структуры алмазного сенсора, с целью повысить его абсолютную счетную эффективности регистрации гамма излучения не изменяя питающее напряжение на самом радиационном сенсоре.

### Структура построения модели радиационного сенсора из алмаза для регистрации гамма излучения

Рассмотрим базовую модель радиационного сенсора на основе алмаза - это конденсатор с обкладками, которые наносятся на противоположные плоскости пластины алмаза, применяя магнетронное

осаждение в вакууме соответствующего металла на поверхность. На обкладках происходит формирование заряда, при ионизации радиационным излучением, рисунок 1.

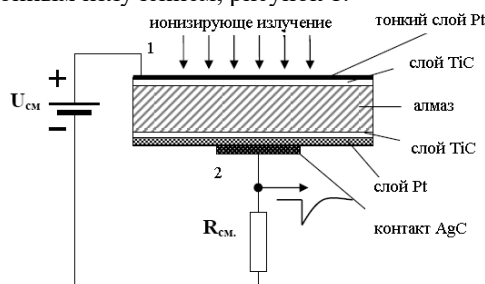


Рисунок 1 – Сенсор из алмаза для регистрации радиационного излучения

Оптимизация модели структуры базового радиационного алмазного сенсора, не меняя питающее напряжение на обкладках сенсора, с целью увеличения его объема, производится за счет последовательного добавления слоев (элементов). Элементы (Э) сенсора состоят из пластин монокристаллического алмаза с электрическими металлическими контактами, скрепленные между собой по центральной оси серебросодержащей пастой. Модель конструкции трехслойного сенсора отображена на рисунке 2, и состоит из трех собранных элементов Э1, Э2, Э3.

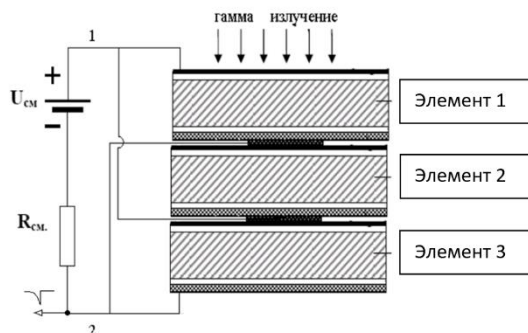


Рисунок 2 – Структура модели трехслойного радиационного сенсора из алмаза для регистрации гамма излучения

Каждый элемент сенсора состоит из пластины алмаза, на которую напыляются проводящие металлические контакты. Проводящий металлический слой на алмазе, представляет собой пленка Ti/Al толщиной 50/100 нм, полученная методом магнетронного осаждения в среде Ag, давление в вакуумной камере 10 мТорр. С каждого металлического слоя пластины выводится электрический контакт, золотым проводником. Крепление электрических контактов, преимущественно изготавливается ультразвуковой сваркой. Электрическое соединение сенсора, производится в соответствии с электрической схемой.

Анализ взаимодействия гамма излучения с радиационным алмазным сенсором

Проведем предварительный анализ трехслойного радиационного сенсора из алмаза, рассчитаем зависимость взаимодействия гамма квантов от толщины сенсора.

На радиационный алмазный сенсор толщиной  $L$ , толщина  $L$  зависит от толщины элемента (Э) сенсора и количества объединенных элементов между собой, воздействует коллимированный пучок гамма квантов, от источника излучения  $^{137}\text{Cs}$  с энергией гамма квантов 662 кэВ. Поток гамма квантов проходит сквозь объем радиационного сенсора и взаимодействует с ним по толщине передовая энергию от гамма-квантов неравновесных носителям заряда.

Эффективность работы радиационного сенсора из алмаза, определяться через абсолютную эффективность регистрации гамма-квантов объемом сенсора - количество гамма-квантов, зарегистрированных детектором  $N_{det}$ , к количеству гамма-квантов, испущенных источником излучения  $N_{ist}$  [3].

$$\mathcal{E}_{abs} = \frac{N_{det}}{N_{ist}}, \quad (1)$$

Длительность измерения устанавливается  $t = 3600$  секунд, в течение которого источник излучения будет испускать гамма-кванты в количестве равным:

$$N_{ist} = A \cdot t = 78600 \cdot 3600 = 2,8 \cdot 10^8 \quad (2)$$



Зарегистрированные сенсором гамма-кванты  $N_{ist0}$ , определяются из закона ослабления гамма-квантов по энергии  $^{137}\text{Cs}$ , где  $E_\gamma = 662$  кэВ энергия для алмаза.

$$N_{ist0} = N_{ist} \cdot e^{-(\mu \cdot \rho \cdot L)}, \quad (3)$$

Где  $N_{ist}$  - испущенные источником гамма-кванты;  $N_{ist0}$  - количество гамма-квантов, которые прошли через объем сенсора;  $\mu$  - массовый коэффициент ослабления в веществе, табличное значение для алмаза  $0,07 \text{ см}^2/\text{г}$ ;  $\rho$  – плотность алмаза  $3,52 \text{ г}/\text{см}^3$ ;  $L$ - толщина элемента сенсора, см.

Толщина  $L$ , одного элемента (Э) радиационного сенсора из алмаза равна  $0,03$  см, с последующей сборкой радиационных элементов сенсора в два (Э1Э2,  $L = 0,06$  см) и три слоя (Э1Э2Э3,  $L = 0,09$  см), в соответствии с рисунком 2. Найдем  $N_{ist}$  по формуле 3.

$$\text{Для Э1: } N_{ist0}(1) = 2,8 \cdot 10^8 \cdot e^{-(0,07 \cdot 3,52 \cdot 0,03)} = 2,779 \cdot 10^8 \quad (4)$$

$$\text{Для Э1Э2: } N_{ist0}(2) = 2,8 \cdot 10^8 \cdot e^{-(0,07 \cdot 3,52 \cdot 0,06)} = 2,759 \cdot 10^8 \quad (5)$$

$$\text{Для Э1Э2Э3: } N_{ist0}(3) = 2,8 \cdot 10^8 \cdot e^{-(0,07 \cdot 3,52 \cdot 0,09)} = 2,739 \cdot 10^8 \quad (6)$$

Тогда количество зарегистрированные сенсором гамма квантов будет:

$$N_{det} = N_{ist} - N_{ist0} \quad (7)$$

Для сенсора с одним элементом Э1:

$$N_{det}(1) = 2 \cdot 10^6, \text{ из формулы 1: } \varepsilon_{abs} = 0,7\% \quad (8)$$

Для сенсора из двух элементов Э1Э2:

$$N_{det}(2) = 4,2 \cdot 10^6, \varepsilon_{abs} = 1,5\% \quad (9)$$

Для сенсора из трех элементов Э1Э2Э3:

$$N_{det}(2) = 6,2 \cdot 10^6, \varepsilon_{abs} = 2,2\% \quad (10)$$

Результат расчета абсолютной эффективности радиационного сенсора из алмаза, состоящего из трех элементов, позволяет утверждать, что с увеличением толщины радиационного сенсора, абсолютная эффективность регистрации гамма-квантов увеличивается.

Моделирование регистрации гамма излучения радиационным алмазным сенсором

Разработанная модель радиационного трехслойного алмазного сенсора исследуется, с помощью среды компьютерного моделирование Geant 4 [4] и подключаемых в программе библиотек [5, 6], программа специализирована и разработана для моделирования взаимодействия радиационного излучения с исследуемым веществом и определения эффективности его применения для различных задач ядерной физики.

Определим данные модели для компьютерного моделирование в среде Geant 4. Толщина одного элемента (Э) радиационного элемента  $L = 0,03$  см. Общее число гамма-квантов, вылетевших из источника  $N_{ist} = 100000000$ . Источник излучения гамма-квантов устанавливаем точечный, изотропный, на расстоянии  $10$  мм от поверхности элемента радиационного сенсора. Источник излучения испускает только гамма-кванты с энергией  $E_\gamma = 662$  кэВ. В модели исследуются последовательно элемент радиационного сенсора Э1 и проводится моделирование с ним, потом элементами Э2 и Э3. Далее Элементы объединяются в конструкцию из двух элементов Э1Э2 и трех Э1Э2Э3, и проводится моделирование с заданными параметрами. В результате моделирование получаем данные указанные в таблице 1.

Таблица 2

Число импульсов в спектре				
Э1	Э2	Э3	Э1Э2	Э1Э2Э3
16531	17810	15015	33901	44499
Эффективность по интегралу, %				
0,017	0,018	0,015	0,034	0,044
Среднее значение эффективности в группе детекторов, %				
0,02			0,03	0,05
Число импульсов в пике				
2232	2656	1725	9381	13676
Эффективность по пику, %				
0,002	0,003	0,002	0,009	0,014
Среднее значение эффективности в группе детекторов, %				
0,002			0,008	0,015

Проведем второй эксперимент моделирования. Модель с источником излучения, установленным плоскопараллельно относительно элемента радиационного сенсора из алмаза, остальные параметры модели остаются не измененными. Полученные данные исследования указаны в таблице 2.

Таблица 3

Число импульсов в спектре				
Э1	Э2	Э3	Э1Э2	Э1Э2Э3
86910	91849	79007	178069	230881
Эффективность по интегралу, %				
0,87	0,92	0,79	1,78	2,31
Среднее значение эффективности в группе детекторов, %				
0,83		1,65		2,45
Число импульсов в пике				
11773	13465	8871	49377	71392
Эффективность по пику, %				
0,12	0,13	0,09	0,49	0,71
Среднее значение эффективности в группе детекторов, %				
0,10		0,44		0,78

В результате исследования модели радиационного сенсора из алмаза, построенного из одного (Э1), двух (Э1Э2) и трех (Э1Э2Э3) элементов, получен график спектра энерговыделения от количества гамма квантов про взаимодействующих гамма-квантов с объемом радиационного сенсора из алмаза на рисунке 3.

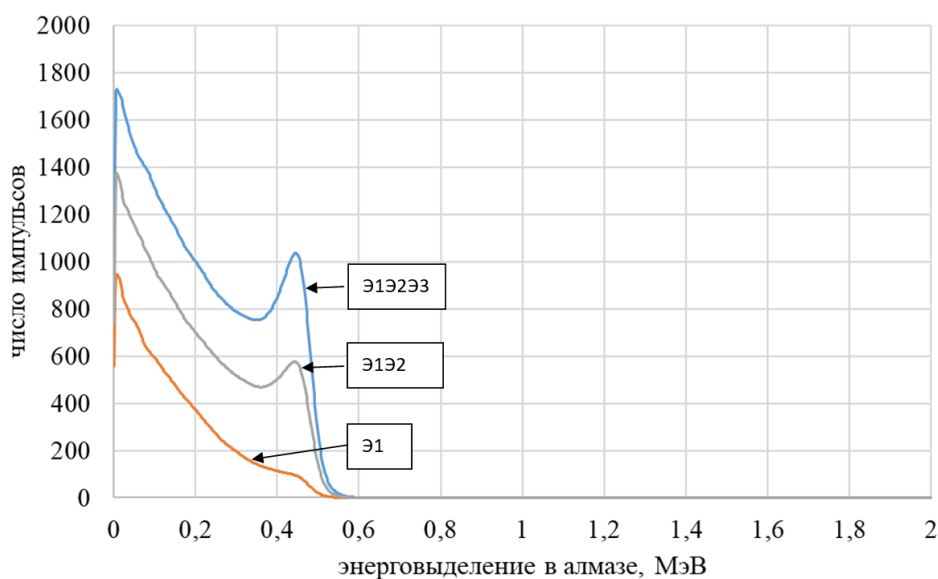


Рисунок 3 – Спектр энерговыделения радиационного сенсора из алмаза

Проведем анализ полученных данных исследования. В процессе моделирования, из полученных данных видно, что количество гамма квантов, передающих свою энергию в объем сенсора из алмаза увеличивается, за счет увеличения числа элементов из которого состоит алмазный сенсор, так как увеличивается эффективная толщина самого сенсора. С увеличением числа элементов радиационного сенсора, наблюдаем улучшения амплитуды работы и спектрометрических свойств радиационного сенсора, видно по увеличению пика на рисунке 3.

В таблице 3 занесены результаты расчета и моделирования, которые показывают закономерность увеличения производительности радиационного сенсора из алмаза от добавления количества рабочих элементов.

Таблица 4

Средняя абсолютная эффективность регистрации гамма-квантов	Радиационный сенсор из алмаза, один элемент Э1	Радиационный сенсор из алмаза, два элемента Э1Э2	Радиационный сенсор из алмаза, три элемента Э1Э2Э3
Расчетная модель	0,7	1,5	2,2

Модель с точечный, изотропный источником излучения	0,02	0,03	0,05
Модель с плоскопараллельно установленным источником излучения	0,83	1,65	2,45

#### Заключение

Расширяя диапазон работы радиационного сенсора из алмаза для регистрации гамма-квантов, за счет использования многослойную структуры из элементов, позволяет повысить диапазон регистрации гамма квантов, за счет увеличения полезного рабочего объема детектора при сохранении рабочего напряжения питания на детекторе. Напряжение питания детектора не изменяется, так питающее напряжение для радиационного сенсора приходит на каждый рабочий элемент сенсора параллельно в цепи.

Зарядовый сигнал трехслойного сенсора из алмаза, в исследуемых моделях, при съеме сигнала с трех элементов сенсора, больше, чем при съеме сигнала с одного или двух элементов сенсора. Применение трехслойной структуры позволяет расширить динамический диапазон регистрации гамма-квантов.

Результаты моделирования трехслойной структуры радиационного сенсора, показывают актуальность применения многослойных структур радиационного сенсора из алмаза. Радиационные сенсоры с числом слоев 3 и более с успехом могут применяться для регистрации высокоэнергетических ионизирующих излучений.

Проведенное моделирование и последующее исследование радиационного сенсора из алмаза для регистрации гамма-квантов, имеют реальную возможность применения многослойных алмазных структур для использования в качестве датчиков измерения гамма излучения и применение в космическом пространстве для измерения космических радиационных потоков излучения.

#### Литература

1. В.В. Кадилин, В.А. Колубин, С.А. Львов, П.Г. Недосекин, В.А. Идалов, Е.М. Тюрин, С.В. Колесников, В.Т. Самосадный. Перспективы применения алмазных детекторов для регистрации заряженных частиц космического излучения // Ядерная физика и инжиниринг. – 2014. – т. 5, №2. – С. 138–144.
2. С.Ф. Козлов. Алмазные детекторы ядерных излучений.//Алмаз в электронной технике. –М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с. : - ISBN 5 – 283 – 00676 – X .
3. Акимов Ю.К. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. // М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344 с. : - ISBN 5 – 283 – 02944 – 1.
4. Geant4 Software Installation [Электронный ресурс]. - URL: [http://geant4.web.cern.ch/geant4/collaboration/working\\_groups/softman/trainig/installation.pdf](http://geant4.web.cern.ch/geant4/collaboration/working_groups/softman/trainig/installation.pdf), - (10.08.2020).
5. Installation guide for Geant4 [Электронный ресурс]. - URL: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/Installat io nGuide/>, - (10.08.2020).
6. Germanium detector types [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.mirion.com/learning-center/radiation-detector-types/germanium-detector-types>, - (10.08.2020).

#### ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ МЕТОДА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Ершов И.А., Стукач О.В.\*, Мясникова Н.В.\*\*, Цыденжапов И.Б.\*\*\*, Сычев И.В.\*\*\*  
Новосибирский государственный технический университет, \* Высшая школа экономики, \*\*Пензенский государственный университет, \*\*\*ООО «КИПЛАЙН»  
+7 (952) 897-57-30, [ershov@corp.nstu.ru](mailto:ershov@corp.nstu.ru)

В данной статье представлен результат обработки данных с реального оптоволоконного датчика температуры методом экстремальной фильтрации. Приведено сравнение данного метода с фильтрацией на основе вейвлет-преобразования, методом EMD и обычным усреднением множества реализаций. Основным преимуществом экстремальной фильтрации является простой и понятный алгоритм, не требующий анализа сигнала для подбора параметров, как в случае с вейвлет-преобразованием. В отличие от метода EMD, в нём использованы только простые формулы, что значительно повышает быстродействие.

Ключевые слова: оптоволоконные датчики температуры, обработка данных, пространственное разрешение, рамановское рассеяние, фильтрация сигнала.

Increase of the spatial resolution by the extremal filtration method. Ershov I.A., Stukach O.V.\*, Myasnikova N.V.\*\*\*, Tsydenzhapov I.B.\*\*\*, Sychev I.V.\*\*\* Novosibirsk State Technical University, \*Higher School of Economics, \*\*Penza State University, \*\*\*KEEPLINE R&D.

This paper presents data processing from a real distributed temperature sensor by the extremal filtration method. This method was compared with filtering based on the wavelet transformation, the EMD method, and the ordinary averaging from many pulses. Relatively elementary calculations and simple algorithm is the main advantage of extremal filtration. Unlike wavelet transformation, you do not need to select parameters before using our method.

Keywords: fiber optical temperature sensor, data processing, DTS spatial resolution, Raman scattering, signal filtering.

### Введение

Оптоволоконные датчики температуры являются перспективным направлением развития средств измерений. Это связано с рядом неотъемлемых преимуществ по сравнению с классическими электронными датчиками, такими как малый вес и размер, устойчивость к электромагнитным помехам и недостижимо высокое для электронных датчиков пространственное разрешение. К примеру, оптоволоконные датчики температуры, основанные на комбинационном рассеянии света, позволяют измерять температуру по всей длине оптического волокна длиной до 30 км, при использовании многомодового волокна, и до 70 км, при использовании одномодового волокна [1]. Данный метод измерения основан на использовании импульсного лазера и анализа спектральных составляющих обратно-рассеянного света. При измерении температуры используется соотношение интенсивностей антистоксовой и стоксовой компонент [2], которое зависит от изменения температуры. Одной из основных проблем данной технологии является слабая интенсивность света, с которым приходится работать. Приходится использовать сложные системы обнаружения комбинационного рассеяния света, что приводит к значительному увеличению стоимости прибора [3]. Также с низкой интенсивностью света связан высокий уровень шума, который возникает на первых этапах измерения, а затем усиливается вместе с полезным сигналом до значений, которые можно измерить. Поэтому именно от эффективности метода обработки сигнала в значительной степени зависят основные характеристики оптоволоконного датчика температуры, такие как пространственное разрешение и погрешность измерения.

### Постановка проблемы

Измерения с использованием оптоволоконных датчиков связаны с обработкой сигналов, амплитуда шума которых может достигать амплитуды полезного сигнала. В связи с этим возникает проблема статистической идентификации сигнала, универсального решения которой на текущий момент нет. Зачастую используется простое усреднение множества реализаций. Данный метод является недостаточно эффективным за счёт необходимости использования большого количества реализаций, что негативно влияет на быстродействие датчика. Также метод можно модифицировать путём использования обычного полосового фильтра. Но это не приводит к значительному улучшению характеристик, поскольку данные фильтры не рассчитаны на работу с таким высоким уровнем шума. Пример сигнала, отражающего интенсивность антистоксовой компоненты в оптоволоконном датчике температуры по всей длине волокна, показан на рисунке 1.

Одним из популярных способов является использование вейвлет-преобразования для обработки сигнала. Довольно подробно данный метод описан в статье [4]. В ней приведен обзор литературы по использованию вейвлет-преобразования. Авторы используют дискретное вейвлет-преобразование для подавления шума, поскольку оно гораздо эффективнее шумоподавления на основе преобразования Фурье. В приведённой статье был использован вейвлет Добеши «db20». Вейвлеты данного семейства часто используют при подавлении шумов. Основным недостатком данного метода являются относительно сложные вычисления, которые могут негативно сказаться на быстродействии системы. Помимо этого необходимо подобрать оптимальные параметры преобразования и наилучший для конкретной ситуации вейвлет. Данные особенности могут стать препятствием для использования вейвлет-преобразования в решении разнообразных практических задач, особенно в нефтесервисе и мониторинге опасных производственных объектов [5].

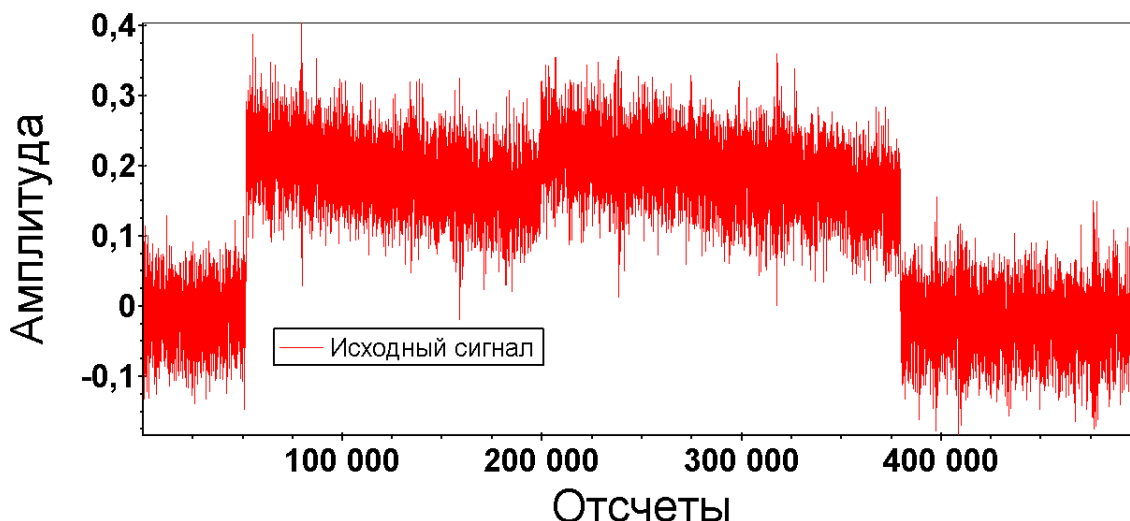


Рисунок 1 – Исходный сигнал

#### Экстремальная фильтрация

Метод экстремальной фильтрации аналогичен более известному методу разложения сигналов на эмпирические моды (Empirical Mode Decomposition). Стоит отметить, что метод EMD гораздо сложнее экстремальной фильтрации за счёт необходимости аппроксимации на основе сплайн-интерполяции огибающих. О методе экстремальной фильтрации, а также о её приложениях, рассказано в книге [6]. Экстремальная фильтрация основана на выделении высокочастотной знакопеременной составляющей  $x_{pi}$  путём центрирования относительно скользящего среднего  $x_{ci}$  по формулам (1) и (2) соответственно:

$$x_{pi} = -0,25x_{\varepsilon i-1} + 0,5x_{\varepsilon i} - 0,25x_{\varepsilon i+1} \quad (1)$$

$$x_{ci} = 0,25x_{\varepsilon i-1} + 0,5x_{\varepsilon i} + 0,25x_{\varepsilon i+1} \quad (2)$$

где  $x_{\varepsilon i}$  –  $i$ -й экстремум числового ряда.

В результате экстремальной фильтрации сигнал сглаживается за счёт удаления из него высокочастотной узкополосной составляющей (в дальнейшем ВЧС). Данная процедура выполняется несколько раз. На рисунке 2 показаны результаты экстремальной фильтрации при удалении пяти и восьми ВЧС, что достигается последовательным применением формулы (1) сначала к исходному сигналу  $x$ , а затем к сглаженным на предыдущем этапе составляющим  $x_{ci}$ . При приближении области резкого спада сигнала несложно заметить, что при удалении большого количества ВЧС значительно уменьшается пространственное разрешение из-за увеличения длительности переходного процесса. Однако при удалении малого количества ВЧС соотношение сигнал-шум недопустимо мало.

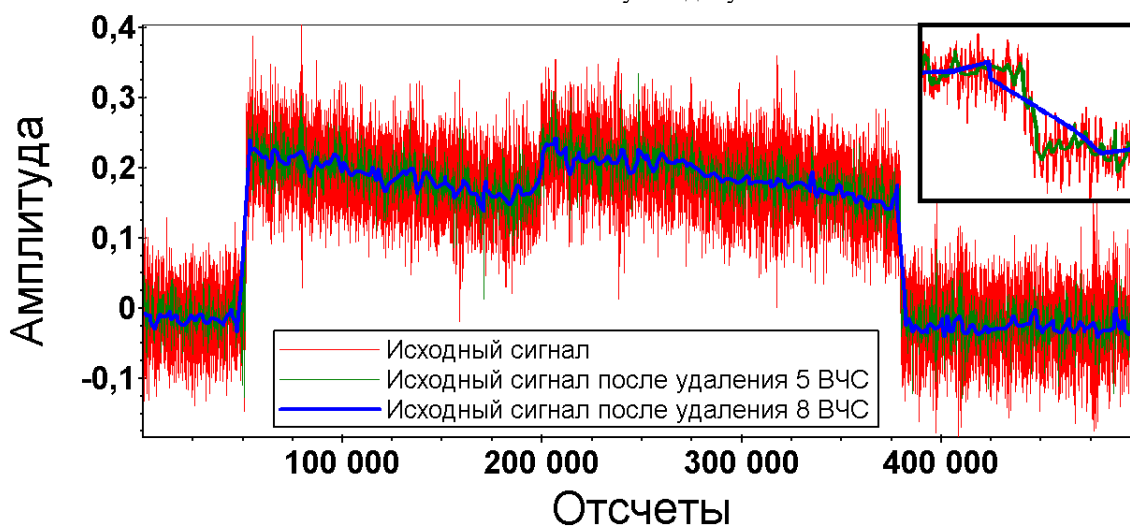


Рисунок 2 – Результаты экстремальной фильтрации

Для сохранения хорошего пространственного разрешения будем использовать сигнал с удалением пяти ВЧС. При этом увеличим количество используемых реализаций до 15. Каждая из этих реализаций будет отфильтрована, и затем найдено среднее арифметическое всех реализаций. Результат показан на рисунке 3.

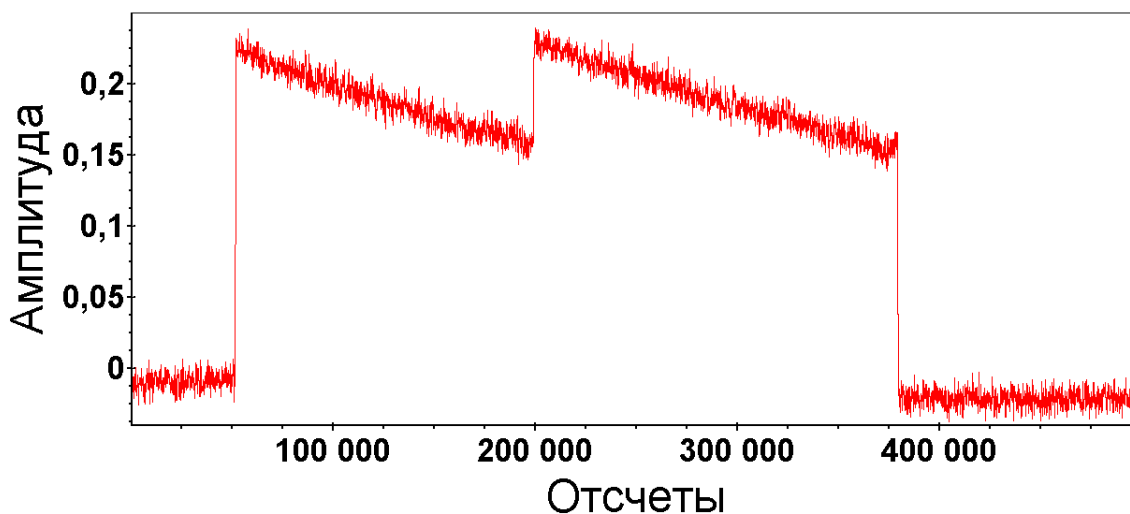


Рисунок 3 – Усреднение 15 сигналов после фильтрации

Для проверки эффективности метода сравним полученный результат с сигналом, полученным в результате усреднения 1024 реализаций. Как правило, усреднение такого большого количества реализаций приводит к достоверным результатам, поэтому примем этот сигнал за действительное значение для расчёта погрешности метода. График ошибки рассчитывался путём разности значений для графика, показанного на рисунке 3 и графика, полученного путём усреднения 1024 реализаций. В результате было получено, что на графике погрешности 0,987 % точек находятся в границах от  $-0,01$  до  $0,01$  (рис. 4). Стоит ещё раз отметить, что сбор большого количества реализаций значительно влияет на быстродействие прибора. При помощи экстремальной фильтрации удалось достичь аналогичных результатов, используя всего 15 реализаций. При этом не потребовалось использовать сложные алгоритмы расчёта.

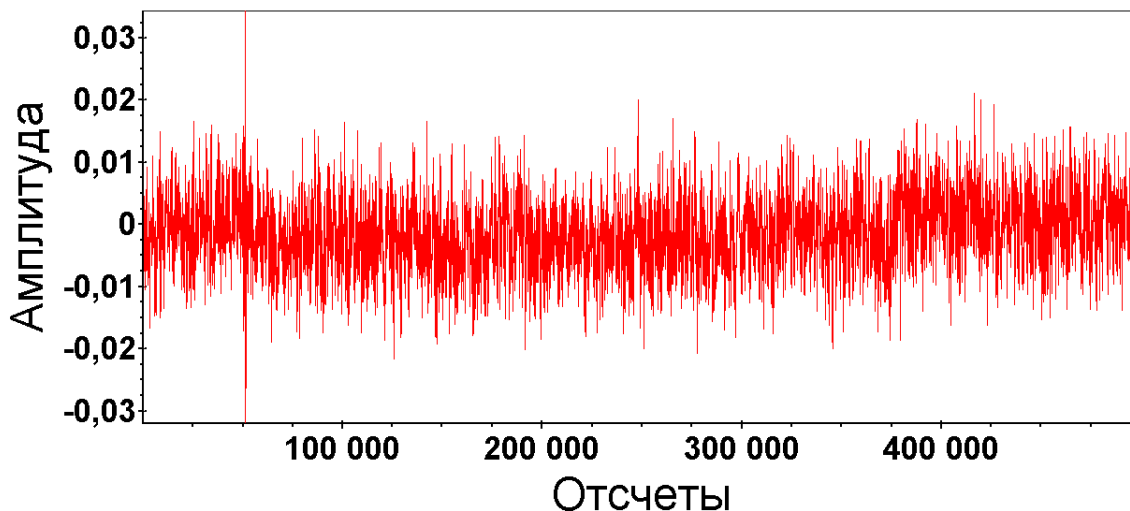


Рисунок 4 – Погрешность метода

#### Заключение

Экстремальная фильтрация имеет ряд преимуществ, по сравнению с другими методами идентификации сигнала. Одним из них является простота алгоритма. По сравнению с вейвлет-преобразованием, в котором требуется проводить анализ для поиска оптимальных параметров, экстремальная фильтрация применяется без предварительной настройки. В отличие от известного метода EMD, алгоритм экстремальной фильтрации не содержит сложных вычислений, что не только значительно

повышает быстродействие, но и позволяет использовать недорогие вычислительные устройства. В статье также показано, что значительным недостатком экстремальной фильтрации является уменьшение пространственного разрешения из-за уменьшения количества точек. Данная проблема решается увеличением количества используемых реализаций. Показано, что при использовании 15 реализаций удалось получить сигнал, аналогичный усреднению 1024 реализаций, что является хорошим результатом для практики.

#### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00321. Приобретение оборудования спонсировано Фондом содействия инновациям, конкурс "Коммерциализация-10".

#### Литература

1. Failleau G., Beaumont O., Razouk R., Delepine-Lesoille S., Landolt M., Courthial B., Henault J.M., Martinot F., Bertrand J., Hay B. A metrological comparison of Raman-distributed temperature sensors / *Measurement*. – 2018. – Vol. 116. – Pp. 18–24.
2. Стукач О.В., Сычев И.В. Обработка сигнала в распределенных оптоволоконных датчиках температуры на комбинационном рассеянии света: обзор новых результатов / *Радиотехника*. – 2018. – № 3. – С. 86–91.
3. Jin J., Zhang H., Guo Y., Song N. Modeling and Optimization of a Cost-Efficient Distributed Temperature Sensor Based on Temperature Sensitive Optical Fibers / *IEEE Sensors Journal*. – 2020. – Vol. 20. – No. 3. – Pp. 1306–1314.
4. Saxena M.K., Raju S.D.S.J., Arya R., Pachori R.B.m Ravindranath S.V.G., Kher S., Oak S.M. Raman optical fiber distributed temperature sensor using wavelet transform based simplified signal processing of Raman backscattered signals. / *Optics & Laser Technology*. – 2015. – № 65. – Pp. 14–24.
5. Stukach O., Mirmanov A., Ivanov Yu. Signal processing in the microwave front-end radiolink for logging-while-drilling through the borehole pipes / 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). – 14-16 March 2018, Moscow, Russia. Publisher:IEEE. ISBN: 978-1-5386-3498-1. DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337304.
6. Мясникова Н.В., Берестень М.П., Цыпин Б.В., Мясникова М.Г. Экспресс-анализ сигналов в инженерных задачах. / М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2016. – 184 с. – ISBN 978-5-9221-1688-6.

### МОДЕЛЬНО АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Ловцов Д.А.<sup>1,2</sup>, Гаврилов Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук,

<sup>2</sup> Российский государственный университет правосудия

Рассмотрен комплексный подход к построению информационно-эффективной автоматизированной оптико-электронной системы наземно-космического мониторинга (АОЭС НКМ). В качестве системного подхода к построению информационно эффективной АОЭС НКМ предложено применение проблемно-ориентированного варианта комплексного «информационно-кибернетически-дидактического» подхода, на основе которого возможна разработка совокупности методологических положений информационной теории АОЭС НКМ. Выделены основные задачи АОЭС НКМ, проведён анализ переработки визуальной информации в АОЭС НКМ, на основе которого выработаны общетехнические требования к информационно алгоритмическому обеспечению АОЭС НКМ. Результаты имеют теоретическое и практическое значение при решении задач обеспечения информационной эффективности в различных сферах деятельности, требующих переработки визуальной информации.

Ключевые слова: оптико-электронная система, переработка визуальной информации, эффективность.

Automated optical-electronic system efficiency control scientific problem decomposition. Lovtsov D.A., Gavrilov D.A., Lebedev Institute of Precise Mechanics and Computer Engineering, Russian Academy of Sciences

An approach to the construction of an information-efficient automated optoelectronic ground-space monitoring system (*AOES GSM*) is considered. As a conceptual approach to building an information-efficient *AOES GSM*, it is proposed to use a problem-oriented version of the integrated "information-cybernetical-didactic", on the basis of which it is possible to develop a set of methodological provisions of the information

theory of AOES NKM. The main tasks of *AOES GSM* are highlighted; an analysis of the processing of visual information in *AOES GSM* is carried out, based on which general technical requirements for information and algorithmic support of *AOES GSM* are developed. The results are of theoretical and practical importance in solving problems of ensuring information efficiency in various fields of activity that require processing of visual information.

Keywords: optoelectronic system, processing of visual information, efficiency.

#### Введение

Одной из центральных проблем в области автоматизированной обработки изображений, выполняемой в интересах оборонно-промышленного комплекса, является обеспечение высокой точности решения конкретных поставленных задач, устойчивых к различным оказывающим негативное влияние агрессивным факторам с четко обозначенным и исследованным диапазоном применимости. Отсутствие формализованного описания процедур автоматизированной переработки визуальной информации, недостаток априорных сведений часто вынуждают производить изучение оптико-электронных систем специального (военного) назначения в процессе их функционирования и находить решения на основе полученных знаний [1].

Существующие оптико-электронные системы наземно-космического мониторинга (НКМ), использующие в своей работе автоматизированные методы переработки информации (автоматизированные оптико-электронные системы – АОЭС) часто недостаточно эффективны в отношении точности и оперативности при решении вопросов переработки визуальной информации. Основной причиной недостаточной эффективности является отсутствие формально-логического аппарата теории детектирования, локализации и классификации, обеспечивающего как выработку обоснованных требований к информационно-техническому и программному обеспечению процессов переработки информации, так и количественную оценку их эффективности и качества.

Большинство известных методов решения задач НКМ предназначены для систем централизованной переработки информации и не обеспечивают учета большинства факторов неопределенности, неизбежно возникающих в сложных системах. Одним из путей повышения эффективности переработки информации в АОЭС НКМ является рациональное распределение частных задач переработки информации по основным подсистемам АОЭС НКМ. В основе решения информационных задач лежит разработка научно-методологических положений (НМП), формально-математического аппарата (ФМА) и основанном на них информационно-математическом обеспечении (ИМО) оперативной переработки визуальной информации, учитывающем особенности децентрализованной переработки информации. Состав специального ИМО определяется необходимостью наличия в нем комплекса эффективных алгоритмов, направленных на увеличение качества детектирования, локализации и классификации, уменьшения разрядности вычислений для их ускорения, эффективного использования разреженности данных, а также адаптация классических и нейросетевых алгоритмов для решения поставленных целевых задач [2, 3].

Объектом исследования является АОЭС НКМ, обеспечивающая оперативное решение задач переработки информации в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, на основе применения комплекса средств оптико-электронной техники

Целью работы является разработка модельно алгоритмического обеспечения задачи переработки информации в АОЭС НКМ и обоснование научно-теоретических положений для решения сложной задачи (проблемы) эффективной переработки визуальной информации в АОЭС НКМ.

#### Основные подходы к построению информационно эффективной АОЭС НКМ

В качестве комплексного подхода к построению информационно эффективной АОЭС НКМ возможно применение проблемно-ориентированного варианта комплексного «ИКД»-подхода («информационно-кибернетически-дидактического») [1], т.е. системного подхода с акцентированием внимания на его информационном, кибернетическом, синергетическом и дидактическом аспектах, состоящего в интеграции методологии информационного подхода (при котором объект рассматривается как целенаправленная информационная система), методологии кибернетического подхода (при котором объект рассматривается как система управления на уровне информационных процессов и алгоритмов функционирования информационной базы) с методологией дидактического подхода (при котором объект рассматривается как система способная к самообучению) в составе методологии системного подхода (при котором объект рассматривается как сложноорганизованная многоуровневая и многоаспектная система).

Интеграции информационного и дидактического аспектов системного подхода способствует формируемая на их основе общенаучная энтропийная концепция. В свою очередь интеграции информационного и кибернетического аспектов способствует целевая концепция, которая позволяет сформировать план прикладных исследований (рис. 1).





Рисунок 1 – Проблемно-ориентированный вариант комплексного «ИКД»-подхода к исследованию сложных систем

На основе данного проблемно-ориентированного варианта «ИКД»-подхода к исследованию сложных систем возможна разработка совокупности методологических положений информационной теории АОЭС НКМ, описывающей различные состояния оптико-электронных систем, возникающие в ходе их работы, и позволяющих обеспечивать необходимую точность, устойчивость, оперативность и живучесть детектирования, локализации и классификации объектов в автоматизированных оптико-электронных системах наземно-космического мониторинга (АОЭС НКМ), в том числе специального (военного) и двойного назначения (АОЭС СН), а также эффективное управление процессом обработки фото- и видеоизображений с учетом отраслевых особенностей. Таким образом, в основе информационной теории сложных АОЭС НКМ лежит объектно-ориентированная технология создания информационно-математического обеспечения и программно-аппаратных средств переработки визуальной информации. Использование «ИКД»-подхода позволит определить многообразие информационного обеспечения в области обнаружения, локализации и классификации объектов, формальной и математической логики, методов математического моделирования, аналитических и экспериментальных методов исследований, методов исследования и проектирования систем технического зрения, а также методов обработки фото- и видеоизображений, полученных в видимом и инфракрасном диапазонах спектра.

В качестве концептуально-логической модели архитектуры АОЭС аэрокосмического мониторинга можно использовать известную инвариантную функциональную структуру [1] (рис. 1), представленную в виде комплекса функциональных подсистем: измерения (P1), наблюдения (P2), идентификации (P3), принятия решений (P4), централизованной координации (P5), информационного обмена (P6) и информационной защиты (P7), необходимой при функционировании в условиях информационного соперничества и обеспечивающей необходимую защищенность переработки информации. На объект управления (P0) в момент времени  $t$  поступают различные входные воздействия: функциональные  $R(t)$ , внешние целевые  $X(t)$  и внешние координирующие  $X'(t)$ , на которые формируются соответствующие отклики  $Y(t)$ ,  $Y'(t)$  [1].

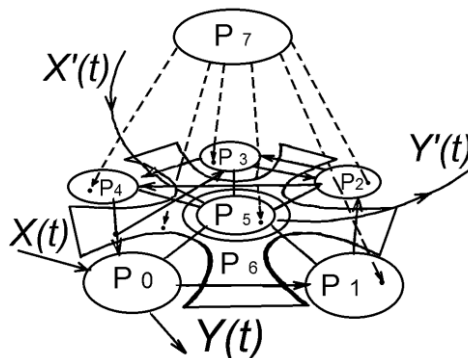


Рисунок 2 – Архитектура АОЭС

Анализ основной задачи переработки визуальной информации в АОЭС НКМ

Основные задачи АОЭС НКМ – детектирование, локализация и классификация объектов на фото- и видеоданных применительно к различным фоновым обстановкам. Основными наиболее значимыми показателями целевой эффективности АОЭС НКМ являются *точность*, характеризующая качество дешифрирования визуальной информации, и *оперативность*, характеризующая обеспечение необходимого быстрого действия в соответствии с поставленными целями и задачами. К показателям технологической (информационной) эффективности относятся: *имитостойкость*, характеризующая способность не допускать навязывания дезинформации в условиях информационного соперничества; *устойчивость*, определяющая способность сохранять состояние равновесия в условиях дестабилизирующих информационно-технических воздействий; *живучесть*, позволяющая выполнять установленный минимальный объем функций при подавляющих информационно-технических воздействиях; *добротность*, характеризующая информационную экономичность системы и определяющаяся как отношение общего количества информации различного вида, хранящейся и циркулирующей в системе, и количества информации, характеризующего затраты основных («работающих») видов системных ресурсов [4].

Проведем концептуальный анализ задачи переработки информации в АОЭС НКМ (рис. 3).

На вход в АОЭС НКМ для переработки поступает информационный оптический поток. Поток визуальной информации включает различные параметры, которые характеризуют свойства содержащихся в нем объектов интереса. Параметры объектов интереса составляют формализованные и неформализованные образы. При этом формализованными образами каждого объекта интереса являются множество формализованных описаний объекта, которые позволяют отобразить семантические связи между смысловыми элементами объекта, и множество проверок, осуществляемых АОЭС НКМ при решении задачи анализа. Неформализованные образы объекта включают множество знаний об объекте, которыми АОЭС НКМ располагает изначально, а также может дополнительно пополнять в процессе работы, и множество вопросов, которые могут быть сформулированы во время принятия решения.

Решение каждой определенной задачи переработки входной визуальной информации требует собственного набора параметров. Различные комбинации параметров позволяют обеспечивать постановку и решение задач различного уровня и сложности [5, 6]. Процесс переработки включает два последовательных этапа. *Первый этап* включает наблюдение за состояниями объекта интереса и соответствующими им функциональным состояниям АОЭС НКМ. *На втором этапе* обеспечивается формализация технического состояния системы. В результате формируется информационная модель эффективного решения поставленной задачи.

Поиск оптимального решения осуществляется на основе использования системного подхода, основанного на декомпозиции основной глобальной задачи на иерархическую совокупность частных задач меньшей сложности. Рациональное решение основной задач обеспечивается возможностью вариативности частных решений [7].

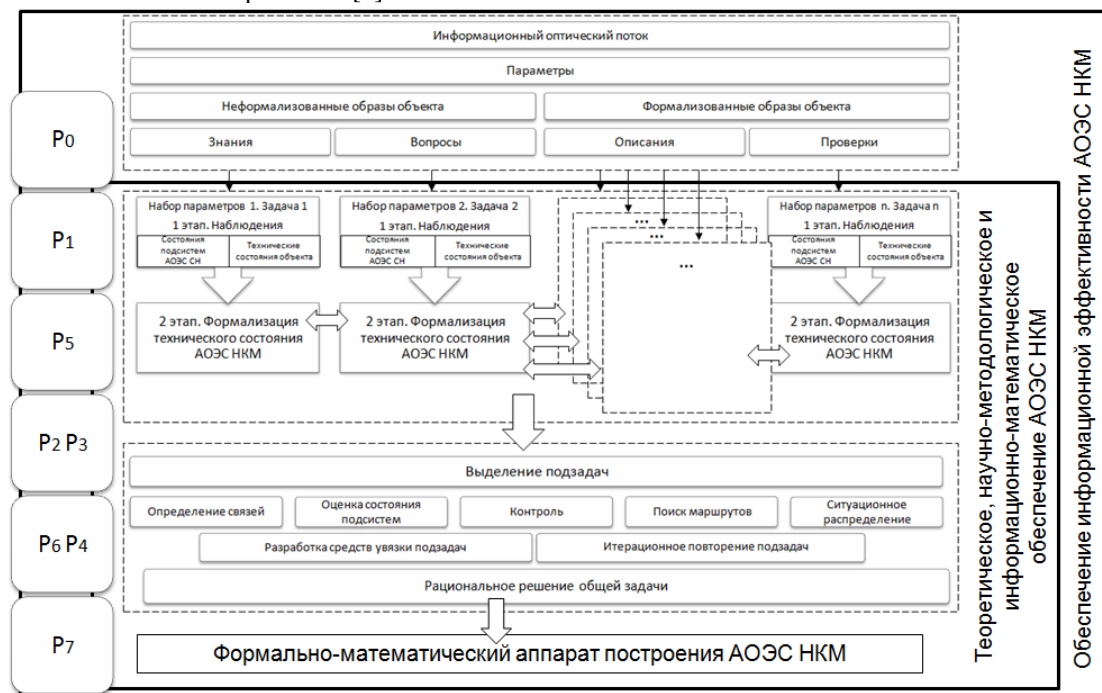


Рисунок 3 – Информационно-математическая структура АОЭС НКМ

Устранение недостатков осуществляется с помощью оптимизации, предполагающей

модификацию и адаптацию существующих методов для решения целевых задач. Разработка формального описания функционирования автоматизированной оптико-электронной системы позволяет представить существующие процессы изменения параметров системы и определить механизмы и способы достижения заданных качественных показателей.

#### Основные общетехнические требования к информационно алгоритмическому обеспечению АОЭС НКМ

На основе анализа задач и процессов переработки информации, требований к результатам, а также исходя из требования максимизации эффективности системы, вырабатываются общетехнические требования (ОТТ) к информационно алгоритмическому обеспечению (ИМО) АОЭС НКМ, которыми являются *точность*, характеризующая качество дешифрирования визуальной информации, и *оперативность*, характеризующая обеспечение необходимого быстродействия своевременно в соответствии с поставленными целями и задачами.

Дополнительными ОТТ к ИМО АОЭС НКМ являются *имитостойкость*, характеризующая способность не допускать навязывания дезинформации в условиях информационного противоборства, *устойчивость*, характеризующая способность сохранять состояние равновесия в условиях дестабилизирующих воздействий, *живучесть*, характеризующая способность выполнять установленный минимальный объем функций при подавляющих внешних воздействиях, *добротность*, характеризующая возможность функционирования в условиях отказов.

Логическая последовательность разработки объектно-ориентированной технологии создания программно-аппаратных средств переработки визуальной информации, основанной информационно-математическом обеспечении многоуровневой АОЭС НКМ, должна содержать разработку на формально-математического аппарата (ФМА) и совокупности научно-методических положений к построению АОЭС НКМ и включать следующие основные этапы:

Методология системного подхода включает этапы 1 и 2:

*Этап 1.* Системный анализ научно-технического уровня АОЭС НКМ, определение основных тенденций и направлений развития современных методов переработки визуальной информации, построенных на основе классических и нейросетевых подходов, разработка продуктивной классификации методов переработки изображений, определение основных технических проблем переработки визуальной информации и характеристик оптических систем формирования изображения, распределение задач по функциональным подсистемам в соответствии с архитектурой АОЭС НКМ, описание технологических процессов переработки визуальной информации, анализ и постановка научной проблемы, декомпозиция целей переработки информации [8].

*Этап 2.* Разработка методологических вопросов информационной теории АОЭС НКМ на основе проблемно-ориентированного комплексного «ИКД» подхода, учитывающего физическую природу АОЭС НКМ, в том числе отображение многоуровневой АОЭС НКМ на базовой концептуально-логической модели эргасистемы, учитывающее распределение основных функциональных задач по подсистемам АОЭС НКМ и уровням иерархии слоев принятия решений, разработка общей методики решения сложной задачи функционирования АОЭС НКМ, использующей новую эффективную объектно-ориентированную технологию переработки визуальной информации в АОЭС НКМ в режиме реального времени с требуемым качеством.

Методология дидактического подхода включает этапы 3 и 4:

*Этап 3.* Разработка теоретических вопросов синтеза и оптимизации информационных процессов АОЭС НКМ, реализуемых в ходе ситуационного планирования в условиях информационного противоборства, обеспечивающие обоснование параметров АОЭС НКМ, требуемых для качественной переработки информации, и оперативной выработки организационно-технических решений в процессе целевого функционирования АОЭС НКМ, включая начальный этап функционирования, в том числе: разработка ФМА процесса стабилизации визуального информационного потока в АОЭС НКМ, синтез адекватных информационных критериев оценки эффективности в части стабилизации визуальной информации в режиме реального времени, учитывающих оперативность, определяемую оценкой движения камеры и средним временем совмещения кадров, и устойчивость, определяемую диапазоном рабочих значений устойчивости и максимальным значением параметров искажений;

*Этап 4.* Разработка теоретических положений синтеза и оптимизации неоднородной проблемно-ориентированной внутримашинной информационной базы АОЭС НКМ, предназначенной для создания прикладной интеллектуальной человеко-машинной АОЭС НКМ, обеспечивающие повышение информационной эффективности в условиях информационного противоборства, в том числе: разработка ФМА процесса обучения нейронных сетей, учитывающий влияние вида функции потерь на скорость и стабильность обучения, позволяющий формализовать представление знаний о процессах функционирования АОЭС НКМ и интегрировать массивы контрольно измерительной информации о текущей оперативной обстановке с помощью информационно-математических моделей предметной

области, учитывающих основные свойства наиболее характерных процессов АОЭС НКМ, и автоматизировать процесс обучения нейросетей, формализация процедур детектирования, локализации и классификации объектов, обеспечивающая, масштабирование возможности практического применения полученных решений для систем обработки визуальной информации различного назначения.

Методология кибернетического подхода включает этап 5.

*Этап 5.* Разработка методов и алгоритмов решения информационных задач оперативной переработки визуальной информации полученной непосредственно от объекта и необходимой для принятия дальнейших решений, а также составления прогнозов и оперативного планирования тактики поведения в условиях информационного соперничества для обеспечения повышения информационной эффективности АОЭК НКМ, в том числе: разработка комплекса эффективных алгоритмов автоматического детектирования и локализации объектов интереса из состава ИМО оперативной переработки визуальной информации с высокой степенью достоверности непосредственно на борту АОЭС НКМ, обеспечивающих обработку визуальной информации, полученной непосредственно от объекта и необходимой для принятия дальнейших решений, а также составления прогнозов и оперативного планирования тактики поведения в условиях информационного соперничества, предметные логико-математические модификации классических методов переработки изображений, позволяющих минимизировать вычислительные ресурсы и ускорить выполнение необходимых расчетов, для обеспечения переработки информации в режиме реального времени и повышения информационной эффективности АОЭС НКМ в условиях информационного противоборства.

Методология информационного подхода включает этап 6

*Этап 6.* Разработка методов и алгоритмов оценки информационной эффективности и качества многоуровневой АОЭС НКМ, оптимизация оценки информационной эффективности и качества, разработка математических методов функционального диагностирования многоуровневой АОЭС НКМ.

На этапе 7 осуществляется экспериментальный анализ разработанного ИМО.

*Этап 7.* Разработка организационно-методического обеспечения внедрения и проверки полученных результатов, практическая реализация разработанных многоуровневых решений в реальных АОЭС НКМ [9].

#### Заключение

Представленное модельно-алгоритмическое обеспечение задачи переработки информации в автоматизированных оптико-электронных системах наземно-космического мониторинга обеспечивает целостность подхода к автоматизированной переработке визуальной информации, основанного на рациональном распределении частных задач переработки информации по основным подсистемам АОЭС НКМ. Предложенный проблемно-ориентированный вариант комплексного «ИКД»-подхода позволяет обоснованно сформировать методологические положения информационной теории АОЭС НКМ и выявить логическую последовательность основных этапов разработки формально-математического аппарата АОЭС НКМ, а также методологию разработки и логической организации модульно-алгоритмического обеспечения эффективной АОЭС НКМ в условиях информационного противоборства, учитывающую особенности и основные принципы переработки визуальной информации при выборе методов и средств для достижения наивысшей информационной эффективности переработки содержательной визуальной информации, поступающей на вход АОЭС НКМ в виде информационного потока, с учетом информационно-целевых и информационно-технологических показателей.

#### Литература

1. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. М.:Наука, 2005. – 248 с.
2. Гаврилов Д.А. Павлов А.В., Щелкунов Д.Н. Аппаратная реализация сжатия динамического диапазона цифровых изображений на ПЛИС Xilinx // Журнал радиоэлектроники. – 2018. № 10. –С. 16.
3. Гаврилов Д.А., Павлов А.В. Поточная аппаратная реализация алгоритма SURF // Известия ВУЗов. Электроника. – 2018. – Т. 23. – № 5. – С. 502 – 511.
4. Ловцов Д.А., Гаврилов Д.А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов: Монография. – М.: «Технолоджи-3000», 2019. – 164 с.
5. Гаврилов Д.А. Нейросетевой алгоритм автоматического обнаружения и сопровождения объекта интереса в видеосигнале // 16-я Национ. конф. по искусств. интеллекту. – 2018. – С. 188 – 190.
6. Гаврилов Д.А., Щелкунов Н.Н. Программное обеспечение разметки крупноформатных аэрокосмических изображений и подготовки обучающих выборок // Научное приборостроение. – СПб.: ИАП РАН, 2020. – Т. 30. – № 2. – С. 67-75.
7. Ловцов Д.А., Панюков И.И. Информационная технология автоматизированного планирования определения навигационных параметров объектов ракетной техники // Автоматика и телемеханика. – 1995. –№ 12. – С. 32-46.
8. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Декомпозиция научной проблемы обеспечения эффективности автоматизированных оптико-электронных систем // Тр. Междунар. науч.-прак. конф. «Инновационные,

информационные и коммуникационные технологии – ИНФО-19» (1 – 10 октября 2019 г.). – Сочи: ВШЭ, 2019. – С. 279 – 284.

9. Ловцов Д.А., Гаврилов Д.А. Эффективная автоматизированная опико-электронная система аэрокосмического мониторинга // Правовая информатика. – М: ФБУ НЦПИ, 2019. – № 2. – С. 29 – 35.

## ИНТЕГРАЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКТА

Фам Ван Ты

МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация: Предложена методология интеграции развертывания функции качества (РФК) и функционально-стоимостного анализа (ФСА), способствующая повышению качества продукции. В статье описана концептуальная модель интеграции этих двух методов и процесс принятия решений. Приведен пример проектирования автомобиля на основе предложенной модели.

Ключевые слова: интеграция, модель интеграции, развертывание функции качества, РФК, функционально-стоимостный анализ, ФСА.

Integration of quality function deployment and functional cost analysis at the stage of product design.  
Pham Van Tu, MIREA – Russian Technological University, Moscow

A methodology for the integration of the deployment of the quality function (RFK) and the functional cost analysis (FSA), which contributes to the improvement of product quality, is proposed. This article describes a conceptual model for integrating these two methods and the decision-making process. An example of designing a car based on the proposed model is given.

Keywords: integration, integration model, Quality function deployment (QFD), functional cost analysis (FCA).

### Введение

Важное место в процессе создания продукта занимает этап проектирования [5,6]. На этапе проектирования, значительный объем информации собирается и анализируется для поддержки процесса принятия решений, который приводит к технологической подготовке производства [7]. Развертывание функции качества (РФК) и Функционально-стоимостного анализа (ФСА) являются двумя важными фазами в цикле проектирования продукта. РФК определяет требования потребителя на начальном этапе разработки продукта [1]. Это ориентированный на клиента подход, позволяющий преобразовать требования потребителя в технические характеристики. ФСА - это метод технико-экономического инженерного анализа [4], управления затратами в сферах проектирования, производства и эксплуатации объекта при сохранении (и повышении) его качества [3], который позволяет группе планирования сосредоточиться на требованиях клиентов и характеристиках продуктов. Интеграция РФК и ФСА в проектирование продукта позволяет улучшить характеристики продукции и ее качество. Принимая во внимание, что ФСА помогает в поиске альтернативного решения для снижения затрат на единицу полезного эффекта [3], обеспечения наилучших характеристик продукта и обеспечения наиболее оптимальной замены его составляющей, не жертвуя качеством и характеристиками продукта. В этой статье предложен комплексный подход к реализации РФК и ФСА на этапе проектирования продукта, а также описана структура модели интеграции РФК и ФСА. Модель, по сути, оптимизирует удовлетворенность клиентов с учетом затрат.

### 1. Развертывание функции качества (РФК)

Развертывание функции качества - это подход, обеспечивающий интерпретацию требований потребителя (ТП) в надлежащие инженерные характеристики (ТХ) для каждого этапа разработки и производства продукта [1,2]. Первоначально РФК было предложено путем сбора и анализа опросов клиентов с целью разработки продуктов более высокого качества для удовлетворения потребностей клиентов. Основными функциями РФК являются разработка продуктов, управление качеством и анализ потребностей клиентов. Позже, функция РФК была расширена до более широких областей, таких как планирование, проектирование, принятие решений и т.д.

Метод QFD используется на всех четырех основных этапах создания продукции: планирования, проектирования, процесса и производства. На первом этапе РФК (матрица планирования продукта) требования и потребности клиента сравниваются с техническими требованиями к продукту, и результаты этого сравнения переходят на второй этап (матрица проектирования продукта). На втором этапе соответствующие весовые коэффициенты получают путем сравнения качественных характеристик и свойств компонентов, и они рассматриваются как фактор важности на третьем этапе (матрица

планирования проекта). Наконец, на четвертом этапе создается независимая матрица (матрица планирования управления процессом); он умножает такие критерии, как контроль твердости, частоты ожидаемых проблем, серьезности и способности распознавать по степени важности, чтобы получить меры для планирования, проектирования и производства [8].

## 2. Функционально-стоимостный анализ (ФСА)

Функционально-стоимостный анализ - это специализированная и экономическая стратегия, которая изучает наиболее эффективный метод для достижения фундаментального потенциала с наименьшими затратами. Основной идеей Value Engineering является повышение ценности продукта путем анализа функций продукта или услуги, определения их ценности и обеспечения необходимых функций для достижения требуемой производительности [3,4]. ФСА обычно применяется при анализе и проектировании продукта. Акцент ФСА на достижении требуемых функций с наименьшими затратами отделяет его от методологий бережливого производства и шести сигма. ФСА сводит к минимуму потери материалов, времени и затрат на продукт при одновременном достижении требований заказчика. Формула вычисления значения:  $V = З/ПС \rightarrow \min$ , где З - затраты на достижение необходимых свойств; ПС - совокупность потребительских свойства объекта [9]. Если  $V = 1$ , это предполагает, что стоимость соответствует функции, это безупречное обстоятельство. В случае, если  $V < 1$ , что рекомендует стоимость функции, является низким или емкостью функции свойства объекта переполнена, иногда это связано с высокой стоимостью других компонентов. С другой стороны, если  $V > 1$ , это рекомендует, что стоимость находится на высокой стороне, или емкость функции свойства объекта недостаточна.

Результатом ФСА, как важного инструмента мониторинга и управления качеством продукции, должно стать снижение затрат на единицу полезного эффекта, что достигается:

- снижение затрат при одновременном улучшении потребительских свойств продукции;
- улучшение качества продукции при сохранении уровня затрат;
- снижение затрат при сохранении уровня качества;
- снижение затрат при разумном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня.

## 3. Концепция интеграции

Основной целью ФСА является снижение эксплуатационных расходов в принципе и процессе поддержки организации, в то время как РФК концентрируется на потребностях и потребностях клиента и пытается реализовать прогресс в проектировании продукта таким образом, чтобы добиться большей удовлетворенности клиента. Интеграция этих двух функционально-ориентированных технологий в процесс принятия решений на этапе проектирования продукта может привести к разработке нового продукта не только более высокого качества, но и снизить затраты на производство.

Как было упомянуто в начале этой статьи, РФК стремится повысить удовлетворенность клиентов и, следовательно, увеличить продажи, чтобы иметь большую прибыль. Основной целью включения методов РФК и ФСА в проектирование продукта/услуги или производственного процесса является выбор подходящих альтернатив, которые, в то же время, приводят к увеличению ценности для клиентов, не увеличивают стоимость продукта/услуги. Другими словами, благодаря повышению затрат, достигается удовлетворение клиентов. Вывод из этого заключается в том, что процесс планирования продукта/услуги, основанный на принципах РФК, начинается таким образом, то есть потребности и требования клиентов принимаются во внимание. Определены характеристики продукта/услуги, связанные с этими потребностями. Определены решения (альтернативы), способствующие материализации этих потребностей. Затем, используя технику ФСА, выбираются решения (альтернативы), которые имеют более высокий индекс ценности для клиентов.

Выходные данные из первой фазы РФК вводятся во вторую фазу РФК. Данные включают определение требования потребителя и технических свойств продукта. Затем в матрице отношений дома качества, при участии ФСА, инженерные характеристики ( $IX_k$ ) делятся на несколько уровней ( $j_k$ ) с удовлетворением клиента ( $\sigma_i^{j_k}$ ) и соответствующими затратами ( $z_k^{j_k}$ ). затем создайте общую математическую модель для определения суммы затрат ( $C3$ ) изготовления нового продукта с уровнями различными техническими характеристиками. Если  $C3$  удовлетворяет ожидаемую стоимость компании ( $C3 < \text{целевых затрат}$ ), то мы переходим к следующему шагу, который заключается в анализе удовлетворенности потребителей и важности функциональности продукта для определения решаемой модели результаты и переходим к третьей фазе РФК (проектирование процесса), иначе нам нужно вернуться к шагу определения суммы затраты для нового продукта.

		$\varepsilon_1^k$				$\varepsilon_1^n$				$\varepsilon_k^n$			
$ИХ_k$		$k=1$				$k$				$k=n$			
$ТП_i$		$c_1^{t_1}$	$e_1^{t_1}$	$u_1^{t_1}$	$z_1^{t_1}$	$c_k^{t_k}$	$e_k^{t_k}$	$u_k^{t_k}$	$z_k^{t_k}$	$c_n^{t_n}$	$e_n^{t_n}$	$u_n^{t_n}$	$z_n^{t_n}$
$i=1$	$\omega_1$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		$c_1^2$	$e_1^{12}$	$u_1^2$	$z_1^2$	$c_k^2$	$e_k^{k2}$	$u_k^2$	$z_k^2$	$c_n^2$	$e_n^{n2}$	$u_n^2$	$z_n^2$
		$c_1^1$	$e_1^{11}$	$u_1^1$	$z_1^1$	$c_k^1$	$e_k^{k1}$	$u_k^1$	$z_k^1$	$c_n^1$	$e_n^{n1}$	$u_n^1$	$z_n^1$
$i$	$\omega_i$	$c_1^{t_1}$	$e_1^{t_1}$	$u_1^{t_1}$	$z_1^{t_1}$	$c_k^{t_k}$	$e_k^{t_k}$	$u_k^{t_k}$	$z_k^{t_k}$	$c_n^{t_n}$	$e_n^{t_n}$	$u_n^{t_n}$	$z_n^{t_n}$
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		$c_1^2$	$e_1^{12}$	$u_1^2$	$z_1^2$	$c_k^2$	$e_k^{k2}$	$u_k^2$	$z_k^2$	$c_n^2$	$e_n^{n2}$	$u_n^2$	$z_n^2$
$i=m$	$\omega_m$	$c_1^{t_1}$	$e_1^{t_1}$	$u_1^{t_1}$	$z_1^{t_1}$	$c_k^{t_k}$	$e_k^{t_k}$	$u_k^{t_k}$	$z_k^{t_k}$	$c_n^{t_n}$	$e_n^{t_n}$	$u_n^{t_n}$	$z_n^{t_n}$
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		$c_1^2$	$e_1^{12}$	$u_1^2$	$z_1^2$	$c_k^2$	$e_k^{k2}$	$u_k^2$	$z_k^2$	$c_n^2$	$e_n^{n2}$	$u_n^2$	$z_n^2$
		$c_1^1$	$e_1^{11}$	$u_1^1$	$z_1^1$	$c_k^1$	$e_k^{k1}$	$u_k^1$	$z_k^1$	$c_n^1$	$e_n^{n1}$	$u_n^1$	$z_n^1$
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		$c_1^2$	$e_1^{12}$	$u_1^2$	$z_1^2$	$c_k^2$	$e_k^{k2}$	$u_k^2$	$z_k^2$	$c_n^2$	$e_n^{n2}$	$u_n^2$	$z_n^2$
Абсолютная важность $ИХ_k$		$AB_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{t_1} \omega_i \cdot e_i^{j1} \cdot u_i^{j1}$				$AB_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{t_k} \omega_i \cdot e_i^{jk} \cdot u_i^{jk}$				$AB_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{t_n} \omega_i \cdot e_i^{jn} \cdot u_i^{jn}$			
		$OB_1 = \frac{AB_1}{\sum_{k=1}^n AB_k}$				$OB_k = \frac{AB_k}{\sum_{k=1}^n AB_k}$				$OB_n = \frac{AB_n}{\sum_{k=1}^n AB_k}$			
		$Z_1 = \sum_{j=1}^{t_1} u_1^{j1} z_1^{j1}$				$Z_k = \sum_{j=1}^{t_k} u_k^{jk} z_k^{jk}$				$Z_n = \sum_{j=1}^{t_n} u_n^{jn} z_n^{jn}$			
Сумма Затрат ( $CZ$ )		$CZ = \sum_{k=1}^n Z_k, CZ \leq \text{Целевых затрат.}$											

Рисунок 1 – Дом качества интеграции РФК и ФСА

Из Рис. 1 видно, что первый столбец матрицы ( $ИХ_1$ ) разделен на  $t_1$  уровня, а именно  $c_1^1, c_1^2, \dots, c_1^{t_1}$ , с использованием ФСА. Следовательно, для столбца  $ИХ_k$  это разбиение приводит к  $j_k$  уровням ( $c_k^1, c_k^2, \dots, c_k^{t_k}$ ). Это означает, что для каждой  $ТП_i$  и на каждом уровне  $ИХ_k$  в таблице существует рейтинг клиентов, и на каждом уровне  $ИХ_k$  в таблице существует отдельную затрату. Это точка взаимодействия между ФСА и РФК. С другой стороны, были выполнены вычисления для расчета суммы затрат, и выходные данные подготовлены для подачи математической модели.

Таблица 1 – Признаки и свойства, применяемые в исследовательской модели

№	Предметы	Описание
1	$i$	требования потребителя ( $ТП_i$ ), $i = 1, 2, \dots, m$
2	$k$	инженерные характеристики ( $ИХ_k$ ), $k = 1, 2, \dots, n$
3	$\omega_i$	ранг важности требований потребителя, $\omega_i \in \{1, 2, \dots, 5\}$
4	$t_k$	количество уровня для инженерных характеристик $ИХ_k$
5	$j_k$	уровень $j$ инженерных характеристик $ИХ_k$
6	$c_k^{j_k}$	параметры $ИХ_k$ уровня $j_k$ , $j_k = 1, 2, \dots, t_k$
7	$e_i^{k j_k}$	оценка степени влияния уровня $j_k$ инженерных характеристик $ИХ_k$ на требование потребителя $ТП_i$ , $e_i^{k j_k} \in \{9, 6, 3, 1, 0\}$
8	$u_k^{j_k}$	переменная решения равна 1, если $ИХ_k$ реализовано на уровне $j_k$ , в противном случае равно 0
9	$\varepsilon_k^{k_x}$	взаимоотношения между $ИХ_k$ и $ИХ_{k_x}$ , $k \neq k_x$ , $\varepsilon_k^{k_x} \in \{1, 0, -1\}$
10	$z_k^{j_k}$	стоимость реализации $ИХ_k$ на уровне $j_k$

11	$AB_k$	абсолютная важность $ИХ_k$
12	$OB_k$	относительная важность $ИХ_k$
13	$З_k$	стоимость реализации $ИХ_k$
14	$СЗ$	сумма затраты для проектирования продукции
15	Целевых затрат	ожидаемая стоимость для проектирования продукции предприятия

Смысл, который следует здесь подчеркнуть, заключается в том, что теперь у нас есть комплексный дом качества, а не обычный дом качества. Это означает, что для каждого уровня  $ИХ_k$  и каждого  $ТП_i$ , каждый имеет значение  $\epsilon_i^{kj_k}$  ( $\epsilon_i^{kj_k}$  может иметь значение 1-3-6-9 аналогично обычным дома качества). Теперь у нас есть следующее математическое программирование:

Общая значимость  $ИХ_k$  уровня  $j_k$  составляет:

$$OZ_k = OB_k + \sum_{k_x=1, k_x \neq k}^n \epsilon_k^{k_x} \cdot OB_k \cdot OB_{k_x} \quad (1)$$

где:  $\epsilon_k^{k_x} \in \{1, 0, -1\}$ ,  $\sum_{j_k} u_i^{j_k} = 1$ ,  $u_i^{j_k} \in \{1, 0\}$ ,  $AB_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j_k=1}^{i_k} \omega_i \cdot \epsilon_i^{kj_k} \cdot u_i^{j_k}$ ,  $OB_k = \frac{AB_k}{OA}$ .

Общая абсолютной важности  $ИХ$ :  $OA = \sum_{k=1}^n AB_k$  (2)

Сумма затраты для проектирования продукции:

$$CZ = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n = \sum_{k=1}^n Z_k, CZ \leq \text{Целевых затрат} \quad (3)$$

Чтобы описать вышеупомянутое математическое программирование, уравнение (1) - расчет значимости  $ИХ_k$ , чтобы определить, какой  $ИХ$  является приоритетным для улучшения, нам необходимо оценить критерии значимости  $ИХ_k$  для удовлетворенности клиентов и влияния  $ИХ$  ( $ИХ_k$ ) на другие  $ИХ$  ( $ИХ_{k_x}$ ) выражается через коэффициент  $\epsilon_k^{k_x}$ , если  $ИХ_k$  положительное влияние с  $ИХ_{k_x}$  тогда  $\epsilon_k^{k_x} = 1$ , если  $ИХ_k$  отрицательное влияние с  $ИХ_{k_x}$  тогда  $\epsilon_k^{k_x} = -1$ ,  $\epsilon_k^{k_x} = 0$  если они не влияют друг на друга. Чтобы определить, какой вариант проектирования выбран, мы устанавливаем приоритет индекса удовлетворенности клиентов  $OA$ . Уравнения (3) вместе гарантируют, что сумма затрат ( $CZ$ ) не превысит ранее рассчитанную целевую стоимость.

В некоторых случаях в реальных ситуациях переменные решения  $u_k^{j_k}$  могут принимать два, три или более уровня от каждого  $ИХ_k$ . Это означает, что каждый отдельный уровень  $j_k$  инженерных характеристик  $ИХ_k$  будет иметь разные проценты каждого уровня оптимизируют удовлетворенность потребителя.

Еще один момент, о котором следует упомянуть, касается параметров  $З_k^{j_k}$ .  $З_k^{j_k}$  можно интерпретировать как затраты конкретного решения или как стоимость разработки этого решения. Эти две интерпретации  $З_k^{j_k}$  повышают эффективность модели.

#### Заключение

Предложено включить два метода, называемых РФК и ФСА в математическую модель. Было показано, что при разумном количестве вычислительных усилий можно достичь их наилучшего сочетания. Если использовать инструменты последовательно, то есть вероятность возникновения условия недостаточной оптимальности, поскольку методы взаимодействуют друг с другом и влияют на параметры задачи.

Интеграция двух методов позволяет преодолеть недостаток. Внедрение процесса интеграция РФК и ФСА в основном связано с определением требований клиента и модификацией продукта в соответствии с этими требованиями при установленных целевых затратах. ФСА, интегрированный с РФК, помогает определить ожидания клиентов на начальном этапе проектирования продукта. Мы также применяем интегрированную модель, аналогичную приведенному выше примеру, чтобы найти наиболее оптимальное решение для процесса проектирования продукта, чтобы обеспечить другие значения целевых затрат предприятия.



#### Литература

1. Алешков А.В., Алешкова М.А. О перспективах QFD-анализа при разработке инновационной продукции: Известия ИГЭА. 2015. Т.6, №1.
2. Гродзенский С.Я., Гродзенский Я.С., Чесалин А.Н. Средства и методы управления качеством: учебное пособие.-Москва: Проспект, 2019-128с.
3. Гениатулин А.М. Системы, методы и инструменты управление качеством: учебное пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. Ун-та, 2015.-108 с.
4. Шушерин В.В., Кортон С.В., Зеткин А.С. Средства и методы управления качеством: учебное пособие. Ека-бург: ГОУ ВПО УГТУ - УПИ, 2006. 202 с.
5. Лифиц И. М., Парамонова Т. Н., Николаева М. А. Конкурентоспособность товаров и услуг: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009. - 460 с.
6. Лю Сюелин. Методическое обеспечение «сквозного» управления развитием бизнес-процессов производственных систем полного жизненного цикла. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук; Курск – 2018. -165 с.
7. Розова Н.К. Управление качеством. – М.: Экономика и управление, 2003. – 390 с.
8. Hauser, J.R., Clausing D. The House of Quality. Harvard Business Review, 1998. pp: 63-73, May -June.
9. Flores, B. E., & Whybark, D. C. (1987). "Implementing multiple criteria ABC analysis. Journal of Operations Management", 7(1), 79-85.

#### ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ, ИДЕНТИФИКАЦИИ И СОПРОВОЖДЕНИЯ НЕОПОЗНАННЫХ БПЛА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Бестугин А.Р., Филонов О.М., Киршина И.А., Овчинникова Н.А., Окин П.А.  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
+7(812) 571-19-89, ikirshina@mail.ru

Предложена система, обеспечивающая раннее обнаружение и сопровождение неопознанного БПЛА в городских условиях. Предполагается использование стационарных комплексов датчиков, устанавливаемых на перекрестках улиц для первичного обнаружения неопознанных БПЛА и дальнейшей их идентификации и сопровождения БПЛА-наблюдателем с применением различных технических средств измерения их параметров движения до их остановки или уничтожения.

Ключевые слова: оптолокатор, БПЛА, городская среда, времяпролетный лазер

Construction of a system for detecting identification and tracking unauthorized UAVs in the urban environment, Bestugin A.R., Filonov O.M., Kirshina I.A., Okin P.A. Ovchinnikova N.A.. Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

A system that provides early detection and tracking of an unidentified UAV in urban environments. It is proposed to use stationary sensor complexes installed at street crossings for the initial detection of unidentified UAVs and their further identification and tracking by an UAV-observer using various technical means of measuring their motion parameters until they are stopped or destroyed.

Keywords: optical locator, UAV, urban environment, time-of-flight laser

#### Введение

Интенсивное внедрение БПЛА в различные сферы человеческой деятельности, их технологичность, простота эксплуатации и экономическая доступность наряду с серьезными достижениями привело к ряду серьезных проблем, требующих скорейшего решения, в первую очередь из-за их несанкционированного применения для разведывательных операций, случайного или намеренного нарушения работы энергетических и коммуникационных систем, промышленных объектов, а также проведение террористических атак на гражданские или военные объекты, в том числе с применением средств массового поражения людей.

Подобные ситуации уже имели место, например, по времени митинга в Венесуэле, демонстрационной атаки БПЛА «Гринпис» на завод по хранению и переработке ядерных отходов в Лионе, приземление БПЛА на лужайку Белого дома в Вашингтоне[1].

Подробное изучение сложившейся ситуации позволяет утверждать, что полноценной защиты от несанкционированного применения БПЛА в урбанизированной среде вряд ли удастся добиться, как в ближайшее время, так в обозримой перспективе.

Причинами этого являются невозможность непрерывного сопровождения обнаруженного БПЛА во время полета из-за наличия гражданских и промышленных строений, высокий уровень электромагнитных, акустических и визуальных помех создаваемых техническими и естественными факторами, экранировкой соответствующих сигналов при движении тела по криволинейной траектории например вдоль улиц или парковых зон. [2]

#### Постановка проблемы

В условиях городской среды противодействие несанкционированному применению БПЛА включает три этапа:

1 Получение сигнала о возможном появлении БПЛА, которой можно трактовать как возмущение среды, регистрируемое радиолокационными, акустическими, оптическими, тепловыми сенсорами.

2 Отождествление (идентификация) этих возмущений, как БПЛА, по сигнатурам соответствующих сигналов, посредством применения существующих алгоритмов их обработки или нейросетей.

3 Сопровождению и пеленгация БПЛА до зоны остановки или уничтожения имеющимися техническим средствами при ограничениях, накладываемых городской средой.

Анализ возможностей существующих в настоящее время средств обнаружения БПЛА зарекомендовавших себя в условиях открытого пространства, обнаруживает во многих случаях их несостоятельность в городской среде в силу указанных выше причин [3-4].

В этой связи были предложены схемы противодействия несанкционированным применениям БПЛА, отличные от существующих и ориентированные на применение в городских условиях.

При разработке этих схем предполагалось, что цель атаки и возможные траектории БПЛА до цели известны. На рис.1 представлен один из вариантов такой схемы обеспечивающей идентификацию и сопровождение БПЛА.

В качестве элемента городской среды будем рассматривать перекрёсток пересечение двух улиц, на одной из которых располагается объект предполагаемой атаки (цель – площадь, помещение, зал, стадион и тд)

На зданиях, образующих перекрёсток, устанавливаются мачты с комплексами сенсоров, регистрирующих возмущения среды на участках вероятной траектории БПЛА.

В некоторых случаях сенсоры возможно разместить на аэростате, позволяющим увеличить дальность первоначального обнаружения неопознанного БПЛА до предела чувствительности сенсоров приведенного к максимальному расстоянию, при этом также улучшается видимость БПЛА, снижается влияние типов помех, что упрощает пеленгование БПЛА до подлёта к перекрёстку.

После обнаружения и идентификации БПЛА начинается этап его сопровождения до точки перехвата.

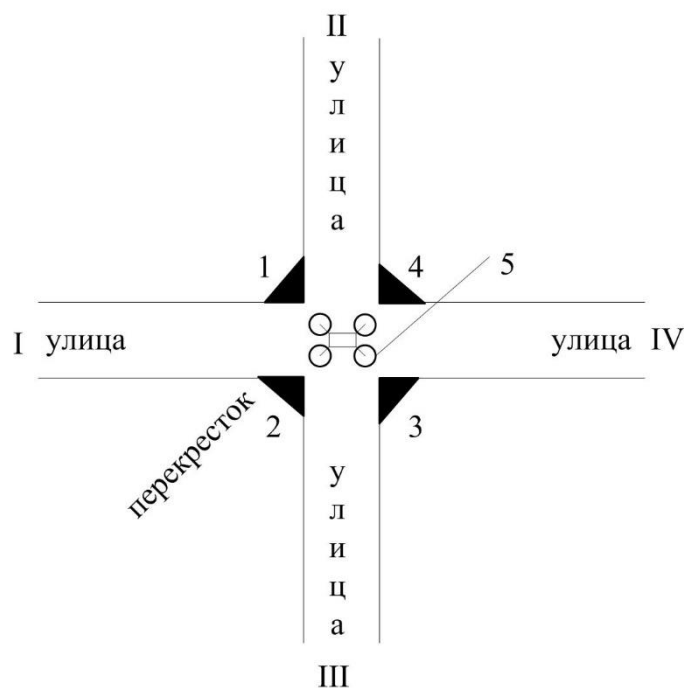


Рисунок 1 – Схема обнаружения и сопровождения неопознанного БПЛА на пересечении городских улиц I II III IV– вероятные траектории БПЛА до перекрестка и до цели

1,2,3,4 – стационарные комплексы технических средств обнаружения БПЛА  
5 – БПЛА-наблюдатель

Для этой цели предполагается использовать вместо пассивных систем наблюдения квадрокоптер-наблюдатель с установленной на нём системой стабилизации расстояния до неопознанного БПЛА.

Данный подход представляется более эффективным и надежным сравнению с системами стационарного наблюдения на основе перечисленных типов датчиков, поскольку сопровождение осуществляется либо сверху, либо с тыла, что позволяет осуществить сопровождение практически без влияния технических и естественных помех на любом расстоянии между БПЛА-наблюдателем и БПЛА – целью (рис.2)

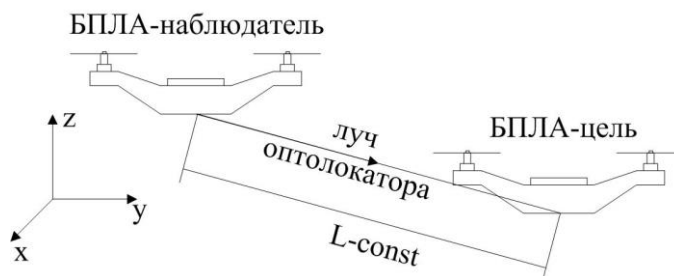


Рисунок 2 – Схема сопровождения БПЛА-цели БПЛА-наблюдателем с лазерным оптолокатором

Применение системы стабилизации расстояния между обоими БПЛА на практике позволяет осуществить сопровождение неопознанного объекта в городских условиях, как в автоматическом режиме, так и с участием оператора.

В качестве устройства обнаружения были рассмотрены различные варианты его реализации, удовлетворяющие требованиям по погрешности измерения расстояния, габаритам и быстродействию, включая запатентованный авторами оптолокатор для обнаружения объектов, измерения скорости их движения, дальности и угловых координат в сферической и цилиндрической системах координат [5]

Из возможных технических решений для применения малогабаритным БПЛА как показал анализ, в наибольшей степени качественным требованиям удовлетворяют устройства [5],[6], в первую очередь по массогабаритным и точностным характеристикам.

В патенте [6], для определения дальности или скорости удаленного объекта используется многократное зондирование объекта путем облучения его серией  $n$  лазерных импульсов и определения в каждом  $i$  зондировании временного интервала  $t_i$  между моментами излучения лазерного импульса и приема отраженного объектом излучения. При каждом зондировании, регистрируют значения моментов текущего времени  $T_i$ , в которые производят посылку пачки импульсов и измеренные интервалы  $t_i$  в серии  $n$  зондирований,

После завершения серии для каждого зондирования определяется дальность по формуле  $R_i = \frac{ct_i}{2}$ , где  $c$  - скорость света в воздухе, затем интерполируют полученные выборочные значения  $R_i$  линейной зависимостью вида  $R^*(T) = R_0^* + V^*T$ , где  $R_0^*$  - оценка средней дальности в начальный момент измерения  $V^*$  - оценка средней скорости объекта за время измерения,  $T$  - текущее время.

Затем находят  $\Delta R$  - допустимое отклонение измеренных назначений от интерполирующей функции  $\Delta R = q\sigma_R$ , где  $q$ - коэффициент характеризующий вероятность безошибочного измерения,  $\sigma_R$  - среднеквадратическая ошибка измерения дальности в каждом из замеров после чего определяются модули  $\Delta R_i = |R_i(T_i) - R_i^*(T_i)|$ , отклонения замеров  $R_i(T_i)$  от соответствующих интерполированных значений  $R_i^*(T_i)$  аннулируются замеры, в которых  $\Delta R_i > \Delta R$  и повторно интерполируют оставшиеся выборочные значения дальности зависимостью вида  $R^{**}(T) = R_0^{**} + V^{**}T$  по которой судят об уточненных значениях дальности  $R_0^{**}$  и скорости  $V^{**}$  объекта.

Главный недостаток описанного способа - расходимость лазерного луча и возможность попадания в луч нескольких предметов, находящихся на разных расстояниях или движущихся с различными скоростями, что увеличивает время достоверного измерения дальности и скорости наблюдаемого объекта.

В устройстве [5], которое было запатентовано авторами и прошло успешную экспериментальную проверку техническим результатом является возможность одновременного обнаружения и измерения расстояний до объекта его линейной скорости и угловых координат. Результат достигается за счет того, что измерение перечисленных параметров движения осуществляется благодаря излучению импульсов света в направлении зоны обзора, детектированию отражённых световых импульсов, оцифровывании принимаемых отраженных сигналов, вычислении на основе результатов оцифровки соответствующих параметров движения и передачи результатов измерения к устройствам контроля или исполнительным элементам системы стабилизации расстояния.

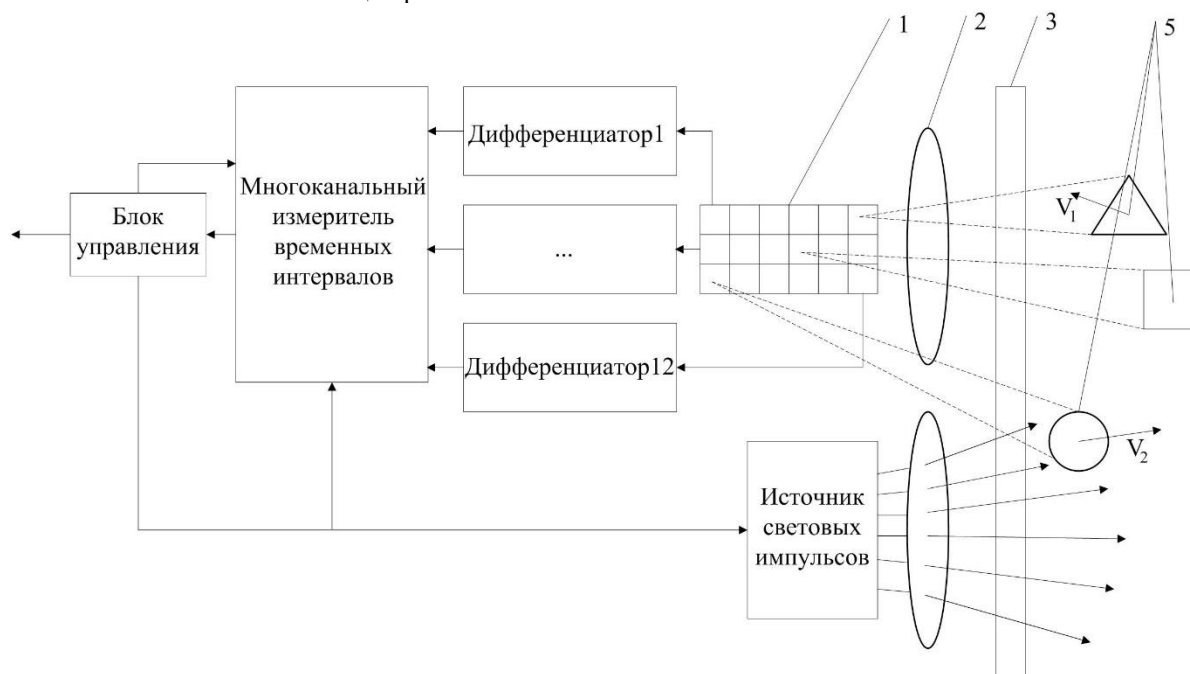


Рисунок 3 – Принципиальная схема оптолокатора  
1 - матрица фоточувствительных элементов, 2 – объектив,  
3 - оптический фильтр, 4 – линза, 5 – подвижные и неподвижные объекты

После оцифровки сигналов их дифференцируют, одновременно измеряя интервалы времени между моментами излучения и частями дифференцированных сигналов, соответствующих фронтам принятых отражённых световых импульсов и частями дифференцированных сигналов, соответствующих их спадам.

Расчёт скорости движущегося объекта проводят по выражению  $V = c \left( 1 - \frac{t_2}{t_1} \right)$ , где  $V$  - скорость

объекта,  $c$  - скорость света в воздухе,  $t_1$  - длительность измеренного светового импульса  $t_2$  - временной интервал между частями дифференцированного сигнала соответствующий его фронту и спаду.

Устройство, представленное на рис.3, включает блок управления с выходом к внешним устройствам, блок оцифровки сигнала, импульсный источник света с расположенной перед ним линзой, матрицу фоточувствительных элементов с установленным перед ней объективом, многоканальный измеритель временных интервалов и 12 дифференциаторов. Перед линзой и объектом устанавливается оптический фильтр, который пропускает свет только с рабочей длиной волны, что существенно увеличивает динамический диапазон, устройства

Исследования, проводившиеся с экспериментальным образцом этого устройства, продемонстрировали приемлемую стабильность, как при измерении расстояний, так и при определении линейных скоростей микроБПЛА.

#### Заключение

Таким образом, рассматриваемая схема идентификации и обнаружения БПЛА в сочетании с сопровождающим квадрокоптером при необходимой технической проработке может быть взята за основу при разработке системы противодействия неопознанному БПЛА, если временной интервал от момента его обнаружения до идентификации остаётся достаточным для приведения в действие БПЛА-наблюдателя. Необходимо отметить, что данная схема позволяет минимизировать влияние помех обусловленных городской средой поскольку позволяет обеспечить не фронтальное, а тыловое сопровождения цели.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-29-06047-мк

Литература

1. Reuters, "Greenpeace slams superman-shaped drone into nuclear plant," 2018.  
<https://nypost.com/2018/07/03/greenpeaceslams-superman-shaped-drone-into-nuclear-plant>
- 2 Detection, Localization, and Tracking of Unauthorized UAS and Jammers / İsmail Güvenç ; Ozgur Ozdemir ; Yavuz Yapici ; Hani Mehrpouyan ; David Matolak, IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2017
- 3 Micro-UAV Detection and Classification from RF Fingerprints Using Machine Learning Techniques / Chethan Kumar, Anjinappa Fatih Erden, Martins Ezuma, 2019 IEEE Aerospace Conference
- 4 Multispectral Detection of Commercial Unmanned Aerial Vehicles / Jan Farlik , Miroslav Kratky , Josef Casar and Vadim Sary, Sensors 19(7):1517, 2019
- 5 Филонов О. М. и др. «Способ обнаружения объектов, измерения скорости, дальности и угловых координат и устройство для его осуществления» // Патент 2521203 RU C1, опубликован 2014.
6. Валерий Г. В. и др «Способ определения дальности и/или скорости удавленного объекта» // Патент RU 2385471 C2, опубликован 2010

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СБОРА И АНАЛИЗА  
ТРЕБОВАНИЙ РАБОТОДАТЕЛЕЙ

Деев М. В., Финогеев А. Г., Финогеев А. А.  
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»  
+7 (960) 318-35-66, miqz@yandex.ru

Статья посвящена разработке системы интеллектуального поиска, сбора и анализа больших данных об условиях и требованиях рынка труда с геотеггированием полученной информации. Основными ресурсами для мониторинга служат открытые источники сети Интернет. Предлагается набор программных средств для решения задач поиска и обработки данных для получения актуальных наборов компетенций, требуемых работодателями и учитываемых при разработке учебного контента в рамках информационной образовательной среды.

Ключевые слова: архитектура, компетенции, требования работодателей, поиск данных, big data.

Development of the software and instrumental complex for collecting and analysis of employers requirements. Deev M.V., Finogeev A.G., Finogeev A.A. Penza State University.

The article is devoted to the development of an intelligent search system, collection and analysis of big data on the conditions and requirements of the labor market with geotagging of the information received. The main resources for monitoring are open sources on the Internet. A set of software tools is proposed for solving problems of data search and processing in order to obtain relevant sets of competencies required by employers and taken into account in the development of educational content within the information educational environment.

Keywords: architecture, competencies, employer requirements, data retrieval, big data.

Введение

Появление, развитие и внедрение новых цифровых промышленных технологий в рамках четвертой индустриальной революции привело к необходимости перехода к процессу перманентного повышения квалификации и/или переподготовки квалифицированных специалистов после получения среднего специального или высшего образования в учебных заведениях [1]. Чтобы отвечать требованиям инновационной экономики необходима актуализация образовательных программ. При создании электронных ресурсов и программ подготовки необходимо учитывать требования работодателей для того, чтобы подготовка считалась актуальной и эффективной. В случае подготовки по устаревшим или некорректным программам обучения или материалам, вероятность невостребованности специалиста на рынке труда огромна. Для исключения возникновения таких критических случаев, необходимо, чтобы обученный специалист мог сразу приступить к выполнению трудовых обязанностей.

Для синтеза системы обработки требований работодателей могут применяться:

1. Системы обмена информацией, соцсети, форумы, анкетирование.
2. Поисковые роботы или краулеры, выполняющие сбор требований работодателей в сети Интернет.

При генерации и модернизации электронных образовательных ресурсов и программ необходимо учитывать мнения и требования работодателей [2]. Для этого необходима площадка для обеспечения взаимодействия с заинтересованными лицами, которые могли бы поделиться своими соображениями по актуальным требованиям к навыкам и компетенциям специалистов. Необходимо отметить, что приложенная площадка может быть как сообществом или группой в соцсетях, так и форумом или веб – порталом. Применение соцсетей облегчает вопросы обеспечения работоспособности сервера и продвижения информации, а также предоставляет удобный доступ для пользователей. Для сбора информации возможно анкетирование с помощью электронных форм или обратной связи, где представители реального сектора экономики указывают необходимые данные.

Возможно применение поисковых роботов для поиска и сканирования объявлений о трудоустройстве в открытых источниках сети Интернет [3]. Они собирают данные о наборах требований работодателей, а затем генерируют отчетность. Запуск модуля сбора информации выполняется периодически, через промежутки времени, для получения актуальной статистики. Аналитические данные экспортируются в формате XML.

Предложенные средства получения информации позволяют сформировать список требований работодателей и представителей реального сектора экономики к компетенциям специалистов, который далее используется при создании и модернизации ЭОР и ОП.

#### Разработка архитектуры программно-инструментального комплекса сбора и анализа требований работодателей

Источниками данных о новых требованиях работодателей для работы модуля поиска требований (МПТ) являются сайты поиска работы, сайт биржи труда, сайт Росстата, сайты фирм и компаний, доски объявлений, сайты подбора работы, базы данных вакансий, соц. сети и группы, RSS (Rich Site Summary) рассылки вакансий, форумы поиска работы. Для извлечения данных МПТ должен включать подсистемы поиска и регулярного обхода интересующих сайтов и извлечения данных из них. Модули могут быть реализованы в виде специализированных поисковых роботов или краулеров.

Для этого предлагается использовать библиотеку создания краулеров на языке Python Scrapy. Однако здесь возникает проблема легальности извлечения данных с сайтов, поэтому при необходимости надо получить разрешение у правообладателя.

Данные о новых требованиях работодателей и необходимых компетенциях из разных источников должны быть объединены между собой. Основными задачами являются задачи стандартизации, систематизации, и хранения наименований требований и компетенций с последующим исключением дублирующей информации о них. Требования работодателей и необходимые компетенции необходимо хранить с геотегированной привязкой к местоположению.

На первом этапе необходимо найти информацию о требованиях работодателей, отвечающие актуальным запросам рынка труда, собрать информацию о необходимых компетенциях из открытых источников сети Интернет, необходимую для синтеза графа требований работодателей с геотегированной привязкой к местности и близлежащим ВУЗам, интегрировать ее в едином хранилище данных.

Перед загрузкой информации в хранилище ее необходимо очистить, нормализовать, обогатить и исключить дубликаты. Сбор информации о требованиях работодателей из открытых источников сети Интернет осуществляется при помощи специальных компонентов, которые состоят из набора поисковых модулей, написанных на языке Python с использованием библиотеки Scrapy. Краулеры в процессе работы открывают каждый раздел на сайте или странице соцсети для сбора информации. Они формируют очереди запросов для обслуживания нескольких параллельных потоков загрузки данных.

Для объединения найденной информации о конкретной вакансии и требованиях к ней из разных источников применяются средства системы управления базами данных PostgreSQL, а после объединения производится очистка адресов. Для очистки адресов используются специальные правила СУБД PostgreSQL.

Исходными данными для интеллектуального анализа больших данных о наборах требований и компетенций определенной вакансии в регионе с целью прогностической оценки ее потенциала (спроса и предложения на рынке труда) и диапазона изменения заработной платы являются:

1. геопространственные данные о местоположении работодателей;
2. данные о спросе или предложении на вакансию за последние два года с разбивкой по месяцам;
3. данные о диапазоне изменения заработной платы в регионе;
4. ассортиментный перечень наименований требований и компетенций вакансии.

К исходным данным о наборах требований и компетенций относятся:

1. требования к специалисту;
2. условия работы;
3. диапазон заработной платы;
4. массив геотегов местоположений.

На основе полученной информации синтезируется граф требований работодателей с геотегирующей привязкой к местности и ВУЗам вокруг. Разработанная графовая модель реализуется в программно – инструментальном комплексе интеграции и хранения данных.

Далее рассматриваются предложения по разработке и применению системы сбора данных с набором средств интеллектуального анализа данных. Среда включает совокупность подсистем и программных инструментов, находящихся в информационном взаимодействии между собой и обеспечивающих автоматизацию обработки больших данных с использованием облачных технологий.

Информационно-аналитическая поддержка процессов принятия управленческих решений осуществляется на основе объединения и использования актуальных и ранее собранных данных в хранилище и предоставления результатов мониторинга требований работодателей. Работа компонентов среды состоит в автоматическом сборе и обработке данных для интеллектуального анализа, разработки отчетов и рекомендаций для поддержки принятия решений.

К основным функциям системы относятся:

- поиск данных в сети Интернет, сбор и извлечение информации о требованиях работодателей и наборах необходимых компетенций в регионах;
- результатом выполнения работы среды являются отчеты в цифровой, текстовой, графической или смешанной форме представления.

Данные отчеты отправляются пользователям системы согласно режимам взаимодействия для разных групп и в соответствии с правами доступа. Повышение информированности об изменениях и тенденциях на рынке труда обозначает расширение информационной базы компетенций и определяет рост эффективности обработки аналитической информации. Расширение базы знаний обеспечивается за счет поиска и хранения актуальной и ранее собранной информации о требуемых работодателями наборах компетенций. Увеличение эффективности обработки данных обеспечивается за счет предоставления пользователям статистической и актуальной информации на основе полных, непротиворечивых данных, расположенных в хранилище.

Система поиска и анализа требований работодателей представляет собой интеграцию подсистем и приложений, предоставляющих возможности по автоматизации сбора, аналитики и формализации требований работодателей и компетенций с использованием облачных технологий.

Программно-инструментальный комплекс в общем виде состоит из:

- прикладных программных средств,
- информационно-аналитической среды,
- центра обработки данных,
- системы предоставления доступа,
- системы авторизации и безопасности.

Основными функциями системы сбора и анализа данных являются:

1. Автоматизация процессов синтеза и предоставления пользователям аналитической информации. Процесс включает в себя поиск, сбор, хранение, обработку собранных данных и авторизованный доступ к сервисам и отчетам.
2. Поддержка процессов обработки и хранения больших данных для обеспечения принятия решений.
3. Сохранение первоначальных данных, полученных из открытых источников.
4. Обеспечение динамичности предоставления информации для быстрого отклика на изменения рынка труда.
5. Предоставление непротиворечивой информации для корректного принятия решений.

Для работы компонентов обработки данных предложены операционная система AIX (Advanced Interactive eXecutive) и система управления базами данных IBM DB2 on AIX. AIX – это UNIX-подобная операционная система от компании IBM. Для обработки данных используется программная платформа IBM InfoSphere BigInsights, которая представляет собой систему, предназначенную для обнаружения и обработки больших объемов разнотипной информации и формирования на её основе данных, необходимых для выработки оптимальных и сбалансированных решений. Данная платформа базируется на основе Apache Hadoop, программном продукте с открытым исходным кодом, и используется для хранения и анализа больших объемов неструктурированных или слабо структурированных данных в их исходном формате.

#### Заключение

Предложенные средства получения информации позволяют сформировать список требований работодателей и представителей реального сектора экономики к компетенциям специалистов, который далее используется при создании и модернизации образовательных программ и ресурсов. Программные продукты предполагается использовать в процессе синтеза системы сбора и интеллектуального анализа данных из открытых источников сети для поиска, обработки и хранения информации об актуальных изменениях требований работодателей. Применение модуля сбора и поиска данных позволит уменьшить

время отклика при изменениях условий реального сектора экономики в плане актуализации образовательных программ и ресурсов. Предлагается интеграция разработанного программно-инструментального комплекса в рамках информационной образовательной среды (Smart Learning Environment).

#### Благодарности

Результаты работы получены при финансовой поддержке РФФИ в рамках грантов № 19-013-00409-а, 18-07-00975-а, 18-010-00204-а. Результаты исследований, представленные в основном разделе, получены за счет средств Российского научного фонда (проект № 20-71-10087).

#### Литература

1. Алексанков А.М. Четвертая промышленная революция и модернизация образования: международный опыт // Культура и безопасность, 2017. URL: <http://sec.chgik.ru/chetvertaya-promyshlennaya-revolyuutsiya-i-modernizatsiya-obrazovaniya-mezhdunarodnyiy-opyit-2/>.

2. Деев М.В., Финогеев А.Г., Финогеев А.А., Колесников И.Н. Создание и практическая реализация концепции непрерывного управления жизненным циклом электронных образовательных ресурсов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. 7(4). URL: [https://moit.vivt.ru/wpcontent/uploads/2019/11/DeevSoavtors\\_4\\_19\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wpcontent/uploads/2019/11/DeevSoavtors_4_19_1.pdf) doi: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.036.

3. Печников А.А., Чернобровкин Д.И. Адаптивный краулер для поиска и сбора внешних гиперссылок // УБС. 2012. №36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-krauler-dlya-poiska-i-sbora-vneshnih-giperssylok>.

### МОНИТОРИНГ ИНЦИДЕНТОВ В ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Финогеев А.А., Деев М.В., Колесников И.Н., Финогеев А.Г.  
ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет  
+7 (927) 289-93-63, alexeyfinogeev@gmail.com

В статье рассматриваются вопросы анализа временных рядов событий в дорожно-транспортной среде. Временные ряды синтезируются в результате сбора и обработки данных об инцидентах на участках дорог. В процессе сбора решается задача консолидации данных, полученных с разных источников, а именно с фоторадарных систем регистрации дорожно-транспортных происшествий, видеорегистраторов, дорожных метеостанций, открытых навигационных ресурсов (Яндекс, Google, OpenStreetMap, IGo и т. д.), сообщений из интернет-источников (мессенджеры, социальные сети и т.п.). Параметры инцидентов, характеристики событий за интервал времени до и после инцидента, данные о факторах, влияющих на инциденты (погодные условия, видимость, плотность движения и т.п.) представляются в виде спектра временных рядов. Временные ряды параметров инцидентов и факторов влияния используется для выявления и кластеризации схожих паттернов для участков дорог и временных интервалов, сравнительного анализа и выявления корреляций. На основе анализа временных рядов выполняется прогностическое моделирование динамики изменений параметров инцидентов и факторов влияния для оценки рисков возникновения и развития негативных событий.

Ключевые слова: мониторинг, временные ряды, прогностическое моделирование, интеллектуальный анализ, дорожно-транспортные происшествия, фоторадарные комплексы

Incident monitoring in the road and transport infrastructure based on time series analysis. Finogeev A.A., Deev M.V., Kolesnikov I.N., Finogeev A.G., Penza State University.

The article deals with the analysis of time series of events in the road transport environment. Time series are synthesized as a result of collecting and processing data on incidents on road sections. In the process of collecting, the task of consolidating data obtained from various sources is solved, namely, from photoradar systems for recording road accidents, video recorders, road weather stations, open navigation resources (Yandex, Google, OpenStreetMap, IGo, etc.), messages from the Internet -sources (instant messengers, social networks, etc.). Parameters of incidents, characteristics of events for the time interval before and after an incident, data on factors influencing incidents (weather conditions, visibility, traffic density, etc.) are presented as a spectrum of time series. Time series of incident parameters and enablers are used to identify and cluster similar patterns for road sections and time intervals, benchmarking and correlations. Based on the analysis of time series, predictive modeling of the dynamics of changes in the parameters of incidents and influencing factors is performed to assess the risks of the occurrence and development of negative events.



Keywords: monitoring, time series, predictive modeling, intelligent analysis, road traffic accidents, radar systems.

#### Введение

Современным трендом в технологиях поддержки принятия решений является использование проактивных систем мониторинга и управления [1]. Проактивная концепция позволяет предотвращать риски возникновения и развития нештатных ситуаций, инцидентов и аварий на основе предиктивного анализа и оценки событий для синтеза упреждающих воздействий [2]. Основным компонентом проактивного подхода является решение прогнозных задач для синтеза превентивных мер предупреждения или минимизации рисков нештатных и аварийных ситуаций [3]. Базовым принципом является применение схемы действий на основе прогностического анализа данных о ретроспективных событиях (event-driven принцип) для оценки вероятности возникновения прогнозируемых событий [4]. Алгоритм проактивного мониторинга включает этапы [5,6]:

- а) Обнаружение и фиксация события с учетом временных и геопространственных характеристик,
- б) Идентификация, классификация и ранжирование анализируемого события,
- в) Сбор данных о связанных событиях и возможных причинах анализируемого события,
- г) Идентификация факторов влияния на событие с установлением их корреляционной связи,
- д) Анализ чувствительности событий к выявленным факторам,
- е) Синтез модели для прогностической оценки рисков возникновения и развития событий,
- ж) Прогностическое моделирование рисков возникновения и развития аналогичных событий,
- з) Выбор/синтез мероприятий для снижения рисков возникновения негативных событий.

Основой проактивного мониторинга является использование технологий прогностического моделирования и интеллектуального анализа. Основными элементами являются: большие данные, методы машинного обучения, модели прогнозирования и методы принятия решений. Проактивные технологии в управлении дорожной инфраструктурой используются, например, для синхронизации работы светофоров и регулировки транспортных потоков на перекрестках для оптимизации пропускной способности магистралей в зависимости от плотности трафика и пробок [7], для выявления скрытых закономерностей в данных о произошедших инцидентах с целью прогноза новых происшествий [8] и т.п.

#### Сбор и консолидация данных для событийного анализа дорожно-транспортных инцидентов

Сбор и консолидация данных выполняется в процессе мониторинга объектов дорожно-транспортной инфраструктуры. Объектами мониторинга являются транспортные средства, участки дорог и компоненты дорожной среды (знаки, остановки, переходы, устройства регулировки, устройства фото и видеофиксации, придорожные объекты, системы уличного освещения и т.д.). Примерами событий являются: а) дорожно-транспортные происшествия, б) нарушения правил дорожного движения, в) пробки и заторы, г) аномальное поведение участников движения, д) нарушение дорожного покрытия, е) изменения погодных условий, ж) ухудшение видимости и проблемы с освещением, з) изменения плотности трафика транспортных средств и пешеходов, и) ремонтные работы, к) сбои в работе регулирующего оборудования, л) изменения в размещении дорожных знаков и т.д. К массовым негативным событиям относятся дорожно-транспортные происшествия [9]. Основными источниками данных о событиях являются фоторадарные комплексы фото и видеофиксации дорожно-транспортных происшествий, камеры видеонаблюдения, автомобильные видеорегистраторы, навигационные системы, дорожные метеостанции, мобильные средства связи участников дорожного движения и т.п. Также источниками является открытые ресурсы в сети Интернет (социальные сети, мессенджеры и т.п.), где очевидцами размещается множество сообщений о происходящих событиях в режиме реального времени. Сенсорные данные консолидируются с информацией о событиях из сообщений в сети Интернет. Процессы сбора данных включают:

1. Сбор данных с фоторадарных комплексов фото и видеофиксации,
2. Сбор данных с внешних систем (метеорологических станций, навигационного оборудования транспортных средств, видеорегистраторов и т.п.).
3. Сбор данных с мобильных средств связи участников дорожного движения и сторонних наблюдателей.
4. Сбор данных, размещенных в источниках сети Интернет (мессенджеры, социальные сети прочие web-ресурсы).
5. Сбор и обработка данных со специализированных сервисов типа Yandex-карты, Google карты, Yandex-навигатор, Navitel и т.п.

Полученная информация представляет набор больших разнородных данных, включая: телеметрические (сенсорные) данные, текстовые сообщения, фотографии, кадры из видеороликов, данные мобильных приложений и онлайн сервисов. Консолидация включает: поиск ассоциаций и корреляций,

нормализацию, исключение дубликатов, интеграцию текстовой и графической информации о событии, оценку актуальности и достоверности и т.п.

Синтез и исследование спектра временных рядов событий и факторов влияния

Для анализа данных о событиях целесообразно использовать методы анализа временных рядов. Для представления характеристик событий и факторов влияния в заданном временном интервале и пространственных границах в виде множества временных рядов необходима консолидация данных о них, получаемых с различных источников. Исследования временных рядов, описывающих динамику изменения показателей сложных систем, позволяют анализировать и прогнозировать изменения с целью оказания влияния на ход развития событий. Проблема прогнозирования временных рядов широко изучалась в течение последних лет [10]. Временной ряд представляет последовательность значений параметров, описывающих протекающий во времени процесс, измеренных в моменты времени через равные промежутки. Для анализа и прогнозирования временных рядов существует множество математических моделей. К ним относятся регрессионные и авторегрессионные модели, нейросетевые модели, цепи Маркова, модели экспоненциального сглаживания, деревья решений, классификационные модели и т.д. Методы анализа временных рядов позволяют выявить скрытые закономерности в множестве данных и корреляционные связи множества факторов с фактом наступления событий. Технология многофакторного дисперсионного анализа позволяет определить чувствительность факторов влияния на риски возникновения и развития событий с целью ранжирования и выявления причин их появления. Существенные факторы влияния используются для синтеза прогностических моделей и оценки вероятности появления негативных событий в схожих условиях.

Первым шагом анализа изменения временных рядов является кластеризация паттернов событий для выявления их степени схожести [11]. В результате определяем центры кластеризации и фиксируем параметры влияния на появление событий. Входными данными являются векторные описания событий с привязкой к спектру временных рядов их параметров и факторов влияния. Динамика изменения факторов и параметров событий представляется в виде множества временных рядов. Интегральный спектр получается в результате их композиции. Такой подход дает возможность компенсировать недостатки использования отдельных временных рядов за счет единого представления параметров инцидентов и факторов влияния на них. Цель синтеза спектра временных рядов событий и факторов влияния заключается в том, чтобы посредством их сравнительного анализа:

- определить, какие из неслучайных функций присутствуют в спектре;
- построить оценки для неслучайных функций, которые присутствуют в спектре;
- выполнить ранжирование неслучайных функций для определения факторов влияния и оценки чувствительности инцидентов к ним;
- синтезировать или подобрать прогностические модели для описания влияния отобранных факторов и прогнозирования рисков возникновения и развития инцидентов .

Для кластеризации паттернов временных рядов применяем метод «К-ближайших соседей» [12]. В качестве данных для обучающей выборки берутся данные из социальных сетей, мессенджеров и прочих ресурсов. Результатом кластеризации является распределение паттернов временных рядов событий по типам. Количество типов событий задается перед работой алгоритма кластеризации, когда есть информация об аналогичных событиях. Если такой информации нет, то число типов определяется в ходе кластеризации с помощью среднего семантического подобия текстовых векторов. Для полученных кластеров определяется множество признаков, которые характеризуют тип события.

Алгоритм выявления факторов влияния на события выглядит следующим образом:

1. Мониторинг и сбор данных с предшествующих и последующих событий из открытых источников для фиксации динамики значений параметров анализируемого события, как реакции на них.
2. Выделение и кластеризация паттернов всех событий по методу «К-ближних соседей» по типам.
3. Дисперсионный анализ параметров событий и возможных факторов для определения степени чувствительности параметров анализируемого события к изменениям факторов.
4. Выбор наиболее значимых факторов и их ранжирование внутри кластера по степени влияния на изменения временных рядов параметров анализируемого события.
5. Выбор наиболее значимых факторов и фиксация статистических показателей отобранных факторов для обучающей выборки и синтеза прогностической модели возникновения и развития похожих событий.

В результате получим ряд средних значений показателей факторов влияния ранжированных по степени важности для ранее определенных кластеров событий. События ранжируются по степени важности. Показатель важности события связан с меняющимся набором значений показателей факторов влияния, который представляются в виде паттерна временного ряда, предшествующего наступлению

анализируемого события. Множество отобранных по степени значимости паттернов временных рядов факторов используется для сравнительного анализа временных рядов различных событий и представляет собой элемент обучения системы мониторинга. В ходе сравнительного анализа выполняется поиск наилучших соответствий временных рядов факторов влияния по каждому типу событий по формуле скользящего среднего для прогностической оценки значений факторов, указывающих на риски повторения аналогичных дорожных инцидентов.

#### Метод анализа спектра временных рядов событий и факторов влияния

До начала анализа экспертным способом задается временной интервал до и после действия события. Начальное значение временного интервала зависит от времени предшествующих событий, связанных с анализируемым. Конечное значение зависит от категории важности события. Точки временного ряда фиксируют результаты изменения значения наблюдаемого параметра события или фактора влияния на него. Для множества фиксируемых значений определяется начальное и конечное значение параметра, а также максимальное, минимальное и среднее значение. В общем случае временной ряд содержит множество дискретных значений показателей факторов влияния в виде последовательности:

$Z^M = Z(i), Z(i + 1), Z \dots, Z(i + M)$ , для  $i = 1, 2, \dots, N-M$ , где  $N$  – число доступных отчетов временного ряда  $Z(t)$ .

Для получения прогностического значения рассматриваются последние данные, а именно последовательность:

$Z(N, M) = Z(N - M + 1), Z(N - M + 2), \dots, Z(N)$ , для которой определена ближайшая похожая последовательность:

$$Z(Q, M) = Z(Q + 1), Z(Q + 2), \dots, Z(Q + M).$$

При этом функция близости паттернов временных рядов разных факторов имеет вид:

$$F(N - M, Q) = \sum (Z_i(N - M + 1) - Z_i(Q + 1)).$$

Прогнозирование динамики развития событий в дорожно-транспортной инфраструктуре базируется на идее экстраполяции [13]. Прогноз возможен относительно таких явлений, которые в значительной степени детерминируются. Именно к подобным явлениям относятся дорожные инциденты и причины их возникновения. Экстраполяционный прогноз рисков инцидентов содержит этапы:

- 1) Сравнительный анализ паттернов временных рядов параметров аналогичных инцидентов за предыдущие периоды на данном и других участках дорог;
- 2) Отбор параметров существенных факторов влияния на риски инцидентов для прогностических моделей;
- 3) Численная оценка отобранных параметров для моделей;
- 4) Формирование набора прогностических моделей;
- 5) Оценка степени адекватности моделей с учетом факторов влияния;
- 6) Получение точечного и интервального прогнозов на различных моделях (точечный прогноз нужен для оценки рисков инцидентов в интервале возможных значений, а интервальный прогноз для определения доверительного интервала);
- 7) Оценка точности прогнозирования для моделей на тестовой выборке;
- 8) Выбор лучшей модели и верификация прогноза.

Так как уровни временных рядов колеблются, то тенденция изменения анализируемых показателей во времени скрыта случайными отклонениями уровней в ту или иную сторону. Для более точного определения тренда временного ряда применяется технология экспоненциального сглаживания [14]. Экспоненциальное сглаживание базируется на идее постоянного пересмотра прогнозных значений по мере поступления новых фактических данных. Всем наблюдениям в ходе мониторинга присваиваются экспоненциально убывающие веса по мере их старения. Модель сглаживания имеет вид:

$$Z_t = \alpha \cdot z_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot Z_{t-1},$$

где  $z_{t-1}$  – значение показателя на период  $t-1$ ,  $Z_{t-1}$  – сглаженное значение на период  $t-1$ ,  $\alpha$  — коэффициент сглаживания ( $0 < \alpha < 1$ )

Таким образом, сглаженное значение  $Z(t)$  является взвешенным средним между предыдущим значением  $z(t-1)$  и сглаженным значением  $Z(t-1)$ .

В случае дорожных инцидентов имеет место не только наличие тренда, но и факторы периодичности (например, изменение трафика в часы пик и изменение освещенности) и сезонности, связанные с погодными условиями в разные месяцы. Поэтому для решения задачи здесь лучше подходит трехпараметрическая модель по методу экспоненциального сглаживания Хольта-Винтерса [15]. Она учитывает тенденцию изменения числа инцидентов, сезонность возникновения и экспоненциально-сглаженный ряд данных о зафиксированных происшествиях на выбранном участке.

#### Заключение

Процесс проактивного мониторинга базируется на сборе и консолидации больших данных о событиях с различных информационных источников путем представления их в виде векторных моделей и спектров временных рядов характеристик факторов влияния на события с целью прогностического моделирования рисков возникновения и развития. Предложенный подход предиктивного анализа спектров временных рядов упрощает нахождение зависимостей изменения показателей инцидентов от причинных событий и факторов влияния. Методика показывает наилучшие результаты при больших размерах обучающей выборки и позволяет находить зависимости между различными событиями без участия пользователя или эксперта. Благодаря выявленным трендам временных рядов инцидентов с включенным экспоненциальным сглаживанием, можно выявить направление развития дорожно-транспортных происшествий на различных участках с установленными фоторадарными комплексами фото и видеофиксации, сгладить колебания в рядах показателей инцидентов и факторов влияния для поиска частных спадов и резких скачков. Учет сезонности изменения погодных условий позволяет строить прогнозы на среднесрочные и долгосрочные периоды. Однако следует отметить и ряд ограничений данного подхода. Для повышения точности прогнозирования необходимы данные за достаточно длительный промежуток времени и несколько сезонных периодов (рекомендуется более 3-4). Например, для учета влияния погодных условий в разные месяцы нужны многолетние наблюдения за инцидентами участках дорог. Таким образом, размер временных интервалов наблюдений влияет на долгосрочность прогнозирования. Результатом анализа событий и сравнения паттернов временных рядов является выявление критических участков дорожно-транспортной инфраструктуры по числу и виду дорожных происшествий. Кластеризация позволяют выделить критические и аварийные участки и представить их на картографической основе с цветовой дифференциацией опасных зон. В процессе анализа временных рядов с моментами инцидентов определяются временные интервалы, в которые происходит аномальное отклонение количества происшествий от средних показателей. В результате сопоставления временных рядов выявляются факторы, которые с высокой вероятностью становятся определяющими для аномального изменения дорожно-транспортных ситуаций на контролируемых участках. Конечной целью является выявление критических пространственно-временных зон и факторов, которые вызывают возникновение и реализацию рисков дорожных инцидентов.

#### Благодарности

Результаты работы получены при финансовой поддержке РФФИ в рамках грантов № 18-07-00975-а, 19-013-00409-а, Результаты исследований, представленные в разделе 3, получены за счет средств Российского научного фонда (проект № 20-71-10087)

#### Литература

1. Scott M. Kozel Roads to the Future Available at: <http://www.roadstothefuture.com/main.html>
2. Lawrence, M.: What Is Proactive Monitoring? Small Business - Chron.com, <http://smallbusiness.chron.com/proactive-monitoring-73438.html>, last accessed 2020/01/21
3. P.Hehenberger, B.Vogel-Heuser, D.Bradley, B.Eynard, T.Tomiyama, S.Achiche. Design, Modelling, Simulation and Integration of Cyber Physical Systems: Methods and Applications // Computers in Industry, vol. 82, 2016, pp. 273-289.
4. Bakhmut, A., Krylov, A., Krylova, M., Okhtilev, M., Okhtilev, P., Sokolov, B. Proactive Management of Complex Objects Using Precedent Methodology. In: Silhavy R. (eds) Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems. vol 764. Springer, Cham, (2019)
5. Zohar Feldman, et al. Industry Article: Proactive Event Processing in Action: A Case Study on the Proactive Management of Transport Processes. Proceedings of the Seventh ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems, DEBS 2013, Arlington, Texas, USA . 2013. pp. 97 – 106
6. Monnin, M., Leger, J., Morel, D.: Proactive Fleet Health Monitoring and Management. In: Lee J., Ni J., Sarangapani J., Mathew J. (eds) Engineering Asset Management 2011. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, London, [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4993-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4993-4_28), last accessed 2020/01/21
7. Persia, L., Usami, D., ET AL.: Management of Road Infrastructure Safety. Transportation Research Procedia. 14. 3436-3445. (2016)
8. Wickramasuriya, S. L., Athanasopoulos, G., & Hyndman, R. J. (2019). Optimal forecast reconciliation for hierarchical and grouped time series through trace minimization. J American Statistical Association, 114(526), 804–819. <https://robjhyndman.com/publications/mint/>
9. Manikonda, P., Yerrapragada, A., Annasamudram, S.: Intelligent traffic management system. 119-122. <https://10.1109/STUDENT.2011.6089337>, last accessed 2020/01/21
10. Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). Introduction to time series and forecasting (3rd ed). New York, USA: Springer. [Amazon]
11. Dagum, E. B., & Bianconcini, S. (2016). Seasonal adjustment methods and real time trend-cycle estimation. Springer. [Amazon]

12. Samworth, Richard J. (2012). "Optimal weighted nearest neighbour classifiers". *Annals of Statistics*. 40 (5): 2733–2763. doi:10.1214/12-AOS1049
13. Christou, V., & Fokianos, K. (2015). On count time series prediction. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 85(2), 357–373. <https://doi.org/10.1080/00949655.2013.823612>
14. Hyndman, R.J., Koehler, A.B., Ord, J.K., and Snyder, R.D. (2008) *Forecasting with exponential smoothing: the state space approach*, Springer-Verlag. <http://www.exponentialsMOOTHING.net>.
15. Bergmeir, C., Hyndman, R. J., & Benítez, J. M. (2016). Bagging exponential smoothing methods using STL decomposition and Box-Cox transformation. *International Journal of Forecasting*, 32(2), 303–312. <https://robjhyndman.com/publications/bagging-ets/>

## НЕЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Харьков В.П.

ООО «Экспериментальная мастерская «НаукаСофт»

В статье рассмотрена задача синтеза управления на основе концепции обратных задач динамики. При этом объект управления может описываться как как линейными, так и нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями. Структуру закона управления предлагается формировать исходя из структуры описания поведения объекта управления в пространстве состояний и вида функционала качества. Синтезированы линейные и нелинейные алгоритмы управления, когда структура закона управления представляет собой параболическую зависимость от величины рассогласования. Выполнен численный эксперимент, показывающий преимущества и недостатки различных алгоритмов управления.

Ключевые слова: Динамические системы, метод обратных задач динамики, функционал качества, нелинейные алгоритмы управления, структура ограничений.

Nonlinear control algorithms dynamic systems. Kharkov V.P., LLC "Experimental Laboratory NaukaSoft».

The article deals with the problem of control synthesis based on the concept of inverse dynamics problems. In this case, the control object can be described as both linear and nonlinear ordinary differential equations. The structure of the control law is proposed to be formed based on the structure of the description of the behavior of the control object in the state space and the type of quality functional. Linear and nonlinear control algorithms are synthesized when the structure of the control law is a parabolic dependence on the mismatch value. A numerical experiment has been performed showing the advantages and disadvantages of various control algorithms.

Keywords: Dynamical systems, method of inverse problems of dynamics, quality functional, nonlinear control algorithms, structure of constraints.

### Введение

Известен подход к синтезу законов управления динамическими системами, поведение которых в пространстве состояний описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями на основе концепции обратных задач динамики [1, 2, 3]. Основное содержание которой заключается в следующем. Для системы

$$\frac{dX}{dt} = f(X, u, t), \quad (1)$$

где  $X(t)$  – вектор состояния исходной системы,  $u(t)$  –  $m$ -вектор управления,  $a$  – вектор параметров.

Требуется определить такой вектор управления, который бы доставлял экстремальное значение функционала

$$I = \int_{t_0}^{t_k} L(X, u, Y) dt. \quad (2)$$

В соответствии с [2], из управляемых координат формируется функция ограничений вида  $F(X, Y)$ , удовлетворяющая условию

$$\lim_{X \rightarrow \infty} F(X, Y) = 0, \quad (3)$$

где  $Y(t)$  – координаты опорной траектории.

Дальнейший синтез управления связан с выбором структуры функции  $F$ , обеспечивающей выполнение условия (3). Отметим, что в выражении (3)  $F(X, Y)$  –  $m$ -мерная векторная функция, непрерывно дифференцируемая по своим аргументам, определяющая некоторое многообразие,

согласованное с (2). В общем случае с учётом динамических свойств объекта управления (1) можно считать, что функция  $F(X, Y)$  в (3) удовлетворяет решению уравнения

$$\psi_1[\lambda_i, \dot{F}(X, Y), \ddot{F}(X, Y), \dots, F^{(k)}(X, Y)] = \psi_2[\beta, F(X, Y)], \quad (4)$$

где  $\lambda, \beta$  – произвольные числа, обеспечивающие устойчивость решения (4);  $\psi_1(\cdot)$  и  $\psi_2(\cdot)$  –  $m$ -мерные в общем случае нелинейные векторные функции.

Во многих технических приложениях функции  $\psi_1(\cdot)$  и  $\psi_2(\cdot)$  в уравнении (4), при которых обеспечивается условие (3), можно описать линейными однородными дифференциальными уравнениями, решение которых и будет определять характер изменения (3):

$$F^{(k)}(X, Y) + \lambda_{k-1} \cdot F^{(k-1)}(X, Y) + \dots + \lambda_0 \cdot F(X, Y) = 0. \quad (5)$$

Для определенности многообразие  $F(X, Y)$  определим в виде гиперплоскости, определяемой разностью между текущими и заданными значениями управляемых координат вектора состояния исходного объекта

$$F(X, Y) = DX(t) - Y(t), \quad (6)$$

где  $D$  – матрица соответствующей размерности, позволяющая согласовать элементы вектора  $X(t)$  с соответствующими компонентами заданного вектора  $Y(t)$ .

Подставляя (6) и (1) в (5), получаем линейное однородное дифференциальное уравнение относительно функции  $F(X, Y)$ .

Не нарушая общности рассуждений рассмотрим наиболее простой случай, когда система (1) представляет собой систему линейных дифференциальных уравнений [2]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + \Phi(t), \quad (7)$$

где  $A = \|a_{ij}\|$  – квадратная матрица размерности  $(n \times n)$  с известными элементами;  $B$  – вектор-столбец, определяющий коэффициенты, с которыми управление входит в каждое уравнение системы.

Заметим, что число управляемых координат вектора  $X(t)$  в установившемся режиме, а, следовательно, и размерность вектора  $F(X, Y)$  определяется размерностью вектора управляемых координат. Тогда без ограничения общности при скалярном управлении система (7) эквивалентна дифференциальному уравнению

$$\dot{x}_1^{(n)}(t) + \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_j x_1^{(j)}(t) = \sum_{i=0}^m b_i u^{(i)}(t) + \sum_{k=0}^n q_k(t), \quad (8)$$

где  $x_1(t)$  – выходная управляемая координата системы (9);  $m$  – число ненулевых элементов вектора  $B$ ;  $q_k(t)$  – возмущение, обусловленное действием сигнала  $\Phi_k(t)$  на соответствующий вход системы (9).

Введенные новые функции  $q_k(t), k = 1, 2, \dots, n$  также являются функциями времени и определяются по формуле

$$q_k(t) = \sum_{j=0}^{P_k} \gamma_j \Phi_k^{(j)}, k = 1, 2, \dots, n$$

Здесь приняты следующие обозначения:  $P_k$  – порядок числителя передаточной функции для сигнала  $\Phi_k(t)$ ;  $\gamma_j$  – коэффициенты числителя соответствующей передаточной функции.

Подставляя (8) и (6) в (5), получаем дифференциальное уравнение в общем случае  $m$ -го порядка относительно  $u(t)$

$$b_m u^{(m)}(t) + b_{m-1} u^{(m-1)}(t) + \dots + b_0 u(t) = z(t), \quad (9)$$

где

$$z(t) = \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_j x_1^{(j)}(t) - \sum_{j=0}^{n-1} \lambda_j (x_1, y_{\text{ж}}) + y_{\text{ж}}^{(n)} - \sum_{i=0}^n q_i(t).$$

Изложенный подход применим не только для линейных, но и для нелинейных систем вида

$$\dot{X}(t) = \varphi(X, t) + g(X)u(t).$$

т.е. для систем, когда управление в правую часть уравнения объекта входит в виде линейного слагаемого.

Выше была рассмотрена задача синтеза оптимального управления для случая, когда на компоненты вектора состояния  $X(t)$  наложены ограничения в виде линейного однородного дифференциального уравнения. Достоинство такого ограничения заключается в том, что при  $F(X, Y)$ , выбранном в виде разности достижимых координат и их желаемых значений, замкнутая система является линейной и управление является линейной функцией от рассогласования.

Постановка задачи

При решении ряда практических задач такое ограничение не всегда является приемлемым. К таким задачам, прежде всего, относятся те, для которых необходимо либо ввести зону нечувствительности по рассогласованию, либо, когда величина приращения управления должна нелинейно зависеть от величины отклонения управляемой координаты от заданного значения. Характерным примером таких задач является задача управления скоростью полета ЛА в условиях неспокойной атмосферы по температуре и давлению, которая характерна для весенне-осеннего сезонов. В этом случае происходят интенсивные колебания тяги силовой установки ЛА, приводящие к изменению скорости полета.

В общем случае, когда не требуется аналитического решения для закона управления, характер изменения  $F(X, Y)$  может быть выбран в любой форме, допускающей возможность определения его интеграла

$$\psi(\lambda, \dot{F}(x, y), \ddot{F}(x, y), \dots, F^{(n)}(x, y)) = \varphi(\beta, F(x, y)). \quad (10)$$

Рассмотрим процедуру синтеза управления, когда левая часть ограничения (10) представима в виде совокупности линейных членов относительно производных функции  $F(X, Y)$ , а правая является некоторым полиномом от  $F(X, Y)$ . Тогда задача формулируется следующим образом. Для системы (1) требуется найти такое управление, которое обеспечивает экстремальное значение функционала (2) при ограничении вида)

$$\lambda_1 F^{(1)}(X, Y) + \lambda_2 F^{(2)}(X, Y) + \dots + \lambda_k F^{(k)}(X, Y) = \lambda_0 F(X, Y) + \lambda_1 F^3(X, Y). \quad (11)$$

Данное уравнение записано для скалярной функции  $F(X, Y)$ . Если  $F(\cdot)$  векторная функция, то выражение  $F^3(X, Y)$  трактуется как вектор, составленный из соответствующих степеней компонент вектора  $F(\cdot)$  соответствующей степени. Подставляя (1) и (6) в уравнение (11) и разрешая его относительно управления получаем

$$u(X) = \varphi_x(e^{\sigma t}, \sigma = \sigma_j, j = 1, 2; X, y(t)). \quad (12)$$

Структура замкнутой системы и управления (12) определяется как структурой самой системы, так и ограничением (11).

#### Пример

Для определенности рассмотрим объект, поведение которого в пространстве состояний описывается линейным дифференциальным уравнением первого порядка. Тогда уравнение системы запишем в виде

$$\frac{dx}{dt} = ax(t) + ku(t), \quad (13)$$

где  $a, k$  – заданные числа. Требуется найти управление, доставляющее минимум функционала

$$I = \int_{t_0}^{t_k} (bx^2 + ju^2) dt. \quad (14)$$

При этом ограничения принимаем в виде нелинейных ограничений типа (11)

$$\frac{dF}{dt} + \lambda F + \beta F^3 = 0. \quad (15)$$

Исходя из постановки задачи управления физическая постановка задачи формулируется следующим образом. Требуется перевести объект из некоторого ненулевого начального состояния в начало координат. Здесь функция  $F$  принята равной  $F = x - y, y = 0$ . Это означает, что задача управления связана с переводом исходной системы из некоторого состояния  $x(t=0)$  в начало координат. Подставляя (13) в (15) и учитывая вид функции  $F$  получаем аналитическое выражение для управления

$$u = -((\lambda + a)x + \beta x^3) / k. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (14) и разрешая его относительно выходной координаты, получаем

$$x(t) = x_0 \sqrt{\frac{\lambda}{(\lambda + \beta x_0^2)e^{2\lambda t} - \beta x_0^2}} \quad (17)$$

Проанализируем полученный результат (17), сравнивая его с  $x(t)$  при линейных ограничениях. Тогда имеем:  $x(t=0) = \lim_{x \rightarrow 0} x(t) = x_0$  и при линейных ограничениях  $x(t=0) = x_0$ , при  $t \rightarrow \infty$  получаем

$x(t \rightarrow \infty) = \lim_{x \rightarrow \infty} x(t) = x_0 e^{-at} = 0$  и для линейного случая получаем, что

$x(t \rightarrow \infty) = \lim_{x \rightarrow \infty} x(t) = x_0 e^{-at} = 0$ , а для произвольного  $t$  система (17) в  $(\lambda + \beta x_0^2)$  раз быстрее стремится к 0. Эффективность системы управления проверялась при различных структурах системы ограничений (15), которые порождали и различные законы управления. Сравнилось три закона

управления, которым соответствовали различные ограничения: первый закон управления соответствовал условию линейных ограничений  $\lambda \neq 0, \beta = 0$ ; второй получен при нелинейных ограничениях, когда в (15) коэффициент  $\beta \neq 0$ , а  $\alpha = 0$ ; а третий закон был получен при условии, что  $\beta \neq 0, \lambda \neq 0$ . Результаты моделирования приведены на рисунке 1. Здесь приведены нормированные траектории движения системы из ненулевого начального положения в начало координат. Как следует из приведенных графиков наиболее приемлемой траекторией движения и соответственно и законом управления является третий вариант ограничений.

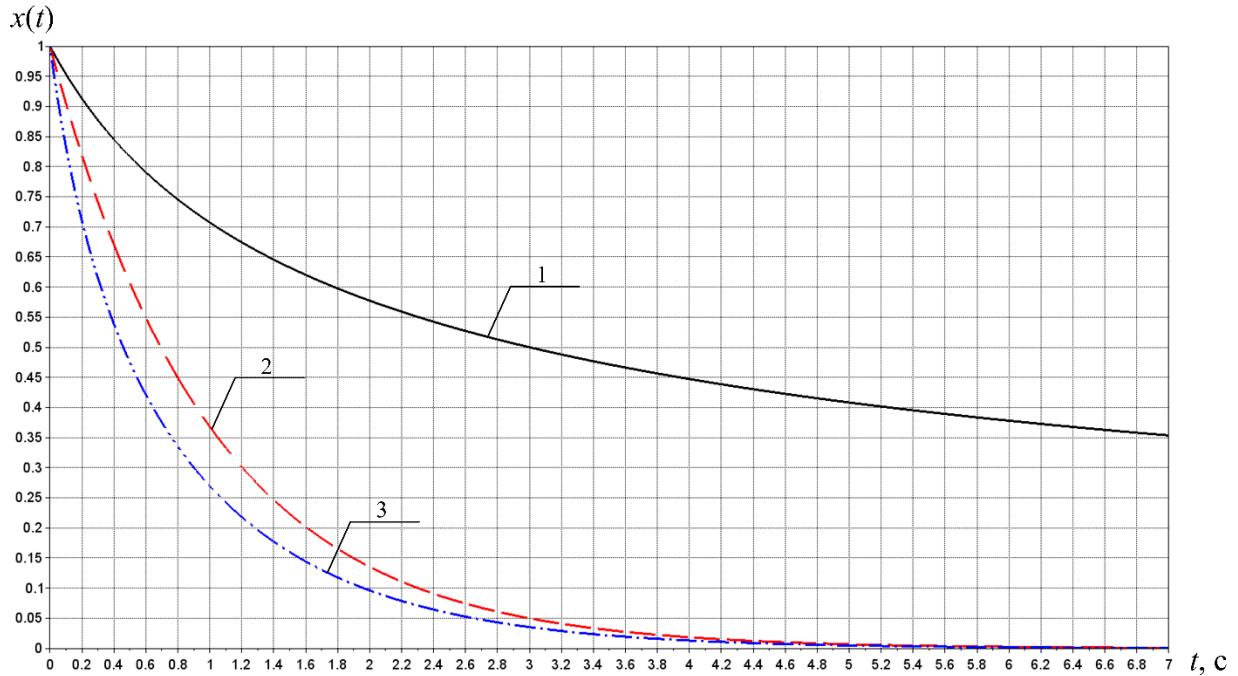


Рисунок 1 – Траектории движения системы при ликвидации ненулевых начальных условий для ограничений: 1 – линейные ограничения; 2 – ограничение в виде кубического; 3 – ограничение в виде кубической параболы

Изменение величины сигнала управления при различных структурах функции  $F(\cdot)$  или системы ограничений представлено на рисунке 2.

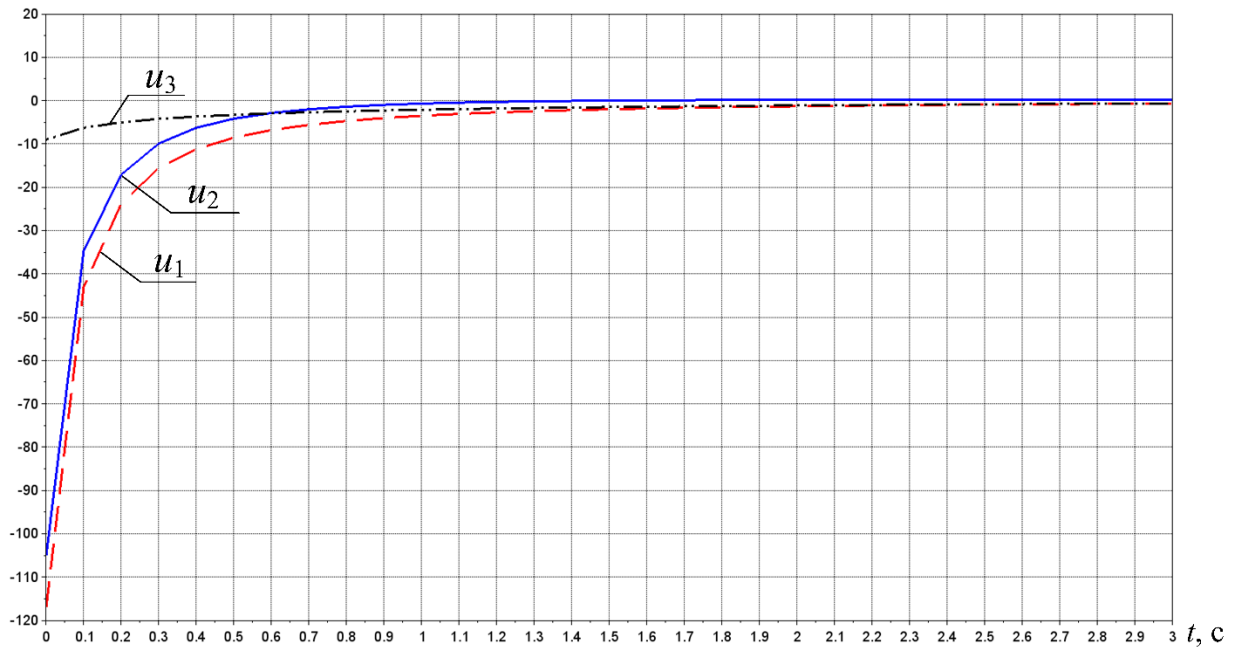


Рисунок 2 – Графики изменения сигналов управления при различных ограничениях



Анализ представленных результатов моделирования позволяет сделать однозначный вывод о наиболее эффективном алгоритме управления или о законе изменения ограничения (3). Из результатов, представленных на рисунке 2 следует, что управление при ограничении в виде кубической параболы (3) является наиболее эффективным. Однако в реальных системах автоматического управления как правило необходимо одновременно обеспечивать выполнение различных условий, например, быстродействие, время регулирования, величину перерегулирования и т. д. Следовательно, выбор коэффициентов  $\lambda_j$  и  $\beta_j, j = 0, 1, 2, 3, \dots$  определяется структурой объекта, условиями, решаемой задачи и обще инженерными требованиями, например, требованиями устойчивости. На рисунке 3 представлены графики изменения управляемой координаты  $X(t)$  и управления при оптимальных значениях коэффициентов функции ограничений.

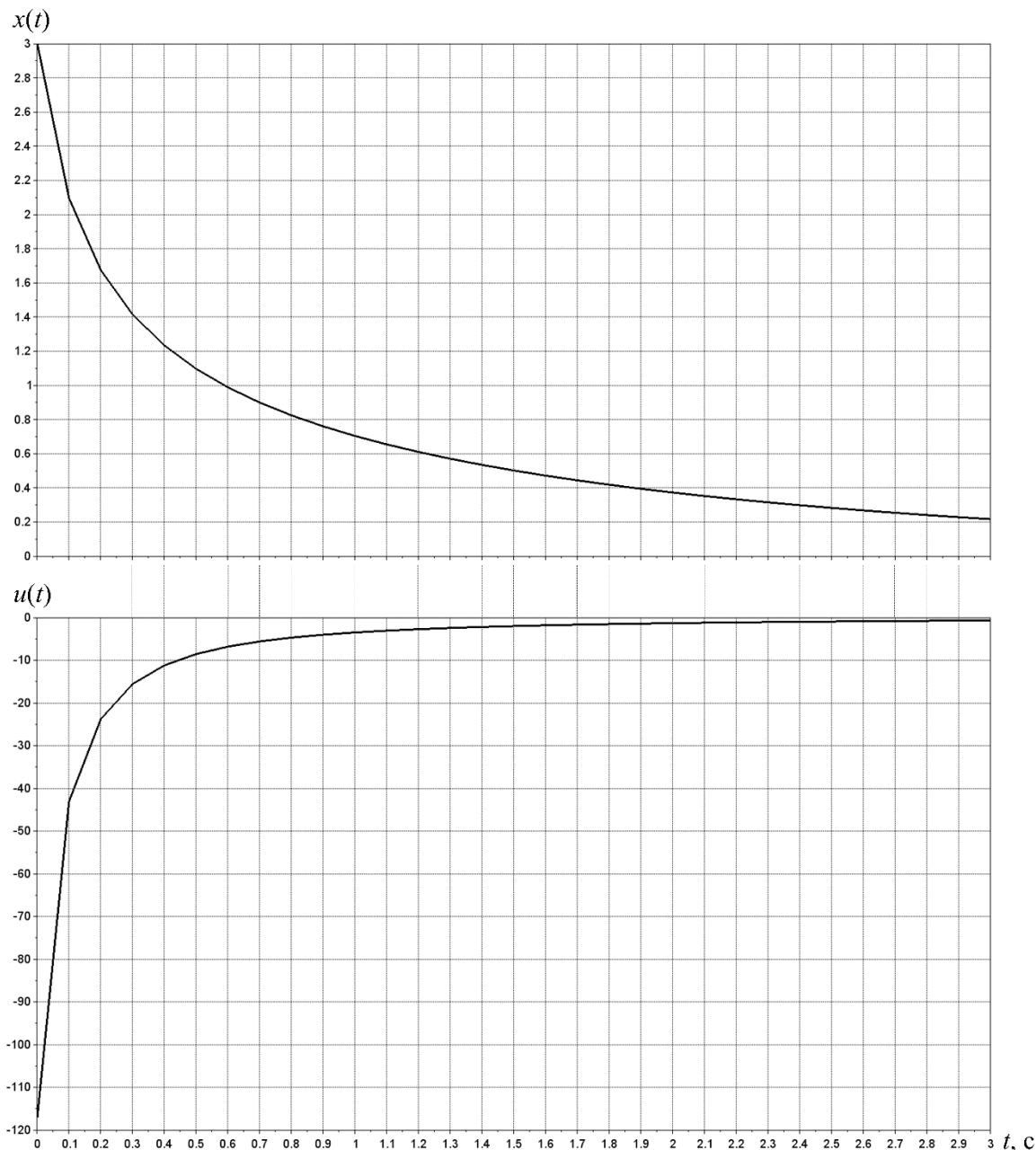


Рисунок 3. Графики изменения управляемой координаты и сигнала управления при оптимальных значениях коэффициентов функции  $F$

Из анализа графика изменения координаты  $X(t)$  следует, что скорость ликвидации рассогласования существенно выше чем для управления с линейными ограничениями. Так, например, при  $t=1$  ошибка не превышает 22% от номинального значения, а для линейного случая она составляет 70%.

Выводы

Выбор в виде системы ограничений нелинейное многообразие, определяемой кубической параболой позволяет повысить эффективность решения многих технических задач. Это достигается за счёт увеличения расхода энергии на управление.

#### Литература

1. Харьков В. П. Адаптивное управление динамическими системами на основе обратных задач динамики // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1994, №4, С. 115–124.
2. Харьков В. П. Структурно-параметрический метод синтеза управления динамическими системами // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1991, №2.
3. Меркулов В. И., Канащенков А. А., Харьков В. П. и др. Авиационные системы радиоуправления. М.: Радиотехника, 2004.
4. Верба В. С., Капустян С. Г., Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимизация радиоэлектронных систем управления. Методы и алгоритмы синтеза оптимального управления\* часть 1. Классификация методов решения задачи оптимального управления. Метод динамического программирования. Принцип максимума Понтрягина // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 12. С. 3–16.
5. Петров В. М., Воробьев А. В., Куликов В. Е., Харьков В. П. Способ управления полётом самолёта. Патент на изобретение. RUS.№2249540, 06.02.2003г.

### ИНЕРЦИАЛЬНО – ОДОМЕТРИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОЙ СПУТНИКОВОЙ КОРРЕКЦИЕЙ

Чернодаров А.В., Патрикеев А.П., Иванов С.А.\*

ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», \*АО «Раменский приборостроительный завод»  
[srpmier@mail.ru](mailto:srpmier@mail.ru)

Рассматриваются особенности функционирования навигационных систем в городских условиях. Объектом исследований является инерциально-спутниковая навигационная система БИНС-500НС, взаимодействующая с автомобильным одометром. Предлагается технология комплексирования таких систем с помощью фильтра Калмана. Приводятся результаты экспериментальной отработки различных режимов комплексирования.

Ключевые слова: инерциальная навигационная система, спутниковая навигационная система, одометр, фильтр Калмана.

Inertial-Odometric Navigation System with Interference Protected Satellite Correction. Chernodarov A.V, Patrikeev A.P, \*Ivanov S.A. “NaukaSoft” Experimental Laboratory, Ltd., Moscow, Russia, \* “Ramensky Instrument Engineering Plant”, JSC, Ramenskoe, Moscow Region, Russia

Features of navigation systems functioning in urban conditions are considered. The object of research is the SINS-500NS inertial satellite navigation system, which interacts with a car odometer. A technology for integrating such systems using the Kalman filter is proposed. The results of experimental testing of various modes of integration are presented.

Keywords: inertial navigation system, satellite navigation system, odometer, Kalman filter.

#### Введение

Современное состояние наземного транспорта (НТ) характеризуется совершенствованием навигационного оборудования. Это связано с внедрением средств интеллектуальной поддержки режимов автоматического управления и обеспечения безопасности движения. Следует отметить, что рекомендуемое в ГОСТ [1] применение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для решения указанных задач имеет ряд ограничений [2], а именно: воздействие естественных и имитационных помех; отражение сигналов от зданий и земной поверхности; пропадание сигналов из-за затенений и в тоннелях; появление аномальных сигналов при изменении спутниковых созвездий и плохом геометрическом факторе; низкая частота позиционирования; отсутствие информации об угловой ориентации транспортных средств. В то же время расширение возможных применений бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) и наличие у современных автомобилей одометров, связанных с бортовым компьютером, позволяет реализовать инерциально-одометрическую поддержку ГНСС. С другой стороны, при наличии информации от ГНСС представляется возможным выполнять не только дискретное позиционирование, но и динамическую калибровку одометра и чувствительных элементов (ЧЭ) БИНС: гироскопов и акселерометров.

Цель работы – исследовать возможности комплексирования и взаимной поддержки БИНС, ГНСС и одометра при их эксплуатации в городских условиях.

### 1. Аппаратное обеспечение навигационного комплекса ГНСС+БИНС+одометр

Для достижения поставленной в работе цели в ООО «Экспериментальная мастерская Наука-Софт» (Москва) разработан навигационный комплекс (НК), включающий инерциально-спутниковую систему БИНС-500НС [3] (см. рис. 1), одометр, сопряженный с бортовым автомобильным компьютером (БАК), адаптер ELM-327 [4] (см. рис.2), обеспечивающий взаимосвязь БАК с внешним планшетным компьютером (ПК). Инерциальный измерительный модуль (ИИМ) системы БИНС-500НС выполнен на базе волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) и кварцевых акселерометров. Частота обновления и регистрации данных на встроенную в систему флэш-память для ИИМ - 1кГц, для ГНСС и других внешних наблюдений  $\leq 1$ Гц. Частота обновления и регистрации данных с одометра: для путевой скорости 10Гц, для пройденного пути 1км. Рассматриваемые в работе технологические решения реализованы на операционной системе реального времени Linux, поддерживающей модульную архитектуру построения

НК. Наличие встроенной флэш-памяти позволило получить и проанализировать зарегистрированные данные с учетом реальных условий эксплуатации. Кроме того, это позволило модернизировать и исследовать программно-математическое обеспечение на множестве траекторий и алгоритмов.

Технологическая схема экспериментальной отработки НК ГНСС+БИНС+одометр показана на рис. 3, где TP – технологический разъем, RS – соответствующие интерфейсы.

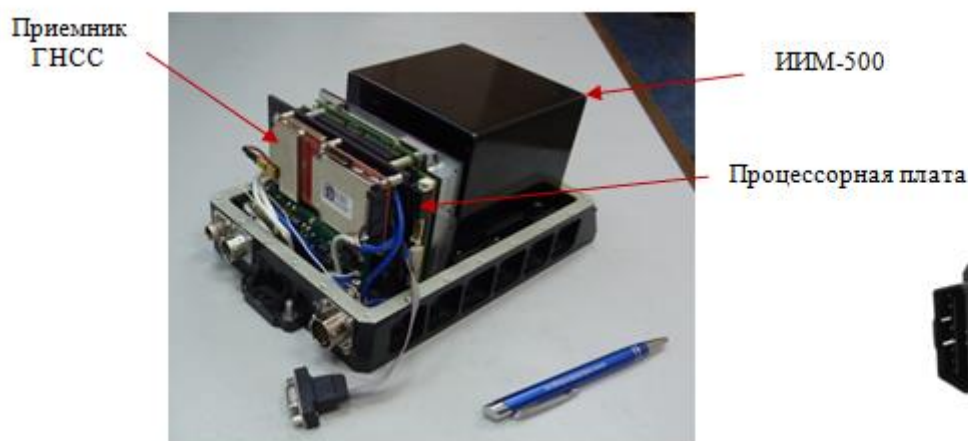


Рисунок 1 – Инерциально-спутниковая навигационная система БИНС-500НС

Рисунок 2 – Сканер ELM-327

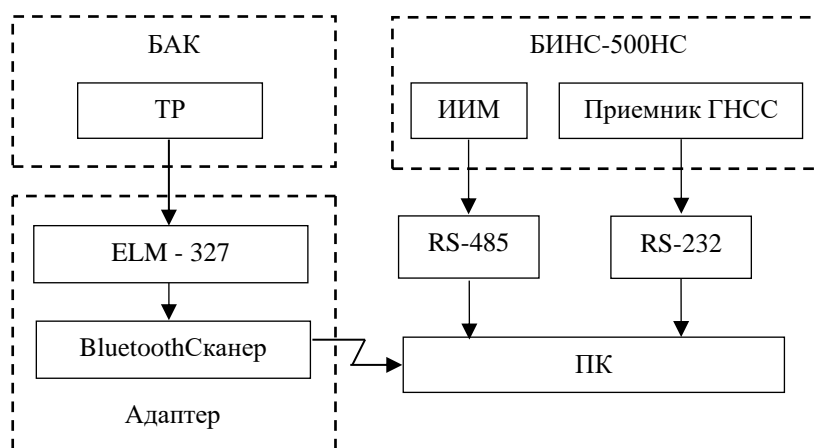


Рисунок 3 – Технологическая схема экспериментальной отработки системы ГНСС+ИНС+одометр

### 2. Программно-математическое обеспечение навигационного комплекса ГНСС+БИНС+одометр

Программно-математическое обеспечение (ПМО) реализует как автономные без ГНСС, так и неавтономные с ГНСС режимы функционирования НК. ПМО БИНС основано на раздельном решении уравнений для кватернионов ориентации  $\bar{q}_0$  и навигации  $\bar{p}_1$ :

$$2\dot{\bar{q}}_0 = \Pi_0 \bar{q}_0; 2\dot{\bar{p}}_1 = \Pi_1 \bar{p}_1, \quad (1)$$

$$\text{где } \Pi_0 = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\Theta}_x & -\dot{\Theta}_y & -\dot{\Theta}_z \\ \dot{\Theta}_x & 0 & \dot{\Theta}_z & -\dot{\Theta}_y \\ \dot{\Theta}_y & -\dot{\Theta}_z & 0 & \dot{\Theta}_x \\ \dot{\Theta}_z & \dot{\Theta}_y & -\dot{\Theta}_x & 0 \end{bmatrix}; \Pi_1 = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_\xi & -\omega_\eta & -\omega_\zeta \\ \omega_\xi & 0 & \omega_\zeta & -\omega_\eta \\ \omega_\eta & -\omega_\zeta & 0 & \omega_\xi \\ \omega_\zeta & \omega_\eta & -\omega_\xi & 0 \end{bmatrix};$$

$\bar{q}_0 = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$  - кватернион, характеризующий угловую ориентацию связанной с ИИМ системы координат (СК) относительно инерциальной СК и определяемый по сигналам ВОГ  $\dot{\Theta}_x, \dot{\Theta}_y, \dot{\Theta}_z$ ;  $\bar{p}_0 = \{p_0, p_1, p_2, p_3\}$  - кватернион, характеризующий угловую ориентацию полусвободного в азимуте опорного навигационного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$  [3] относительно земной геоцентрической системы координат и определяемый по угловым скоростям  $\omega_\xi, \omega_\eta, \omega_\zeta$  движения объекта относительно земной поверхности. По элементам кватернионов определяются углы ориентации ИИМ: истинный курс, тангаж и крен, а также геодезические широта  $\varphi$ , долгота  $\lambda$  и азимут  $A$  опорного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$  относительно геодезического  $oENH$

$$\varphi = \arctg [(p_0^2 + p_1^2 - 0.5) / \sqrt{(p_0^2 + p_3^2)(p_1^2 + p_2^2)}]; \quad (2)$$

$$\lambda = \arctg [(p_2 p_3 - p_0 p_1) / (p_1 p_3 + p_0 p_2)]; \quad (3)$$

$$A = \arctg [(p_0 p_2 - p_1 p_3) / (p_2 p_3 + p_0 p_1)]; \quad (4)$$

Раздельное решение уравнений (1) позволило довести глубину оценивания ошибок БИНС до уровня чувствительных элементов. Базовый вектор ошибок НК включал 20 параметров, а именно: ошибки счисления составляющих вектора относительной скорости, ошибки счисления элементов кватернионов навигации и ориентации, угловые дрейфы ВОГ, смещения сигналов акселерометров, ошибку счисления высоты относительно земного эллипсоида и ошибки одометра при измерении путевой скорости и пройденного пути.

Подготовка БИНС к работе включает этапы грубой и точной начальной выставки (НВ).

Грубая НВ (ГВ) реализуется на основе метода аналитического гирокомпасирования, когда по выходным сигналам ЧЭ определяются элементы соответствующей матрицы направляющих косинусов (МНК), а затем углов ориентации ИИМ относительно опорного навигационного трехгранника.

На этапе точной НВ оцениваются и компенсируются ошибки ГВ на основе обработки с помощью обобщенного фильтра Калмана (ОФК) [5] наблюдений геофизических инвариантов, а именно: угловой скорости вращения Земли и навигационных параметров, определяемых с учетом неподвижного основания БИНС. ОФК применяется для оценки ошибок нелинейных динамических систем, какой является БИНС.

$$Z_{\Theta(i)} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} C_0^T(\tau) \dot{\Theta}(\tau) d\tau - [0:0:\Omega\Delta t_i]^T; \quad (5)$$

$$Z_{k(i)} = [\varphi_i \lambda_i]_{\text{БИНС}}^T - [\varphi_i \lambda_i]_{\text{ТНВ}}^T; \quad (6)$$

$$Z_{V(i)} = [V_\xi V_\eta V_\zeta]_{(i)\text{БИНС}}^T, \quad (7)$$

где ТНВ – точка начальной выставки;  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$  – шаг наблюдения;  $C_0$  – МНК, характеризующая угловую ориентацию связанной с ИИМ системы координат относительно инерциальной и определяемая по кватернионам  $\bar{q}_0$ ;  $\Omega$  – величина угловой скорости вращения Земли. Особенность указанного режима связана с реализацией «псевдосчисления» параметров ориентации и навигации по сигналам ЧЭ при неподвижном основании системы.

В режиме инерциально-спутниковой навигации обрабатываются следующие наблюдения:

$$Z_{k(i)} = [\varphi_i \lambda_i]_{\text{БИНС}}^T - [\varphi_i \lambda_i]_{\text{ГНСС}}^T; \quad (8)$$

$$Z_{V(i)} = C_{1(i)}^T [V_\xi V_\eta V_\zeta]_{(i)\text{БИНС}}^T - [V_E V_N V_H]_{(i)\text{ГНСС}}^T, \quad (9)$$

где  $C_1$  – МНК, характеризующая взаимную угловую ориентацию опорного  $o\xi\eta\zeta$  и геодезического  $oENH$  сопровождающих трехгранников.

Для контроля информационной целостности наблюдений и их защиты от помех использованы статистические свойства [6] кондиционных невязок  $v_j$  и их прогнозируемых дисперсий  $\alpha_j^2$ , формируемых в ОФК, для нормального, хи-квадрат и тэта-квадрат распределений, а именно:

$$v_j \in N(0, \alpha_j^2); J_j = v_j^2 / \alpha_j^2 \in \chi^2(1, 2); F_j = \hat{\alpha}_j^2 / \alpha_j^2 \in \mathcal{G}^2(b, c), \quad (10)$$

где  $v_j = Z_j - \hat{Z}_j$  – невязка между реальным  $Z_j$  и прогнозируемым  $\hat{Z}_j = H_j \hat{m}_j$  значениями наблюдений;  $m_j$ ;  $\hat{x}_{i/i}$  – оценки вектора ошибок БИНС  $x_i$  на  $i$ -м шаге после обработки соответственно  $j$ -го элемента и всего вектора наблюдений  $Z_i$ ;  $H_j$  – вектор – строка коэффициентов связи.

$\hat{\alpha}_{j(i)}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=i-N+1}^i [v_{j(k)} - \bar{v}_{j(i)}]^2$  – оценка дисперсии;  $j = \overline{1, l}$ ;  $\bar{v}_{j(i)}$  – оценка математического ожидания невязки в  $j$ -м канале наблюдений в  $i$ -й момент времени. Отсутствию нарушений можно поставить в соответствие желаемое значение математического ожидания невязки  $\bar{v}_{j(i)} = 0$ ;

$b = N/(N-2)$ ;  $c = 4N(N-1)/[(N-2)^2(N-4)]$  – табулированные параметры [5];  $N$  – количество отсчетов невязки на скользящем временном интервале  $T = [t_{i-N+1}, t_i]$ .

Анализ табличных данных показывает, что условиям (10) правильного функционирования НК можно поставить в соответствие правило трех сигм [6], а именно:

$$J_j \leq \gamma_1^2 = M[\beta_j^2] + 3\sqrt{D[\beta_j^2]} = 1 + 3\sqrt{2} \approx 5.2; \quad (11)$$

$$F_j \leq \eta_1^2 = M[F_j] + 3\sqrt{D[F_j]} = b + 3\sqrt{c}, \quad (12)$$

где  $\gamma_1^2$ ;  $\eta_1^2$  – допуски;  $M[\dots]$ ;  $D[\dots]$  – операторы математического ожидания и дисперсии.

Контроль по критерию  $\chi^2$  позволяет обнаруживать как аномальные наблюдения, так и постепенные нарушения. Диагностический параметр  $F_j$  определяется по множеству невязок на скользящем временном интервале. Сбойные сигналы, используемые для вычисления такого параметра, усредняются и несущественно влияют на результаты контроля. В то же время постепенные нарушения в ЧЭ, характеризующиеся постоянными смещениями невязок относительно их номинальных значений, приводят к отклонению параметра от допуска. Таким образом, если нарушение в  $j$ -м наблюдении выявляется по обоим критериям, то оно наиболее вероятно связано с БИНС, если только по критерию  $\chi^2$ , то с ГНСС. С учетом соотношений (11), (12) может быть реализована следующая процедура контроля и парирования нарушений в НК. При отсутствии нарушений невязка обрабатывается с помощью ОФК, аномальные наблюдения, выявленные по критерию  $\chi^2$ , исключаются из обработки или обрабатываются с коэффициентами робастного доверия [6], а нарушения, выявленные по обоим критериям, парируются путем адаптации [6] параметров ОФК к реальным измерительным процессам.

В инерциально-одометрическом режиме навигации обрабатываются следующие наблюдения:

$$Z_{V_{\text{ОДМ}}(i)} = [V_\xi V_\eta V_\zeta]_{(i)\text{БИНС}}^T - C_2^T [V_{x_{\text{ОДМ}}} \ 00]_{(i)}^T; \quad (13)$$

$$Z_{\Delta S(i)} = \Delta S_{\text{БИНС}(i)} - \Delta S_{\text{ОДМ}(i)}, \quad (14)$$

где  $V_{x_{\text{ОДМ}}}$ ;  $\Delta S_{\text{ОДМ}(i)}$  – путевая скорость и пройденный путь, измеренные одометром;  $C_2$  – МНК,

характеризующая угловую ориентацию связанной с ИИМ системы координат относительно опорного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$ .

Инерциально-спутниковая калибровка одометра реализуется путем обработки наблюдений

$$Z_{V_{\text{ОДМ}}(i)} = V_{x_{\text{ОДМ}}(i)} - V_{x_{\text{ГНСС}}(i)}. \quad (15)$$

### 3. Анализ результатов исследований

Эксперименты проводились в городских условиях, которые являются наиболее критичными для ГНСС. Оборудование размещалось в подвижной лаборатории на базе автомобиля. Циклограмма работы системы БИНС-500НС включала следующие этапы: грубая начальная выставка ( $t=0\div 300$ с); точная начальная выставка ( $t=300\div 760$ с); навигационный режим ( $t > 760$  с).

На рисунке 3 показана горизонтальная траектория движения испытательной лаборатории, где

$$\Delta\varphi_R = [\varphi(t) - \varphi(t_0)]R; \Delta\lambda_R = [\lambda(t) - \lambda(t_0)]R \cos \varphi; R - \text{величина радиус-вектора местоположения}$$

БИНС.

На рисунках 4, 5 показаны круговые позиционные ошибки оценки местоположения системы БИНС-500НС в инерциально-спутниковом режиме, а именно: на рис. 4 – без контроля целостности наблюдений; на рис. 5 – с контролем целостности наблюдений и парированием нарушений. На рисунке 6 показана такая же ошибка для НК ГНСС+БИНС+одометр с контролем целостности наблюдений и адаптивной настройкой ОФК, где

$$\Delta S = \sqrt{\delta_\varphi^2 + \delta_\lambda^2}; \delta_\varphi = (\varphi_{\text{БИНС}} - \varphi_{\text{ГНСС}})R; \delta_\lambda = (\lambda_{\text{БИНС}} - \lambda_{\text{ГНСС}})R \cos \varphi_{\text{ГНСС}}.$$

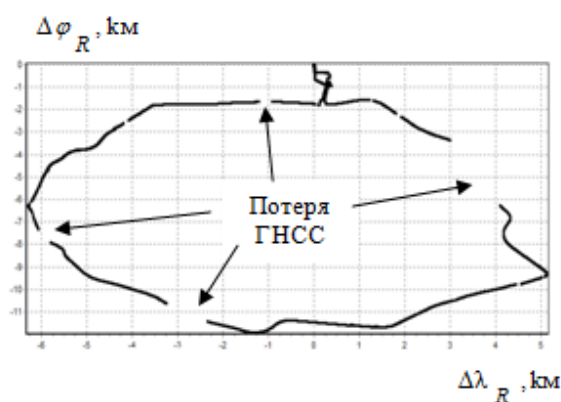


Рисунок 3 – Горизонтальная траектория движения испытательной лаборатории

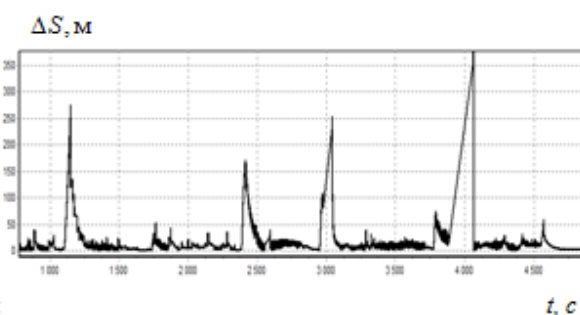


Рисунок 4 – Позиционная ошибка в инерциально-спутниковом режиме без контроля целостности наблюдений

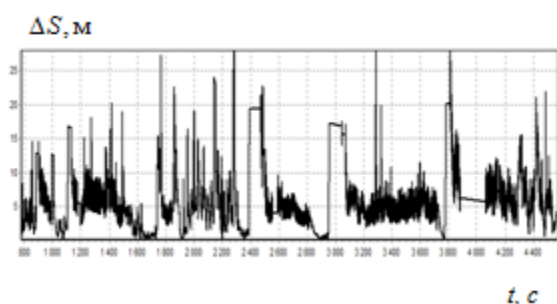


Рисунок 5 – Позиционная ошибка в инерциально-спутниковом режиме с контролем целостности наблюдений

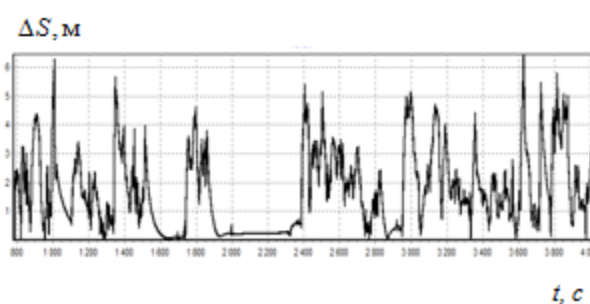


Рисунок 6 – Позиционная ошибка системы ГНСС+БИНС+одометр с контролем целостности наблюдений и адаптивной настройкой ОФК

Можно видеть, что реализация алгоритмов контроля и защиты информационной целостности наблюдений позволила не менее чем на порядок уменьшить круговую позиционную ошибку БИНС в автономном режиме навигации с периодической коррекцией от ГНСС. Включение в НК одометра и применение адаптивных процедур настройки ОФК позволило дополнительно уменьшить такую ошибку до единиц метров.

#### Литература

1. ГОСТ 33472 – 2015. Глобальная навигационная спутниковая система. Аппаратура спутниковой навигации для оснащения колесных транспортных средств категорий М и N. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2017. 74с.

2. Schmidt G.T. GPS Based Navigation Systems in Difficult Environments, Gyroscopy and Navigation, 2019, vol. 10, no 2, pp. 41 – 53.
3. Чернодаров А.В. Летная отработка инерциально-спутниковой навигационной системы БИНС-500НС в высоких широтах / А.В. Чернодаров, А.П. Патрикеев, О.А. Карпов // XXV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб: ОАО «ЦНИИ «Электроприбор». 2018. С. 296 – 299.
4. Адаптер ELM 327 (Bluetooth). [Online]. Available: <http://diagnost7.ru>
5. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение, 1991. 512с.
6. Чернодаров А.В. Контроль и адаптивно-робастная защита информационной целостности инерциально-спутниковых навигационных систем / А.В. Чернодаров, А.П. Патрикеев, Ю.Н. Коробков // XVI Международная научно-практическая конференция «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии». – М.: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2019. С. 342 – 346.

#### РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТА ГАЗОБОЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА, РАБОТАЮЩЕГО НА ДИЗИЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

Деренок А.Н.\*, Ли В.Ю.\*\*, Деренок А. Д.\*, Чулков Н. А.

\*ТГАСУ, \*\*Томский политехнический университет, ТТО Профсоюза Образования РФ

Статья посвящена выбору наиболее эффективного и подходящего топлива для дизельных двигателей при транспортировке полезных ископаемых. В результате исследования уточнена схема работы дизельного двигателя с использованием газомоторного топлива. Основная проблема, с которой сталкиваются эксплуатационники - сокращение выбросов от автотранспорта при выполнении решений Конференции по климату в Париже в 2015 и в 2016 годах.

Ключевые слова: карьер, загрязнение атмосферы, дизельный двигатель, газобаллонное оборудование.

Development of gas-billed equipment for quarry motor vehicles operating on diesel fuel. Derenok A. N\*, Li V.Y.\*\*, Derenok A. D.\*, Chulkov N.A., \*Tomsk State University of Architecture and Construction, \*\*Tomsk Polytechnic University, TTO Trade Union of Education of the Russian Federation.

The article is dedicated to choosing the most efficient and suitable fuel for diesel engines when transporting minerals. As a result of the study, the scheme of operation of the diesel engine using gas-engine fuel was clarified. The main problem faced by operators is the reduction of emissions from motor vehicles in the implementation, agreed at the Paris Climate Conference and adopted by consensus in 2015 and 2016.

Keywords: quarry, air pollution, diesel engine, gas-balloon equipment.

#### Введение

Современная цивилизация осуществляет невиданное давление на природу. Загрязнение природной среды промышленными выбросами оказывает вредное действие на людей, животных, растения, почву, здания и сооружения, снижает прозрачность атмосферы, повышает влажность воздуха, увеличивает число дней с туманами, уменьшает видимость, вызывает коррозию металлических изделий.

Так как автомобильными двигателями выделяются в воздух более 95% оксида углерода, около 65% углеводородов и 30% оксидов азота. Кроме того, входящий в состав воздуха азот при высокой температуре и давлении в цилиндрах двигателя реагирует с остаточным кислородом. В результате образуются оксиды углерода – одни из вредных составляющих выхлопных газов.

Автомобиль загрязняет атмосферный воздух не только токсичными компонентами отработанных газов, парами топлива, но и продуктами износа шин, тормозных накладок. В атмосферный воздух постоянно поступают пары топлива из баков, наиболее заметных в летний период в местах массовых стоянок автомобилей.

Согласно Парижскому соглашению призвано регулировать меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Парижское соглашение – договоренность о конкретных действиях, заключенная в рамках Конвенции ООН об изменении климата. Парижское Соглашение пришло на смену Киотскому протоколу.

Парижское соглашение было согласовано на Конференции по климату в Париже и принято консенсусом в 2015 и в 2016 годах [1].

Цель Соглашения – удержать рост глобальной средней температуры "намного ниже" 2 °С и "приложить усилия" для ограничения роста температуры величиной 1,5 °С. Ученые считают, что более

значительный рост температуры, вызванный выбросом в атмосферу углекислого газа, может привести к необратимым последствиям для экологии.

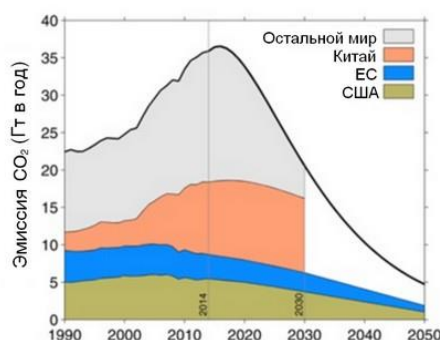


Рисунок 1 – Снижение эмиссии CO<sub>2</sub> по Парижскому соглашению [1]

Соглашение призывает "обеспечить самый высокий возможный уровень усилий по предотвращению изменения климата в период до 2020 года". Участники определяют свои вклады в достижение декларированной цели в индивидуальном порядке, пересматривают их раз в пять лет [1].

Соглашение подписали более ста девяноста стран. Из них большинство его ратифицировали.

Это подписанное Соглашение является основанием для организации борьбы с загрязнением воздуха путём уменьшения выбросов углекислого газа и других парниковых газов в атмосферу [1].

Из этого можно сделать вывод, что только совместными усилиями в борьбе с загрязнением атмосферы возможно прийти к положительной тенденции уменьшения выбросов в окружающую среду.

Так же в соответствии с пунктом 104 решения 1/СР.21, касающегося вступления в силу Парижского Соглашения (статья 21), был сделан анализ всех выбросов стран, наиболее загрязняющих атмосферу CO<sub>2</sub> в процентных долях. Исключительно для целей статьи 21 Парижского Соглашения в таблице ниже приводится часть информации об общих объемах и процентной доле выбросов парниковых газов, сообщенная Сторонами Конвенции в своих национальных сообщениях, по состоянию на 12 декабря 2015 года (таблица 1).

Таблица 1 – Объемы и процентные доли выбросов парниковых газов [1]

Страна	Выбросы (Гт эквивалента CO <sub>2</sub> )	Процентная доля	Год
Беларусь	89 283	0,24	2012
Германия	950 673	2,56	2013
Канада	726 051	1,95	2013
Казахстан	313 442	0,84	2013
Китай	7 465 862	20,09	2005
Российская Федерация	2 799 434	7,53	2013
Объединенные Арабские Эмираты	195 308	0,53	2005
Соединенные Штаты Америки	6 649 700	17,89	2013
Узбекистан	199 837	0,54	2005
Итого	37 168 339 100		

Каждая страна, загрязняющая атмосферный воздух, должна внести свой вклад по уменьшению выбросов в атмосферу. Узбекистан, как и большая часть развивающихся стран, наносит вред атмосфере посредством выбросов вредных веществ автотранспортом, поэтому предлагается перейти на более чистый, экологичный вид топлива, а именно использование газообразного топлива. Мы рассматриваем вариант перехода с дизельного топлива на вариант дизельное топливо + газообразное топливо, что поможет значительно снизить поступление вредных веществ в атмосферу при эксплуатации автотранспорта [2].

Каждой стране необходимо провести ряд модернизаций, которые бы были экономически выгодными, технически не затратными, а также проведены в короткий срок.

#### Постановка проблемы

Объектом исследования являются загрязнения атмосферы от дизельного автотранспорта, который обеспечивает транспортировку руды полезных ископаемых на карьере месторождения. Автобаза карьера «КАЛЬМАКЫР» укомплектована автомобилями с дизельными двигателями разных годов выпуска, т.е. разных поколений (Евро 0 – Евро 4) [2].

Газобаллонное оборудование (ГБО) для дизельного двигателя включает: редуктор(ы), электронный блок, форсунки впрыска, фильтр, баллонная арматура, баллон(ы) и газовая магистраль. Для дизельной техники, требуется больше баллонов. Электронный блок/шаговый двигатель ГБО на дизель 4-



го поколения/3-го поколения – это высокотехнологичный микрокомпьютер, который отвечает, как за корректную подачу газа, так и за ограничение подачи дизельного топлива. В отличие от электронного блока для «бензинового» ГБО, не имеет стандартных настроек под типы двигателей, а настраивается индивидуально под каждый автомобиль, в зависимости от эксплуатационных характеристик.

Анализ элементов газобаллонного оборудования для дизельного двигателя

Нами был проведен анализ способов модернизации дизельных двигателей для использования газообразного топлива [2]. Комплекты ГБО на дизельных двигателях позволяют использовать автотранспорт разных поколений в двухтопливном режиме: дизель-газ. При этом дизельное топливо используется как запальная доза для воспламенения смеси, ввиду отсутствия на дизельных двигателях искровой системы зажигания [4].

1-е и 2-е поколения дизельных двигателей менее эффективны последующих. 1-е поколение устарело морально и практически отсутствует сегодня в продаже, но продолжают эксплуатироваться. 2-е поколение вообще не имеет прикладного экономического эффекта и больше подходит для раллийных автомобилей, так как реально увеличивает мощность и вместе с тем сокращает ресурс двигателя.

Для автотранспорта с механическим топливным насосом высокого давления (ТНВД) и форсунками предназначена система 3-го поколения, основу которой составляет прецизионный шаговый двигатель, управляемый электронным модулем, отвечающим также за подачу газа в цилиндры по принципу фазированного впрыска топлива [2].



Рисунок 2 – Комплектация ГБО на дизель



Рисунок 3 – «Подкапотный» комплект ГБО на дизель для двигателей с механическим топливным насосом высокого давления (Евро 0 – Евро 2)

Для современного транспорта с электронно-управляемыми ТНВД и форсунками предназначен комплект ГБО на дизель 4-го поколения, управляемый электронным блоком управления (ЗБУ). Этот блок ограничивает подачу дизтоплива, эмулируя сигналы основных датчиков двигателя, и одновременно управляет фазированным впрыском газа [2].



Рисунок 4 – «Подкапотный» комплект ГБО на дизель с системой подачи топлива «Common Rail» (Евро 3, 4)

Комплект ГБО на дизель четвертого поколения взаимодействует со штатной системой управления двигателя по CAN-BUS шине в режиме чтения и записи. При отсутствии обмена данными по протоколу CAN, или в случае, если режим записи недоступен, система может управлять процессом по собственной проводке, подключенной к датчикам и исполнительным устройствам. [2]/ Благодаря оригинальному алгоритму, применяемому в газодизельных системах, в каждый момент времени работы двигателя происходит мониторинг нагрузки на двигатель, оборотов двигателя и данных, поступающих с собственных датчиков системы. После обработки этих данных блок управления газодизельной системой выдает управляющие сигналы на форсунки газового впрыска, обеспечивая подачу газа в двигатель и на шаговый двигатель/электронный блок, ограничивающий подачу дизельного топлива. Таким образом, поддерживается оптимальный топливный баланс, что в разы увеличивает эффективность работы системы по сравнению с аналогами, использующими систему жесткого ограничения ТНВД в комбинации с эжекторной системой подачи газа (первое поколение) [2].

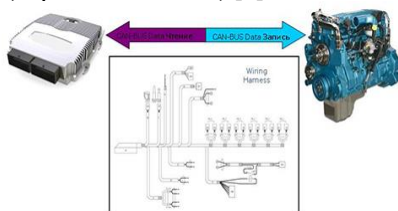


Рисунок 5 – Газодизельный двигатель: принцип работы ГБО на дизельном двигателе 3 и 4 поколения

Электронный блок в ГБО для дизеля управляет подачей топлива и контролирует процесс замещения дизельного топлива газом, которое достигает 80% (пиковое замещение).

Коэффициент замещения рассчитывается динамически в зависимости от параметров работы двигателя: обороты, нагрузка, давление топлива, давление наддува турбины; и, корректируется по многочисленным факторам: детонация двигателя, температура двигателя и поступающего воздуха и прочие факторы [5].

Программный комплекс позволяет добиться точной калибровки работы двигателя в газодизельном режиме.

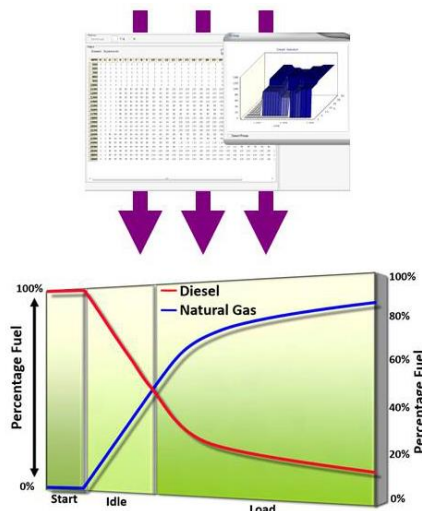


Рисунок 6 – Коэффициент замещения дизельного топлива

Выбор типа газа: СПГ или СНГ – метан или пропан?

Нами проведен анализ возможного состава газа, применяемого в системе газ-дизель применительно к климатическим характеристикам месторасположения карьера. [2]

*Плюсы сжиженного нефтяного газа:* большая распространенность, меньшая стоимость оборудования, экономия на топливе 35–45%, большой запас хода, лучшая работа двигателя.

*Минусы:* стоимость больше (в сравнении с метаном), снижение мощности двигателя, плохая работоспособность при низких температурах, менее экологический вид топлива.

Более практичное и легкодоступное топливо. Подобные установки оснащены электронным блоком управления и отдельными форсунками для каждого цилиндра. Это позволяет добиться практически идеальной газо-воздушной смеси, более низкого расхода топлива, а также устранить проблемы износа клапанов и головки блока цилиндров в целом [2].

Системы четвертого поколения тщательно следят за детонацией и корректируют смесь таким образом, чтобы двигателю не грозила поломка. [5].

При температуре воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  или ниже, а для Узбекистана это редкое явление, то находящийся в сжиженном состоянии газ становится еще «тверже», что влияет на работоспособность двигателя при таких низких температурах. Но вероятность наступления этого явления очень мала, так как настолько низкие температуры очень редки в этом регионе. [2]

*Плюсы сжатого природного газа:* меньшая стоимость топлива, экономия на топливе (больше, чем на пропане), работоспособность в любую погоду, экологичность.

*Минусы:* меньший запас хода, большой вес газовой аппаратуры, снижение мощности двигателя.

Главное преимущество метана в сравнении пропаном, это низкая стоимость Запас хода на метане, в среднем вдвое меньше, чем на пропане, примерно 200–250 км, а это, требует создание инфраструктуры заправочных структур. Из-за конструктивной особенности баллонов, которые должны выдержать хранящийся под высоким давлением в 200 атмосфер метан, метановая установка дороже пропановой и окупается она гораздо позже – примерно через 30 000 км, в сравнении с 20-ю тысячами километров для пропановой установки. Экономия на топливе будет значительнее [7].

Один из самых явных минусов метановой газовой аппаратуры, является большой вес баллонов. Именно это один из факторов, почему установка метановой системы не пользуется большим спросом. Она целесообразна только для больших автомобилей. Заводские системы сконструированы намного лучше и занимают меньше пространства, а благодаря использованию композитных материалов, баллоны являются легче и прочнее.

Можно сделать вывод о том, что целесообразнее использовать двигатели на сниженном нефтяном газе (пропан), но в Узбекистане есть свои месторождения газа; целесообразнее использовать двигатели на сжатом природном газе (метане), создавая передвижные заправочные комплексы.

#### Переоборудование топливной системы в цикл газодизель

Максимальный процент замещения: 85% газа, средний процент замещения: 40–60% газа. Высокий процент замещения и высокая эффективность работы системы достигаются благодаря применению инновационной системы управления подачей газа и высокоточным ограничением запальной дозы дизтоплива [6].

Мы предлагаем комплексное решение по переоборудованию автомобилей и, цена рассчитывается тоже комплексно, отдельно под каждый проект. Учитывается количество единиц техники, стоимость комплектов ГБО на дизель, стоимость работ по монтажу подкапотного оборудования, количество баллонов и способ их установки, а также все дополнительные расходы, связанные с аудитом парка автомобилей и расчетом эффективности проекта [2].

Установка одного дополнительного баллона, в зависимости от емкости и производителя, может увеличить стоимость всей установки ГБО на 15000 — 60000 рублей [8].

Переоборудование топливной системы в цикл газодизель – это сложная технологическая процедура, включающая диагностику, составление инженерной карты, индивидуальный монтаж, калибровку и последующее обслуживание [9].

#### Заключение

Можно сделать вывод, что после установки комплектов ГБО на дизель экономия на топливных расходах составит в среднем 30%. Износ двигателя также сократиться, поскольку природный газ не содержит вредных примесей. Наконец, установка комплектов ГБО на дизельные двигатели, способствует сокращению выбросов автотранспорта и их влияния на парниковый эффект, возникающий в атмосфере Земли, так как природный газ – это одно из экологически чистое топливо. Таким образом, газодизельная технология выгодна для транспорта, для предприятия, для страны и для всего мира.

#### Литература

- Доклад Конференции Сторон о работе ее двадцать первой сессии, состоявшейся в Париже 30 ноября – 13 декабря 2015 года. Организация Объединенных Наций FCCC/CP/2015/10. Рамочная конвенция об изменении климата. Distr.: General 29 January 2016 Russian.
- Ли В.Ю. ВКР «Снижение воздействия на окружающую среду при разработке месторождений полезных ископаемых» НИ ТПУ. Томск:2017 -82.
- <https://mzoc.ru/transportnaya/kak-perevesti-dizel-na-gaz.html>
- Методические рекомендации по организации проверки выполнения требований к находящимся в эксплуатации транспортным средствам в случае внесения изменений в их конструкцию М.: Стандартиформ, 2016.
- Инструкция по настройке SAVER Версия программного обеспечения 4.0.10.0 Document: SAVER 4.0.10.0 RUS Revision: 4.0.10.0 Submitted by: SAVER Submitted to: 2/44
- Руководство по эксплуатации системы газодизельного питания esomotive solutions для автомобиля, Долгопрудный: 2018
- Снижение рисков и последствий техногенных катастроф при карьерной разработке месторождений полезных ископаемых в ОАО «УЗКТЖМ» Абдурахманов А.Ф., Чулков Н.А. В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Национального исследовательского Томского политехнического университета. 2014. С. 296-298.
- <https://1avtoyurist.ru/oformlenie/gbo/gbo-na-dizel.html><https://yearbook.enerdata.ru/>
- ТР ТС 018/2011. Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности колесных транспортных средств», М.: Стандартиформ, 2011/

## К РАСЧЕТУ ОБМОТКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ПОЕЗДА МАГЛЕВ

Чухаджян Н. Г.

Национальный политехнический университет Армении

Описан метод расчета обмотки управления, определена допустимая температура перегрева, выбран обмоточный провод, вычислены и проанализированы параметры обмотки управления электромагнитного подвеса для характерных значений магнитодвижущей силы (МДС).

Ключевые слова: поезд маглев, электромагнитный подвес, магнитодвижущая сила, электромагнитная сила, расчет обмотки управления, температура перегрева.

To calculation of the maglev train's electromagnetic suspension coil. Chukhajyan N.H. National Polytechnic University of Armenia.

It's described the method of the coil calculation, defined the allowed superheat temperature, the respective wire for the coil windings was chosen, it was calculated and analyzed coil's parameters in case of characteristic values of magnetomotive force of the electromagnetic suspension (MMF).

Keywords: Maglev train, electromagnetic suspension, magnetomotive force, electromagnetic force, coil calculation, superheat temperature.

Поезда маглев являются самым быстрым видом наземного транспорта. Эти поезда электромагнитным подвесом поднимаются над полотном и во время движения “парят” над воздушным слоем [1-3]. Конструкция подвеса показана на рис.1 [4-5].

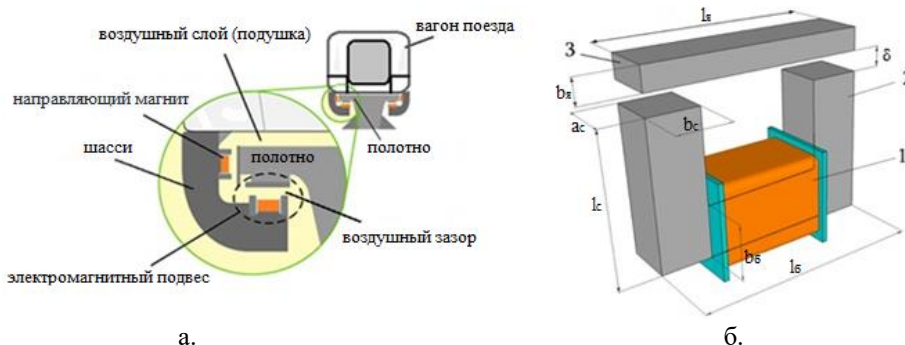


Рисунок 1 – Электромагнитный подвес, установленный на поезд маглев (а) и схема электромагнитного подвеса (б). 1- обмотка катушки управления, 2- сердечник, 3- ярлык,  $l_я$  - длина ярлыка,  $b_я$  - толщина ярлыка,

$a_c$  – толщина сердечника,  $b_c$  – ширина сердечника,  $l_c$  – длина сердечника,  $l_6$  – длина основания сердечника,  $b_6$  – толщина основания сердечника,  $\delta$  – воздушный зазор

Важным этапом проектирования электромагнитного подвеса является этап расчета обмотки управления (рис.2): определение размеров, выбор диаметра и типа обмоточного провода, определение количества витков, значений тока, мощности, перегрева и т. д.

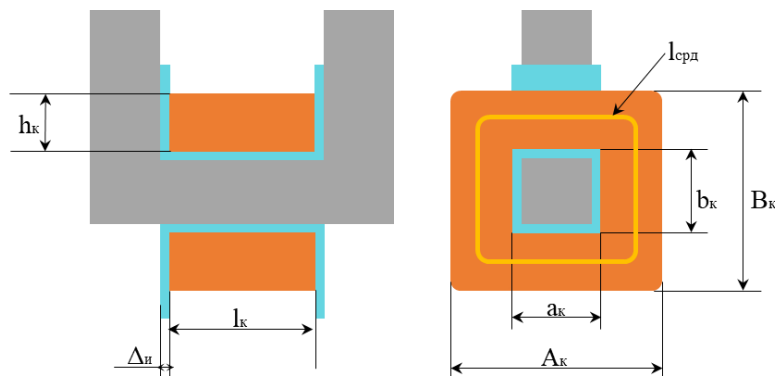


Рисунок 2 – Размеры катушки управления,  $h_k$  и  $l_k$  – соответственно высота и длина обмоточного окна,  $\Delta_n$  – толщина каркаса,  $a_k$  и  $b_k$  – соответственно длина и ширина каркаса,  $A_k$  и  $B_k$  – соответственно длина и ширина внешней поверхности обмотки,  $l_{срд}$  – длина среднего витка обмотки.

Входной величиной расчета обмотки, как известно, является значение магнитодвижущей силы (МДС)  $F_{mag}$ . При проектировании подвеса это значение определяется путем решения прямой и обратной задач магнитной цепи [4-8], в зависимости от значений электромагнитной силы  $P_3$ , необходимых для срабатывания подвеса – поднятие поезда и его удержание на определенной высоте над платформой [4-5]. Естественно, что высота поезда зависит от размера воздушного зазора между сердечником и якорем подвеса, чем меньше зазор - тем выше расположен поезд. Чтобы поднять поезд, сила притяжения  $P_3$  должна быть больше силы противодействующей ей - силы тяжести поезда  $P_n$ , а чтобы стабильно удерживать поезд на определенной высоте электромагнитная сила притяжения и сила тяжести поезда должны быть равны. Вышеперечисленные условия должны быть верны при определенных значениях воздушного зазора  $\delta$ , и так-как воздушный зазор электромагнитной подвески постоянно меняется в зависимости от силы тяжести или под действием внешних сил, нужно всегда контролировать выполнение этих условий чтобы избежать аварий.

Контроль значения воздушного зазора электромагнитной подвески реализуется методом изменения значения магнитодвижущей силы обмотки управления. Очевидно, что при расчете обмотки управления нужно учитывать возможное наибольшее значение магнитодвижущей силы, чтобы избежать излишнего перегрева, что может привести к выходу из строя электромагнитного подвеса.

В работе [5] обсуждаются характерные значения магнитодвижущей силы обмотки управления электромагнитного подвеса  $F_{mag0}$ - $F_{mag5}$  соответственно удовлетворяющим следующим условиям:

$$\begin{aligned}
 P_3 &> P_{nmax}, \text{ когда } \delta = \delta_n, \\
 P_3 &= P_{nmin}, \text{ когда } \delta = \delta_{min}, \\
 P_3 &= P_{nmax}, \text{ когда } \delta = \delta_{min}, \\
 P_3 &= P_{nmin}, \text{ когда } \delta = \delta_{max}, \\
 P_3 &= P_{nmax}, \text{ когда } \delta = \delta_{max}, \\
 P_3 &= P_n, \text{ когда } \delta = \delta_p.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Где  $P_{nmin}$ ,  $P_n$  и  $P_{nmax}$  представляют значения противодействующие силы тяжести соответственно при минимальной, средней и максимальной загруженности поезда, а  $\delta_n$ ,  $\delta_{min}$ ,  $\delta_p$  и  $\delta_{max}$  – соответственно значения воздушного зазора когда электромагнитный подвес начинает поднимать поезд с нулевой точки, минимальное, рабочее (среднее) и максимальное значения допустимого диапазона воздушного зазора электромагнитного подвеса. Для всех этих условий, методом описанным в работе [5] вычислены значения магнитодвижущих сил и построены тяговые и противодействующие характеристики электромагнитной подвески (рис. 3) для соответственных входных значений:  $P_n=5000\text{Н}$ ,  $P_{nmin}=4500\text{Н}$ ,  $P_{nmax}=5500\text{Н}$ ,  $\delta_n=0,025\text{м}$ ,  $\delta_p=0,015\text{м}$ ,  $\delta_{min}=0,01\text{м}$ ,  $\delta_{max}=0,02\text{м}$ ,  $b_я=0,12\text{м}$ ,  $a_c=0,124\text{м}$ ,  $b_c=0,124\text{м}$ ,  $l_я=0,51\text{м}$ ,  $l_6=0,47\text{м}$ ,  $b_6=0,16\text{м}$ ,  $l_c=0,51\text{м}$ , модель стали для сердечника выбрана «сталь 10».

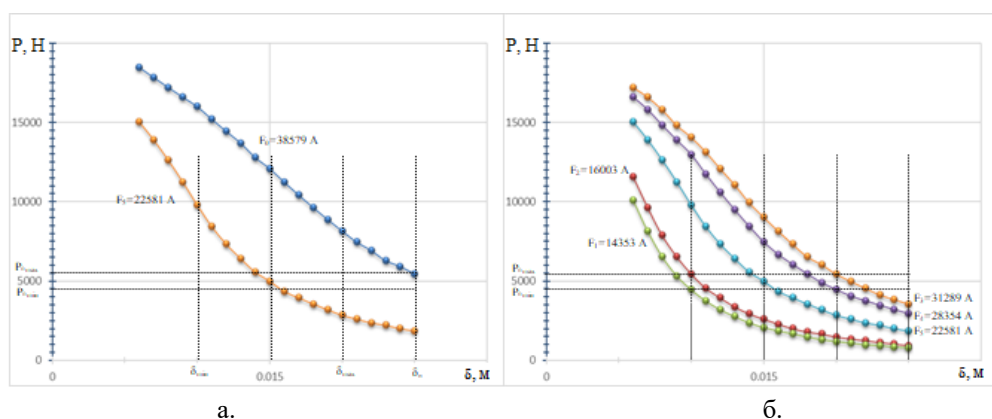


Рисунок 3 – Тяговые  $P_t(\delta)$  и противодействующие  $P_n(\delta)$  характеристики электромагнитной подвески: (а) условия поднятия поезда с полотна при максимальной загруженности, (б) условия удержания поезда в допустимой зоне воздушного зазора.

Из тяговых характеристик видно (рис.3), что наибольшее значение магнитодвижущей силы соответствует условию, когда электромагнитный подвес поднимает поезд с нулевой точки при максимальной загруженности поезда, в этом случае  $F_{mag0}=38579A$ , а для всех остальных условий значения соответственно равны 14353A, 16003A, 28354A, 31289A и 22581A. Очевидно, что расчет обмотки управления должен учитывать значение  $F_{mag0}$ , так-как оно является наибольшим возможным значением магнитодвижущей силы обмотки управления при правильной эксплуатации электромагнитного подвеса. На следующем шаге процесса расчета обмотки управления нужно вывести из выше приведенных входных данных электромагнитного подвеса все значения переменных, которые представляют размер магнитной катушки (рис. 2).

После того как все значения указанные на рис. 2 вычислены и соответственно равны:  $a_k=132mm$ ,  $b_k=168mm$ ,  $h_k=376,2mm$ ,  $l_{срд}=2,105m$ ,  $l_k=222,9mm$ ,  $A_k=884,9mm$ ,  $V_k=920,4mm$ ,  $\Delta_{и}=0,004m$ , с помощью известных формул вычисляется диаметр магнитопровода необходимый для обмотки [6-9], при максимальной допустимой температуре перегрева которая условно принята равной  $160^{\circ}C$ . Когда значение диаметра магнитопровода вычислено  $d=2,83mm$ , тогда уже можно выбрать тип магнитопровода из доступных в производстве проводов для обмотки, важно учитывать тот факт, что температура допустимого перегрева выбранного магнитопровода должна превышать максимальное значение условно выбранной температуры перегрева, в обратном случае изоляция обмотки может повредиться и электромагнитный подвес выйдет из строя. Учитывая это требование, мы выбираем магнитопровод марки ПСДКТ, магнитопровод этой марки принадлежит к температурному классу 200, что означает, что максимально допустимой температурой перегрева является  $160^{\circ}C$  при максимальной температуре среды эксплуатации электромагнитного подвеса равной  $40^{\circ}C$ . На следующем этапе вычисляется необходимое количество обмоток, затем ток и мощность обмотки управления, которые равны соответственно 6,88A и 1513,9Вт. На последнем этапе расчета обмотки управления вычисляется площадь поверхности охлаждения, а затем и температура перегрева, которые в данном случае соответственно равны  $687972.9mm^2$  и  $152,5^{\circ}C$ , при коэффициенте теплопроводности равному  $14 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2$  [9].

Вышеизложенным путем также вычисляются ключевые значения обмотки управления для всех остальных характерных значений магнитодвижущей силы электромагнитного подвеса, эти значения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров обмотки управления электромагнитного подвеса для характерных значений магнитодвижущей силы электромагнитного подвеса

Ключевые значения Характерные значения $F_{mag}$	Мощность рассеивания, P (Вт)	Сила тока, I (A)	Плотность силы тока, J (A/мм <sup>2</sup> )	Температура перегрева, T (°C)
$F_{mag0}=38579(A)$	1513,9	6,88	0,702	152,8
$F_{mag1}=14353(A)$	172,9	0,78	0,24	16,6
$F_{mag2}=16003(A)$	266,7	1,21	0,3	25,6
$F_{mag3}=28354(A)$	638,6	2,9	0,46	61,3
$F_{mag4}=31289(A)$	855,4	3,88	0,53	82,2
$F_{mag5}=22581(A)$	480,03	2,18	0,4	46,1

Как видно по таблице, ни одно значение температуры перегрева обмотки управления рассчитанной для всех характерных значений магнитодвижущей силы электромагнитного подвеса, не превышает максимально допустимую температуру выбранного обмоточного провода марки ПСДКТ и тем доказывает, что рассчитанная обмотка управления удовлетворяет всем условиям характерных значений магнитодвижущей силы электромагнитного подвеса и пригодна для использования.

#### Литература

1. Hyung-Woo Lee, Ki-Chan Kim, Ju Lee. Review of Maglev Train Technologies Korea// IEEE Transactions on Magnetics. - 2006. - Vol. 42, N 7.-P. 1917-1925.
2. Min Kim, Jae-Hoon Jeong, Jaewon Lim, Chang-Hyun Kim, Mooncheol Won Design and Control of Levitation and Guidance Systems for a Semi-High-Speed Maglev Train // Journal of Electrical Engineering and Technology. - 2017. - N 12(1). – P. 117-125.
3. Григорян А. Х., Апетян Н. Ц. Высокоскоростные поезда на магнитной подушке. В мире науки. -2019. –N1. -с.58-62 (на армянском языке).
4. Григорян А. Х., Чухаджян Н. Г. Схема замещения магнитной цепи и математическая модель электромагнитного подвеса поезда маглев. НАН РА и НПУА. Сер. ТН. -2019.- Т. 72, N1. -с. 47-57 (на армянском языке).
5. Григорян А. Х., Чухаджян Н. Г. Определение характерных значений МДС обмотки управления поезда маглев. Вестник инженерной академии Армении. -2019.- Т. 16, N2. -с. 167-171 (на армянском языке).
6. Розанова Ю.К. Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов /Под ред. - 2-е изд., испр. и доп. –М.: Информэлектро, 2001. -420с.
7. Буль Б. К., Буль О. Б., Азанов В. А., Шофра В. Н. Электромеханические аппараты автоматики. –М.: Высшая школа, 1988. -304с
8. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: магнитные цепи, поля и программа FEMM. - М.: Академия, 2005.-336 с.
9. Сливинская А. Г. Электромагниты и постоянные магниты. - М.:Энергия 1972, -248с.

#### ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВЫБОРОК

Шихина А.В.  
НИУ «МЭИ»  
ShikhinaAV@mail.ru

Аннотация. Доклад посвящен разработке метода совместной обработки различающихся массивов данных, исследованию вопросов повышения точности прогнозируемой переменной. Показано, что при построении моделей прогноза (МП) и агрегированных моделей прогноза (АМП) точность прогнозируемой переменной может быть повышена за счет привлечения информации, полученной в ходе продолжающихся наблюдений с учетом корреляционной связи соответствующих массивов данных. Обосновывается валидация АМП-модели ранее построенной для одного региона при расширении ее применимости для нескольких регионов в задачах прогноза цены электроэнергии. Доказано, что использование корреляционных матриц для соответствующих массивов данных в расчетном выражении придает совместной оценке свойство нечувствительности к грубым отклонениям в данных.

Ключевые слова: модель прогноза; точность прогноза; цена электроэнергии; временной ряд; валидация; корреляционный анализ.

Validation of the forecast model for alternative samples. Shikhina A.V., NRU “MPEI”

Annotation. The report is devoted to the development of a method for joint processing of different data sets, research on improving the accuracy of the predicted variable. It is shown that when constructing forecast models (MP) and aggregated forecast models (AMP), the accuracy of the predicted variable can be increased by using information obtained during ongoing observations by taking into account the correlation of the corresponding data sets. The author substantiates the validation of the AMP model previously built for one region while expanding its applicability for several regions in the tasks of forecasting the price of electricity. It is proved that the use of correlation matrices for the corresponding data sets in the calculated procedure gives the joint estimation the property of insensitivity to gross deviations in the data.

Keywords: forecast model; forecast accuracy; electricity price; time series; validation; correlation analysis.

### Введение. Исходные результаты и направления исследований

Под термином валидация модели [model validation] будем понимать проверку соответствия данных, получаемых в процессе машинной имитации, реальному ходу явлений, для описания которых создана модель [1].

Если рассматривать задачу построения моделей прогноза цены электроэнергии комплексно [4], то возможны следующие сценарии, при и которых возникает проблема сопоставления отдельных выборок данных для целей их совместной обработки:

1. МП строится применительно к конкретному региону за определенный исторический период. По мере использования МП для предсказания точность прогноза может выйти за установленные пределы в некоторый фиксированный момент времени. Это вызывает необходимость запустить процедуру валидации используемой МП. Вопрос состоит в том, можно ли повысить точность МП за счет пересчета ее коэффициентов по исторической выборке с учетом добавления нового массива данных на новом дополнительном периоде времени. При этом допустимо предположить, что новый период времени мог характеризоваться нетипичными (специфическими) процессами, характерными только для указанного периода. Поэтому учет соответствующего дополнительного массива данных может привести к таким изменениям в МП, которые могут ухудшить ее предсказательные свойства в дальнейшем. В электроэнергетике такие явления часто имеют место, например, из-за климатических условий (засуха, морозный год, природные катаклизмы и др), провал цен на топливо, резкие скачки валютного курса, ввод дополнительных генерирующих мощностей или ввод в действие магистральных электропередач, системные аварии и т.д.

2. Вторым возможным сценарием, при котором может понадобиться упомянутая процедура валидации МП может быть попытка обобщения имеющейся ранее построенной МП для прогноза по другому региону или в целом по ценовой зоне, или определение степени универсальности МП для работы на федеральном уровне.

Как минимум при указанных двух сценариях встает вопрос о получении искомых оценок прогнозируемой переменной с учетом различий в отдельных выборках данных.

Отправной точкой для проведения исследований в направлении разработки методов совместной обработки массивов данных различной точности послужили идеи и результаты, полученные Пугачевым В.Н. и опубликованные, в частности, в [2]. Особый интерес представляло исходное предложение по математической форме представления искомой статистической оценки в виде линейной комбинации отдельных ее компонент.

Вместе с тем, принятые Пугачевым В.Н. допущения по области и направлениям проведения исследований существенно ограничили практическую ценность полученных результатов о чем свидетельствует отсутствие как дальнейших теоретических исследований по данному вопросу, так и известных решений по прикладным инженерным проблемам.

Если исследования Пугачева В.Н. ограничились чисто теоретическим рассмотрением некоторых формализованных вероятностных характеристик в общей постановке и безотносительно к физической природе объектов и систем как источников массивов данных, то в данной работе автор переходит к рассмотрению ограниченного класса реальных временных рядов и их динамических моделей. Кроме того, рассматриваются оценки вероятностных характеристик конкретных физических переменных – цена электроэнергии, на которые, в свою очередь, также накладываются определенные ограничения. Всё это определило содержание новых направлений исследований и разработок по отношению к работам Пугачева В.Н.

Кроме того, в сравнении с рассмотрением некоторых абстрактных выборок в указанных работах, предлагается учитывать особенности получения конкретных выборок в зависимости от рассматриваемых регионов и интервалов наблюдения. Последнее обстоятельство в значительной степени определило новые подходы в исследовании вопросов повышения точности и регулирования точности искомых оценок для моделей прогнозирования временных рядов.

Определенный отличительный эффект на проводимые исследования в сравнении с ранее полученными результатами [80] оказали принятые в данной работе новые допущения и предпосылки, дополняющие также ранее введенные в предыдущих главах ограничения. Основные из них следующие:

- Предполагается, что опорный (эталонный) файл данных может формироваться на основе реальных данных по опорному региону рассмотрения исторического ряда цен на электроэнергию.
- Число данных опорной выборки ограничено и недостаточно информативно для построения достоверных оценок для прогноза по регионам отличным от опорного.
- Предполагается, что дополняющий опорную выборку новый массив данных по тому же опорному региону, но за вновь полученный интервал наблюдения прогнозного периода по своим точностным свойствам адекватен опорному массиву и может быть использован на всех этапах обработки. Однако, размерность указанного массива ограничена в силу ограниченности прогнозного периода.



- Предполагается, что получение дополнительных данных в соответствии с расширенным рассмотрением числа регионов не представляется затруднительным в связи с наличием открытого доступа.

Получение оптимальных оценок прогнозируемых значений по результатам совместной обработки разноточных данных. Метод Совместных Оценок

Широко известно, что объединение разнородных и разноточных выборок в единый массив для последующей аналитической обработки не всегда корректно. Вместе с тем, предлагается определить условия при которых возможно использовать всю доступную в ходе построения моделей прогноза информацию, привнося определенные особенности в вычислительные процедуры обработки разноточных данных.

Укажем, что в практических ситуациях обычно невозможно учесть абсолютно все факторы, влияющие на процесс построения МП-модели, включая также построение предложенных в работе агрегированных моделей АМП [3]. Поэтому, как это уже было предложено выше, вектор влияющих факторов целесообразно представить в виде двух компонент  $X=[X_I, X_{II}]^T$ , где  $X_I$  - вектор учитываемых в АМП-модели факторов (при этом считаем что один из факторов это есть основная прогнозируемая переменная – цена электроэнергии) по которым строятся частные модели прогноза,  $X_{II}$  - вектор неучитываемых (зашумляющих) факторов. Рассматриваемая формальная модель исследуемых в данном случае зависимостей, приведена на Рис. 1 и относится к классу статистических моделей в форме функционалов:

$$y = \eta_j(X_I, \varepsilon_j); j=(1,2,\dots,e) \quad (1)$$

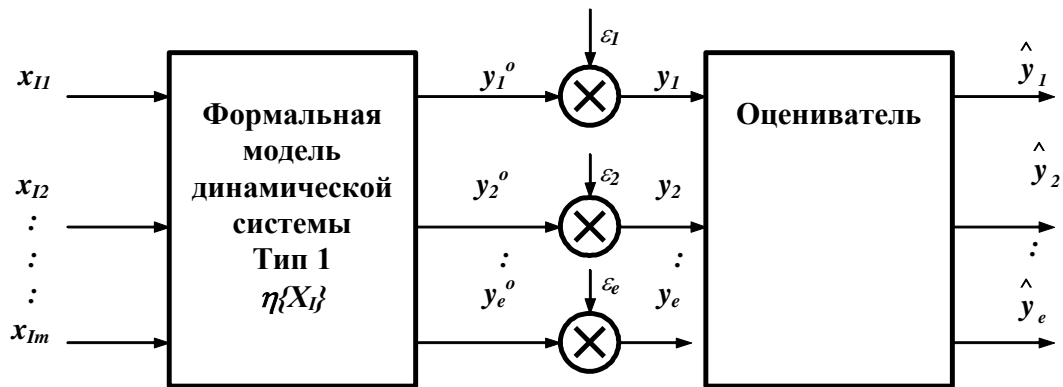


Рисунок 1 – Формальная модель исследуемых зависимостей

Рассчитываемые оценки искомых зависимостей  $y(X_I)$  могут быть представлены в виде вектора оценок вероятностных характеристик. Рассмотрим оценки математического ожидания:

$$\bar{Y} = \mu = [\mu_1, \dots, \mu_N]^T; \rightarrow \hat{Y} = m = [m_1, \dots, m_N]^T \quad (2)$$

Задачей исследования является получение условий для возможного объединения при совместной обработке разноточных (в том числе и заведомо низкоточных) данных с целью получения приемлемых оценок  $m$  для вектора вероятностных характеристик  $\mu$ . Для решения указанной задачи предлагается следующий метод, называемый нами как "Метод Совместных Оценок".

Пусть  $\mu$  есть  $N$ -размерный вектор оцениваемых вероятностных характеристик,  $\mu_{ref}$  есть вектор значений рассчитанных по опорному (эталонному) массиву данных МДэ. Предполагается, что на основе априорной информации такой массив всегда может быть определен. Обозначим через  $\mu_I$  и  $\mu_{II}$ , соответственно, векторы вероятностных характеристик возможно существенно различающихся массивов (полученных по различным регионам) МД1 и МД2:

$$\mu_I = Ex[F_I] = \mu, \quad \mu_{II} = Ex[F_{II}] \quad (3)$$

где  $F_I, F_{II}$  есть матрицы, компоненты которых представляют собой элементы соответствующих массивов МД1 и МД2.

Предположим, что по дополнительному прогнозному периоду наблюдения по опорному региону имеем выборку МД1, а по расширяющему действию АМП-модели дополнительному второму региону имеем выборку МД2. Каждая выборка имеет по  $n$  независимых данных, например за одинаковый период наблюдения. Такое предположение не нарушает общности результатов дальнейшего рассмотрения и при этом вполне соответствует реальной ситуации. Статистические значения оценок, найденные по этим данным, будут

$$m_I = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_{Ij}; m_{II} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_{IIj} \quad (4)$$

Задача состоит в определении оптимальной оценки  $m_0$  по значениям векторов  $m_I, m_{II}, \mu_{ref}$ : т.е. в отыскании оценки вероятностных характеристик исследуемого процесса по статистическим значениям вероятностных характеристик, рассчитанных по массивам данных с существенными различиями. Искомую оценку будем строить в виде линейной комбинации трех компонент:

$$m_0 = A m_I + B m_{II} + C \mu_{ref} \quad (5)$$

где  $A, B, C$  есть некоторые матрицы размерности  $[N \times n]$ , которые необходимо определить при следующих условиях:  $i$ -я компонента  $m_{0i}$  вектора  $m_0$  должна быть несмещенной и иметь минимальную дисперсию. В этом смысле мы и называем искомую оценку  $m_0$  оптимальной. Для  $i$ -й компоненты имеем:

$$m_{0i} = A_i m_I + B_i m_{II} + C_i \mu_{ref} \quad (6)$$

где  $A_i, B_i, C_i$  есть соответствующие матрицы-векторы. Предполагается, что поскольку первый дополнительный массив данных МД1 получен по тому же опорному региону то его адекватность исходной опорной (эталонной) выборке гарантирована. Отсюда имеем  $\mu_I = \mu$ . Из условия несмещенности статистических оценок следует:

$$\begin{aligned} Ex [m_{0i}] &= \mu_i; \\ Ex [m_I] &= \mu_I = \mu; \\ Ex [m_{II}] &= \mu_{II} \end{aligned} \quad (7)$$

Выполнив операцию взятия математического ожидания над каждой компонентой выражения (6) и с учетом (7) получаем, что искомая оценка  $m_{0i}$  будет несмещенной, если

$$\mu_i = A_i \mu + B_i \mu_{II} + C_i \mu_{ref} \quad (8)$$

Из (6) и (8) следует, что матрица-вектор  $A_i$  содержит единственную ненулевую  $i$ -ю компоненту  $a_i=1$ , остальные компоненты равны нулю. Отсюда же следует, что для  $i$ -х компонент матриц-векторов  $B_i, C_i$  выполняется:

$$B_i + C_i = 0. \quad (9)$$

Таким образом, для искомой оценки в форме выражения (6) имеем:

$$m_{0i} = m_{Ii} - C_i (m_{II} - \mu_{ref}), \quad (10)$$

где матрица-вектор  $C_i$  может быть определен исходя из сформулированного требования минимума дисперсии оценки  $m_{0i}$ :

$$d_{0i} = D\{m_{0i}\} = Ex [(m_{0i} - \mu_i)^2] \rightarrow \min \quad (11)$$

Из выражений (10) и (11) следует:

$$\begin{aligned} d_{0i} &= Ex [(m_{Ii} - C_i (m_{II} - \mu_{ref}) - \mu_i)^2] = Ex [((m_{Ii} - \mu_i) - C_i (m_{II} - \mu_{ref}))^2] = \\ &= Ex [(m_{Ii} - \mu_i)^2] - 2Ex [(m_{Ii} - \mu_i) C_i (m_{II} - \mu_{ref})] + \\ &+ Ex [C_i (m_{II} - \mu_{ref}) C_i (m_{II} - \mu_{ref})] \end{aligned} \quad (12)$$

Принимая во внимание, что

$$Ex [(m_{Ii} - \mu_i)^2] = 1/n \text{Var}\{F_{Ii} F_{Ii}\}, \quad (13)$$

$$Ex [(m_{Ii} - \mu_i)(m_{II} - \mu_{ref})^T] = 1/n \text{Cor}\{F_{Ii} F_{II}\}, \quad (14)$$

$$Ex [(m_{II} - \mu_{ref})(m_{II} - \mu_{ref})^T] = 1/n \text{Cor}\{F_{II} F_{II}\}, \quad (15)$$

а также используя (12) получаем:

$$d_{0i} = 1/n (\text{Var}\{F_{Ii} F_{Ii}\} - 2\text{Cor}\{F_{Ii} F_{II}\} C_i^T + C_i \text{Cor}\{F_{II} F_{II}\} C_i^T) \quad (16)$$

Взяв производные от  $d_{0i}$  по компонентам матрицы-вектора  $C_i$  и приравнявая их нулю, получаем  $n$  уравнений. То же, но в матричной форме записи будет:

$$[-\text{Cor}\{F_{Ii} F_{II}\} + C_i \text{Cor}\{F_{II} F_{II}\}] = 0 \quad (17)$$

Соответственно, для определения  $C_i$  имеем:

$$C_i = \text{Cor}\{F_{Ii} F_{II}\} \text{Cor}^{-1}\{F_{II} F_{II}\} \quad (18)$$

Таким образом, расчетная формула для оптимальной оценки  $m_{0i}$  будет:

$$m_{0i} = m_{Ii} - \text{Cor}\{F_{Ii} F_{II}\} \text{Cor}^{-1}\{F_{II} F_{II}\} (m_{II} - \mu_{ref}) \quad (19)$$

Из анализа выражения (19) следует важное и полезное для организации вычислительной процедуры замечание:

Утверждение 1. Оценка каждой  $i$ -ой компоненты вектора  $\mu$  может быть произведена независимо от других компонент.

Из выражения (19) также видно, что в расчетную формулу (19) для оптимальной оценки  $m_{oi}$  входит компонента  $(m_{II}-\mu_{ref})$ , отражающая вклад от файла низкоточных данных МИД2 с весовым коэффициентом  $Cor\{F_{Ib}F_{II}\}Cor^{-1}\{F_{Ib}F_{II}\}$ . Указанный весовой коэффициент численно отражает корреляционную связь соответствующих массивов данных и определяет "гибкость" зависимости искомой оценки  $m_o$  по отношению к низкоточным данным.

Таким образом, установлено важное свойство формулы (19) для расчета искомой смешанной оценки  $m_o$ , а именно - использование корреляционных матриц по соответствующим массивом данных в расчетном выражении (19) придает оптимальной оценке свойство нечувствительности к грубым отклонениям в массивах совместно обрабатываемых разноточных данных.

#### Выводы

1. В результате проведенных исследований показано, что точность искомых оценок прогнозных значений цены электроэнергии может быть повышена за счет привлечения дополнительной информации, получаемой в процессе тестирования модели на прогнозируемом периоде с учетом корреляционной связи соответствующих разноточных массивов данных. Также определены условия расширения возможности использования ранее построенной модели прогноза (валидация модели) по данным одного региона на применимость к другим регионам на основании результатов корреляционного анализа соответствующих временных рядов.

2. Разработанный метод обработки разноточных данных, названный Методом Совместных Оценок, основан на комбинированном использовании соответствующих расчетных оценок и позволяет определять оптимальную в смысле точностных свойств оценку. Предложенное использование корреляционных матриц для соответствующих массивов данных в расчетном выражении придает оптимальной оценке свойство нечувствительности к грубым отклонениям в данных.

3. В случае применения в качестве меры точности оценки ее дисперсии показано, что выигрыш в точности при переходе к оптимальной смешанной оценке непосредственно связан со значением коэффициента множественной корреляции массивов данных.

#### Литература

1. Чэнь М., Цинь К., Ку Х.-М., Мишра П. Валидация на системном уровне. Перевод с англ. под ред. А.Н. Ланцева. М: Техносфера, 2014. – 296 с.
2. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. - М.: Сов.радио, 1973. - 256 с.
3. Коченгин А.Е., Шихина А.В., Ягодкина Т.В. Агрегированная модель прогноза цены на рынке электроэнергии Автоматизация. Современные технологии., Т. 74, № 3, 2020. С. 134-144.
4. Abd Elraheem A.R., Shikhin V. A., Kouzalis A. Optimization Problem Statement for Power Generation Management and Control in Multi-Agent Microgrid. III International Conference on Control in Technical Systems (CTS), St. Petersburg, Russia, 30 Oct.-1 Nov. 2019, Proceedings, IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/CTS48763.2019.8973261

#### УТИЛИТЫ ДЛЯ ПОИСКА WEB-УЯЗВИМОСТЕЙ, НЕ ИМЕЮЩИХ СИГНАТУР

Панькина К.Е.

ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ), кафедра «Вычислительные системы, сети и информационная безопасность»  
+7 (916) 595-41-31, pankinaksenia1@gmail.com

Статья посвящена демонстрации поиска web-уязвимостей не имеющих сигнатуры. В статье рассказывается о методах и алгоритмах поиска уязвимостей. На примере фаззинга и брутфорса с помощью Burp Suite находятся бреши в защите, показана работа утилит таких как Hydra, Patator, Medusa. Даны рекомендации по минимизации последствий от таких атак.

Ключевые слова: web-уязвимость, эксплуатация уязвимости, сигнатура, полезная нагрузка, фаззинг, брутфорс.

Utilities for searching of web-vulnerability without signatures. Pankina K.E. FSAEI HE RUT (MIIT), Department of "Computing systems, networks and information security".

The article is devoted to demonstrating the search for web vulnerabilities that do not have a signature. The article describes methods and algorithms for searching for vulnerabilities. Using the example of fuzzing and brute-force using Burp Suite, there are security holes, the work of utilities such as Hydra, Patator, Medusa are shown. Recommendations for minimizing the consequences of such attacks are given.

Keywords: web vulnerability, vulnerability exploitation, signature, payload, fuzzing, brute force, utility.

#### Введение

Каждой известной уязвимости присваивается сигнатура, для того чтобы в дальнейшем можно было в тестировании системы использовать сканеры по базам и сигнатурам. Сигнатура – это уникальный признак, по которому можно обнаружить и идентифицировать уязвимость. К известным сканерам web-уязвимостей можно отнести Acunetix web scanner или сканер Nikto. Уязвимость не наносит вреда системе до тех пор, пока она не будет проэксплуатирована. Эксплуатация уязвимости — это использование недостатка в системе, которое приводит к нарушению конфиденциальности, целостности и доступности данных.

Но как обнаружить уязвимости, у которых нет сигнатур? Об этом и будет статья.

Статья написана исключительно в ознакомительных целях. Любое неправомерное использование, рассматриваемой информации на практике без согласования на проведения теста, подпадает под действие УК РФ.

В этой работе рассматриваются методы для «server side» уязвимостей, т.е. эксплуатация направлена на сервер. К последствиям от эксплуатации уязвимости можно отнести: установку соединения между атакующим и тестируемым сервером, выполнения команд на сервере, кража данных и ряд других потерь, связанных с нарушением конфиденциальности, целостности и доступности хранящейся на сервере информации.

#### Методы поиска уязвимостей

Поскольку в web-безопасности приходится иметь дело с приложениями то можно выделить следующие способы:

1. Тестирование методом черного ящика (Black box testing) – это метод подразумевает под собой что у тестировщика нет сведений о приложении, с которым ему предстоит работать, другими словами, он имеет дело с «черным ящиком». Достоинством такого подхода считается: нет необходимости иметь навыки работы с тестируемым приложением. Недостаток такого тестирования – нет доступа к коду приложения, лишь к его функционалу.

2. Тестирование методом белого ящика (White box testing) – это метод подразумевает под собой что тестировщик знает как устроено приложение. Обычно на момент начала тестирования уже имеется доступ к исходному коду приложения и аутентификационным данным. Достоинством такого подхода является возможность быстрого устранения уязвимости в коде программы. Недостаток такого тестирования – необходимо повторное тестирование методом черного ящика, для проверки потенциальной уязвимости.

3. Тестирование методом серого ящика (Grey box testing) – при таком способе тестировщику известна часть информации о приложении. Плюсом такого метода является возможность не раскрывать полностью исходный код, минус же такого подхода состоит в том, что тестировщику потребуется дополнительная информация о функционале приложения.

Тестирование «белого ящика» используется крайне редко, обычно приходится иметь дело с «черным или серым ящиком».

Алгоритм проведения тестирования можно считать общим, выглядит он следующим образом[1]:

1. этап поиска уязвимости;
2. этап эксплуатации уязвимости;
3. составление отчета.

Этап поиска уязвимости рассмотрен подробнее для детального представления происходящего:

1. Анализ логики работы приложения. Это поможет понять, как работает приложение, с каким типом данных работает, как реагирует на запросы, что возвращает в ответах, какие ошибки выдает и т.д.

2. Определение источника уязвимости. Это поможет понять, как происходит эксплуатация уязвимости (какие данные и куда нужно передать, чтобы выполнить эксплуатацию уязвимости). Такой набор данных называют полезной нагрузкой (payload).

3. Тестирование работы приложения неправильными исходными данными. Это поможет определить встроенные фильтры и наличие ограничений на передаваемые данные.

4. Подбор набора данных, передав которые работа приложения приведет к сбою или отказу. Этот этап станет основой для вектора атаки (передача полезной нагрузки в уязвимый компонент для демонстрации того, к чему может привести эксплуатация уязвимости).

### Методы поиска уязвимостей, для которых нет сигнатур

Зачастую на практике используют два метода[2]:

1. Фаззинг (Fuzzing) – определение какой набор данных (параметров) приводит к некорректной работе приложения.

2. Брутфорс (Bruteforce) – передача данных, которые могут подойти (например, пару логин и пароль), этот метод используют для тестирования параметров аутентификации.

Демонстрация примеров показывается с использованием Burp Suite — это интегрированная платформа, предназначенная для проведения атак на веб-приложения. В набор инструментов Burp Suite входит набор следующих утилит полезных при реализации атаки:

1. Прокси сервер (Proxy) - перехватывает сообщения, проходящие по протоколу HTTP(S) в режиме человек по середине (man-in-the-middle). С его помощью можно перехватывать, изучать и изменять трафик, идущий в обоих направлениях.

2. Веб-паук (Spider) - автоматическом режиме собирает информацию о содержимом и функционале приложения.

3. Сканер (Scanner) - автоматически раскрывает уязвимости в веб-приложениях.

4. Нарушитель (Intruder) – в автоматическом режиме производит атаки различного вида.

5. Повторитель (Repeater) - утилита для ручного изменения и повторной отсылки отдельных HTTP-запросов, а также для анализа ответов приложения.

6. Секвенсор (Sequencer) - Утилита для анализа качества генерации случайных данных приложения (например идентификаторов сессий) на возможность предсказания их алгоритма.

7. Дешифровщик (Decoder) - утилита для ручного или автоматического (де)кодирования данных приложения.

8. Сопоставитель (Comparer) - поиск визуальных различий между двумя вариациями данных.

9. Расширения (Extender) - инструмент для добавления расширений в Burp Suite.

Для демонстрации фаззинга проверяется, есть ли на сервере типовые каталоги. Для этого используется утилита Intruder. В качестве полезной нагрузки будет выступать параметр с именами каталога, который допишется в строку (bla) (рис.1).

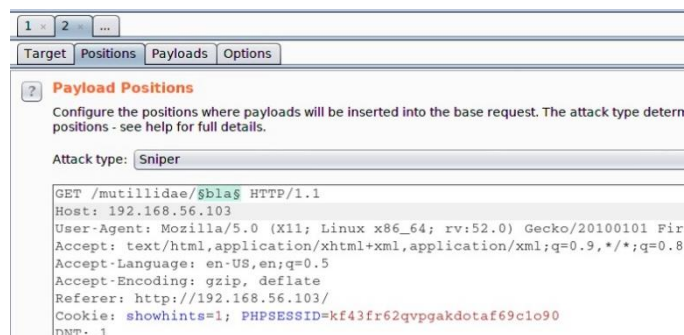


Рисунок 1 – Перехват запроса на сервер с помощью Burp Suite

При нажатии на кнопку Start Attack, необходимо в результатах отследить код ответа, все что вернулась с кодом отличным от 404 будет интересно злоумышленнику. Найдено два типовых каталога (рис.2). Теперь если в браузере проверить путь, то можно убедиться, что каталог Images хранит изображения. Так можно обнаружить скрытые каталоги на сервере, получив доступ, к которым злоумышленник получит дополнительную информацию о тестируемом сервере.

Request	Payload	Status	Error	Timeout	Length	Comment
2	images	301	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	568	
168	data	301	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	564	
0		404	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	472	
1	index	404	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	474	
3	download	404	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	477	
4	2006	404	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	473	
5	news	404	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	473	

Рисунок 2 – Результат фаззинга

Для повышения навыка в области тестирования безопасности созданы определенные ресурсы. Один из них OWASP Mutillidae — это бесплатное, с открытым исходным кодом, намеренно уязвимое веб-приложение. Для эксплуатации уязвимости используется OWASP Mutillidae. На стартовой странице форма

для ввода логина и пароля. При успешном вводе аутентификационных данных произойдет вход в систему, в противном случае появится соответствующее сообщение (рис.3).



Рисунок 3 – Окно ввода логина и пароля стартовой страницы OWASP Mutillidae

В безопасности серьезная уязвимость – неограниченно число попыток ввода пароля. Перехватив post-запрос на сервер можно реализовать брутфорс.

Для брутфорса существует ряд утилит: Hydra, patator, medusa. Почти все они работают следующим образом:

- на странице находится текст, который появляется при неверном вводе пароля;
- утилита перебирает пароли и ждет появления определенного текста на странице (например «Access Denied»).

- если в ответе нет текста «Access Denied», пароль подобран, верно.

Одна из самых популярных утилит Hydra[3], она имеет ряд преимуществ:

- поддерживает большое количество протоколов;
- работает довольно быстро;
- имеет модульную архитектуру;
- может генерировать данные;
- есть графический интерфейс.

Синтаксис команды будет таким:

```
Hydra -l samurai -P /root/passwords/500-worst-passwords.txt http-post-form://192.168.56.103 -m  
"/mutillidae/index.php?page=login.php:username=^USER^&password=^PASS^&login-php-submit-  
button=Login:Password incorrect"
```

где:

- -l samurai — используется в качестве логина «samurai»;
- -P — путь к файлу со списком паролями;
- http-post-form://192.168.56.103 — используем форму и post-запрос с указанием сайта;
- -m — передаваемые данные;
- "/mutillidae/index.php?page=login.php: — сценарий для передачи данных;
- username=^USER^&password=^PASS^&login-php-submit-button=Login: — параметры. На место отделяемое ^ будут подставляться имя пользователя и пароли.
- Password incorrect" — фраза, которую Hydra должна найти на странице. Поиск продолжается до тех пор, пока встречается этот параметр.

Результатом выполнения будет сообщение (рис.4)

```
[80][http-post-form] host: 192.168.56.103 login: samurai password: samurai  
1 of 1 target successfully completed, 1 valid password found  
Hydra (http://www.thc.org/thc-hydra) finished at 2018-12-28 03:55:13
```

Рисунок 4 – Результат выполнения работы утилиты Hydra

Следующая утилита это – Patator (сценарий на языке Python), ее достоинства:

- работает быстро;
- имеет модульную архитектуру;
- интерактивный режим;
- может быть собрана под Windows.

Эта утилита содержит множество модулей, один из модулей http\_fuzz (Брутфорс HTTP). Команда будет выглядеть следующим образом:

```
python patator.py http_fuzz url=http://192.168.56.103/mutillidae/index.php?page=login.php method=POST  
body='username=samurai&password=FILE0&login-php-submit-button=Login' 0=/root/passwords/500-worst-  
passwords.txt follow=1 accept_cookie=1 -x ignore:fgrep='Password incorrect'
```

где:

- http\_fuzz – режим брутфорс HTTP

- url=http://192.168.56.103/mutillidae/index.php?page=login.php - сценарий для передачи данных;
- method=POST - используем post-запрос;
- body='username=samurai&password=FILE0&login-php-submit-button=Login' – параметры;
- 0=/root/passwords/500-worst-passwords.txt – путь к файлу с паролями;
- follow=1 - следовать любому редиректу Location (0-нет. 1-да);
- accept\_cookie=1 - сохранить полученные куки для отправки их в следующих запросах (0-нет. 1-да);
- -x ignore:fgrep='Password incorrect' – вывести на экран строки, в которых не встречается фраза «Password incorrect».

В результате работы получим сообщение (рис.5).

```
13:24:43 patator INFO -
13:24:43 patator INFO - code size:clen      time | candidate                | num | msg
13:24:43 patator INFO - -----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
13:24:52 patator INFO - 200  54084;-1      0.251 | samurai                   | 500 | HTTP/1.1 200 OK
```

Рисунок 5 – Результат выполнения работы утилиты Patator

Утилита Medusa. В отличие от Hydra у нее распараллеливание происходит потоками (у Hydra — процессами). В ее состав входят, как и в утилиту Patator много модулей, для брутфорса веб-формы нужен модуль web-form.

Команда будет выглядеть следующим образом:

```
medusa -h 192.168.56.103 -u samurai -P /root/passwords/samurai.txt -M web-form -m FORM:"mutillidae/index.php?page=login.php" -m DENY-SIGNAL:"Password incorrect" -m FORM-DATA:"post?username=&password=&login-php-submit-button=Login" -v 8
```

- -h 192.168.56.103 — хост для тестирования;
- -u samurai — имя пользователя;
- -P /root/passwords/samurai.txt — путь к файлу с паролями;
- -M web-form — модуль для веб-форм;
- -m FORM:"mutillidae/index.php?page=login.php" — путь к обработчику формы;
- -m DENY-SIGNAL:"Password incorrect" — строка, которая отслеживается в ответах;
- -m FORM-DATA:"post?username=&password=&login-php-submit-button=Login" — данные формы;
- -v 8 — уровень подробностей (необходим для определения кода 302).

При подборе верного пароля ответом будет срабатывание события с кодом 302 (рис.6).

```
ERROR: The answer was NOT successfully received, understood, and accepted while trying samurai samurai: error code 302
ACCOUNT CHECK: [web-form] Host: 192.168.56.103 (1 of 1, 0 complete) User: samurai (1 of 1, 0 complete) Password: samurai (4 of 4 complete)
```

Рисунок 6 - Результат выполнения работы утилиты Medusa

### Заключение

Атака брутфорс не требует специальных навыков, так как существуют специальные утилиты.

У атаки высокая степень опасности [4]. Соблюдение следующих требований может сократить последствия атаки:

- соблюдение требований безопасности (минимизация привилегии пользовательских аккаунтов);
- использование сложных паролей, регулярное их изменение;
- ограничение попыток ввода неверного пароля;
- использование специальных средств от эксплуатации уязвимостей методом брутфорс (fail2ban или web application firewall).

От фаззинга защититься сложнее, так как действия тестировщика сводятся к подбору таких параметров в ответ, на которые приложение даст сбой. В рассмотренном случае снизить риск появления уязвимости можно путем запрета индексации каталогов в файле robots.txt и запретить чтение данных из скрытых каталогов.

### Литература

1. OWASP Complete Self Assessment Guide 2019.
2. Gerardus Blokdyk. Penetration testing tools. Second Edition. 5STARCOOKS. 2018.
3. Muniz J., Lakhani A. Web penetration Testing with Kali Linux. Packt Publishing. 2013.
4. Gilberto N. Kali Linux web penetration testing cookbooks. Packt Publishing. 2016.

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ ПРЕПАРАТАМИ

Касимов А.О., Есенбек С.Я.,

НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»  
+7 (701) 770-60-06, sanida.y.y@gmail.com

В статье рассмотрены требования к датчикам физических величин (ДФВ), к интерфейсам программно-аппаратного оснащения, разработана функциональная схема системы мониторинга загрязнения лекарственными препаратами. Указаны состав и возможности, основные критерии размещения и функционирования системы мониторинга.

Ключевые слова: беспроводная передача данных, мониторинг, датчик, микроэлектроника, экология.

System for monitoring drug contamination. Kasimov A.O., Esenbek S.Ya., Almaty University of Power Engineering and Telecommunications.

The article discusses the requirements for sensors of physical quantities (SPQ), for interfaces of software and hardware, a functional diagram of a system for monitoring drug contamination has been developed. The composition and capabilities, the main criteria for the placement and functioning of the monitoring system are indicated.

Keywords: wireless data transmission, monitoring, sensor, microelectronics, ecology.

В основу функционирования системы мониторинга загрязнения лекарственными препаратами (СМЗ ЛП) приняты следующие принципы, которые определяют методику программно-аппаратного содержания СМЗ ЛП:

1. Обеспечение он-лайн диагностики СМЗ ЛП и датчиков;
2. Иерархический принцип построения;
3. Закрытие передаваемых данных;
4. Распределенная структура системы;
5. Возможность обеспечения работы СМЗ ЛП в энергосберегающих режимах, например, в «спящем» режиме;
6. Открытость СМЗ ЛП и возможность дальнейшего наращивания системы.

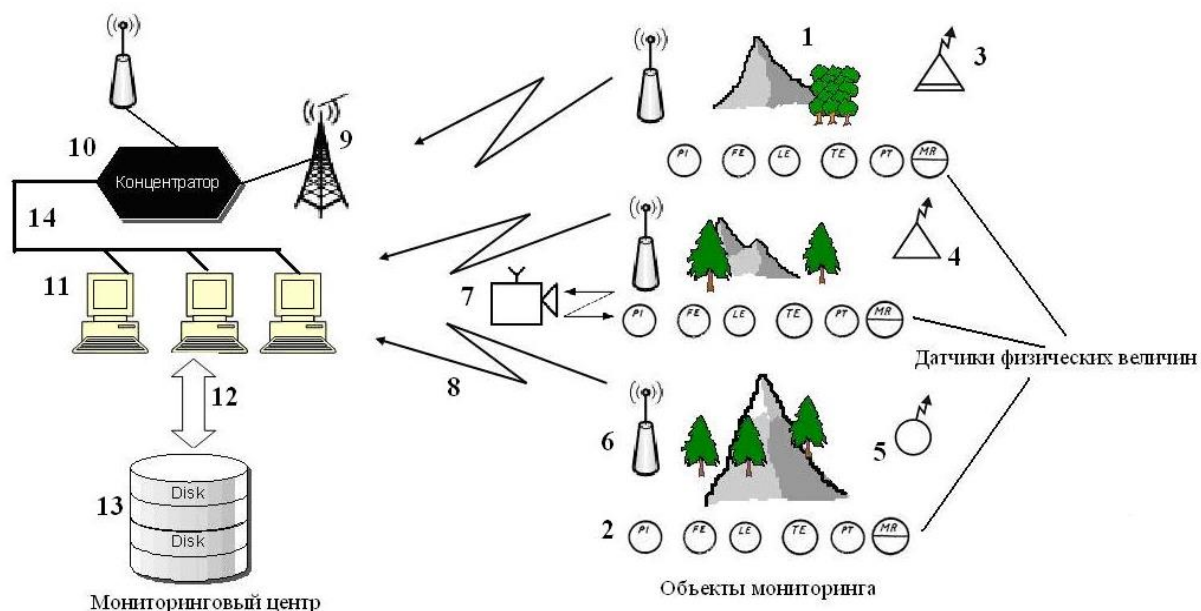


Рисунок 1 – Структурная схема системы мониторинга лекарственными препаратами:

- 1-объекты мониторинга; 2-датчики физических величин; 3-радиостанция стационарная; 4- радиостанция подвижная; 5-радиостанция носимая; 6-радиомодем; 7-видеокамера с передачей по радиоканалу; 8-радиоканал; 9-базовая станция УКВ-связи; 10-распределитель – преобразователь радиосигналов; 11-мониторы пункта обработки информации центра мониторинга ЧС; 12-внутренний интерфейс; 13 – база данных; 14 – внутренняя линия связи



Состав и возможности данной системы мониторинга (СМ) [1].

Для реализации указанных требований непосредственно и вблизи объектов мониторинга предполагается установка следующих датчиков:

- температуры воздуха;
- относительной влажности воздуха;
- количества выпавших осадков;
- температуры воды;
- уровня воды;
- расхода воды;
- высоты снега;
- мутности воды;
- температуры слоев снега;
- температуры поверхности снега.

Основные требования к датчикам физических величин (ДФВ), к интерфейсам программно-аппаратного оснащения:

- 1 Точность измерения у ДФВ должна быть средней, около 1-2%;
- 2 Электропитание датчиков должно осуществляться от солнечной панели днем и от встроенного аккумулятора ночью, при этом переход осуществляется или автоматически, или по радиокомандам;
- 3 Конструктивное исполнение ДФВ должно быть герметичным и антивандальным;
- 4 С целью обеспечения надежной работы в течении длительного времени ДФВ должны быть многоканальными для обеспечения возможности продолжения функционирования при отказе одного из каналов;
- 5 С целью повышения достоверности, получаемые с ДФВ информации должны иметь элементы самодиагностики или схемотехническое исполнение для проведения диагностики по тестовому сигналу, переданному по радиоканалу из мониторингового центра на датчик;
- 6 Очень важным требованием, которое появилось сравнительно недавно, по мере развития нового класса – микроэлектронных датчиков (МЭД), - это обеспечение многофункциональности измерений, при этом одним датчиком одновременно в одной точке можно измерить несколько разнородных величин, таких как, давление и температуру, влажность и температуру и проч;
- 7 Для длительного функционирования в условиях применения автономных источников питания, например, аккумуляторов небольшой емкости, ДФВ должны потреблять малую мощность в активном режиме и сверхмалую, в дежурном (спящем) режиме;
- 8 Обмен информацией между сетью ДФВ, устанавливаемых на объектах мониторинга, и мониторинговым центром, может производиться как по радиоканалу, так и с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА), который при облете зоны мониторинга сканирует и запоминает накопленную датчиками информацию. Данный вариант предпочтителен в том случае, когда радиосигналы в зоне мониторинга имеют сильное затухание и ослабление, что часто случается в условиях горной местности. Для повышения достоверности и информативности состояния объекта мониторинга, БПЛА часто оснащают ВЭБ-камерами, которые в реальном масштабе времени ведут видео объекта мониторинга с указанием времени и координатной привязки по месту съемки.

Данная СМ может служить в качестве базовой технологической платформы для разрабатываемой СМЗ ЛП лекарственного загрязнения сточных вод с учетом ее избыточности.

Основные критерии размещения и функционирования системы мониторинга:

- 1 Скрытность размещения датчиков;
- 2 Территориальная близость к объекту контроля (ОК);
- 3 Зона надежной передачи – приема сигналов с датчиков по системам мобильной связи;
- 4 Обеспечение непосредственного контакта датчиков со сточными водами, например, в канализационном коллекторе ОК.

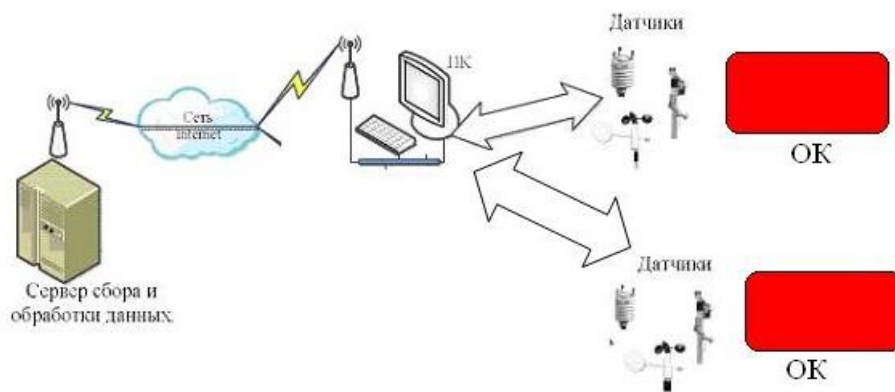


Рисунок 2 – Функциональная схема распределенной СМЗ ЛП

#### Заключение

Система мониторинга загрязнения лекарственными препаратами обеспечивает он-лайн диагностику датчиков, имеет иерархический принцип построения, возможность работы в энергосберегающих режимах и дальнейшего наращивания системы. В работе использовались различного рода датчики: температуры воздуха и воды, с учетом всех состояний, влажности, и т.д. Указаны основные требования к датчикам физических величин (ДФВ), к интерфейсам программно-аппаратного оснащения.

#### Литература

1. Касимов А.О., Якубова М.З., Демидова Г.Д., Есенбек С.Я. Беспроводная система передачи для определения лекарственных препаратов в сточных водах. Вестник АУЭС, 2018г 4(6)43 стр.96-100.
2. Sanida Yessenbek, Abdurazak Kasymov, Salima Nugmanova, Lidiya Taimuratova, New Technology of data transmission: LI-FI, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2020.
3. MICROELECTRONIC A.Zh. \*, Abdurazak K.A. \*\*Organizations: AUPET, KazNMU\*, NIS\*\*. IT Чехия Прага 2017г.
4. Касимов А.О., Байшоланова К С. Структуры волоконно-оптических датчиков физических и химических величин. стр 32. ISCIENCE.IN.UA «Актуальные научные исследования в современном мире» Выпуск 12(20) ISSN 2524-0986.
5. Dungchai W, Chailapakul O, Henry CS (2009) Electrochemical detection for paper-based microfluidics. Anal Chem 81(14):5821-5826. doi:10.1021/ac9007573.
6. Nie Z, Deiss F, Liu X, Akbulut O, Whitesides GM (2010) Integration of paper-based microfluidic devices with commercial electrochemical readers. Lab Chip 10(22):3163-3169.
7. Nie Z, Nijhuis CA, Gong J, Chen X, Kumachev A, Martinez AW, Narovlyansky M.
8. Shiroma LY, Santhiago M, Gobbi AL, Kubota LT (2012) Separation and electrochemical detection of paracetamol and 4-aminophenol in a paper-based microfluidic device.
9. Neogen Corporation, (2014) (Lansing, MI). <http://www.neogen.com>. Accessed 27 Oct 2014.
10. Romer Labs, Inc. (2014) (Union, MO). <http://www.romerlabs.com>. Accessed 27 Oct 2014.
11. Bakker E, Qin Y (2006) Electrochemical Sensors. Anal Chem 78(12):3965–3984. doi:10.1021/ac060637m.

## НЕЙРОКОНСТРУИРОВАНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ, ЛЕЖАЩИХ В ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Кириченко А.А.

Статья посвящена использованию свободно распространяемого в Интернет нейроконструктора, позволяющего моделировать и исследовать различные виды нейроконструкций. Конструирование искусственных нейронных ансамблей в литературе раньше освещалось мало. Данная работа представляет интерес для магистров, аспирантов и лиц, специализирующихся на нейросетевых технологиях.

Ключевые слова: нейроконструктор, естественный интеллект, нейросеть, базы знаний, ассоциативное извлечение знаний, генерация новых знаний, правила продукции, классификация, кластеризация.

Neuroengineering to study the neurodynamic principles underlying natural intelligence. Kirichenko A.A.

The article is devoted to the use of a neuroconstructor freely distributed on the Internet, which allows modeling and researching various types of neuroconstructions. The construction of artificial neural ensembles has received little coverage in the literature. This work is of interest for masters, graduate students and individuals specializing in neural network technologies.

Keywords: neuroconstructor, natural intelligence, neural network, knowledge bases, associative knowledge extraction, new knowledge generation, production rules, classification, clustering.

Одно из направлений искусственного интеллекта связано с исследованием нейросетевых проблем с помощью нейропакетов, для создания которых используются специфические модели, методы и алгоритмы, реализуемые научным направлением под названием «Нейропрограммирование».

Специфика используемых в нейропрограммировании моделей связана с составом используемых операций, таких, как «обучение на примерах», «создание ассоциативной памяти», реализация «ассоциативного мышления», «приобретение новых знаний», «извлечение накопленных при обучении новых знаний», «пополнение баз знаний», и др.

**Обучение на примерах** может выполняться с учителем или без учителя, при индивидуальном или при групповом предъявлении обрабатываемых образов; при использовании обучающих, тестирующих, экзаменационных и других выборок с учётом их разделения на эпохи; с использованием коннекционизма (при котором модифицируются только веса синаптических связей, а параметры нейронов не меняются), с использованием гетерогенных искусственных нейронных сетей (с модификацией параметров нейронов при неизменности связей), с изменением структуры нейросети за счёт изменения количества нейронов в скрытых слоях, или при комплексном подходе, объединяющем все три предыдущих.

**Создание ассоциативной памяти** позволяет использовать не базы данных, а базы знаний с постоянной их проверкой «на противоречивость», с разделением их на «базы фактов», «базы отношений (связей)», «базы правил», «базы алгоритмов, понятий», и др., с ассоциативным извлечением знаний в процессе работы и с автоматическим пополнением базы знаний.

**Использование «ассоциативного мышления»**, обладающего такими свойствами, как непоследовательность, спонтанность, параллельность и завершающегося иногда «озарением» - то-есть внезапным появлением решения трудной проблемы. Этой проблеме с давних времён были посвящены работы П.Н.Яблочкого, А.Пуанкаре, Г.С.Альтшуллера (алгоритм решения изобретательских задач – АРИЗ - которого опубликован в Интернет [6]).

**Приобретение новых знаний** в процессе обучения; знаний, которые сосредоточены в обученной нейросети в виде коэффициентов связей между нейронами. Доступ к этим знаниям затруднён, но после обучения нейросетевые программы разрешают ими пользоваться, т.е. делают их доступными. По существу, нейросети после обучения (или в результате его) являются *генераторами новых знаний*.

**Извлечение накопленных при обучении новых знаний и представление их в виде «правил продукции»** для автоматического пополнения новыми знаниями имеющихся баз знаний для дальнейшего их использования может производиться в соответствии с алгоритмами А.Ежова, С.Шумского [3], Е.М.Миркеса [4].

**Автоматизация создания программных средств с постоянно растущим интеллектом** представляет собой переход к новой архитектурной парадигме - ассоциативным искусственным когнитивным системам, способным к самообучению и синтезу нового знания.

Интеллектуальность проявляется и при создании **нейросетевых управляющих структур**, обучение которых ведётся на основе предъявления нейросети не отдельных обучающих образов, а их последовательностей. Различные схемы таких структур (например, схемы, описанные Е.С.Борисовым [5]) позволяют автоматизировать решение задач классификации текстов, аннотирования изображений, классификации видео, машинного перевода, автоматизации информационного поиска.

Нейросетевое программирование может использоваться для создания программных средств **с постоянно растущим интеллектом** и для разработки моделей Высшей нервной системы человека.

Нейроконструирование в настоящее время в основном направлено на разработку и исследование отдельных элементарных нейросетей. Тогда как особый интерес представляет создание нейроконструкций, но не для реализации искусственного интеллекта, а прежде всего - для изучения нейродинамических принципов, лежащих в основе «естественного интеллекта», моделей мозга, с последующим переходом к созданию искусственных интеллектуальных моделей.

К числу этих нейродинамических принципов относятся: ассоциации, ассоциативная память, ассоциативное мышление, мягкие вычисления (основанные на умении работать с нечёткими знаниями), генерация новых знаний в виде правил продукции из образующихся при обучении нейросетей коэффициентов связи нейронов, конструирование СУБЗ и нейросетевых запоминающих устройств, эвристическое моделирование, реализация интеллектуальных планировщиков, и др.

Разработка нейродинамических моделей опирается на использование нейросетевого конструкторского базиса и моделирование функциональных узлов нейросетевых конструкций для нейрокомпьютеров различной специализации.

Нейросетевой конструкторский базис создаётся в виде второго уровня нейронного моделирования[1]:

- нейросетевые логические функции И, ИЛИ, НЕ, 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ, и другие функциональные узлы нейрокомпьютеров (преобразователи кодов, триггеры, сумматоры и другие элементы цифровой схемотехники),
- элементы, реализующие функции нейроматематики, преобразователи чисел, перекодирующие текст, микроэкспертные системы.

Второй уровень переходит в 3 уровень моделирования:

- на основе различного вида нейросетей,
- интеллектуальных моделей (классификация, прогнозирование, выявление ассоциаций, причинно-следственных связей, использования семантического дифференциала для оцифровки смысла) и т.д.

И наконец, к переходу на 4 уровень моделирования:

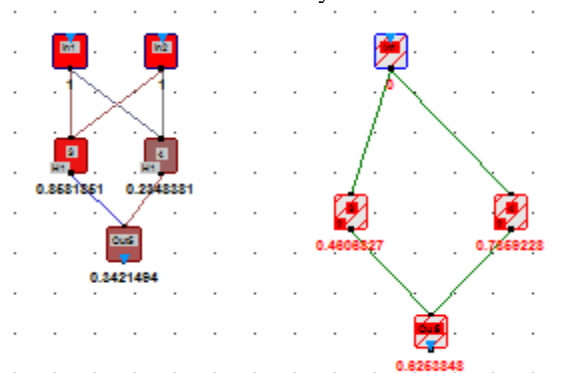
- нейронные конфигурации, имитирующие обобщение, принятие решения, получение смыслового портрета текста, построение семантической сети, выделение наиболее значимых частей текста, ранжирование найденных фрагментов текстов по степени близости к запросу, по степени пересечения семантической сети запроса с семантическими сетями найденных текстовых фрагментов;
- классификаторы текстов, отнесение их к имеющимся или образованным рубрикам, и т.д..

При моделировании отдельных элементарных нейросетей часто не удаётся найти удобные для отдельных нейросетей алгоритмы. Поэтому приходится группировать нейросети, реализовать их в виде гибридных конструкций, состоящих из нейросетевых вставок и дополняющих их программ, иногда реализующих нечёткие конструкции, создаваемые с помощью нейросетевого программирования.

На втором уровне нейронного моделирования создаётся конструкторский базис, содержащий нейрологические элементы 2И-НЕ, R-S триггер и триггер со счётным входом, сумматор. Далее приводится краткое описание фрагментов конструкторского базиса, выполненных с помощью [7].

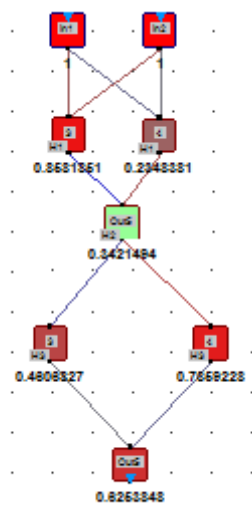
#### Нейросетевая логическая функция 2И-НЕ

Для создания нейросетевой логической функции 2И-НЕ необходимо иметь такие логические функции: необученный логический элемент 2И и необученный логический элемент НЕ.



Логический элемент 2И \_\_\_\_\_ Логический элемент НЕ

Подготовка нейросетей для объединения включает вызов исходных элементов на экран, правильное размещение их на экране, соединение их для совместной работы, удаление освободившихся нейронов:



Изменяем свойство выходного нейрона элемента 2И на Hidden.  
Проводим проверку созданного искусственного нейронного ансамбля:

In1	In2	Out
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	1	1
1	0	1
0	0	1
1	1	0

Исполняем проверочный тест с помощью Think on Lesson и результат выводим в файл «Record Lesson 2И-НЕ экзамен.csv». Распечатываем полученный в Record Lesson файл.

Результат совпадает с ожидаемым.

После проверки сохраняем новый нейросетевой логический элемент 2И-НЕ.

#### Триггер

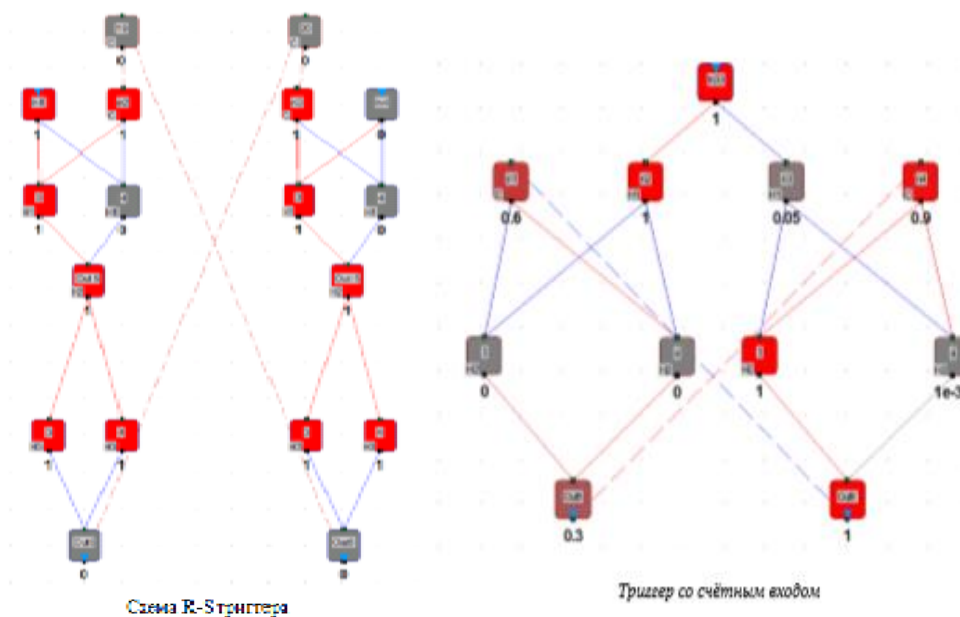
Триггер — это логическая схема, способная хранить 1 бит информации.

С помощью нейроконструктора [1, 7] создаём две разновидности триггеров: R-S триггер и триггер со счётным входом. R-S триггер построим на двух элементах ИЛИ-НЕ или на 2 элементах И-НЕ.

Схема триггера со счётным входом отличается тем, что сигнал на её единственном входе «In33» автоматически переводит триггер из любого состояния равновесия в противоположное. Для создания такого триггера необходимо 3 пары нейрологических элементов: 2 элемента 2И, 2 входных нейрона и 2 элемента НЕ; или 2 элемента ШтрихШеффера и один переключающий нейрон.

При простом соединении двух модулей Шеффера конструкция будет содержать 4 входных нейрона, тогда как нужен только один входной нейрон. При сборке этих нейроконструкций получилось:

Схемы триггеров:



Реализация сумматора на 2 полусумматорах.



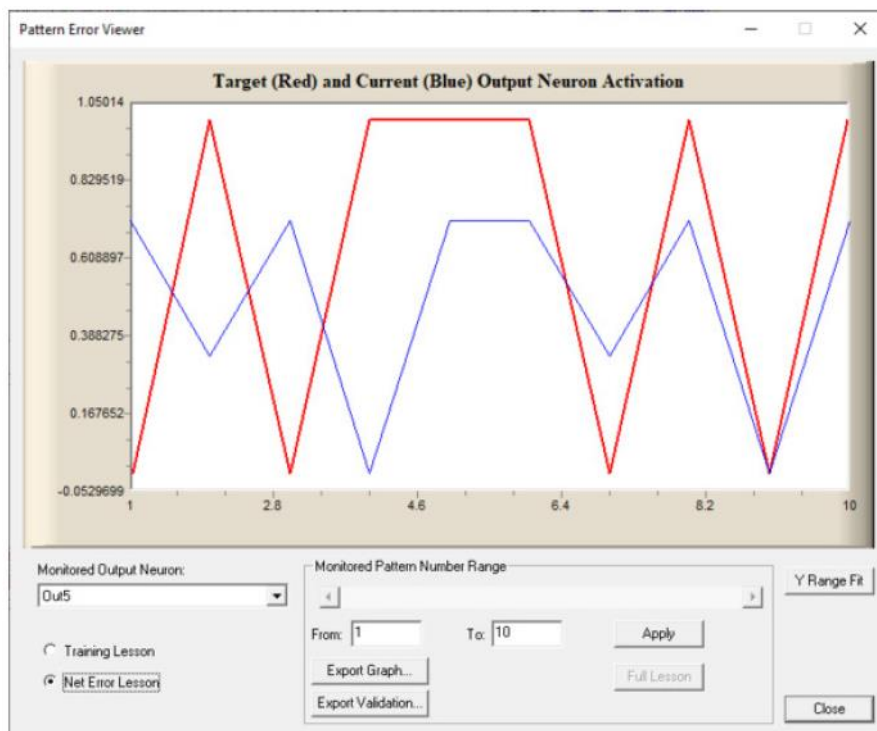
Сохраняем нейронную модель сумматора в файле «сумматор.mbn». Проверку сумматора проведём на основе следующих данных, где В1, В2 – входные нейроны; П2 и П3 – нейроны передачи из одного разряда в другой; S1, S2 – нейроны суммы соответствующих разрядов:

В1	В2	П2	П3	С1	С2
0	0	0	0,024025	0	0,41129
0	1	0	0,024025	0,479429	0,499958
1	0	0,0172	0,497924	0	0,407191
1	1	0,0172	0,497924	0,480436	0,49996

Результат работы сумматора

В процессе создания конструкторского базиса на втором уровне нейронного моделирования выяснилось:

1. Одну и ту же модель можно строить на основе логического (западного) подхода (например — приведенная здесь модель R-S триггера), и на основе образного (восточного) подхода (как например, приведенная модель триггера со счётным входом).
2. Нейроконструктор предоставляет несколько способов проверки правильности работы создаваемых конструкций. Например, при проверке R-Стриггера используется проверка в однократном режиме — когда в таблице, выводимой на экран, набираются входные коды, а при нажатии клавиши Think on Input автоматически появляются результаты выходных нейронов, одновременно с демонстрацией результата на том же экране цветного графического изображения исследуемой нейроконструкции.
3. Другой способ проверки правильности работы создаваемых конструкций демонстрирует вариант нейросетевого логического элемента «2И-НЕ» — через выполнение экзаменационного файла с индикацией хода его выполнения в PatternErrorViewer.
4. Процесс обучения показывает либо традиционное последовательное снижение ошибки нейросети, либо процесс, происходящий с «озарением» нейросети, когда реакция нейроконструкции внезапно исправляется и становится ожидаемой. Например:



Процесс обучения выходного нейрона триггера Out5

Во время обучения видно, что в начале обучения Target (красная линия) и Current (синяя линия), характеризующие активации нейронов, не совпадают. И только с 5 шага они начинают согласовываться. На выходном нейроне Out6 видна аналогичная картина.

#### Литература

1. Кириченко Александр «Конструирование искусственных нейронных ансамблей (ИНА)», Ридеро, Издательские решения, 2020, ISBN 978-5-4498-9907-1
2. Кириченко А.А. «Нейросетевой конструктор MemBrain», Сборник трудов XVI международной научно-практической конференции, 2019, стр. 59, ISSN 2500-1248.
3. Александр Ежов, Сергей Шумский Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе <http://www.neuroproject.ru/Papers/Neurocomputing.htm>
4. Е. Миркес - Учебное пособие по курсу «Нейроинформатика», <https://www.libfox.ru/201279-e-mirk-es-uchebnoe-posobie-po-kursu-neuroinformatika.html>
5. Е.С.Борисов Классификатор текстов на естественном языке. <http://www.mechanoid.kiev.ua/neural-net-classifier-text.html>
6. Г.С.Альтшуллер АРИЗ, <https://altshuller.ru/triz/ariz85v.asp>
7. Кириченко Александр «Универсальный нейропакет: Графический нейросетевой редактор-имитатор», Издательские решения Ridero, 2019.—204с. ISBN978-5-0050-9645-6

#### ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ И ПРЕЦИЗИОННОСТИ НЕЙРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Ермолаев В.А., Проскураков А.Ю., Миловидов А.Е.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кратко рассмотрено состояние проблем точности и прецизионности искусственных нейронных сетей, их связь с проблемами искусственного интеллекта, направления развития нейронных сетей. Названы достоинства и потенциальные возможности нейронных сетей с локальными и глобальными обратными связями и функционально-дифференциальных моделей сетей. На простых примерах показаны результаты моделирования названных сетей.

Ключевые слова: нейронные сети, прогнозирование, временные ряды, анализ временных рядов.

Problems of analysis of accuracy and precision of neural models of time series prediction. Ermolaev V.A., Proskuryakov A.Y., Milovidov A.E.

The state of the problems of accuracy and precision of artificial neural networks, their connection with the problems of artificial intelligence, directions of development of neural networks are briefly considered. The advantages and potentialities of neural networks with local and global feedback and functional-differential network models are described. The results of modeling of these networks are shown on simple examples.

Keywords: neural networks, forecasting, time series, time series analysis.

Технология искусственных нейронных сетей находит широкое применение в теоретических задачах биологии, биофизики и медицины, раскрывающих механизмы функционирования живых организмов [1, 2], в прикладных задачах теории систем управления различными объектами [3, 4], а также в задачах анализа и предсказания временных рядов [5, 6] и т.п. Становлению этой технологии на первом этапе способствовали достижения в области вычислительной техники, создание языков программирования и формализация процедур постановки и решения логических задач. Последующее развитие нашло выражение в теории и практике искусственных нейронных сетей прямого распространения, в разработке эффективных алгоритмов их обучения [7, 8].

В настоящее время тематика работ в данной области существенно обогатилась появлением сетей с локальными и глобальными обратными связями [9], осцилляционных моделей сетей, нейроны которых относятся к классу автоколебательных систем с регулярной и пачечной динамикой [9 – 11], присущей динамике нейронов живых организмов, а также вейвлет нейронных (всплеск нейронных) сетей [12, 13].

К сожалению, несмотря на очевидное усложнение моделей указанных сетей, они, как считает Р. Пенроуз, не способны, в принципе, решить проблему природы собственно интеллекта, т.е. интеллекта живых организмов. И это имеет место как в рамках классического, так и квантового подхода. Причиной проблемы при этом может считаться отсутствие должного учета роли транспорта вещества в нервных клетках и в окружающей их среде [14, 15], что в общем случае требует применения моделей с распределенными параметрами.

В настоящее время, развитие этой темы стимулируется новыми методами и направлениями исследований, методами оптимизации и оптимального управления, вычислительной математики, включая методы решения некорректных и обратных задач, анализа и прогнозирования временных рядов, методами теории всплесков и нейронных сетей. Естественно, нужно иметь в виду, что каждое из указанных направлений характеризуется своей областью применения, своим языком, целями и возможностями, что не позволяет объединить их под грифом единой науки, в частности, под грифом искусственного интеллекта.

Во многом, именно потребность решения проблем искусственного интеллекта породила рост интереса к моделям и методам искусственных нейронных сетей, их применению при решении задач анализа и прогнозирования динамических процессов и временных рядов, оценивания горизонтов предсказания и степени динамической корреляции [16]. Интересы, стимулированного также возможностью повышения эффективности моделей, как отдельных нейронов, так и нейронных сетей в целом.

Различия в архитектуре и/или сложности описания нейронных сетей обуславливают проблему сравнительного анализа точности, соответствия эталону, и прецизионности, воспроизводимости результатов анализа, их моделей, сопряженную с проблемой измерения [17], которая, фактически, обуславливается отсутствием эталона измерения. В подобных условиях проблема измерения решается в рамках: репрезентационной теории, реалистической трактовки, операционализма Бриджмена, конвенционализма Маха и Пуанкаре, информационно теоретического или модельных подходов [17]. Особенность проблемы измерения адаптивно обучаемыми нейронными сетями заключается при этом в необходимости наличия множества определенным образом выбранных эталонов.

В настоящей работе рассматриваются вопросы оценивания точности и прецизионности функционально-дифференциальных моделей прогнозирующих нейронов с распределенным запаздыванием транспорта возмущений в поле окружающей среды, и нейронных моделей сетей прогноза с коммутируемой обратной связью. Точность функционирования отдельных нейронов и сетей оценивается по степени отклонения их выходных данных от эталонных значений, а прецизионность – по степени различия данных, полученных в серии однотипных экспериментов.

Функционально-дифференциальная модель нейрона описывается уравнением, являющимся обобщением уравнения Хатчинсона – уравнением, относящимся к классу сингулярных и которым могут моделироваться релаксационные колебания. Это обобщенное уравнение имеет вид

$$\dot{u}(t) = \lambda \left[ 1 - \int_{t_0}^{t_a} u(t - \tau) h(\tau) d\tau \right] u(t) + x(t). \quad (1)$$



Здесь  $u(t)$  – выход нейрона,  $x(t)$  – суммарный сигнал на входе нейрона и  $h(t)$  – распределение запаздывания по величине. Для упрощения можно положить, что  $t_a = mt_0$ .

Тогда уравнение (1) на интервале  $t \in [(k-1)\tau_0, k\tau_0]$  принимает вид

$$\dot{u}_k(t) = \lambda a_k(t) u_k(t) + x_k(t), \quad a_k(t) = 1 - \int_{t_0}^{m\tau_0} u(t-\tau) h(\tau) d\tau, \quad u_k(0) = u_{k-1}(\tau_0). \quad (2)$$

При этом решение уравнения (2) дается формулой

$$u_k(t) = \left[ u_{k-1}(\tau_0) + \int_0^t x_k(v) \exp(-\lambda A_k(v)) dv \right] \exp(\lambda A_k(t)), \quad A_k(t) = \int_0^t a_k(t) dv, \quad t \in [0, \tau_0]. \quad (3)$$

Первое слагаемое в (3) – это, очевидно, решение однородного уравнения, имеющее вид

$$u_k(t) = u_{k-1}(\tau_0) \exp(\lambda A_k(t)). \quad (4)$$

Функцию распределения запаздывания  $h(t)$  можно ввести, основываясь на тех или иных соображениях, любым подходящим способом; например, посредством аппроксимации по системе степенных или экспоненциальных функций. Для изучения динамики автоколебаний автономной системы от распределения запаздывания ниже рассматривается функция

$$h(t) = \begin{cases} (1/h^*)(1 - \exp(-wr(t - \tau_0))) \exp(-wq(t - \tau_0)), & t \in [\tau_0, m\tau_0], \\ 0, & t \notin [\tau_0, m\tau_0]. \end{cases}$$

Здесь  $\tau^* = \tau_0 + (1/wr) \ln(1+z)$  – точка, в которой достигается максимум  $h^* = z(1+z)^{(1+z)/z}$  функции  $h(t)$  и  $z = r/q$ . Графики функции  $h(t)$  и соответствующие ей решения (4) приведены на рис. 1 при значениях параметра  $w$ , равных 0.25, 0.5 и 1.0.

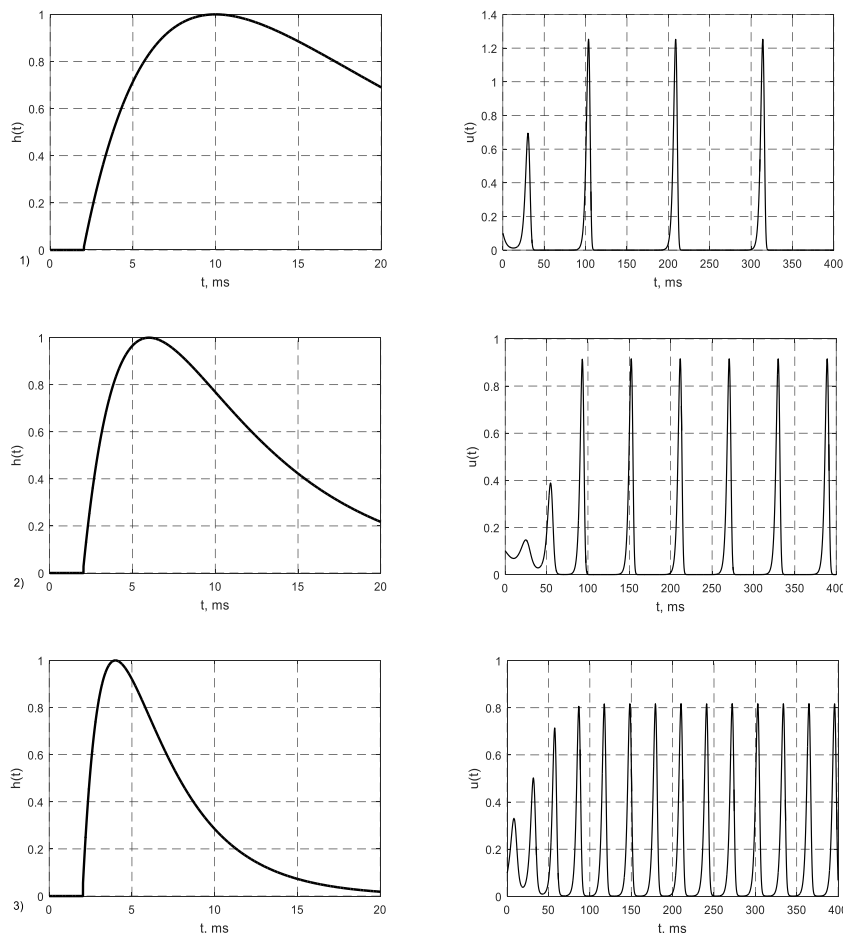


Рисунок 1 – Распределения запаздываний и автоколебания при:

1)  $w = 0.25$ ; 2)  $w = 0.5$ ; 3)  $w = 1.0$

Моделирование показало наличие четко выраженной зависимости периода релаксационных автоколебаний от параметра  $w$ , с приближением которого к значению  $w = 2.0$  автоколебания теряют релаксационный характер; в дальнейшем последовательно приближаясь к гармоническим и затухающим колебаниям.

Рассмотрение нейронной сети предсказания на интервалах 10 и 100 выборок показало существенную зависимость обеспечиваемой ею точности от размеров сенсорного слоя и характера прогнозируемого временного ряда. А именно, чтобы обеспечить точность интервал, содержащий данные сенсорного слоя, должен представлять все особенности прогнозируемого ряда. Результаты предсказания показаны на рис. 2, на котором жирной линией показан исходный временной ряд, а тонкими линиями – практически совпадающие результаты предсказания на интервалах в 10 и 100 выборок.

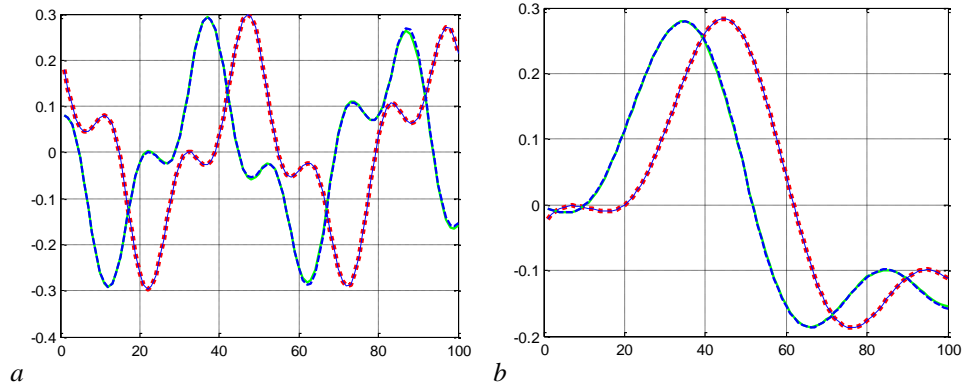


Рисунок 2 – Результаты предсказания при 50 циклах обучения и шаге 0,5

Простейшей характеристикой точности является абсолютная ошибка предсказания. Если ввести вектор выборок предсказываемого сигнала  $\mathbf{x}(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_N(k))^T$  и его оценку – вектор выхода нейронной сети  $\hat{\mathbf{x}}(k) = (\hat{x}_1(k), \hat{x}_2(k), \dots, \hat{x}_{10}(k))^T$ , то вектор абсолютной ошибки  $\delta(k) = |x(k) - \hat{x}(k)|$ . Полученные таким способом графики абсолютных ошибок предсказания для различных значений почти периодов временного ряда приведены на рис. 3.

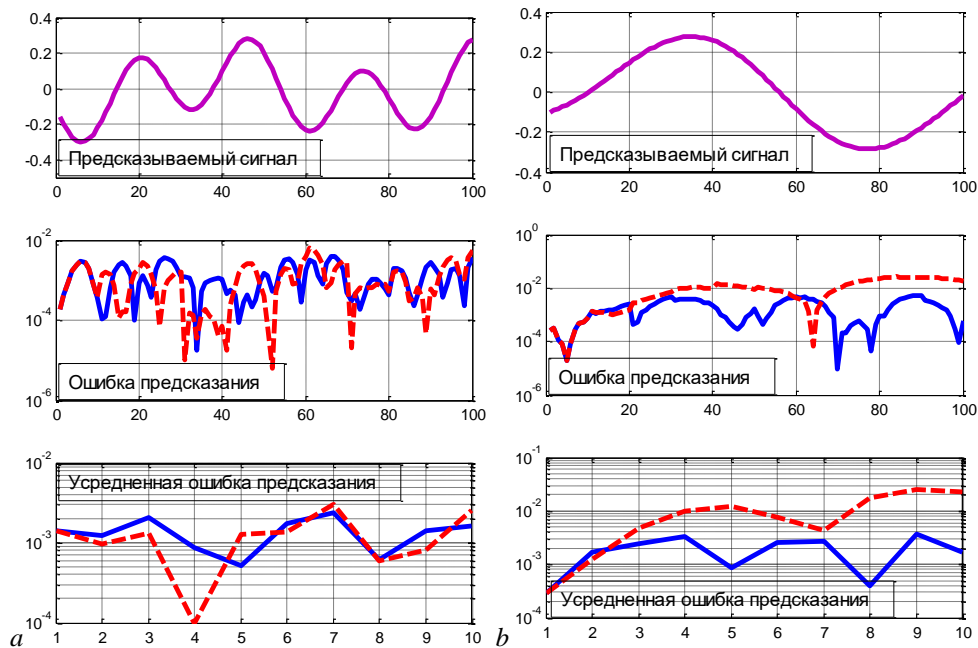


Рисунок 3 – Графики абсолютных ошибок предсказания временного ряда

На этих рисунках представлены графики фрагментов предсказываемого сигнала и абсолютных ошибок предсказания – графиков их мгновенных и усредненных на каждом такте предсказания значений. Сплошными синими линиями при этом изображены графики ошибок при обучении сети через каждые 10 выборок, а штриховыми красными линиями – при обучении через 100 выборок.

Отмеченная выше потребность согласования размера сенсорного слоя нейронной сети с характером, в частности, почти периодом временного ряда, порождает проблему, которую можно решить посредством предварительной фильтрации или разложения по системе всплесков. Следует отметить, что полученные в ходе моделирования результаты предсказания отвечают начальным ожиданиям, невзирая на их зависимость от величины скорости настройки, определяемой шагом и длиной цикла обучения.

Результатом указанной обработки, фактически линейной фильтрации, является удаление нежелательных компонентов, отрицательно влияющих на точность и прецизионность прогноза. Представляется, что динамические модели временных рядов являются в этом плане более очевидными.

#### Литература

1. P. Dayan, L.F. Abbot. Theoretical neuroscience. Computational and mathematical modeling of neural systems. – Cambridge, London: The MIT Press, 2001, 460 p.
2. M.L. Rabinovich, P. Varona, A.I. Selverston, H.D.I. Abarbanel. Dynamical principles in neuroscience // *Reviews of modern Physics*, 2006, Vol. 78, P. 1213-1265.
3. В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. Нейросетевые системы управления. – М.: ИПРЖР, 2002. – 480 с.
4. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ, 2007. – 632 с.
5. G.E.P. Vox, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel, G.M. Ljung. Time series analysis: forecasting and control. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons., 2016. – 669 p.
6. D.C. Montgomery, C.L. Jennings, M. Kulahci. Introduction to time series analysis and forecasting. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons., 2016. – 445 p.
7. D.P. Mandic, J.A. Chambers. Recurrent neural networks for prediction. – Chichester, New York: John Wiley & Sons., 2001. – 285 p.
8. Т. Кохонен. Самоорганизующиеся карты. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 655 с.
9. В.И. Пономаренко, Д.Д. Кульминский, А.С. Караваев, М.Д. Прохоров. Коллективная динамика идентичных бистабильных автогенераторов с запаздыванием, связанных через общее поле // *Письма в ЖТФ*, 2017, т. 43, вып. 6, с. 64-71.
10. М.А. Мищенко, Д.И. Большаков, В.В. Матросов. Аппаратная реализация нейроподобного генератора с импульсной и пачечной динамикой на основе системы фазовой синхронизации // *Письма в ЖТФ*, 2017, т. 43, вып. 13, с. 10-18.
11. Д.Д. Кульминский, В.И. Пономаренко, М.Д. Прохоров. Влияние инертных свойств и запаздывания общего поля на коллективную динамику глобально связанных бистабильных осцилляторов с запаздыванием // *Изв. вузов ПНД*, 2018, т. 26, № 1, с. 4-20.
12. A.K. Alexandridis, A.D. Zaprani. Wavelet neural networks: with applications in financial engineering, chaos and classification. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons., 2014. – 247 p.
13. C-J. Lin, C-C. Peng, C-H. Chen, H-Y. Lin. A self-organizing recurrent wavelet neural network for nonlinear dynamic system identification // *Appl. Math. Inf. Sci.*, 2015, Vol. 9, No. 11, p. 125-132/
14. Ю.М. Романовский, В.П. Трифонов. Энергетика и стохастическая динамика внутринейронного транспорта // *УФН*, 2016, том 186, № 2, с. 125-145.
15. Ю.В. Гуляев, А.С. Бугаев, В.М. Розенбаум, Л.И. Трахтенберг. Управление нанотранспортом с помощью рэчет-эффекта // *УФН*, 2020, том. 190, № 4, с. 337-354.
16. Ю.А. Кравцов. Случайность, детерминированность, предсказуемость // *УФН*, 1989, том 158, № 1, с. 93-122.
17. В.С. Пронских. Проблемы измерений: современные дискуссии и модели // *УФН*, 2020, том 190, № 2, с. 211-219.

#### РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ ЭЛЕМЕНТНУЮ БАЗУ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

В.И. Нефедов, А.Н. Дементьев, К.В. Арсеньев, М.В. Аралкин, А.А. Маркин, М.С. Курушкин  
МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

Определена математическая модель радиационного заряжения диэлектрика МОП-транзистора при воздействии внешнего ионизатора. Создано программное обеспечение для приближенного описания зависимости радиационной деградации порогового напряжения МОП-транзистора от накопленной дозы, которое должно существовать в общем подходе и развиваться в рамках САПР БИС радиационно-стойкой электронной компонентной базы (ЭКБ) нанотехнологии.

Ключевые слова: радиационная стойкость, электронно-компонентная база, область – обратимого сбоя, технологический дефект – необратимого отказа, протоны высокой энергии, линейная передача энергии, закон Аррениуса, туннелирование, стриповые детекторы.

Radiation exposure to radio electronic element base of space communication equipment. V.I. Nefedov, A.N. Dementyev, K.V. Arseniev, M.V. Aralkin, A.A. Markin, M.S. Kurushkin

A mathematical model of radiation charging of a MOS transistor dielectric under the influence of an external ionizer has been determined. Software has been created for an approximate description of the dependence of the radiation degradation of the threshold voltage of a MOS transistor on the accumulated dose, which should exist in the general approach and be developed in the framework of the LSI CAD of the radiation-resistant electronic component base (ECB) of submicron and nanotechnology.

Keywords: radiation resistance, electronic component base, area - reversible failure, technological defect - irreversible failure, high-energy protons, linear energy transfer, Arrhenius law, tunneling, strip detectors.

Радиационная деградация электронной компонентной базы (ЭКБ) на борту космического аппарата (КА) определяется не только дозой поглощенной энергии радиации космического пространства, что определяет радиационную стойкость изделия, но демонстрирует нелинейное наложение воздействий различных факторов – радиации постоянно действующих космических излучений, температуры и приложенного электрического напряжения прибора при его активном функционировании. Проявляющаяся при этом синергетика совместных воздействий изменяет результат в 2-3 раза в сторону увеличения темпа деградации. Такое положение рассматривается как основной вариант испытаний ЭКБ с обоснованием в виде линейных моделей аддитивного нагружения в существующих нормативных документах по надежности с включением на равных правах с обычными деградационными факторами длительного функционирования и воздействия радиации.

Опровержением возможности применения линейных моделей можно привести известный эффект низких мощностей дозы в космическом пространстве. Экспериментально он проявляется в том, что радиационная деградация электрорадиоизделий в условиях воздействия изотропного излучения космического пространства с их чрезвычайно низкими интенсивностями осуществляется значительно более высокими темпами, чем при наземных (ускоренных) радиационных испытаниях, проводимых с высокой мощностью дозы. Синергетика совместных нагружений также проявляется в радикальном изменении (увеличении более чем на 100%) темпов радиационной деградации изделий полупроводниковых электрические (ИПЭ) при включении электрического потенциала или изменении температуры кристалла.

Длительное активное функционирование ЭКБ на борту КА сопровождается постоянным воздействием радиации космического пространства, что практически совпадает с длительностью жизненного цикла изделий (свыше 10 лет) и коренным образом изменяет обычные процессы деградации, которые приобретают регулярный характер процессов, определяемых уровнем интенсивности и накопленной дозой действующей радиации. Это обстоятельство позволяет ставить проблему компьютерного прогнозирования расходования радиационного ресурса при активном функционировании ЭКБ на борту КА, с разработкой специальных разделов системы автоматизированного проектирования БИС, которая хорошо зарекомендовала себя на стадии проектирования, и до сих пор остается основным средством проектирования БИС с большим числом активных элементов. Регулярное изменение ВАХ и параметров транзистора при воздействии радиации зависит от параметров реализуемого приложенного режима – потенциалов, температуры, что автоматически вводит эффекты синергетики и приводит к параметрическому изменению наиболее важных параметров, определяющих работоспособность транзистора, вплоть до их толерантного предела – отказа, когда параметры и характеристики выходят за коридор разрешенных значений. Такое описание радикально отличается от концепции статистического «внезапного всплывания» технологического дефекта – необратимого отказа (разрушения) элемента, лежащего в основе традиционной теории надежности. Субмикронные и наноразмерные технологические стандарты, характерные для ЭКБ в последние годы, приводят к низким значениям управляющих напряжений и токов. Это проявляется в дополнительном снижении радиационного ресурса по отношению к величине паразитного заряда, вводимого ИИ КП, а также в появлении нового вида отказа при единичном взаимодействии тяжело заряженных частиц (ТЗЧ) с веществом в объеме рабочей области – обратимого сбоя, связанного с изменением информационного состояния ячейки памяти или вентиля аппаратуры на борту.

Кристаллический характер полупроводника проявляется неожиданным образом, приводя к появлению аномально высоких линейных передач энергии (ЛПЭ) ТЗЧ, что также является проявлением фундаментальных аспектов взаимодействия ТЗЧ с кристаллами специального когерентного рассеяния ТЗЧ в кристалле с передачей его решетке нулевого импульса. Этот эффект существенно важен при интерпретации подпороговых сбоев БИС, наблюдаемых при воздействии ионов высокой энергии на ЭКБ, проводимых на наземных ускорителях, а также при воздействии протонов высокой энергии (ПВЭ) в космосе, для которых как таковые сбои вообще не должны происходить в виду их ничтожной ЛПЭ. В теоретическом плане эффект когерентного рассеяния повышает вероятность ОС в кристаллах по сравнению с моделями аморфного тела, применяемых повсеместно, что требует радикального пересмотра результатов процессов дозиметрии для кристаллов с учетом разброса ЛПЭ и присутствия длинных «хвостов» их аномально больших значений. Ранее эти хвосты давали вклад только в увеличение

страгглинга энергетических потерь. В технологии при создании радиационно-стойких ИПЭ предложено использовать моделирующее радиационно-термического воздействия на тестовые структуры КМОП БИС для диагностики микроскопических параметров, определяющих радиационную стойкость производимой продукции и саму технологию. Учитывая возможное влияние санкций на реализацию опытно-конструкторских работ, предусмотренных Федеральной космической программой, а также с учетом сроков комплектования КА иностранными ЭКБ, обеспечивающими сроки готовности КА; темпов импортозамещения; рисков при соблюдении сроков комплектования КА ЭКБ – актуальной становится задача разработки технологии радиационного тестирования БИС с использованием тестовых структур на пластине и модельных излучений на этапе производства изделий ЭКБ.

Направление исследований является новым, что отражено патентным поиском, который привел к отрицательному результату – полному отсутствию прямых аналогов по исследованию концепции радиационной надежности и экспериментально – расчетных и компьютерных моделей прогнозирования расходования радиационного ресурса ЭКБ, а с ними, как итог, – надежности и сохранения работоспособности КА в целом при длительных сроках активного существования (САС). Методика извлечения скрытых параметров технологии производства радиационно-стойкой ЭКБ методами радиационно-термической неразрушающей диагностики (РТНД) предназначена для определения энергетических характеристик и параметров скрытых дефектов, в том числе эффективных сечений в отношении захвата неравновесных дырок. Получаемая микроскопическая информация о важнейших параметрах изделий, определяемых конкретной технологией, необходима для новых нелинейных физико-математических моделей, предназначенных для компьютерного прогноза динамики радиационного сдвига важнейших электрических параметров, например, порогового напряжения МОП-транзистора, при стимулированном радиацией паразитном транспорте в диэлектрике МОП-транзистора с учетом поля внешних источников питания и поля пространственного заряда дефектов объема диэлектрика и заряда поверхностных состояний границы раздела полупроводник – диэлектрик.

Основной причиной изменения параметров ИС и их отказа при воздействии ионизирующего излучения (ИИ) является образование и накопление в чувствительном объеме ИС паразитного заряда радиационных дефектов (РД) – глубоких ловушечных центров различных типов, которые вносят свой вклад в изменение суммарного паразитного заряда и радиационную деградацию параметров приборов и ИС. Таким образом, изменение концентрации положительно заряженных ловушек при отжиге будет описываться уравнением непрерывности [1]

$$\frac{dN_t^+}{dt} = \gamma_p p N_t^0 - \gamma_n n N_t^+ + l_n N_t^0 - l_p N_t^+, \quad (1)$$

где  $N_t^0$ ,  $N_t^+$  – концентрации нейтральных и положительно заряженных ловушек;  $n$ ,  $p$  – концентрации электронов и дырок;  $\gamma_i$ ,  $\gamma_d$  – коэффициенты захвата электронов и дырок соответственно;  $l_i$ ,  $l_d$  – вероятности эмиссии электронов и дырок с ловушек соответственно. Концентрации положительно заряженных и нейтральных ловушек в сумме дают общую концентрацию ловушек в диэлектрике:  $N_t = N_t^0 + N_t^+$ . С учетом этого уравнение (1) можно переписать в виде

$$\frac{dN_t^+}{dt} = (l_n + \gamma_p p) N_t - (\gamma_n n + \gamma_p p + l_n + l_p) N_t^+. \quad (2)$$

Уравнение (2) является линейным неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка, решение которого находится в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения. В отличие от облучения, при отжиге общая концентрация ловушек  $N_t$  остается практически постоянной. С учетом этого, а также квазистационарного приближения для концентраций электронов и дырок и начального условия  $N_t^+(t=0) = N_{t0}^+$ , где  $N_{t0}^+$  – концентрация заряженных ловушек в начале отжига, решение уравнения (2) получается в виде

$$N_t^+(t) = \left( N_{t0}^+ - \frac{(\gamma_p p + l_n) N_t}{\gamma_p p + \gamma_n n + l_p + l_n} \right) e^{-(\gamma_p p + \gamma_n n + l_p + l_n) t} + \frac{(\gamma_p p + l_n) N_t}{\gamma_p p + \gamma_n n + l_p + l_n}. \quad (3)$$

Так как отжиг облученных МОП-структур проводится при небольших температурах, а ширина запрещенной зоны велика, то концентрацией электронно-дырочных пар, генерируемых вследствие нагрева, можно пренебречь по сравнению с концентрацией электронов, инжектируемых в диэлектрик из кремния посредством туннелирования. Кроме того, в облученных структурах концентрация положительно заряженных ловушек будет значительно превышать концентрацию нейтральных ловушек. Следовательно, основными процессами, определяющими релаксацию положительного заряда диэлектрика при облучении, будут захват положительно заряженными ловушками электронов, инжектируемых в диэлектрик

посредством туннелирования из кремния, и эмиссия дырок с положительно заряженных ловушек. В случае, когда концентрации положительно заряженных и нейтральных ловушек сравнимы между собой, будет заметным влияние процесса эмиссии электронов с нейтральных ловушек. Тогда (3) упрощается

$$N_i^+(t) = \left( N_{i0}^+ - \frac{l_n N_i}{\gamma_n n + l_p + l_n} \right) e^{-(\gamma_n n + l_p + l_n)t} + \frac{l_n N_i}{\gamma_n n + l_p + l_n}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что изменение концентрации положительно заряженных ловушек при отжиге можно описать функцией типа  $\delta(t) = a \exp(-t / \tau) + b$ . При этом параметры  $a$ ,  $b$  и  $\tau$ .

$$a = N_{i0}^+ - \frac{l_n N_i}{\gamma_n n + l_p + l_n}; \quad b = \frac{l_n N_i}{\gamma_n n + l_p + l_n}; \quad \tau = (\gamma_n n + l_p + l_n)^{-1}. \quad (5)$$

При определении энергетических характеристик далее используем закон изменения концентрации заряженных линейных частиц (ЛЦ) при отжиге. Количество ЛЦ каждого  $i$ -типа при отжиге при постоянной температуре уменьшается во времени по экспоненциальному закону

$$N_i(t) = N_{i0} \exp(-t / \tau_i), \quad (6)$$

где  $N_i(t)$ ;  $N_{i0}$  – количество РД  $i$ -типа в момент времени  $t$  и  $t = 0$ , соответственно;  $\tau_i$  – постоянная отжига, численно равная времени отжига, в течении которого количество РД  $i$ -типа уменьшается в «е» раз. Постоянная отжига  $\tau_i$  зависит от температуры отжига по известному закону Аррениуса

$$\tau_{i1} = \tau_{i2} \exp \left[ \frac{E_{Qi}}{k} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right], \quad (7)$$

где  $\tau_{i1}$ ,  $\tau_{i2}$  – значение постоянной отжига РД  $i$ -типа при температурах отжига  $T_1$  и  $T_2$ , соответственно;  $T_1$  и  $T_2$  – температура отжига;  $E_{Qi}$  – энергия активации процесса отжига заряда ЛЦ  $i$ -типа, эВ;  $k = 8,617 \cdot 10^{-5}$  эВ/К – постоянная Больцмана. Энергия активации  $E_{Qi}$  процесса отжига:

$$E_{Qi} = \frac{k \ln(\tau_{i1} / \tau_{i2})}{1/T_1 - 1/T_2}. \quad (8)$$

Энергия  $E_{Qi}$  является основным параметром, по которому характеризуют тип ЛЦ, его энергетический уровень в запрещенной зоне материала. Таким образом для проведения тестирования образуются две выборки тестовых структур МОПТ. Каждую выборку облучают до дозы, согласованной с производителем КМОП БИС, затем каждую подвергают изотермическому отжигу, причем с разными температурами  $T_1$  и  $T_2$  в обессточном состоянии в течение времени, определяемом дополнительно. Количество заряженных ЛЦ каждого  $i$ -типа при отжиге при постоянной температуре уменьшается во времени по закону

$$N_i(t) = N_{i0} \exp(-t / \tau_i), \quad (9)$$

где  $N_i(t)$ ;  $N_{i0}$  – количество РД  $i$ -типа в момент времени  $t$  и  $t = 0$ , соответственно;  $\tau_i$  – постоянная времени отжига, в течении которого количество РД  $i$ -типа уменьшается в «е» раз.

Для тестирования КМОП БИС и определения плотности дефектов в результате произведенного радиационно-термического воздействия в рамках была разработана специальная оснастка и комплекс программных средств анализа экспериментальных результатов. Исследование влияния радиационного воздействия проводился на развитом ускорительном комплексе НИИЯФ МГУ. Реализована следующая схема тестирования с применением микроконтроллера для тестирования съемной панели тестируемой памяти типа SRAM. Контроль температуры исследуемого элемента памяти осуществляется с помощью микросхемы DS18S20. Погрешность измерения температуры составляет  $\pm 0.5$  градуса, а диапазон исследуемых температур – от минус 40 до +120 градусов. Измерение и запись температуры выполняется встроенным микроконтроллером, а полученные значения передаются по протоколу RS-232 через встроенный на плате порт ввода-вывода. Поддержание необходимой температуры исследуемого элемента памяти осуществляется с помощью модуля Пельтье размером 40×40мм, соединенного с исследуемым элементом памяти с помощью термопровода из меди или алюминия (рис.1).

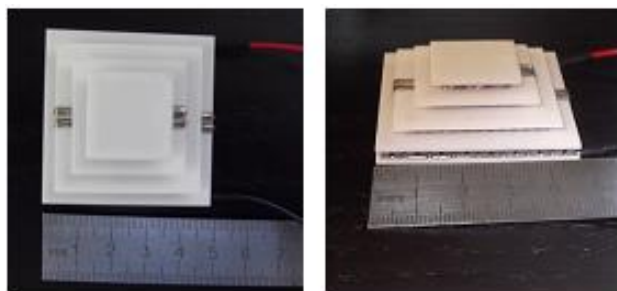


Рисунок 1 – Элемент Пельтье для контроля температуры элемента памяти

Разработанная специальная оснастка для тестирования КМОП БИС и определения плотности дефектов в результате произведенного радиационно-термического воздействия представлена на рис.2. Оснастка имеет многоуровневую структуру с основанием из платы и микроконтроллером, датчиком температуры и портами питания и ввода-вывода.

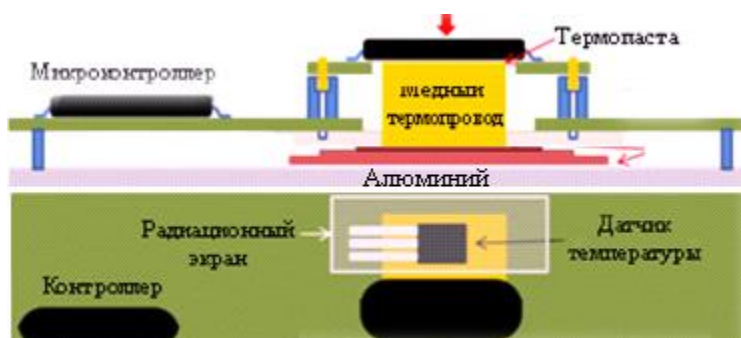


Рисунок 2 – Оснастка для тестирования КМОП БИС и определения плотности дефектов

Реализация оснастки с учетом конструктивных и крепежных решений, реализованных на ускорительном комплексе НИИЯФ МГУ, позволяет производить сканирование пучка вдоль исследуемого элемента памяти и выявлять наиболее чувствительные к радиационному воздействию регионы элемента памяти (рис.3). Как было сказано выше, на основной плате станда установлен микроконтроллер. Микроконтроллер осуществляет запись/считывание информации с исследуемого элемента памяти, контроль текущей температуры элемента памяти, получая информацию с микросхемы DS18S20, а также хранит эталонный информационный пакет.

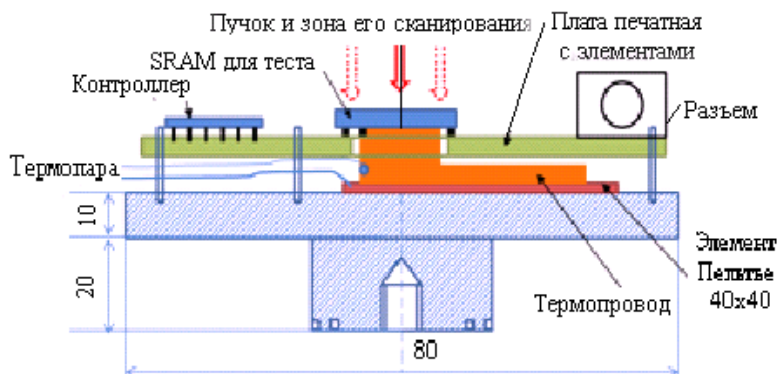


Рисунок 3 – Реализация сканирования пучком вдоль исследуемого элемента памяти

Информационный пакет с определенной периодичностью записывается на исследуемый элемент памяти, затем происходит его считывание и сравнение. В результате радиационно-термического воздействия происходит случайное изменение значений элементов исследуемой памяти, в связи с чем считываемый пакет информации отличается и содержит ряд ошибок, вызванных внешним воздействием. Микроконтроллер производит запись адресов обнаруженных ошибок и по встроенному на плате порту ввода/вывода с протоколом RS-232 передает их на внешнее устройство для дальнейшего анализа. Передача адресов ошибок, текущей температуры исследуемого элемента памяти осуществляется на внешнее устройство после завершения каждой операции сравнения данных.

Комплекс программных средств на внешнем устройстве станда радиационно-термического тестирования плотности дефектов в подзатворном диэлектрике КМОП БИС работает под управлением ОС Windows 2000. Комплекс реализует функции: контроль текущей температуры исследуемого элемента памяти; изменение температуры исследуемого элемента памяти с помощью управления внешним

источником питания элемента Пельтье; сбор и хранение информации об обнаруженных ошибках и сбоях в элементе памяти в результате проведенного радиационно-термического воздействия.



Рисунок 4 – Стенд на базе многозондовой установки для проведения радиационно-термического тестирования тестовых структур КМОП БИС

Установка (рис. 4) оборудована длиннофокусным микроскопом с увеличением до 350, цветной телекамерой и монитором, что позволяет визуально анализировать топологические особенности БИС. Имеется возможность долгосрочных испытаний, позволяющая отслеживать поведение некоторых параметров БИС в течении нескольких месяцев работы при различной нагрузке, температуре и влажности.

Измерительная аппаратура стенда включает следующие приборы:

- источник высокого напряжения (до 500 В); высокоточный источник низкого напряжения (до 10 В);
- высокоточный мультиметр (основная используемая функция – пикоамперметр);
- многочастотный измеритель емкости; релейный коммутатор.

В ходе исследований разработаны средства контроля, которыми являются модель радиационного заряжения диэлектрика МОП-транзистора при воздействии внешнего ионизатора и программное обеспечение для приближенного описания зависимости радиационной деградации порогового напряжения МОП-транзистора от накопленной дозы, которое должно существовать в общем подходе и развиваться в рамках САПР БИС радиационно-стойкой ЭКБ субмикронной и нанотехнологии. На этой основе сформированы методики экспериментального извлечения информации о скрытых параметрах радиационно-стойкой технологии КМОП БИС, включая методику извлечения одного из важнейших и трудно доступных для наблюдения скрытых параметров – плотность дефектных центров оксида кремния КМОП БИС.

#### Выводы

В ходе исследования методов оптимизации технологии индивидуального отбора и квалификации радиационно-стойкой ЭКБ на этапе ее производства были получены следующие результаты:

1. Описаны радиационно-физические методы неразрушающего контроля ИПЭ, содержащие основы инструментальных и аппаратных средств для повышения радиационной стойкости ЭКБ на производстве.
2. Проведен анализ радиационной деградации параметров МОП-транзисторов, даны экспериментальные обоснования моделей деградации и выбора прогнозирующих параметров в условиях совместного радиационного и электрического нагружения ИЭТ на примере представителей КМОП БИС.
3. Рассмотрены методы обеспечения и повышения радиационной стойкости ЭКБ в технологии, и сделан вывод о безусловном преимуществе развития технологии «кремний-на-диэлектрике», обеспечившей радиационную стойкость приоритетного уровня как к дозовым эффектам воздействия ЗЧ космического пространства, так и одиночным сбоям под действием протонов высокой энергии и тяжелых заряженных частиц.
4. Рассмотрен радиационный метод контроля качества и отбраковки КМОП БИС с использованием модельных излучений, в частности, технологического рентгеновского излучения. Представлены экспериментальные доказательства состоятельности метода рентгеновского облучения при регистрации ВАХ и сдвига порогового напряжения МОП, причем прошедшие и промышленную проверку.

#### Литература

1. Дементьев, А.Н. Сингулярное интегральное уравнение для плотности тока конформного микрополоскового диполя на диэлектрическом цилиндре / А.Н. Дементьев, Д.С. Ключев, Ю.В. Соколова // Журнал: «Письма по технической физике». - 2017. - Т. 43. - №5. - С. 487 - 489.
2. Двумерное моделирование короткоканальных МОП-транзисторов с учетом поверхностных состояний / М.Н. Левин, А.Г. Кадменский, С.Г. Кадменский, В.И. Литманович, А.В. Татаринцев, В.Е. Чернышев // Автометрия. – 1992. – № 2. – С. 7-12.



3. Нестационарная спектроскопия поверхностных состояний в режиме постоянного подпорогового тока МДП-транзистора / М.Н. Левин, Е.Н. Бормонтов, А.В. Татаринцев, В.Р. Гитлин // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, вып. 8. – С. 60-64.

4. Левин М.Н., Кадменский С.Г., Кадменский А.Г., Чеченин Н.Г. // ВАНТ. Серия: физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. Научн.-техн. сб. М.: 2008. В.1.С. 32-36

5. Таперо К.И., Ладыгин Е.А. Кинетика отжига радиационных дефектов в кремниевых МОП– и КМОП–структурах // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 1999. Вып.1-2. С.39-42.

6. Беляев В.С., Кадменский А.Г., Кекелидзе В.Д., Чеченин Н.Г., Панасюк М.И., Райкунов Г.Г. Проблемы радиационного повреждения элементной базы аппаратуры космических аппаратов с длительными сроками полетов // Тез. докл. 51 Междун. конф. по структуре атомного ядра «Ядро-2011», г. Саров Нижегородской обл. -2011 г.

### ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ СЕМЕЙСТВА «ОБОБЩЕННЫЙ» МАЯТНИК ФУКО НА ОСНОВЕ 3-D СФЕРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСНОГО ГИРОСКОПА

Переляев С.Е.  
Институт Проблем Механики им. А.Ю. Ишлинского РАН  
ipm@ipmnet.ru

Статья посвящена изложению основ фундаментальной теории «обобщенного» маятника Фуко, реализованного на основе принципиально нового 3-D сферического резонансного гироскопа (СРГ/SRG), базовым чувствительным элементом которого является высокодобротный сферический кварцевый резонатор. Описан физический эффект, лежащий в основе функционирования принципиально нового 3-D гироскопа, входящего в рассматриваемый класс гироскопов и сформулированы общие принципы построения законов управления его фазовым состоянием. Изучены вопросы устойчивости функционирования основного рабочего режима нового инерциального датчика ориентации. Рассмотрены прикладные аспекты реализации фундаментальной теории «обобщенного» маятника Фуко в высокоточных трехмерных инерциальных датчиках типа СРГ/SRG. Представлены основные инженерно-конструкторские решения на базе современных подходов практической конструкторской реализации сферических волновых твердотельных гироскопов нового поколения на основе 3-D сферических резонаторов из аморфных материалов для низко-динамичных и высоко-динамичных объектов авиационно-космического назначения.

Ключевые слова — классический маятник Фуко, «обобщенный» маятник Фуко, полусферический кварцевый резонатор (2-D волновой твердотельный гироскоп), сферический кварцевый резонатор (3-D сферический твердотельный гироскоп), теория инерциальных датчиков.

Fundamental questions of theory and applied aspects of implementation a new gyro sensor on the basis 3-D spherical resonant gyroscope. Perelyaev S.E., Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences (RAS).

Fundamental questions of theory and applied aspects of implementation a new gyro sensor on the basis 3-D spherical resonant gyroscope. Perelyaev S.E., Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences (RAS).

The article is devoted to the basics of the fundamental theory of the "generalized" Foucault pendulum, implemented on the basis of a fundamentally new 3-D spherical resonant gyroscope (SRG), the basic sensing element of which is a high-quality spherical quartz resonator. The physical effect underlying the functioning of a fundamentally new 3-D gyroscope, which is part of the class of gyroscopes under consideration, is described and General principles for constructing laws for controlling its phase state are formulated. The issues of stability of the main operating mode of the new inertial orientation sensor are studied. Applied aspects of implementation of the fundamental theory of the "generalized" Foucault pendulum in high-precision three-dimensional inertial sensors of the SRG type are considered. The main engineering and design solutions based on modern approaches to practical implementation of spherical wave solid-state gyroscopes of a new generation based on 3-D spherical resonators made of amorphous materials for low-dynamic and high-dynamic objects of aerospace purpose are presented.

Keywords: classical Foucault pendulum, "generalized" Foucault pendulum, hemispherical quartz resonator (2-D wave solid-state gyroscope), spherical quartz resonator (3-D spherical solid-state gyroscope), theory of inertial sensors.

Введение

Опыты, проведенные в 1851 году французским механиком и астрономом Леоном Фуко [1,2], а также опыты его многочисленных последователей дали только качественные результаты, подтверждающие факт вращения Земли. Количественное исследование всех источников погрешностей классического маятника Фуко и новое аналитическое доказательство вращения Земли дал в своей докторской диссертации в 1879 году нидерландский физик-экспериментатор Хайкес Каммерлинг-Оннес [2]. Известно, что изотропный осциллятор с двумя степенями свободы, выполняющий в современных гироскопах роль маятника Фуко, реализован в виде одной из форм собственных колебаний упругой среды, обладающей осевой симметрией. При этом, в отличие от классического маятника Фуко, вращение упругой среды вокруг оси симметрии датчика вовлекает реализованную форму собственных колебаний во вращение относительно абсолютного (инерциального) пространства. В соответствующем выбранной форме колебаний собственном подпространстве принципиальные вопросы теории нового датчика инерциальной информации могут рассматриваться в рамках одних и тех же уравнений, аналогичных уравнениям классического маятника Фуко. По этой причине весь этот класс гироскопов может быть назван новыми инерциальными датчиками семейства «обобщенный» маятник Фуко [2]. В современной практике мировой гироскопии появился целый класс новых гироскопических приборов, в которых фактически реализована идея «обобщенного» маятника Фуко: струнный гироскоп [2], кольцевой гироскоп [3,4], полусферический кварцевый резонатор (волновой твердотельный гироскоп) [4], ВТГ с металлическим цилиндрическим резонатором [2], квапазон [2], сферический кварцевый резонатор [5].

Все указанные выше новые инерциальные датчики ориентации весьма успешно конкурируют с известными классическими гироскопами, однако их теория существенно отличается от фундаментальной теории симметричных и несимметричных механических гироскопов. Например, кинетический момент, который в механических гироскопах стремятся сделать как можно большим, в перечисленных выше новых датчиках инерциальной ориентации должен быть равен нулю [2,4]. «Обобщенный» маятник Фуко является математическим маятником, гомеоморфным реальному физическому маятнику, плоскость колебаний которого медленно поворачивается относительно земной поверхности в сторону, противоположную направлению вращения Земли. Многие исследователи предполагают, что Земля не вовлекает плоскость колебаний маятника во вращение вокруг местной вертикали. Между тем благодаря нелинейным эффектам маятник Фуко обладает собственной скоростью прецессии вокруг местной вертикали, так что, не контролируя эту прецессию, невозможно выполнить достоверные и точные измерения угловой скорости вращения Земли.

### 1. Эффект инертности упругих волн

В предлагаемом научном исследовании рассматриваются принципиальные вопросы фундаментальной теории перспективных гироскопических инерциальных датчиков ориентации семейства «обобщенный» маятник Фуко. Предлагается новая локальная теория управления «обобщенным» маятником Фуко [2]. Подробно рассматриваются общие принципы управления механическими стоячими волнами, которые возбуждаются в высокочастотных осесимметричных кварцевых резонаторах и других материалах. Предлагаются практические аспекты реализации необходимых законов управления электрическими сигналами в новом поколении высокочастотных полусферических кварцевых резонаторов авиационно-космического назначения, конструкция которых исключает применение традиционного кольцевого электрода возбуждения для поддержания необходимых рабочих форм резонансных колебаний маятника [2]. Изотропный осциллятор с двумя степенями свободы, играющий в новых приборах роль «обобщенного» маятника Фуко, реализован в виде одной из форм собственных колебаний упругой среды, обладающей осевой симметрией. При этом, в отличие от классического маятника Фуко [2], вращение упругой среды вокруг оси симметрии датчика вовлекает реализованную форму собственных колебаний во вращение относительно инерциального пространства (исключение составляет струнный гироскоп), однако отношение угловой скорости формы колебаний относительно упругого тела к угловой скорости тела относительно пространства является строго постоянной величиной (константой), зависящей от номера формы рабочих колебаний и почти не зависящей от свойств материала. Эта постоянная получила название масштабного коэффициента инерциального датчика, или коэффициента Брайана, по имени первого исследователя колебаний тонкого упругого кольца [1,2].

Явление прецессии механических стоячих волн в тонком упругом кольце, вращающемся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , впервые было обнаружено Брайаном [3,4]. Им было показано, что система координат, в которой может наблюдаться механическая стоячая волна упругих колебаний, вращается с постоянной угловой скоростью  $\Omega$  относительно абсолютного (инерциального) пространства:

$$\Omega = \frac{k^2 - 1}{k^2 + 1} \omega \quad (1)$$

где  $k$  - номер формы колебаний. В соответствующем выбранной форме колебаний собственном подпространстве все принципиальные вопросы теории подобного высокоточного датчика инерциальной информации могут рассматриваться в рамках одних и тех же уравнений, аналогичных уравнениям классического маятника Фуко. По этой причине весь этот класс приборов может быть назван

«обобщенным» маятником Фуко. Разумеется, не все вопросы теории могут быть решены в указанных выше рамках [2].

Главным образом, это вопросы, связанные с учетом нелинейных свойств колебательной системы. Однако вопрос о том, как управлять таким маятником и как идентифицировать его дефекты с тем, чтобы сделать извлекаемую информацию наиболее достоверной, решаются в рамках уравнений, общих для всего класса новых инерциальных датчиков. Эффект Брайана, как эффект прецессии стоячей волны при вращении резонатора с постоянной угловой скоростью, является эффектом расщепления двукратных частот, поэтому этот эффект имеет малое отношение к тому, что экспериментально было открыто Скоттом [2,4] в 1982 году и использовано в том же году в известном патенте Линча. Хотя авторы патента ошибочно и сослались на формулу Брайана [4], на самом деле, в подтверждение своей идеи они привели результат эксперимента, в котором в изначально неподвижной упругой оболочке возбуждалась стоячая волна упругих колебаний, соответствующая основной (второй) форме с четырьмя узлами и четырьмя пучностями на окружности (кроме полусферы). Затем оболочка поворачивалась вокруг своей оси симметрии на угол 90 град и останавливалась. При этом авторами эксперимента было замечено, что стоячая волна также поворачивалась, не изменяя своей основной формы (как твердое тело), и останавливалась. Поворот первоначально неподвижного вибрирующего полусферического резонатора на угол 90 градусов вызывал поворот стоячей волны относительно резонатора полусферы на 30 град. без каких-либо изменений самой формы стоячей волны. При этом, угол поворота волны относительно основания прибора составлял 70 град. Тем самым на самом деле была установлена весьма важная для целей практического применения в гироскопии экспериментальная формула:

$$\varphi_B = -1/3 (\varphi) \quad (2)$$

Полученная в эксперименте формула связывает уже не постоянные скорости поворота резонатора, а сами углы поворота при явно непостоянных угловых скоростях. Изложенное выше можно суммировать в виде **теоремы** [2]: Какой бы ни была зависимость угловой скорости тонкого упругого кольца от времени (в классе дифференцируемых на бесконечном полуинтервале функций), существует и единственная вращающаяся относительно кольца система координат, в которой при определенных начальных условиях колебания кольца представляют собой механические стоячие волны. Скорость этой системы координат выражается формулой

$$\Omega(t) = \frac{k^2-1}{k^2+1} \omega(t) \quad (3)$$

Частным случаем из формулы (3) вытекает известный результат Брайана [2,4], установленный им только для постоянной угловой скорости ( $\dot{\omega} = 0$ ) резонатора в виде тонкого упругого кольца:

$$\omega_B = -\frac{2}{1+k^2} \omega \quad (4)$$

Заметим, что выражение, верное для стационарного случая, как правило, не бывает верным для нестационарного. Формула (3) описывает новый физический эффект, не замеченный Брайаном, и впервые установленный экспериментально, авторами известного патента «Vibratory rotation sensor» [2,4]. Если обе части соотношения (3) проинтегрировать, то получим аналогичное соотношение (2) для поворота тела и стоячей волны, что и объясняет суть эксперимента Линча-Скотта [3,4]. Формулу (3) ввиду ее точного характера можно сколько угодно раз аналитически дифференцировать. В частности, можно отметить, что ускорение механической стоячей волны пропорционально ускорению упругого вибрирующего кольца:

$$\left(\frac{d\Omega}{dt}\right) = \frac{k^2-1}{k^2+1} \left(\frac{d\omega}{dt}\right) \quad (5)$$

Поскольку ускорение упругого кольца пропорционально приложенному к нему моменту внешних сил  $I\ddot{\omega} = M$ , то можно показать, что этот момент вызывает не только ускорение кольца, но и ускорение прецессирующей стоячей волны. Это позволяет определить обсуждаемый здесь физический эффект в неравномерно вращающемся кольце как новый физический эффект инертности упругих волн в нем.

## 2. Постановка проблемы

В последнее время появился класс новых гироскопических устройств, в которых реализована идея маятника Фуко. Этот класс включает в себя: струнный гироскоп, кольцевой гироскоп, «квапазон», полусферический кварцевый резонатор (HRG) или волновой твердый гироскоп. Во всех случаях, играя роль маятника Фуко, осциллятор с двумя степенями свободы реализуется как одна из рабочих форм собственных колебаний упругой среды с осевой симметрией. В отличие от классического маятника Фуко, вращение упругой среды вокруг оси симметрии предполагает реализованную форму собственных колебаний при вращении относительно инерционного пространства (исключение составляет струнный гироскоп), однако отношение формы вращения относительно упругого тела к угловой скорости тела относительно пространства является постоянной величиной, зависящей от числа форм и практически не зависящей от свойств материала. Этот коэффициент называется масштабным коэффициентом, или коэффициентом Брайана, по имени первого исследователя колебаний упругого тела, учитывающего его непрерывное вращение в абсолютном пространстве с постоянной угловой скоростью. В собственном

подпространстве, соответствующем выбранной форме колебаний, все фундаментальные вопросы теории такого инерциального информационного датчика могут быть рассмотрены в рамках тех же уравнений, что и уравнения классического маятника Фуко. По этой причине весь этот класс новых инструментов называется «обобщенным» маятником Фуко.

В современных исследованиях [1,2] решается задача о том, как эффективно управлять таким маятником, чтобы сделать его высокоточным интегрирующим гироскопом. Следует отметить, что в случае упругого кольца и в случае упругой полусферической оболочки физический эффект инерции стоячих волн имеет одномерный характер: угловая скорость  $\omega(t)$  является скаляром, характеризующим вращение упругого твердого тела вокруг неподвижной в пространстве оси чувствительности прибора. Предлагается рассмотреть обобщение этого эффекта на произвольный пространственный случай. Например, в неподвижном трехмерном упругом твердом теле (кварцевом сферическом полом упругом резонаторе) возбуждается стоячая волна колебаний с каким-то известным рабочим тоном. После этого приведем трехмерное твердое тело во вращение с произвольной угловой скоростью  $\omega(t)$  и определим угловую скорость пространственной стоячей волны, возбуждаемой на поверхности сферического резонатора (например, эллипса вращения).

Такой эллипс вращения будет вращаться относительно тела, отставая от его движения строго по определенному закону. В данном исследовании получены дифференциальные уравнения, определяющие эволюцию  $m$ -волновой моды колебаний свободного сферического твердого тела, обусловленную наличием произвольного вращения. Анализ полученных уравнений подтверждает, что вектор угловой скорости вращения пространственной стоячей волны относительно твердого тела пропорционален вектору угловой скорости тела относительно самого инерционного пространства:  $\Omega(t) = -k\omega(t)$ , или же вектор угловой скорости волны относительно инерционного пространства:  $\Omega(t) = (1-k)\omega(t)$ . Для полной тонкой сферической оболочки коэффициент Брайана  $k=0,25$ , что меньше его известных значений для упругого кольца, цилиндра и полусферы. Следует подчеркнуть, что для полной сферической оболочки масштабный коэффициент Брайана имеет трехмерное значение. Он определяет пропорциональность векторов угловых скоростей друг другу, в отличие от случая кольца (цилиндра, полусферы), когда учитываются угловые скорости вращения плоскости. В трехмерном пространстве трехмерная механическая стоячая волна в виде, например, эллипса вращения перемещается относительно тела с вектором угловой скорости, пропорциональным вектору вращения самого упругого твердого тела относительно абсолютного (инерционного) пространства.

### 3. Решение проблемы пространственной прецессии стоячих волн на сфере

#### 3.1 Уравнение колебаний упругого сферически симметричного тела

Перейдем к рассмотрению колебаний тонкой сферической оболочки. Возьмем упругое сферически симметричное твёрдое тело  $X = X_1X_2X_3$  со свободной границей, на которое действуют массовые силы плотности  $f$ . Главный вектор, сил, действующих на упругое тело,  $\int_V f dm$  без ограничения общности будем полагать равным нулю. Под действием главного момента  $\int_V r \times f dm$  само тело меняет свою ориентацию в пространстве ( $r$  - радиус-вектор произвольной точки тела,  $dm$  - элемент массы,  $V$  - область, занятая телом). Для описания упругих деформаций тонкой сферической оболочки введём систему координат  $X_1X_2X_3$ , связанную с рассматриваемым упругим телом так, чтобы выполнялись условия

$$\int_V X dm = 0, \quad \int_V r \times X dm = 0 \quad (3.1)$$

где  $X = X_1X_2X_3$  - упругое смещение точки, в недеформированном состоянии занимавшей положение  $r$ . Условия (3.1) характеризуют координатный трехгранник, относительно которого тело в среднем (по всем частицам) не перемещается и не поворачивается. Ставится следующая задача: зная абсолютную угловую скорость трехгранника  $X_1X_2X_3$  в проекциях на его же оси  $\omega(t)$ , определить, как ведут себя волны упругих деформаций. Запишем принцип Даламбера-Лагранжа для рассматриваемого тела следуя монографии [3]

$$\int_V \left[ \ddot{x} + \omega \times (\omega(r+x)) + \dot{\omega} \times (r+x) + 2\omega \times \dot{x} + \frac{1}{\rho} \nabla \Pi - f \right] \delta x \times dm = 0 \quad (3.2)$$

Здесь  $\rho$  - плотность, зависящая только от модуля радиус-вектора  $|r|$ ,  $\nabla \Pi$  - градиент квадратичного функционала линейной теории упругости.

Координаты, определяющие угловое положение тела как целого, не варьируются, предполагается, что угловая скорость  $\omega(t)$  - известная функция времени. Для выбора обобщённых координат рассмотрим частный случай  $\omega = 0$ . В публикации [3] показано, что спектр собственных колебаний свободного твёрдого тела при выполнении, введенных выше условий (3.1) дискретен. Это означает, что возрастающая последовательность частот собственных колебаний  $V_1 \leq V_2 \leq \dots$  неограниченна, а собственные элементы  $h_1(r), h_2(r), \dots$  соответствующие этим последовательностям частот, образуют ортонормированную систему функций, полную в конфигурационном пространстве рассматриваемой задачи:

$$\int_V h_n(r) h_1(r) dm = \delta_n^l \quad (3.3)$$

Это позволяет ввести независимые лагранжеры координаты, описывающие все степени свободы при деформировании тела, в общем случае  $\omega(t) \neq 0$  следующим образом:

$$x = \sum_{n=1}^{\infty} q_n(t) h_n(r) \quad (3.4)$$

Задача о собственных колебаниях сферически симметричного свободного тела допускает группу  $SO(3)$ , поэтому спектр собственных частот вырожден и состоит из последовательности, по крайней мере, трехкратных частот:  $\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 \leq \nu_4 = \nu_5 = \nu_6 \leq \dots$ . Конфигурационное пространство при этом представляет собой прямое произведение трёхмерных собственных подпространств:

$$\{h_1, h_2, h_3\} \times \{h_4, h_5, h_6\} \times \dots$$

Фиксируем номер  $m$  произвольного собственного подпространства и введём обозначения для соответствующих обобщённых координат:  $q_{3m-1} = u, q_{3m-2} = v, q_{3m-1} = w$  ( $m = 1, 2, \dots$ ). Подставляя (3.4), а также выражение  $\delta x = \sum_{n=1}^{\infty} \delta q_n h_n(r)$  в исходные тождества (3.1) и приравнявая нулю коэффициенты при независимых вариациях  $\delta q_n$ , получаем бесконечную систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка относительно  $q_n$ :

$$\begin{aligned} \ddot{u} + au + bv + cw - v(\dot{\omega}, k_3) + w(\dot{\omega}, k_2) - 2\dot{v}(\omega, k_3) + 2\dot{w}(\omega, k_2) + F_1 + L_1 &= 0 \\ \ddot{v} + bu + bv + ew + u(\dot{\omega}, k_3) - w(\dot{\omega}, k_1) + 2\dot{u}(\omega, k_3) - 2\dot{w}(\omega, k_1) + F_2 + L_2 &= 0 \\ \ddot{w} + cu + ev + fw - u(\dot{\omega}, k_2) + v(\dot{\omega}, k_1) - 2\dot{u}(\omega, k_2) + 2\dot{v}(\omega, k_1) + F_3 + L_3 &= 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

В системе дифференциальных уравнений (3.5) скалярные коэффициенты имеют вид

$$\begin{aligned} a &= \int_V (h_{3m-2}, \omega)^2 dm - \omega^2, \quad b = \int_V (h_{3m-2}, \omega)(h_{3m-1}, \omega) dm, \quad c = \int_V (h_{3m-2}, \omega)(h_{3m}, \omega) dm, \\ d &= \int_V (h_{3m-1}, \omega)^2 dm - \omega^2, \quad e = \int_V (h_{3m-1}, \omega)(h_{3m}, \omega) dm, \quad f = \int_V (h_{3m}, \omega)^2 dm - \omega^2, \\ F_1 &= \int_V (\nabla \Pi, h_{3m-2}) dV, \quad F_2 = \int_V (\nabla \Pi, h_{3m-1}) dV, \quad F_3 = \int_V (\nabla \Pi, h_{3m}) dV. \end{aligned}$$

$L_1, L_2, L_3$  представляют собой линейные функции обобщённых координат, соответствующих другим собственным подпространствам. Присутствие этих членов характеризует тот факт, что системы типа (3.5) для различных подпространств не являются независимыми друг от друга. При получении уравнений (3.5) было предположено для простоты, что массовые силы  $f$  ортогональны всем собственным функциям:

$$\int_V f h_n(r) dm = 0.$$

Это означает, что в силах  $f$  присутствует лишь постоянная составляющая ( $\int_V r \times f dm \neq 0$ ), обеспечивающая вращение тела со скоростью  $\omega(t)$ . В (3.5) векторные коэффициенты  $k_1, k_2, k_3$  имеют вид

$$k_1 = \int_V h_{3m-1} \times h_{3m} dm, \quad k_2 = \int_V h_{3m} \times h_{3m-2} dm, \quad k_3 = \int_V h_{3m-2} \times h_{3m-1} dm.$$

В силу сферической симметрии выбор собственных векторов ( $h_{3m-2}, h_{3m-1}, h_{3m}$ ) можно осуществить так, чтобы выполнялись следующие тождества:

$$k_1 = k(1, 0, 0), k_2 = k(0, 1, 0), k_3 = k(0, 0, 1)$$

$$\text{где: } k = \pm |k_1| = \pm |k_2| = \pm |k_3| = \pm \left| \int_V h_{3m-1} \times h_{3m} dm \right|. \quad (3.6)$$

Используя неравенство Коши-Буняковского для (3.6), получим  $0 \leq k \leq 1$ . Если теперь ввести обозначения:

$$z = \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}, \quad \omega = \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix}, \quad L = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} 0 & -r & q \\ r & 0 & -p \\ -q & p & 0 \end{pmatrix},$$

то уравнения (3.5) можно переписать в следующей компактной векторной форме:

$$\ddot{z} + Az + k\dot{G}z + 2kG\dot{z} + L = 0 \quad (3.7)$$

где  $A$  - симметрическая матрица позиционных сил, состоящая из коэффициентов упругих сил  $F_1, F_2, F_3$  и соответственно скалярных коэффициентов  $a, b, c, d, e, f$ .

### 3.2 Пространственная прецессия стоячей волны на поверхности упругой сферы

Векторное уравнение (3.7) определяет пространственную эволюцию  $m$ -ой формы колебаний свободного сферического упругого твердого тела, вызванную наличием вращения. Эта эволюция определяется двумя обстоятельствами. Во-первых, сама форма колебаний непосредственно реагирует на вращение тела, что определяется наличием в (3.7) членов  $G$  и  $\dot{G}$ . Во-вторых, рассматриваемая форма колебаний подвергается воздействию со стороны других форм. Сразу отметим, что это воздействие является незначительным, поскольку, к примеру, при решении уравнений (3.7) методом осреднения все члены, определяемые линейными функциями обобщённых координат  $L$ , в первом приближении исчезают.

Кроме того, имеет место следующий факт. Существует такая система координат  $z \rightarrow y$ :  $z = My$ , где  $M$  - зависящая от времени ортогональная матрица преобразования координат, в которой уравнение (3.7) при выполнении тождества  $L = 0$  имеет самосопряжённую форму. В этой системе координат

уравнение (3.7) допускает решение типа стоячей волны. Покажем это. Подставляя уравнение  $z = My$ , в полученное выше (3.7), найдём

$$\dot{y} + 2M^T(\dot{M} + kGM)y + M^T(\ddot{M} + 2kG\dot{M} + k\dot{G}M + AM)y = 0 \quad (3.8)$$

Потребуем выполнения следующего дифференциального уравнения первого порядка, которое получено из уравнения (3.8):

$$\dot{M} = -kGM \quad (3.9)$$

В результате получим дифференциальное уравнение второго порядка вида

$$\ddot{M} = -k\dot{G}M + k^2G^2M$$

и, подставляя его в (3.8), найдём следующее уравнение второго порядка

$$\ddot{y} + M^T(A - k^2G^2)My = 0.$$

Таким образом, если в неподвижном упругом сферическом теле возбудить механическую стоячую волну колебаний с каким-нибудь чистым тоном и после этого привести тело во вращение с произвольно меняющейся во времени угловой скоростью, то стоячая волна будет поворачиваться относительно самого тела по закону (3.9). Следует заметить, что дифференциальное первого порядка уравнение (3.9) есть известное кинематическое уравнение Пуассона. Сравним уравнение (3.9) с известным уравнением Пуассона для самого твёрдого тела  $\dot{N} = -GN$ , в котором ортогональная матрица  $N$  определяет ориентацию твёрдого тела в абсолютном (инерциальном) пространстве. Откуда видно, что угловая скорость стоячей волны относительно тела пропорциональна угловой скорости тела относительно пространства:

$$\Omega_0(t) = -k\omega(t), \quad (3.10)$$

или для скорости механической стоячей волны относительно абсолютного пространства имеем

$$\Omega(t) = (1 - k)\omega(t) \quad (3.11)$$

Соотношение (3.10) и представляет собой обобщение введенного скалярного соотношения (3) на пространственный случай. Подчеркнём, что для полной сферической оболочки коэффициент Брайана носит пространственный характер. Он определяет пропорциональность друг другу векторов угловых скоростей (3.10), в отличие от случая кольца, когда рассматривались угловые скорости плоского вращения. Стоячая волна в виде, к примеру, эллипсоида, прецессирует относительно тела с вектором угловой скорости, пропорциональным вектору угловой скорости самого тела относительно абсолютного пространства.

#### Заключение

Для полной сферической упругой оболочки получен масштабный коэффициент Брайана, равный примерно одной четверти. Данное значение масштабного коэффициента оказывается несколько меньше, чем он был ранее получен для кольца (или цилиндра), равного 0.4, или для полусферы ( $k = 0.312$ ).

Особенно подчеркнем, что для полной сферической оболочки коэффициент Брайана носит пространственный характер. Он определяет пропорциональность векторов угловых скоростей друг другу, в отличие от случая кольца (цилиндра, полусферы), когда учитываются угловые скорости вращения плоскости. В трехмерном пространстве трехмерная механическая стоячая волна, реализованная в виде, например, эллипсоида вращения перемещается относительно упругого твёрдого тела с вектором угловой скорости, пропорциональным с коэффициентом Брайана ( $k = 0.25$ ) вектору вращения самого упругого тела относительно абсолютного пространства. При этом пространственная механическая стоячая волна, реализованная на поверхности упругой двумерной сферы в виде, например, эллипсоида вращения, перемещается относительно тела с вектором угловой скорости, пропорциональным (вектору угловой скорости самого тела относительно абсолютного пространства). Ускорение пространственной стоячей волны относительно упругой сферы составляет такую же определённую долю от ускорения сферы относительно инерциального пространства. Таким образом, для многочисленных практических применений мы имеем в одном гироскопическом устройстве весьма компактный трёхмерный инерциальный датчик угловой скорости, позволяющий одновременно измерять приращения трёх квазиординат - углов псевдоориентации, входящие в кинематические дифференциальные уравнения, интегрируя которые решаем классическую задачу Дарбу пространственной ориентации движущегося объекта в трёхмерном пространстве с использованием известных по измерениям 3-D датчика СРГ/SRG угловых скоростей тела.

#### Литература

1. A. Matthews. «The Operation and Mechanization of the Hemispherical Resonator Gyroscope», 978-1-5386-1647-5/18/©2018 IEEE. – pp. 7 – 14.
2. S.E. Pereleyaev, V.P. Zhuravlev, S.B. Bodunov, B.P. Bodunov. «New Gyroscopes of the “Generalized Foucault Pendulum” Family: Some Fundamental Issues of Theory and Applied Aspects of Its Implementation in the Engineering Practice of Modern Gyroscopy». 27th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, IEEE, Publication Year: 2020.

3. В.Ф.Журавлев, Д.М.Климов. «Прикладные методы в теории колебаний». ISBN:5-02-006627-3, - М.: Наука. 1988. – 325с.
4. D.M. Klimov, V.Ph. Zhuravlev, Y.K. Zhanov, «Quartz hemispherical resonator (wave solid-state gyroscope)», ISBN: 978-5-9909668-5-7, Moscow. 2017. – pp. 40 – 45.
5. V. Zhuravlev, S. Perelyaev. The Generalized Foucault Pendulum is a 3D Integrating Gyroscopes Using the Three-Dimensional Precession of Standing Waves in a Rotating Spherically Symmetric Elastic Solid. DGON Inertial Sensors and Systems Symposium. IEEE. Publication Year: 2019, Page(s): 1 – 12.

## МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ И ВВОДА ДАННЫХ

Гришко А.К., Моисеев А.В., Пакайкин А.А., Тумакова И.А., Гришко Е.И., Бростилов С.А., Трусов В.А.  
Пензенский государственный университет

Предлагается интеллектуальная система предварительной обработки разнородной символично-графической информации, предназначенной для ввода в информационную базу данных Система формируется на основе комбинированного применения методов аппаратурной и алгоритмической обработки данных и состоит из считывающей, анализирующей и обрабатывающей части. Она адаптивно изменяет свои параметры в зависимости от характера и качества документа и при оптимальных аппаратурных затратах позволяет получить максимальную скорость и достоверность распознавания вводимых данных.

Ключевые слова: массивы данных, графическая информация, аппаратурная обработка, алгоритмическая обработка.

Method of preliminary processing of information in intellectual systems of recognition and data receipt. Grishko A.K., Moiseev A.V., Pakaykin A.A., Tumakova I.A., Grishko E.I., Brostilov S.A.h, Trusov V.A. Penza State University

An intelligent system of preliminary processing of heterogeneous symbolic and graphic information intended for entering into an information database is proposed. The system is formed on the basis of a combined application of hardware and algorithmic data processing methods and consists of a reading, analyzing and processing part. It adaptively changes its parameters depending on the nature and quality of the document and, with optimal hardware costs, allows you to get the maximum speed and accuracy of recognition of the input data.

Keyword: data arrays, graphic information, hardware processing, algorithmic processing.

### Введение

Период глобализации и цифровой трансформации общества в мире характеризуется генерацией огромного объема информации, который становится важнейшим организационным ресурсом, обеспечивающим конкурентные преимущества, дают начало инициативам по менеджменту знаний. Ввод разнородной документационной информации, представленной в виде учетно-статистических бланков, технологических карт, финансово-экономической информации и т.д., является до сих пор актуальной задачей. Текстовая или графическая часть обрабатываемой информации может быть нанесена различными способами, с различными видами шрифтов, цветом знака, документ может иметь различную контрастность и дефекты изображения.

Ручная обработка и классификация становится неэффективной и дорогостоящей. Ее стремятся либо полностью автоматизировать, либо использовать только на тех этапах работы, когда среди большого количества данных автоматически отобраны нужные. Характерной особенностью таких документов является то, что текстовая или графическая часть может быть нанесена, как типографическим, так и машинописным способом. При этом толщина линий, образующих знак, масштаб и цвет знака, контраст изображения может варьироваться в широких пределах в зависимости от характера обрабатываемой информации.

При нанесении знаков в избытке проявляются дефекты печати в виде разрывов и раковин в теле знака, группы или отдельных пятен как связанных, так и не связанных с изображением знака. Еще большие искажения в изображении знака вносят всевозможные сетки, нанесенные на ряд документов, например, паспорта, финансовые документы и т.д., что еще больше повышает актуальность рассматриваемой проблемы [1-3].

### Описание предлагаемого метода

Максимальную скорость и достоверность распознавания при оптимальных аппаратурных затратах можно получить при объединении способов аппаратурной и алгоритмической обработки. При этом устройство предварительной обработки, состоящее из считывающей, анализирующей и обрабатывающей

частей должны адаптивно изменять свои характеристики в зависимости от характера и качества документа. Считывающая часть включает в себя рецептор с заданными спектральными свойствами и аналого-цифровой преобразователь. Анализирующая часть содержит блок повышения контрастности, блок коррекции, блок анализа и селекции по толщине и блок описания изображений. Обработка части предполагает алгоритмическую обработку по идентификации изображений. Варьируя контрастными характеристиками изображения  $\eta$  и  $\xi$  анализирующими свойствами измерителя  $\mathcal{Y}$  и мешающими параметрами  $E$  и  $V$  а также заданием  $t_{\min}$  и  $t_{\max}$  минимальной и максимальной толщины линий можно либо вручную, либо с ЭВМ управлять параметрами данных блоков. На выходе блока описания формируется кодовое описание знака, которое обрабатывается в ЭВМ по определенной иерархической системе.

На первом этапе считывающее устройство совместно с блоком повышения контрастности преобразует входное изображение в двух градационное. При этом производится оценка контрастных характеристик изображения и уровень освещенности в каждой точке поля изображения. Процесс преобразования изображения можно осуществить путем ряда сдвигов исходного изображения и отборов лишь тех из них, контрастный уровень которых превосходит наперед заданную величину в области определения контрастных характеристик определяемых величин. В результате таких нелинейных преобразований выделяется контур исходного изображения. Для перехода от граничной области к самому двух градационному изображению строится прогнозирующая функция в соответствии с направлениями сдвигов и при выполнении всех прогнозов образуется виртуальная граничная область, которая в свою очередь формирует новую область прогноза и т.д. В процессе анализа на выходе устройства повышения контрастности формируется двух градационное изображение [4-6].

Достоинством метода является простота построения устройства, позволяющего считывать информацию в широком диапазоне качества документов, при этом его структура позволяет оперативно изменять характеристики, подбирая их оптимальным образом для различных документов.

После реализации процедуры повышения контрастности двухградационное изображение раскладывается на структурные составляющие в соответствии со словарем описания. В процессе разложения производится коррекция изображения с целью исключения одиночных случайных помех, а также восполнения недостающих участков изображения. Для решения этой задачи предлагается использовать способ нелинейной пространственной фильтрации. При этом точки изображения будут принадлежать структурному фрагменту в том случае, если удовлетворить соотношение:

$$[\max \phi(x, y) - \max \phi(x, y)] \leq \gamma$$

где  $\phi_j(x, y)$  - реакция фильтра с импульсной характеристикой  $H(x, y)$  на входное воздействие  $F(x, y)$ .

Подобная фильтрация позволяет фильтровать помехи, не связанные с изображением. Коррекция разрывов изображений производится в том случае, если:

$$|\max \phi'_j(x, y) - \phi_j(x, y)| \leq E,$$

где  $\phi'_j(x, y)$  - скорректированное, а  $\phi_j(x, y)$  - текущее изображение.

Однако описанные выше преобразования не позволяют отфильтровать помехи, связанные с контуром изображения, так как в этом случае происходит перекрытие пространственных спектров сигналов изображений и помех. Для устранения такого вида помех осуществляется взаимная фильтрация структурных фрагментов с исследуемой коррекцией изображения путем введения корректирующей функции [7-9]:

$$G_{ij}(x, y) = G_i(x, y) \{ [1 - G'_{ij}(x, y)] \vee [1 - G''_{ij}(x, y)] \}$$

где  $G'_{ij}(x, y)$ ,  $G''_{ij}(x, y)$  - функции взаимного влияния, определяемые как:

$$G'_{ij} = \left\{ [1 - f_i(x, y)] [1 - f_{ij}(x, y)] \left( -\frac{\partial F_j(x, y)}{\partial r_j} \right) \right\} * H_i(x, y);$$

$$G''_{ij} = \left\{ [1 - f_i(x, y)] [1 - f_{ij}(x, y)] \left( -\frac{\partial F_j(x, y)}{\partial r_j} \right) \right\} * H_i(x, y),$$



$F_j(x, y)$  - изображение на выходе фильтра после коррекции,

$f_i(x, y)$  - составляющая вторичного изображения,

$f_{ij}(x, y)$  - функция взаимных изображений, образующихся на выходе фильтров с характеристиками ортогональными границе изображения.

Для описания структуры изображения знака производится выделение узлов, представляющих собой совокупность начал, концов, примыканий или пересечений линий различных фрагментов, а так же определение связей между узлами. В результате анализа структуры изображения формируется матрица связанности узлов.

На последнем этапе, сформированное описание изображения выдается в ЭВМ, где производится алгоритмическая обработка и идентификация знака.

### Вывод

Предложенный в данной работе комбинированный метод предварительной обработки символично-графической информации позволит автоматизировать работу с большим количеством разнородных данных, что является актуальной задачей для экономики нашей страны в эпоху глобализации и цифровой трансформации общества [10].

### Литература

1. Yurkov, N. K., Grishko, A. K., Lysenko, A. V., Danilova, E. A., Kuzina, E. A. Intellectual Method for Reliability Assessment of Radio-Electronic Means 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2018, Saratov; Russian Federation; 27-28 September 2018, Pages 105-112. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542360
2. Mikheev M. Yu., Zhashkova T. V., Meshcheryakova E. N., Gudkov K. V., Grishko A. K. Imitation modelling for the subsystem of identification and structuring data of signal sensors. 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). Yerevan, Armenia, October 14-17, 2016. pp. 1-5. DOI: 10.1109/EWDTS.2016.7807748.
3. Гришко А. К. Синтез тестовых образов для оценки стойкости нейросетевых преобразователей в системах биометрической идентификации / А. К. Гришко, В. С. Лукин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 2 (18). – С. 32-40. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-2-5.
4. Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Brostilov S., Yurkov N. Management of Structural Components Complex Electronic Systems on the Basis of Adaptive Model. 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science (TCSET). Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23-26, 2016. pp. 214-218. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452017.
5. Гришко А. К. Многокритериальный выбор оптимального варианта сложной технической системы на основе интервального анализа слабоструктурированной информации / А. К. Гришко, И.И. Кочегаров, А.В. Лысенко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 3 (21). – С. 97-107.
6. Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Yurkov N. Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference. 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Moscow, Russia, May 12-14, 2016. pp. 1-4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.
7. Grishko A., Danilova E., Rybakov I., Lapshin E., Goryachev N. Multicriteria Selection of the Optimal Variant of a Complex System Based on the Interval Analysis of Fuzzy Input Data. 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), Moscow, Russia, 14-16 March 2018. pp. 1-7. DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337237
8. Гришко А. К. Геоинформационные системы управления многоуровневыми пространственно-распределенными объектами / А. К. Гришко, С. А. Бростилов, М.В. Бойцова, А. М. Мазанов, А. В. Приказчиков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 2. – С. 312-315.
9. Grishko A., Kochegarov I., Yurkov N. Structural and Parameter Optimization of the System of Interconnected Processes of Building Complex Radio-Electronic Devices. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). Polyana, Svalyava, (Zakarpattya), Ukraine, February 21 - 25, 2017, pp. 192-194. DOI: 10.1109/CADSM.2017.7916112.
10. Северцев Н.А., К проблеме глобальной оптимизации параметров надежности и безопасности сложных динамических систем инверсным методом / Н. А. Северцев, Н. К. Юрков А. К. Гришко // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 1 (29). – С. 13-23.

## АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА

Мирзакулова Ш.А., Сибанбаева М.Б., Жақан Ә.Қ., Кожаяева Д.Т., Жолдасов Б.Ж.  
Университет Туран, г. Алматы

В работе исследование временного ряда интенсивности пакетов протокола UDP (User Datagram Protocol), который имеет 1800 уровней измеренные за каждые 10 секунд на магистральной сети на протяжении пяти часов осуществлено в программном пакете Spectra\_Analyzer Построены функции и графики, Вейвлет диаграммы Морле и осуществлен анализ.

Ключевые слова: временной ряд, аппроксимация ряда, Вейвлет-диаграмма Морле, Вейвлет-анализ.

Analysis of a non-stationary time series. Mirzakulova Sh., Sibanbayeva M., Zhakan A., Kozhayeva D., Zholdassov B., Turan University, Almaty city.

In the work, the study of the time series of the packet intensity of the UDP (User Datagram Protocol) protocol, which has 1800 levels measured every 10 seconds on the backbone network for five hours, was carried out in the Spectra\_Analyzer software package. Functions and graphs, Morlet wavelet diagrams were built and analysis was carried out.

Keywords: time series, series approximation, Morlet wavelet diagram, Wavelet analysis.

### Введение

Еще в восьмидесятых годах ученые Гроссман и Морле создали аппарат анализа неоднородных временных рядов, именуемое как вейвлет-преобразование, которое с самонастраивающимися подвижными частотно-временными окнами выявляет одинаково как низкочастотные, так и высокочастотные характеристики сигнала на разных временных масштабах. По-другому этот аппарат называют «математическим микроскопом», потому что он вскрывает внутреннюю структуру существенно неоднородных объектов [3].

Вейвлет-преобразование WT (Wavelet transform) – разновидность спектрального анализа и его характеризуют как локализованный спектральный анализ или спектральный анализ локальных возмущений.

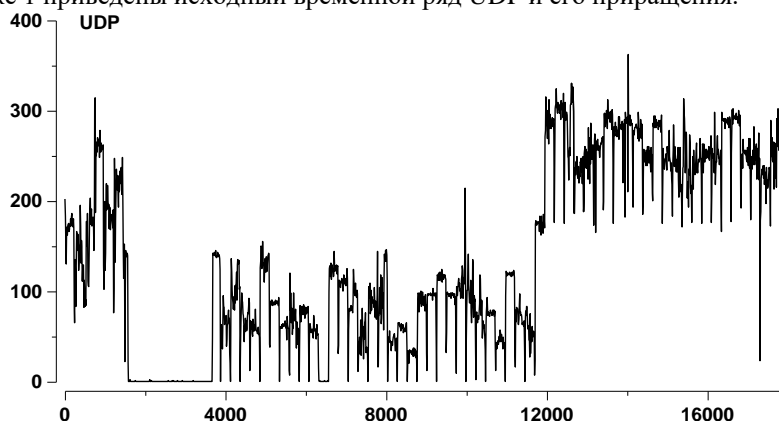
Вейвлет-анализ является эффективным средством анализа нестационарных сигналов [4].

WT-преобразование использует масштаб вместо частоты спектрального анализа и для перекрытия коротенькими волнами временную ось применяет сдвиг функции во времени.

Предварительные исследования показали, что исследуемый ряд распределен не по нормальному закону, нестационарный и для этого осуществили переход к приращениям, что делает временной ряд более стационарным, когда у него доминируют низкие частоты.

### Постановка проблемы

На рисунке 1 приведены исходный временной ряд UDP и его приращения.



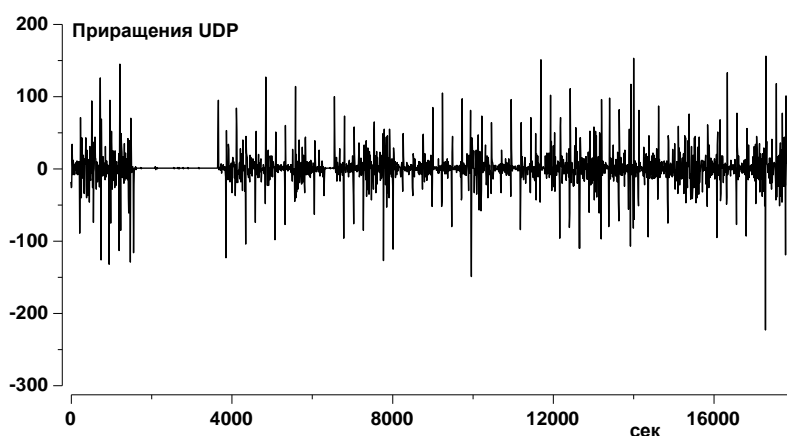


Рис. 1 – Исходный ряд и его приращения

На рисунках 2 и 3 приведены аппроксимации (Best Fit Low Frequency Harmonic) соответственно исходного ряда и его приращений. При этом первый аппроксимирован полиномиальной функцией, а ряд приращений функция аппроксимации практически равна нулю, что соответствует независимости приращений.

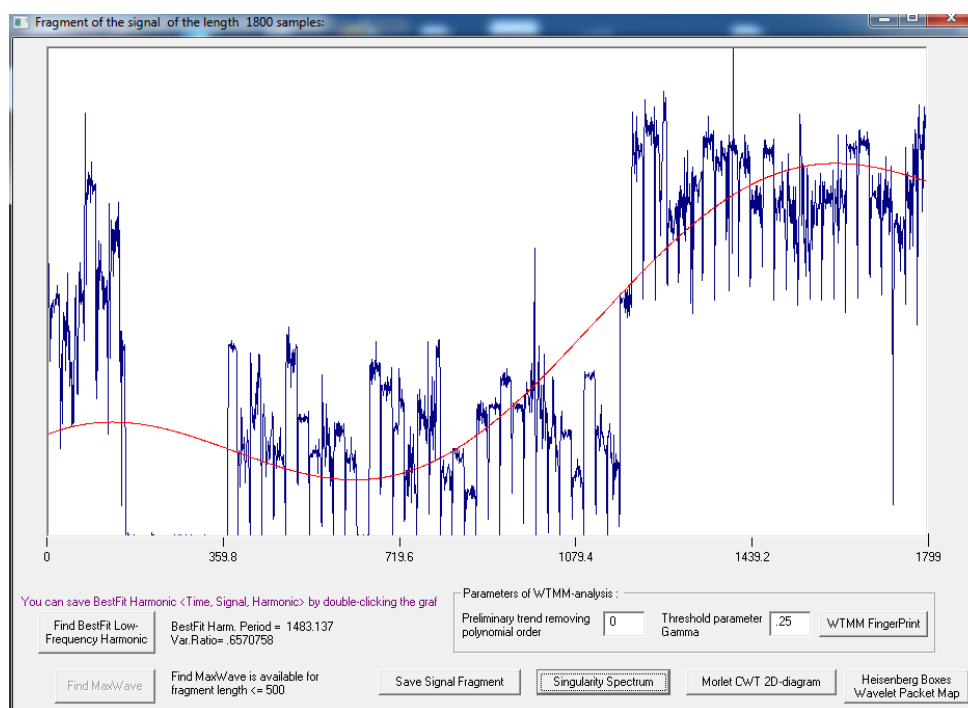


Рис. 2 – Аппроксимация исходного ряда

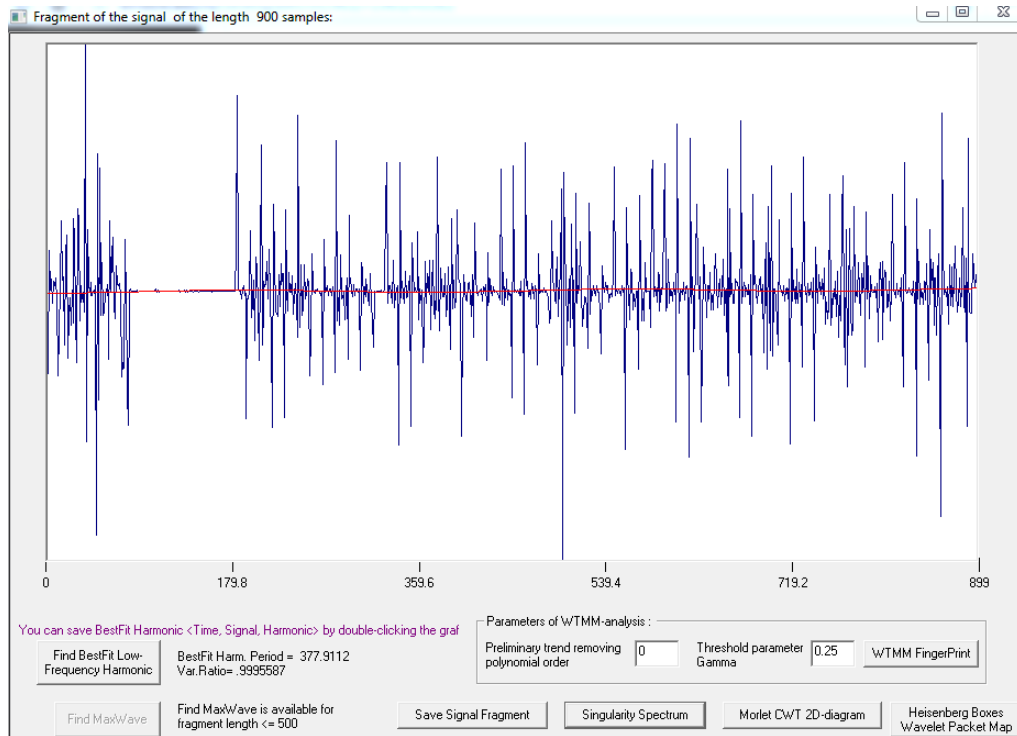


Рис. 3 – Аппроксимация ряда приращений исходного ряда

В программе Fractan получены графики средней взаимной информации исходного ряда и его приращений, которая описывает количество информации, содержащееся в одной случайной величине относительно другой (рисунок 4 а и б). При этом значения АМІ намного уменьшились и стали незначительными в графике приращений.

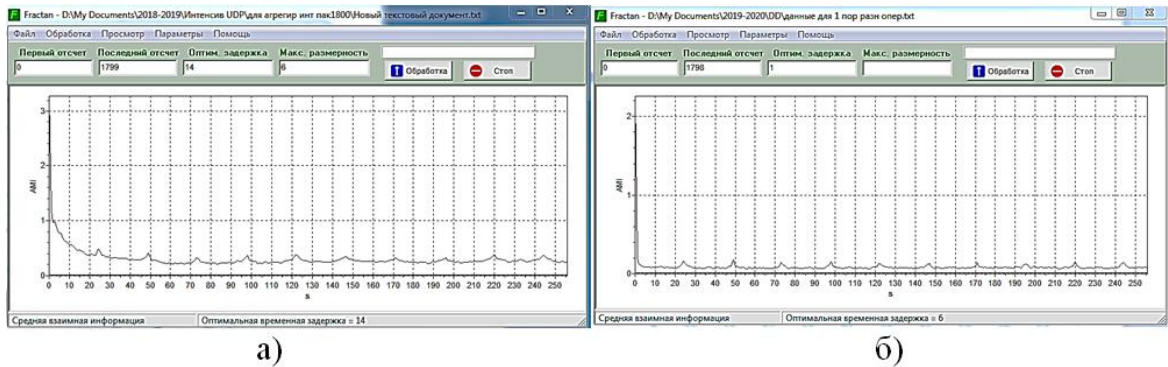


Рис. 4 – График средней взаимной информации: а) исходный ряд; б) приращения исходного ряда

В [2] описывается, что традиционно временной ряд динамики представляется в виде модели, состоящей из компонент – тренда и шума. При этом тренд это низкочастотная компонента и он не несет в себе новой информации, а шум – высокочастотная компонента, структура которой именно информативна (имеет новую и скрытую информацию).

Вейвлет-преобразование строится на основе единственной базисной функции  $y(t)$ , имеющей солитоноподобный характер и принадлежащей пространству  $L^2(R)$ , то есть принадлежащей всей числовой оси.

В [5] описывается, что материнский вейвлет  $\psi(t)$  должен быть хорошо локализован вблизи точки  $x=0$ , иметь нулевое среднее значение и обладать единичной нормой. Всеми этими свойствами обладает вейвлет Морле или комплекснозначный «модулированный гауссиан». Вейвлет Морле используют при выделении короткоживущих всплесков. На рисунках 5 и 6 приведены вейвлет-диаграммы Морле исходного ряда и ряда приращений соответственно.

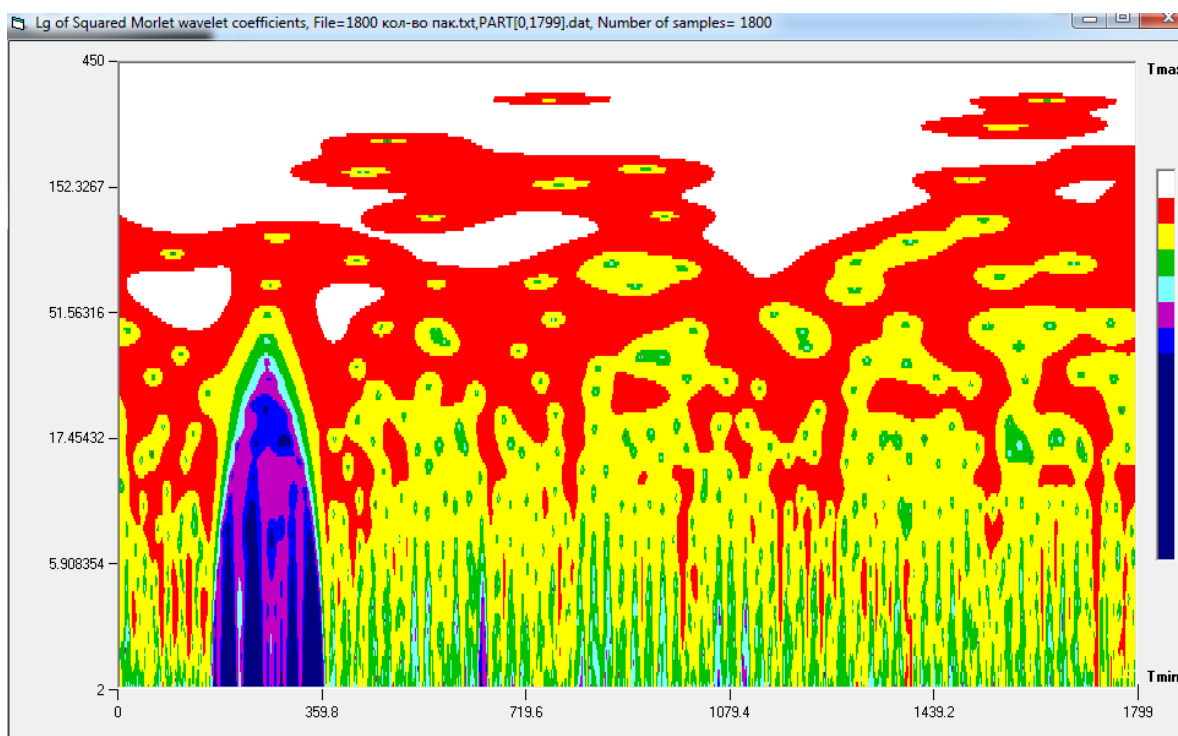


Рис. 5 – Вейвлет-диаграмма Морле исходного ряда

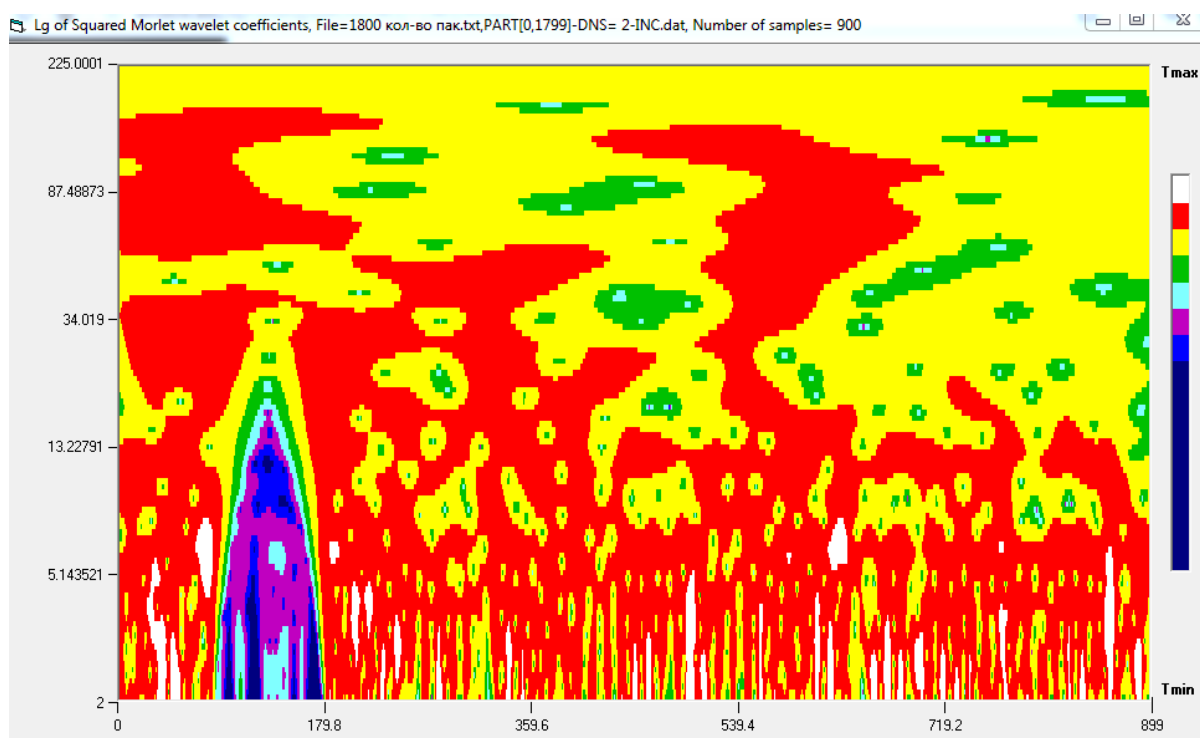


Рис. 6 – Вейвлет-диаграмма Морле приращений

Вышеприведенные вейвлет-диаграммы показывают, что исходный ряд имеет тренд – белая область сверху, а приращения как бы остационарили ряд, освободив от тренда. Стационарный ряд не имеет тренда, циклических (периодических) колебаний. Шумовая компонента стационарного ряда обычно представляет собой белый шум. В нестационарном временном ряде шумовая компонента представляет собой броуновское движение. Поэтому обе вейвлет-диаграммы подобны друг другу. Вейвлет-диаграмма шума содержит информацию об исходном ряде.

Литература

- 1 А.А. Любушин. Практический курс анализа многомерных временных рядов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/91672253-Federalnoe-agentstvo-po-obrazovaniyu.html>.
- 2 А.А. Любушин. Исследование случайных флуктуаций геофизических полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://AlexeyLyubushin.narod.ru/Index.htm>
- 3 Козлов, П.В. Вейвлет-преобразование и анализ временных рядов [Текст]: П.В. Козлов, Б.Б. Чен. – Вестник КРСУ.: Бишкек, 2002, №2.
- 4 Новиков, Д.В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Учебное пособие [Текст]: Д.В. Новиков. – СПб.: Питер, 1999, 152 с.
- 5 Божокин С.В., Лыков С.Н. Непрерывное вейвлет-преобразование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/nepreryvnoe-veyvlet-preobrazovanie>.

### ГЛАВА 3. ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА ОТ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ К «УМНОЙ»

Кутуев И.В., Бушмелева К.И.

БУ ВО «Сургутский государственный университет»

+7 (982) 510-20-08, kutuevivan@gmail.com, +7(904) 880-26-24, bkiya@yandex.ru

В данной статье рассмотрена попытка перехода от традиционной к «умной» энергетике, основанной на применении Smart Grid. Рассчитан индекс рентабельности при переходе к новой электроэнергетике на промежутке 10, 15, 20 лет.

Ключевые слова: Smart Grid, энергоэффективность, индекс рентабельности, умная энергетика

Assessment of the efficiency of the transition from traditional energy to "SMART". Kutuev I.V., Bushmeleva K.I. Surgut State University

This article discusses an attempt to transition from traditional to "smart" energy based on the use of Smart Grid. The index of profitability was calculated during the transition to a new electric power industry in the interval of 10, 15, 20 years.

Keywords: Smart Grid, energy efficiency, Profitability Index, Smart Energy.

На текущем этапе развития энергетики Россия столкнулась с такой проблемой, как износ энергосетей. Срок службы примерно 65% от основных фондов сетей почти исчерпан [1]. В результате того, что потребление энергоресурсов из года в год постоянно растет, а количество источников этих ресурсов не увеличивается – возникают проблемы при их распределении, приводящие к убыткам для энергетических компаний. На основании этого возникла потребность в новых, современных и эффективных решениях в развитии энергетической отрасли [2].

По состоянию на 2020 год основная схема работы по поступлению электроэнергии от электростанции к потребителю реализуется следующим способом (рис. 1)

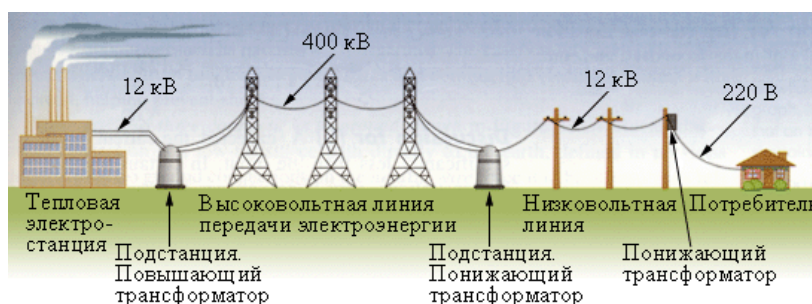


Рисунок 1 – Поступление электроэнергии от источника к потребителю

В соответствии с рисунком 1, схема распределения электроэнергии от станции к потребителю выглядит следующим образом:

1. Электроэнергия передается на повышающий трансформатор.
2. От него с помощью линий электропередач (ЛЭП) осуществляется ее передача на центральные распределительные подстанции (ЦРП). Последние, в свою очередь, находятся в городах или на близком расстоянии от них.
3. На ЦРП происходит понижение напряжения до 220 или же до 110 кВ, откуда электроэнергия передается к подстанциям.
4. Далее напряжение еще раз понижают (уже до 6-10 кВ) и происходит распределение электроэнергии по трансформаторным пунктам (ТП). К трансформаторным пунктам электроэнергия может передаваться не только по ЛЭП, а также по подземной кабельной линией.
5. От понижающих трансформаторных пунктов электроэнергия передается к конечным потребителям: предприятиям, многоэтажным домам, постройкам частного сектора, гаражному кооперативу и т.д. [3].

Многие эксперты [4, 5] утверждают, что данная система уже морально устарела и необходимо развитие энергетики путем внедрения новых, интеллектуальных элементов в текущую схему или полную её переработку в будущих сетях.

Около 15 лет назад для повышения энергоэффективности [6] мировой энергетики была предложена концепция, под названием Smart Grid (далее SG) [5].

Структура SG состоит из таких компонентов как (рис. 2) [5]:

1. Умный учет.
2. Умная сеть.
3. Энергоэффективность.
4. Потребительские технологии.

Принято считать, что интеллектуальные энергосистемы, построенные на базе указанной концепции, имеют огромный потенциал и за ними будущее.

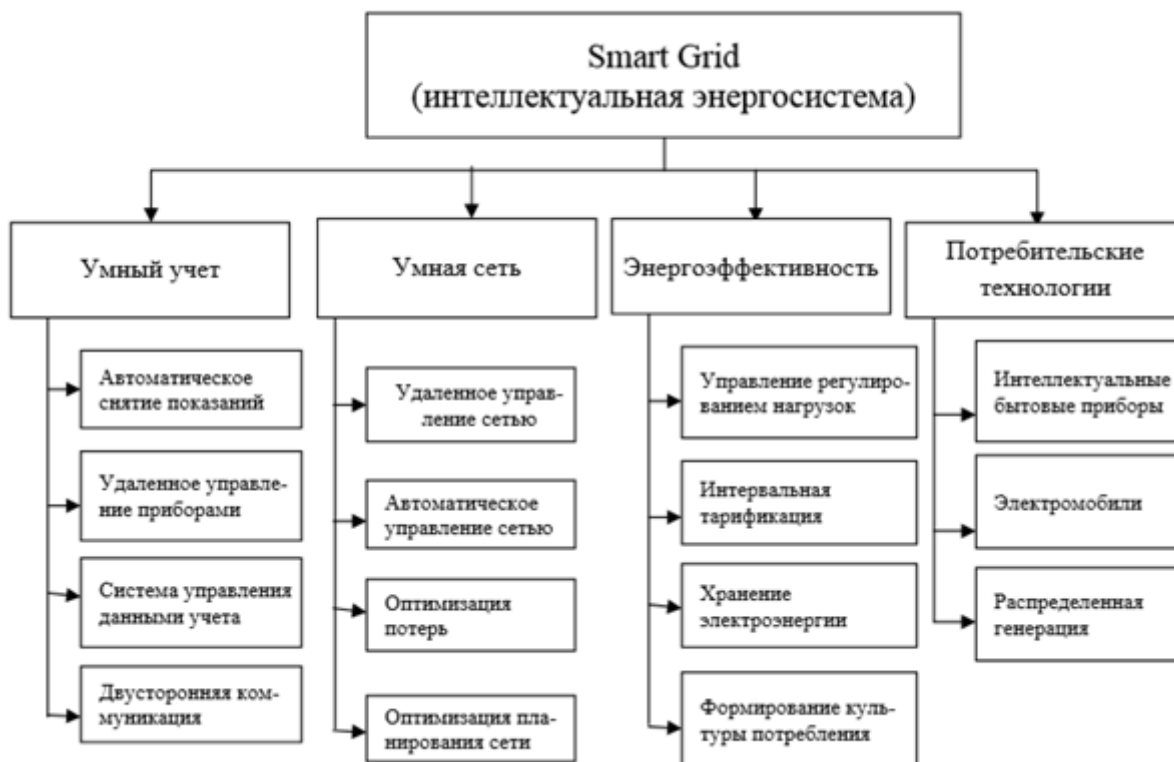


Рисунок 2 – Структура SG

Основное отличие в работе SG состоит в том, что в традиционных сетях электроэнергия по ЛЭП поступает от станции к конечному потребителю в соответствии с тем, какое напряжение и сопротивление запрашивается, а при использовании SG электросеть сможет самостоятельно регулировать подачу энергии в зависимости от того что запрашивает потребитель. У конечных потребителей устанавливаются специальные умные счетчики, передающие информацию о потреблении источнику. Эти данные позволяют корректировать использование электроприборов во времени и распределить электроэнергию в зависимости от потребности, что существенно снижает ее расходы. [5]

Также в связи с двусторонней коммуникацией появляются такие преимущества сети как: удаленный мониторинг оборудования без выезда человека на объекты, цена за потребление электроэнергии будет обновляться в режиме реального времени, иная структура распределения (вместо радиальной - сеточная).

В дополнение ко всему необходимо учитывать, что из-за территориальных особенностей России и огромных расстояний от источника до потребителя в среднем теряется до 133577 гВтч электроэнергии, что составляет примерно 13,5% от общего показателя.

В России за реализацию сетей нового поколения взялась компания ФСК ЕЭС («Федеральная сетевая компания»), которая за период 2010 – 2012 годы вложила 8 млрд рублей в разработку интеллектуальных энергосетей [7]. По полученным от нее данным – реализация SG позволила сэкономить 34 млрд кВт за год.

Согласно отчету Европейской комиссии «Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments», опубликованному в июне 2011 года, первое место по инвестициям в проекты SG занимает США, затем идут Европа и Китай.

Исходя из вышеизложенного можно утверждать что существует несколько проблем по внедрению умных энергосетей в России:



1. Мало кто из отдельных корпораций может позволить себе такие значительные вложения в современные сети без значительной помощи государства. И внедрение подобных технологий несет исключительно среднесрочную, а в большинстве случаев и долгосрочную окупаемость.

2. Все компании-поставщики ресурсов настроены на получение максимальной выгоды, а внедрение новых сетей вызовет существенное снижение их прибыли.

На основании того, что все инновации вводятся в производство только тогда, когда они являются окупаемыми и рентабельными – можно попытаться высчитать индекс рентабельности инвестиций по проекту «умной» электроэнергетики.

В России существует специальная организация «Институт энергетических исследований Российской академии наук» (ИНЭИ РАН), которая каждый год в формате презентации представляет «Прогноз развития энергетики мира и России». В своей статье [8] автор указывает, что согласно исследованиям ИНЭИ РАН к 2030му году благодаря внедрению Smart Grid можно будет достичь:

1. Снижения на 34,1 гВт совокупной мощности электростанций.

2. Снижения расхода ресурсов на тепловых электростанциях на 173,6 млн т.у.т. (тонна условного топлива).

3. Снижение капиталовложений на строительство новых электростанций.

Если обобщить всю полученную выгоду от внедрения SG, то можно отметить:

1. Экономия за счет снижения количества новых электростанций и связанных с ними объектов для выдачи мощности - 2000 млрд руб.

2. Снижение топливных затрат электростанций -750 млрд руб.

3. Снижение условно-постоянных затрат в электроэнергетике - 560 млрд руб.

4. Экономия за счет выброса парниковых газов – 180 млрд руб.

Обобщая вышесказанное получаем доход 3500 млрд рублей в общем за 10 лет. После 10 лет также будет выгода за 5 лет в 1000 млрд рублей. Также в отчете ИНЭИ РАН использовалась прогнозная оценка инвестиций, которые составили 2400-3200 млрд рублей.

Таким образом, используя полученные суммы можно рассчитать эффективность внедрения SG. Для этого используем такой показатель как индекс рентабельности. Индекс рентабельности (1) (прибыльности, доходности) (Profitability Index, PI) рассчитывается как отношение чистой текущей стоимости денежного притока к чистой текущей стоимости денежного оттока (включая первоначальные инвестиции):

$$PI = \sum \frac{P_k}{(1+i)^k} \text{ или } PI = \sum \frac{C_t(1+i)^{-t}}{I_0}, \quad (1)$$

где  $I_0$  – величина первоначальной инвестиции;  $C_t$  – денежный поток от реализации инвестиций в момент времени  $t$ ;  $i$  – ставка дисконтирования.

Условия принятия проекта по данному инвестиционному критерию следующие:

- если  $PI > 1$ , проект следует принять;
- если  $PI < 1$ , проект следует отвергнуть;
- если  $PI = 1$ , проект не является ни прибыльным, ни убыточным.

Для последующих расчетов воспользуемся данными полученными от ИНЭИ РАН и представим их в таблицу 1. Ставку дисконтирования возьмем за среднюю – 12,5%. Также при расчете примем первые 2 года – просто внедрение системы с нулевой выгодой. Остальную сумму в 3500 млрд ровно разделим на последующие 7 лет.

Таблица 1 – Данные для расчетов

Проект	Первоначальные инвестиции	Сумма по годам		
		1-2	3-10	10-15
	2400-3200 млрд руб	0	500 млрд руб	200 млрд руб

Вычислим сумму по всем  $\frac{P_k}{(1+i)^k}$  за период в 10 лет:

$$\frac{P_k}{(1+i)^k} = 0 + \frac{500}{(1+0,125)^3} + \frac{500}{(1+0,125)^4} + \dots + \frac{500}{(1+0,125)^{10}} = 351,124 + 312,110 + 277,469 + 246,669 + 219,202 + 194,856 + 173,190 + 153,988 = 1928,608 \text{ млрд рублей.}$$

Вычислим сумму по всем  $\frac{P_k}{(1+i)^k}$  за последующие 5 лет:

$$\frac{200}{(1+0,125)^{11}} + \frac{200}{(1+0,125)^{12}} + \dots + \frac{200}{(1+0,125)^{15}} = 54,750 + 48,662 + 43,253 + 38,447 + 34,176 = 219,288 \text{ млрд рублей.}$$

Далее рассчитываем индекс рентабельности:

$$PI(\text{за } 10 \text{ лет}) = \frac{1928,608}{2400} = 0,80192;$$

$$PI(\text{за } 15 \text{ лет}) = \frac{1928,608 + 219,288}{2400} = 0,894957.$$

Далее рассчитаем выгоду для 20 лет.

$$\frac{200}{(1+0,125)^{16}} + \dots + \frac{200}{(1+0,125)^{20}} = 30,381 + 27,005 + 24,003 + 21,338 + 18,966 = 121,693$$
 млрд рублей.

Таким образом, индекс рентабельности за 20 лет составит:

$$PI(\text{за } 20 \text{ лет}) = \frac{1928,608 + 219,288 + 121,693}{2400} = 0,945.$$

Подводя итог можно отметить, что все показатели меньше 1. На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что проект, даже при минимальных первоначальных инвестициях не является рентабельным на временном промежутке до 20 лет. Это может быть связано со следующими причинами:

1. Наличие ошибки в изначальных данных для расчетов, предоставленных автору [8] ИНЭИ РАН.

2. Ошибка при использовании ставки дисконтирования в 12,5%.

3. Неверное среднее распределение дохода между годами сроком в 3-10.

Поскольку 20 лет это слишком долгосрочная перспектива и научные исследования за это время могут шагнуть далеко вперед, а также опираясь на данные расчеты можно утверждать, что внедрение SG в России не оправдывает возложенные на него ожидания, однако если обратиться к статистике по внедрению инвестиций в проекты по реализации интеллектуальных сетей в других странах, то данные технологии необходимо поддерживать и реализовывать.

#### Литература

1. Соловьёва А.А. SMART GRID В РОССИИ // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований. / Научно-издательский центр "Мир науки" Нефтекамск, 17 декабря 2019 г.
2. Кутуев И.В., Бушмелева К.И. Анализ информационных систем используемых для расчета искусственного освещения //Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. №1. С. 71-75.
3. Передача и распределение энергии [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://samelectrik.ru/kak-proisxodit-peredacha-i-raspredelenie-elektroenergii.html> (дата обращения 08.08.2020).
4. Умная энергетика: сети SMART GRID //Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Пегас" (Вологда). № 4-6. 2015. С. 61-63.
5. Бурнашев К.Г. Повышение энергоэффективности за счет внедрения новой концепции SMART GRID //Вестник университета. № 11. 2012. С. 5-9.
6. Кутуев И.В., Федоров Д.А., Бушмелева К.И. Системный анализ, методы и алгоритмы принятия решений по повышению энергоэффективности населенного пункта //Вестник кибернетики. 2020. №1 (37). С. 6 — 12.
7. Наумова Т.А., Осипова И.М. Текущее состояние внедрения инновационных технологий в энергетический комплекс РФ //Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013.
8. Гомонов К.Г. Перспективы и экономическая эффективность внедрения интеллектуальных энергосетей в России и в Мире //Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2015.

#### ОКСИДНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Панков С.Ю.\*, Макагонов В.А., Калинин Ю.Е., Жилова О.В., Каширин М.А., Фошин В.А.  
ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет\*  
+7 (952) 554-12-00, srgpank@mail.ru

В данной работе рассмотрены перспективы применения тонких пленок на основе оксидных полупроводников в качестве материала для термоэлектрических преобразователей. Приведены результаты исследования электрических свойств тонких пленок оксида цинка, полученных методом ионно-лучевого напыления. Проведена оценка фактора мощности синтезированных образцов по сравнению с традиционными термоэлектрическими материалами.

Ключевые слова: термоэлектричество, фактор мощности, тонкие пленки, оксидный полупроводник, удельное электрическое сопротивление, термоэдс.

Oxide thin film semiconductors as prospective thermoelectric materials. Pankov S. Yu., Makagonov V. A., Kalinin Yu. E., Zhilova O. V., Kashirin M. A., Foshin V. A., \*Voronezh state technical university

This paper discusses the prospects for the use of thin films based on oxide semiconductors as a material for thermoelectric converters. The results of a study of the electrical properties of thin zinc oxide films obtained

by the method of ion-beam sputtering are presented. The power factor of the synthesized samples is evaluated in comparison with traditional thermoelectric materials.

Keywords: thermoelectricity, thermoelectric power factor, thin films, oxide semiconductor, electrical resistivity, thermoelectric power.

#### Введение

Одним из перспективных направлений альтернативной энергетики является термоэлектричество, суть которого заключается в прямом преобразовании тепловой энергии в электрическую и наоборот за счет эффектов Зеебека и Пельтье. Созданные на данных явлениях термоэлектрические преобразователи (ТЭП) энергии имеют ряд преимуществ перед традиционными электрическими генераторами и охладителями: простота конструкции, отсутствие движущихся частей, что обеспечивает бесшумность работы и высокую надёжность, возможность миниатюризации без потери эффективности, которая в существенной степени зависит от свойств термоэлектрических материалов [1].

Эффективность термоэлектрического преобразования тепловой энергии в электрическую и наоборот определяется величиной, называемой термоэлектрической добротностью  $Z$  [2]:

$$Z = \frac{\sigma S^2}{\chi}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – проводимость;  $S$  – термоэдс;  $\chi$  – теплопроводность.

Термоэлектрическая добротность  $Z$  зависит только от физических свойств материала и имеет размерность обратной температуры, но чаще ее используют в виде безразмерной величины  $ZT$ :

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{\chi}, \quad (2)$$

где  $T$  – рабочая или средняя температура преобразователя, равная:

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}, \quad (3)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – температуры горячего и холодного спаев соответственно.

Термоэлектрическая добротность непосредственно определяет эффективность работы устройства, поэтому это очень удобный параметр для сравнения потенциальной эффективности преобразователей, использующих различные материалы. Значения  $ZT = 1$  при комнатной температуре сегодня считаются хорошими. Возрастание добротности до 2–3 привело бы к увеличению КПД термоэлектрических преобразователей примерно до 20 % и к резкому расширению области их применения, а величина  $ZT$  около 3–4 представляется достаточной для того, чтобы термоэлектрические устройства могли конкурировать по эффективности с традиционными электрическими генераторами и холодильными агрегатами [3].

Из формулы (2) видно, что высококачественный термоэлектрический материал должен одновременно иметь высокую электропроводность, большую термоэдс и низкую теплопроводность. Термоэдс и электрическая проводимость определяются только электронными свойствами материала и поэтому их часто объединяют в величину, которую называют фактором мощности [4]:

$$P = \sigma S^2 \quad (4)$$

Но несмотря на активные исследования по созданию термоэлектриков с высокой добротностью, до настоящего времени не удавалось добиться существенных успехов. Для повышения термоэлектрической эффективности А.Ф. Иоффе в свое время предложил метод твердых растворов, который себя уже исчерпал. Начиная с 50-х годов XX века, добротность классических термоэлектриков удалось повысить не более чем на 30 %. Кроме того, используемые в настоящее время термоэлектрические материалы на основе халькогенидов металлов токсичны и обладают высокой стоимостью. Поэтому одной из ключевых задач является поиск новых материалов, которые имеют высокое значение  $ZT$ , низкую стоимость и экологичность и станут альтернативой традиционным термоэлектрикам. К таким материалам можно отнести полупроводниковые оксиды металлов, в частности, оксид цинка ZnO, достоинствами которого являются: низкая стоимость, стабильность свойств и структуры при высоких температурах, возможность изменять свойства от диэлектрических до полупроводниковых и т.д. [5–7].

Поэтому целью настоящей работы являлась оценка перспективности использования тонких пленок ZnO, полученных нами по методике ионно-лучевого напыления в качестве термоэлектрического материала.

#### Методики получения и исследования образцов

Для получения тонкопленочных образцов оксида цинка использовался метод ионно-лучевого напыления, реализуемый на базе вакуумного поста УВН-2М, устройство которого подробно описано в [8]. Осаждение пленок проводилось при температурах, близких к комнатной, путем распыления керамической

водоохлаждаемой мишени, состоящей из пластин керамики ZnO, на различные подложки (керамические пластины ситалла марки СТ-50 и кремний), которые, для равномерности напыления, вращались относительно оси камеры. Для получения тонких пленок различной толщины в едином цикле напыления, между подложкодержателем и мишенью устанавливался экран специальной формы. Толщина полученных пленок была измерена на интерферометре МИИ-4.

Для исследования структуры и фазового состава полученных образцов применялась методика рентгеноструктурного фазового анализа (РФА). Измерения удельного электрического сопротивления проводилась по двухзондовой методике. Значения термоэдс пленок были получены дифференциальным методом. Материалом холодного и горячего зондов служила серебряная проволока чистотой 99,99%.

#### Экспериментальные результаты

Анализ структуры и фазового состава методом РФА показал, что образцы тонкопленочного ZnO являются нанокристаллическими и характеризуются гексагональной фазой оксида цинка (пространственная группа P63mc). Расчет среднего размера кристаллитов по формуле Шеррера [9]

$$D = \frac{0.89\lambda}{b \cos\Theta}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – длина волны рентгеновского излучения (1.54 Å для  $\text{Cu}_{K\alpha}$  излучения);  $b$  – ширина рефлекса на полувысоте;  $\Theta$  – брегговский угол;  $D$  – средний размер кристаллитов.

показал, что размерами кристаллитов ZnO составляют около 20 нм. Оценка параметров решетки позволила сделать вывод о том, что в процессе ионно-лучевого напыления формируются тонкие пленки ZnO с крайне дефектной структурой. Это может объясняться как наличием вакансий вследствие нестехиометричности по кислороду, возникающей при ионно-лучевом напылении, так и возникновением дефектной структуры из-за осаждения на холодную подложку. Толщина полученных пленок изменялась в диапазоне от 40 нм до 80 нм.

Для полученных образцов были проведены измерения удельного электросопротивления и термоэдс. Изменение сопротивления с  $3,8 \cdot 10^{-2}$  Ом·см до  $1,3 \cdot 10^{-2}$  Ом·см, при увеличении толщины пленки связано с проявлением классического размерного эффекта. Знак термоэдс для всех исследованных пленок отрицательный, что свидетельствует о том, что основными носителями заряда в тонких пленках ZnO являются электроны. Термоэдс практически не изменяется с увеличением толщины образца, с  $91,67$  мкВ·К<sup>-1</sup> до  $94,0$  мкВ·К<sup>-1</sup>. Для оценки термоэлектрической эффективности полученных образцов был рассчитан фактор мощности  $P$  по формуле (4). Максимальное значение составило  $7,2 \cdot 10^{-2}$  мкВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup>. Этот результат ниже, чем для тонких пленок теллурида свинца PbTe ( $58,4$  мкВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup>) [10], но сопоставимо со значением для твердого раствора  $\text{Sb}_{0,9}\text{Bi}_{1,1}\text{Te}_{2,9}\text{Se}_{0,1}$  ( $0,3$  мкВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup>) [11], полученным нами ранее, что позволяет говорить о возможности использования оксида цинка в качестве термоэлектрического материала.

#### Заключение

Методом ионно-лучевого распыления керамической мишени получены тонкие пленки оксида цинка. Результаты РФА показали, что полученные пленки являются нанокристаллическими, с размерами кристаллитов около 20 нм. Установлено, что образцы имеют n-тип проводимости, проведена оценка термоэлектрической эффективности полученных образцов путем расчета фактора мощности  $P$ , который составил  $7,2 \cdot 10^{-2}$  мкВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup>, что сопоставимо с традиционными термоэлектрическими материалами.

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (проект № FZGM-2020-0007).

#### Литература

1. Гриднев С.А., Калинин Ю.Е., Макагонов В.А. Физические основы увеличения термоэлектрической добротности наноструктурированных материалов. / Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2019. - № (34-36). - с. 41-72.
2. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы / А.Ф. Иоффе - М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 188 с.
3. Дмитриев А.В. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов / А.В. Дмитриев, И.П. Звягин // Успехи физических наук. – 2010. – №8. – с. 821 – 837.
4. Булат, Л.П. О термоэлектрических свойствах материалов с нанокристаллической структурой / Л.П. Булат, И.А. Дробкин, В.Б. Освенский, Г.И. Пивоваров // Термоэлектричество. – 2008. - № 4. – с. 27 – 33.

5. T. Tsubota, M. Ohtaki, K. Eguchi, H. Arai Thermoelectric properties of Al-doped ZnO as a promising oxide material for high-temperature thermoelectric conversion. / *J Mater Chem.* – 1997. – Vol.7. - p. 85–90.
6. W. Lin, D. Chen, J. Zhang, Z. Lin, J. Huang, W. Li, et al. Hydrothermal Growth of ZnO Single Crystals with High Carrier Mobility. / *Cryst Growth Des.* – 2009. – Vol. 9 – p. 4378–83.
7. Rakesh A. Afre, Sharma N. Maheshwar Sh., Sharon M. Transparent Conducting Oxide Films for Various Applications: a Review. / *Rev. Adv. Mater. Sci.* – 2018. – Vol. 53. – № 1. – p. 79 – 89.
8. Гриднев С.А., Калинин Ю.Е., Ситников А.В., Стогней О.В. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах. / М.: Бином, Лаборатория знаний, 2012. - 352 с.
9. Жилова О.В., Макагонов В.А., Панков С.Ю. Структура тонких пленок широкозонных полупроводников  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ , модифицированных углеродом / *Вестник Воронежского государственного технического университета.* – 2018. – Т. 14. – № 4. – с. 168-173.
10. Бавыкин В.В., Калинин Ю.Е., Макагонов В.А., Панков С.Ю., Юрьев В.А. Термоэлектрические свойства тонких пленок теллурида свинца, полученных методом ионно-лучевого распыления / *Вестник Воронежского государственного технического университета.* - 2018. - Т. 14. - № 6. - с. 179-184.
11. Калинин Ю.Е., Каширин М.А., Макагонов В.А., Панков С.Ю., Ситников А.В. Влияние термообработки на структуру и термоэлектрические свойства тонких пленок  $\text{Sb}_{0.9}\text{Bi}_{1.1}\text{Te}_{2.9}\text{Se}_{0.1}$  и композитов на их основе / *Физика твердого тела.* – 2017. – Т. 59. - №1. - с. 23-29.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЖИЛОМ ФОНДЕ ГОРОДА ТОМСК

Зорин П.А.<sup>1</sup>, Стукач О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ЦСО», г. Томск, <sup>2</sup>НГТУ, г. Новосибирск; ВШЭ, г. Москва  
zpa@cs0.tom.ru

Проведено статистическое моделирование потребления тепловой энергии многоэтажных жилых домов г. Томска на основе данных коммерческого теплоучёта и погодных условий по данным Росгидромета. Показано, что влияние направления и силы ветра на теплопотребление в жилом фонде существенно меньше, чем температуры наружного воздуха. Построены факторно-регрессионные модели теплопотребления. Показано, что для оценки энергоэффективности жилых зданий необходим и достаточен учёт динамики теплопотребления в зависимости от среднесуточной температуры.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, регулирование тепловой энергии, климат, мера зависимости, факторно-регрессионная модель, большие данные.

Effects of the weather conditions on the heat energy dynamics in the Tomsk residential buildings. Zorin P.A., Stukach O.V., CSO Ltd., Tomsk, Novosibirsk State Technical University; Higher School of Economics.

Statistical modeling of the thermal characteristics for the residential buildings in Tomsk was carried out based on the commercial heat meter dataset and weather conditions according to Roshydromet data. It is shown that the influence of the wind direction and strength on the heat consumption in the Tomsk houses is significantly less than the outside air temperature. Statistical models of heat consumption are built. It is shown that to evaluate the energy efficiency of residential buildings, it is necessary and sufficient accounting the dynamics of heat consumption depends on the average daily temperature of the outside air.

Keywords: house and communal service, regulation of the thermal energy, climate, measure of dependence, factor-regression model, big data.

### Постановка проблемы

В зданиях непроизводственного назначения, в частности, в жилых домах, потребляется более 40 % энергоресурсов. Большая часть расходуемой энергии используется для отопления и поддержания комфортной температуры жилых помещений [1]. Актуальной проблемой является повышение энергоэффективности жилых многоэтажных зданий, но в снижении общего теплопотребления в первую очередь заинтересованы не ресурсопоставляющие организации и управляющие компании, а сами жильцы. Конечно, основной резерв увеличения энергоэффективности заключается в уменьшении потерь тепла. Но важна также правильная организация регулирования подачи тепловой энергии, при которой изменение подачи зависит от погодных условий. **Целью работы** является исследование зависимости динамики подачи тепловой энергии от силы и направления ветра и температуры наружного воздуха. В свою очередь это приводит к необходимости создания методик сравнения тепловых характеристик жилых домов для выработки рекомендаций по увеличению энергоэффективности зданий [2].

Потенциал исследований динамики теплопотребления на основе данных как альтернатива дорогостоящему инструментальному обследованию в России используется явно недостаточно. По данным статьи [3], с большими данными работают только 20 % компаний, связанных с коммунальным хозяйством. Между тем доступ к таким данным позволяет не только восполнить этот пробел и выявить статистические закономерности в конкретных данных, но и поставить новые математические задачи.

#### Используемые данные

Влияние погодных условий на теплопотребление в жилом фонде рассмотрено в статье [4]. Отмечено, что ветер может влиять на теплопотребление, но сравнительных оценок по ветру и температуре нет. Поэтому для построения моделей представляет интерес выявление значимых факторов и оценка степени влияния погодных условий на теплопотребление.

Исходной информацией для исследования являются данные протоколов коммерческого учёта тепловой энергии в г. Томске [5]. Эти данные были переведены в формат системы Statistica и дополнены информацией по температуре воздуха, направлению и силе ветра с сайта Росгидромета для г. Томска (<https://meteoinfo.ru/archive-pogoda>). На сайте данные хранятся только за последние полгода, поэтому для расчётов был выбран интервал от 1.02.2020 до окончания отопительного сезона. Для сравнения динамики теплопотребления  $Q$  (Гкал.) от разных домов данные были нормированы путём деления каждого временного ряда на максимальное значение:  $Q_{\text{норм}}=Q/\max(Q)$ .

#### Моделирование

На рис. 1 приведены графики динамики потребления тепловой энергии для типичного энергоэффективного двухэтажного дома (1), энергоэффективного многоэтажного дома (2) и многоэтажного дома (3), не соответствующего критериям эффективности.

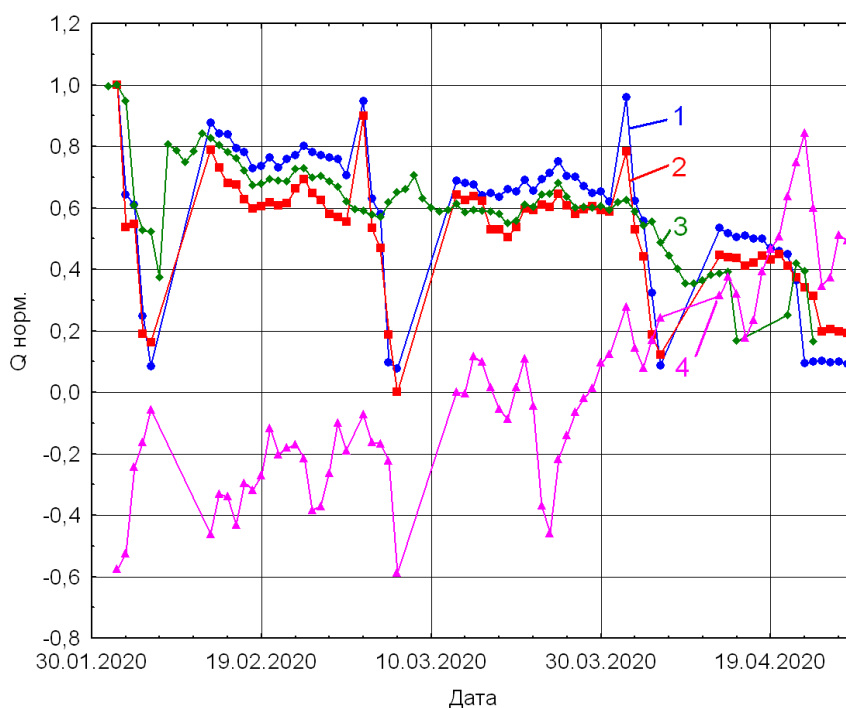


Рисунок 1 – Нормированные зависимости теплопотребления жилых зданий (1)–(3) и температуры (4)

Общим свойством является то, что движение  $Q_{\text{норм}}$  энергоэффективного здания следует на изменение температуры наружного воздуха с учётом некоторой инерционности системы. В аномальном здании нет такой ярко выраженной закономерности.

Скорость и направление ветра в рассматриваемом наборе данных является дискретной переменной. Поэтому оценим влияние этих переменных на теплопотребление, построив боксплоты (рис. 2). Для сравнения с влиянием температуры разобьём эту переменную на интервалы и построим аналогичные графики для выбранных нами характерных зданий (рис. 3).

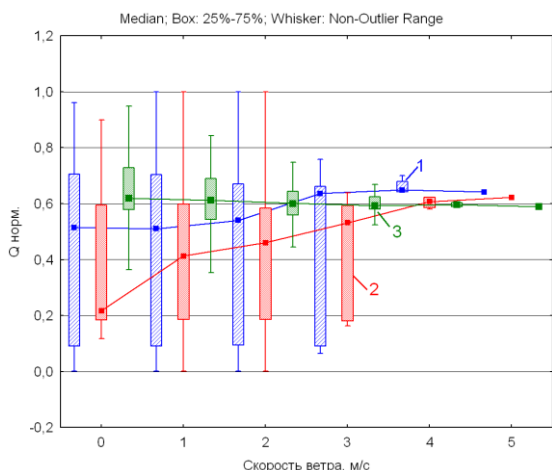


Рисунок 2 – Зависимости нормированного теплопотребления жилых зданий (1)–(3) от скорости ветра

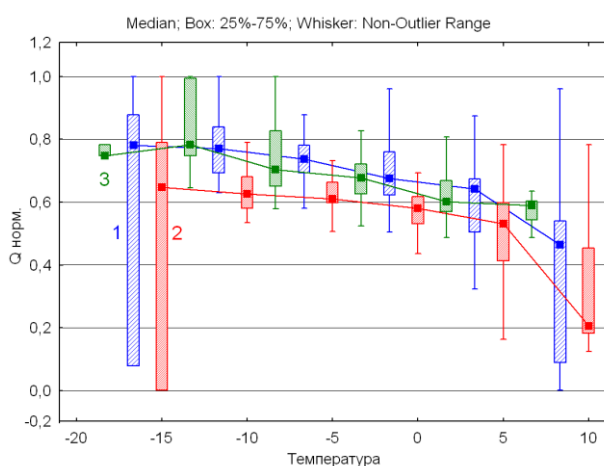


Рисунок 3 – Зависимости нормированного теплопотребления жилых зданий (1)–(3) от температуры

Динамика теплопотребления по отношению к скорости ветра существенно менее выражена, чем для уличной температуры: размеры коробок и усов боксплотов на графиках для ветра больше, чем на графиках для температуры. Для зданий с низкой энергоэффективностью зависимость находится в пределах статистической погрешности. Следует также учесть, что усиление ветра в Томске хорошо коррелирует с повышением температуры. Для направления ветра аналогичных закономерностей нет, и в целом можно считать, что зависимость теплопотребления от ветра незначима по сравнению температурой.

С ростом температуры наружного воздуха теплопотребление в среднем падает примерно одинаково для зданий с разной степенью эффективности. Именно поэтому важны не средние значения, а степень зависимости рядов от теплопотребления и наружной температуры.

Степень эффективности здания можно грубо оценивать по симметрии боксплота теплопотребления. У энергоэффективного дома боксплот симметричен, так как отклонения теплопотребления от среднего значения обусловлены естественными случайными причинами. Несимметрия усов, длинный ящик и сдвиг медианного значения в ящике свидетельствуют о снижении энергоэффективности.

Для выявления сравнительной степени влияния ветра и температуры воспользуемся модулем "общие факторно-регрессионные модели" [6] системы Statistica (рис. 4).

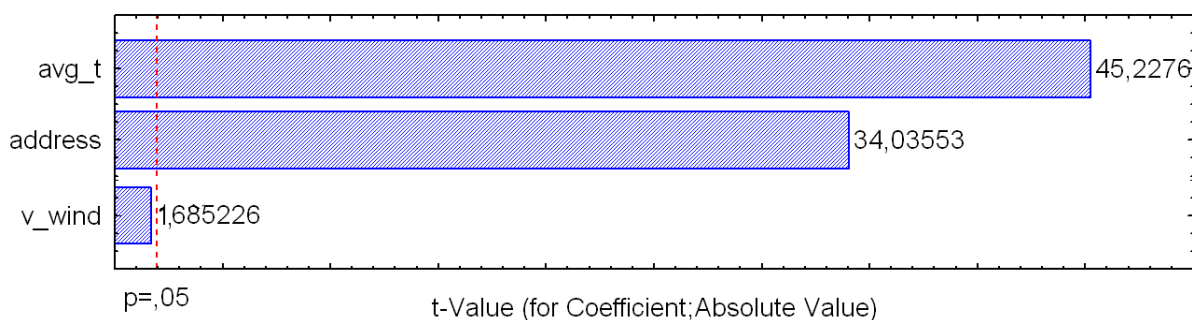


Рисунок 4 – Коэффициенты факторно-регрессионной модели

Коэффициенты факторно-регрессионной модели построены в виде диаграммы Парето, из которой видно, что главным фактором влияния на теплопотребление является температура наружного воздуха (45,22), затем идёт фактор теплозащиты домов (34,03), выраженный в переменной "адрес". Влияние ветра незначимо по уровню 0,05. Вероятно средняя сила ветра в Томске (1 м/с) не такая, чтобы существенно повлиять на теплопотребление, в отличие от уличной температуры.

#### Заключение

Современные управляющие компании, заботящиеся о развитии бизнеса, сегодня заинтересованы в сборе данных о теплопотреблении зданий. Являясь посредником между жителями и теплоснабжающей организацией, они стремятся организовать прозрачный коммерческий учёт энергии. Ряд компаний идёт дальше и повышает энергоэффективность жилого фонда. Тем не менее, в большинстве

случаев действуют они вслепую. Поэтому наличие статистических методик оценки энергоэффективности жилого фонда на основе данных со всего города позволит доказательно определять наилучшие мероприятия, направленные на энергосбережение.

В работе проведен статистический анализ данных учёта тепловой энергии в г. Томске на предмет оценки степени влияния факторов, от которых может зависеть энергоэффективность. Результаты хорошо согласуются с выводами статьи [4] и свидетельствуют о подавляющем влиянии динамики изменения температуры наружного воздуха на энергоэффективность здания по сравнению с влиянием ветра.

#### Благодарности

Работа проведена в рамках научного проекта РФФИ № 20-08-00321. Авторы благодарят А.С. Пономаренко за подготовку данных.

#### Литература

1. Дубинский А.Г. Разработка рекомендательной системы по улучшению энергоэффективности жилых помещений // Информационные технологии. – 2015. – № 2(22). – С. 63–68. – ISSN 2226-3780.
2. Зорин П.А., Купреков С.В., Пуговкин А.В., Стукач О.В. Контроль энергоэффективности теплоснабжения зданий типовой застройки // Электронные средства и системы управления / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). – 2018. – N 1–2. – С. 302–305.
3. Ляпин А.М., Финогеев А.Г. Технологии big data и облачных вычислений для мониторинга объектов энергетики в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Известия ВолгГТУ. – 2016. – С. 54–58.
4. Chenqiu Du, Baizhan Li, Wei Yu, Hong Liu, Runming Yao, "Energy flexibility for heating and cooling based on seasonal occupant thermal adaptation in mixed-mode residential buildings". Energy 189 (2019), 116339. – <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116339>
5. Pavel Zorin, Oleg Stukach, "Data of heating meters from residential buildings in Tomsk (Russia) for statistical modeling of the thermal characteristics of buildings", IEEE Dataport, 2020. [Online]. DOI: 10.21227/55jf-9v60. – <http://iee-dataport.org/2301>.
6. Стукач О.В. Факторное и регрессионное моделирование устройств с переменными состояниями в системе Statistica // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – № 5. – Т. 311. – С. 55–59. – ISSN 1684-8519.

## ПЛАТФОРМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Алтухов А.В., Гостилович А.О.\*, Давидов А.О., Кашкин С.Ю.\*\*, Халютин С.П.

Ассоциация «Электропитание», \*МГУ имени М.В. Ломоносова, \*\* Университет имени О.Е. Кутафина (МГЮА)

В 21 веке цифровые технологии стали неотъемлемой частью хозяйственной деятельности. При этом, цифровая трансформация промышленных предприятий подразумевает не просто использование цифровых технологий в деятельности, но и изменение самого способа производства, трансформацию бизнес-моделей. Глобальная конкурентная среда ставит перед промышленными предприятиями сложные вызовы, что обуславливает новый вектор цифровой трансформации – объединение компетенций промышленных предприятий посредством платформ в экосистемы. Для достижения максимального экономического эффекта и системной полезности с точки зрения циркулярной экономики и устойчивого развития необходимо гармонично сочетать технический, технологический, продуктовый, экономический и юридический аспекты деятельности. В данной статье будут рассмотрены технологическая, экономическая и юридическая платформы, концепция которых разрабатывается в рамках программы «Электродвижение», созданной Ассоциацией «Электропитание» в 2020 году.

Ключевые слова: цифровые технологии, цифровая трансформация, технологическая платформа, экономическая платформа, юридическая платформа, экосистема электротранспорта, программа «Электродвижение».

Platform technologies for electric vehicles. Altoukhov A.V., Gostilovich A.O., Davidov A.O., Kashkin S.Y., Khalyutin S.P.

In the 21st century, digital technologies have become an integral part of economic activity. At the same time, the digital transformation of industrial enterprises implies not just the use of digital technologies in activities, but also a change in the very method of production, the transformation of business models. The global competitive environment poses complex challenges for industrial enterprises, which determines a new vector of digital



transformation - combining the competencies of industrial enterprises through platforms into ecosystems. To achieve the maximum economic effect and systemic usefulness from the point of view of a circular economy and sustainable development, it is necessary to harmoniously combine the technical, technological, product, economic and legal aspects of activities. This article will consider the technological, economic and legal platforms, the concept of which is being developed within the framework of the "Electric propulsion" program, created by the "Power Supply" Association in 2020.

Key words: digital technologies, digital transformation, technological platform, economic platform, legal platform, electric transport ecosystem, "Electric movement" program.

#### Введение

Развитие цифровых технологий открывает новые возможности для развития промышленности. Сетевое симбиотическое взаимодействие компаний на базе платформенных решений является наиболее перспективной возможностью цифровой трансформации [2]. Для достижения сетевого симбиотического взаимодействия компаний необходима технологическая зрелость соответствующей отрасли или отраслей, что, в свою очередь, зависит от общего уровня цифровизации регионов [8]. С этой точки зрения, сфера электротранспорта имеет высокий потенциал для объединения игроков в рамках экосистемы. В авиационной отрасли создание электрических и гибридных самолетов представляет собой одно из самых перспективных направлений деятельности [10]. На мировом рынке уже существует целый ряд индустриальных и продуктовых платформ летающих автомобилей, большинство из которых на электрической тяге [1].

Экосистема электротранспорта способна интегрировать лучшие качества платформенной модели организации бизнеса, что может способствовать росту конкурентоспособности отдельных участников экосистемы [3]. Сквозной технологией платформенной модели является искусственный интеллект (ИИ), правовые аспекты регулирования которого выходят за рамки правовых песочниц и гильотин и представляют собой перспективное поле для научных исследований, результаты которого, по всей вероятности, будут иметь персонализированный характер в зависимости от конкретных обстоятельств ведения хозяйственной деятельности с использованием платформ и ИИ [5].

В 2020 году 14 августа на общем собрании членов Ассоциации разработчиков, изготовителей и потребителей средств электропитания "Электропитание" была принята программа «Электродвижение», целью которой стало создание экосистемы электротранспорта, которая будет объединять компетенции 16 предприятий - членов Ассоциации. Открытость Ассоциации «Электропитание» для привлечения новых участников и направленность программы «Электродвижение» на максимальное использование российской технологической базы для создания электротранспорта будущего обусловлены практическими целями достижения глобальной конкурентоспособности и устойчивого развития. Для развития 6 продуктовых направлений деятельности программы «Электродвижение»: электрические водные аппараты, наземный электротранспорт, электрические летательные аппараты, электроусилители движения человека, инфраструктура для пополнения электроэнергией, интегрированная информационная система будут разработаны модульные технические платформы для создания продуктов и разработаны 5 платформ разного уровня и спецификации: технологическая платформа, платформа упаковки, экономическая платформа, юридическая платформа, цифровая платформа.

В рамках программы «Электродвижение» предприниматели получают возможность создавать стартапы в 6 продуктовых сферах на основе произведенных членами Ассоциации «Электропитание» модульных технических платформ, а также использовать технологическую платформу для разработки продукта и платформу упаковки для увеличения конкурентоспособности дизайна продукта, при этом экономическая платформа будет обеспечивать рациональное распределение денежных потоков и управление, юридическая платформа создаст необходимую правовую структуру, а цифровая платформа обеспечит интеграцию всех уровней для обеспечения взаимодействия участников экосистемы. Целью данной статьи является концептуальное описание технологической, экономической и юридической платформ программы «Электродвижение».

#### Технологическая платформа

Все виды электротранспорта в общем случае состоят из базовых элементов – источников электроэнергии, преобразователей, электромеханических приводов, механических конструктивных элементов, систем управления, светотехнического, приборного и др. оборудования. Получение конечного продукта связано со специфическими технологическими процедурами, связанными с объединением их в единый комплекс, выполняющий функции по назначению. Для перехода к платформенным технологическим решениям, направленным на снижение временных и стоимостных затрат, необходимо совершенствовать процедуры и технологии сборки изделий на единых унифицированных интерфейсах, а также унифицировать ряды технических модулей, из которых они будут собираться.

#### Экономическая платформа

Экономическая платформа «Электродвижение» представляет собой совокупность экономических принципов взаимодействия производителей, стартапов и потребителей посредством автоматизированных транзакций. Архитектура взаимоотношений между участниками должна быть гибкой, персонализированной и прозрачной, что способствует быстрому и качественному росту сети пользователей платформы [9]. Для достижения упомянутых характеристик экономической платформы необходимо применение современных технологий обработки и анализа данных, интернет вещей и искусственный интеллект. Современные технологические достижения позволяют в реальном времени собирать, обрабатывать и анализировать информацию производителей, чтобы стартапы могли формировать наиболее привлекательные и экономически выгодные для потребителей предложения и бизнес-модели [4]. В этом и заключается цель экономической платформы – обеспечить наилучшие экономические условия для ведения деятельности участников экосистемы электротранспорта.

Экономическая платформа охватывает не только финансовый аспект, но и управленческий, так как механизмы управления экосистемой имеют разные формы, особенности и характеристики. Структура управления экосистемы может варьироваться от централизованной и авторитарной до более дифференцированной формы с расширенными правами и возможностями пользователей. Научные исследования показывают, что степень сложности регистрации и верификации пользователей влияет на количество транзакций внутри платформы – чем больше открытость экосистемы для входа новых участников, тем больше полезность экосистемы в целом, но также и возрастают риски, негативный эффект от которых может нивелировать любые положительные эффекты [12]. Экономическая платформа программы «Электродвижение» подразумевает централизованную структуру управления и дифференцированную открытость по отношению к участникам экосистемы: потребители – высокая, стартапы – средняя, производители – низкая.

Стоит отметить, что для разрабатываемой в рамках программы «Электродвижение» экосистемы электротранспорта сетевые эффекты свойственны в меньшей степени, чем рост ценности экосистемы для отдельного участника по мере роста числа участников [13]. Поэтому, основным экономическим преимуществом экосистемного подхода к организации деятельности за счет платформ является максимальное извлечение пользы из снижения транзакционных издержек. Теория фирмы Рональда Коуза [11] объясняет рост организации целесообразностью экономии на транзакциях за счет эффекта масштаба. В условиях стремящихся к нулю транзакционных издержек, компаниям становится экономически целесообразнее кооперироваться, чем сохранять вертикально-интегрированную структуру. Экосистема электротранспорта, разрабатываемая в рамках программы «Электродвижение» Ассоциации «Электропитание», предполагает объединение в одном информационном пространстве потребителей, стартапов и производителей, что позволит извлекать максимальную выгоду за счет эффекта масштаба.

#### Юридическая платформа

Правовые песочницы и правовая гильотина создали возможность вести инновационный бизнес в российской правовой среде. Однако, для регулирования некоторых технологий данных инструментов может быть недостаточно [6]. Экосистема электротранспорта, создаваемая в рамках программы «Электродвижение», подразумевает широкое использование технологий ИИ, правовые аспекты регулирования которого, вплоть до настоящего времени, вызывают разногласия в большинстве развитых стран [7]. Юридическая платформа программы «Электродвижение» будет совмещать в себе передовые инструменты правового регулирования инновационной деятельности и новых технологий, охватывать все транзакции взаимодействия участников экосистемы электротранспорта между собой и с потребителями. Для обеспечения доверия внутри сети будут применяться смарт-контракты. В целом, правовые вопросы юридической платформы «Электродвижение» требуют формирования новой комплексной отрасли права.

#### Выводы

Платформенные междисциплинарные решения, прорабатываемые в рамках программы «Электродвижение» могут позволить производителям конечных продуктов уже на этапе компьютерного прототипирования оценивать их облик, стоимость, а также предлагать потенциальным покупателям решение правовых вопросов, касающихся их применения.

Создание и наполнение всех категорий платформ – задача для разработчиков и производителей средств электропитания, которые обладают (или должны развивать) необходимыми компетенциями и производственной базой.

Все рассмотренные платформы должны объединяться на основе многоуровневых информационных платформ, которые, в том числе, должны включать единую систему исходных данных, а также всю совокупность разработанных и используемых стандартов.

Литература

1. Алтухов А. В., Кашкин С. Ю. Современное состояние разработок индустриальной и продуктовой платформы летающих автомобилей на базе искусственного интеллекта // Вестник РосНОУ, серия Человек и общество. — 2020. — № 2. — С. 130–141.
2. Алтухов А. В., Тищенко С. А., Иващенко Н. П. Математическое моделирование сетевого симбиотического взаимодействия компаний на базе платформенных решений // Математика, компьютер, образование. — Т. 27. — Ижевский институт компьютерных исследований г. Ижевск, 2020. — С. 212–212.
3. Гостилович А. О., Иванов К. А. Повышение конкурентоспособности промышленных предприятий и экономика совместного потребления // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Экономика. Социология. Менеджмент. — 2019. — Т. 9, № 3. — С. 236–243.
4. Груздева Е. В., Гостилович А. О. Типология бизнес-моделей в экономике совместного потребления // Трансформация бизнес-моделей в условиях цифровой экономики / Под ред. Н. П. Иващенко. — Сборник материалов научно-практической конференции Неделя инноваций 12-18 декабря 2017г. — ТЕИС Москва, 2018. — С. 28–40.
5. Кашкин С. Ю., Алтухов А. В. В поисках концепции правового регулирования искусственного интеллекта: платформенные правовые модели // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина. — 2020. — Т. 68, № 4. — С. 26–40.
6. Кашкин С.Ю. Правовое регулирование применения технологий искусственного интеллекта и робототехники как формирующаяся новая комплексная отрасль права в наиболее репрезентативных государствах и международных интеграционных объединениях: постановка проблемы // Вестник Российского нового университета. Серия: Человек и общество. 2019. № 3. С. 134-144.
7. Кашкин С.Ю., Покровский А.В. Искусственный интеллект, робототехника и защита прав человека в европейском союзе // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). 2019. № 4 (56). - 64-90.
8. Лapidус Л. В., Леонтьева Л. С., Гостилович А. О. Минимальная цифровая корзина российских регионов для трансформации промышленности // Государственное управление. Электронный вестник. 2019. №77. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/minimalnaya-tsifrovaya-korzina-rossiyskih-regionov-dlya-transformatsii-promyshlennosti> (дата обращения: 09.07.2020).
9. Моazed А., Джонсон Н. Платформа: Практическое применение революционной бизнес-модели; пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, 2020. – 288 с.
10. Халютин С.П., Давидов А.О., Жмуров Б.В. Электрические и гибридные самолеты: перспективы создания // Электричество. 2017. № 9. С. 4-16.
11. Coase, Ronald. The Nature of the Firm // *Economica*, Vol. 4, No. 16, November 1937 pp. 386—405
12. Schreieck M., Hein A., Wiesche M., Krcmar H. (2018) The Challenge of Governing Digital Platform Ecosystems. In: Linnhoff-Popien C., Schneider R., Zaddach M. (eds) *Digital Marketplaces Unleashed*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49275-8\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49275-8_47)
13. Van Alstyne, M., & Parker, G. (2017). Platform Business: From Resources to Relationships, *Marketing Intelligence Review*, 9(1), 24-29. doi: <https://doi.org/10.1515/gfkmir-2017-0004>

#### ГЛАВА 4. АНТЕННЫ, СВЧ ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

##### О ПРОБЛЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Бакалов В.П.  
СибГУТИ  
+7 (913) 912-41-11, bvp@sibsutis.ru

В работе рассматриваются вопросы измерения биоэлектрических полей. Определяется оптимальная структура информационно-измерительной системы (ИИС) измерения многомерной информации, показано, что наиболее оптимальной является пространственно-временная система измерений, позволяющая извлечь всю необходимую информацию для корректной постановки и решения обратных биофизических задач и существенно повысить помехоустойчивость и эффективность ИИС.

Ключевые слова: биоэлектрические поля, информационно-измерительная система, помехоустойчивость и эффективность.

On the problem of measuring bioelectric fields. Bakalov V.P. SibSUTIS

The paper deals with the measurement of bioelectric fields. The optimal structure of the information-measuring system (IMS) for measuring multidimensional information is determined, it is shown that the most optimal is the space-time measurement system, which allows you to extract all the necessary information for the correct formulation and solution of inverse biophysical problems and significantly increase the noise immunity and efficiency of IIS.

Keywords: bioelectric fields, information-measuring system, noise immunity and efficiency.

Живой организм характеризуется огромным числом разнообразных по своему происхождению и свойствам параметров, важнейшие из которых – электрические явления, протекающие во всех органах и тканях живого организма. В этой связи измерение биоэлектрических полей является важнейшей задачей получения достоверной информации о биологических процессах, происходящих в различных органах и тканях живого организма. Однако современные методики базируются в основном на измерении не полноразмерных реализаций биоэлектрических полей, а их реализаций меньшей размерности: в основном биоэлектрических процессов, что не позволяет корректно решать задачи по восстановлению параметров первичных источников биоэлектрической активности по результатам подобных измерений. И главная проблема здесь – отсутствие многомерных измерителей. В представленной работе исследуются некоторые вопросы организации многомерных измерений биоэлектрических полей.

Характерной особенностью биологических измерений является косвенный характер получаемых данных. В ходе эксперимента обычно регистрируется не первичное поле  $x$  в исследуемой структуре, а некоторое его проявление  $u$  (рис. 1).

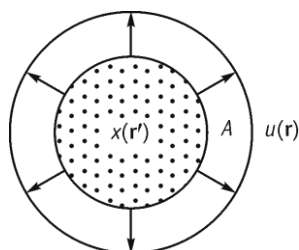


Рисунок 1 – Отображение первичных источников  $x$  в наблюдаемое поле  $u$

Причинно-следственные связи между полем  $x(\mathbf{r}') = x$  и наблюдаемым полем  $u(\mathbf{r}) = u$  можно отобразить с помощью пространственно-временного оператора (ПВО) –  $A$ :

$$Ax = u \quad (1)$$

На базе операторного уравнения (1) могут быть решены как прямая задача – восстановление поля по результатам моделирования поля первичных источников  $x$  и заданных свойствах среды, так и обратные задачи – восстановление по результатам измерения  $u(\mathbf{r})$  характера поля  $x(\mathbf{r}')$  в пространстве  $\mathbf{r}' = (t', \mathbf{R}')$  (при заданном  $A$ ) и определение свойств биосреды ( $A$ ) при заданной модели поля  $x(\mathbf{r}')$ . Из этих задач наибольший интерес представляет задача восстановления параметров источников  $x(\mathbf{r}')$  по результатам измерений  $u(\mathbf{r})$  и принятой модели оператора  $A$ . Эта задача относится к классу некорректно поставленных задач вследствие нарушения условий разрешимости, единственности и устойчивости и для своего решения

требует специальных методов [1, 2]. При этом одной из первых принципиальных проблем, с которой приходится сталкиваться при организации многомерных измерений биоэлектрических полей, это определение оптимального числа пространственно-временных координат, необходимых для восстановления характеристик измеряемого поля.

Определим минимальное число измерительных каналов и оптимальное расположение точек измерения в пространстве, используя информацию о корреляционно-спектральных характеристиках поля  $u(\mathbf{r})$ . Рассмотрим вначале плоскостное сечение поля:

$$u(x, y) = u(\mathbf{r})\delta(t - t_0)\delta(z - z_0).$$

Предположим, что известно линейное сечение функции корреляции поля  $B(y)$ , тогда число точек измерения на единицу длины  $\Delta s$  определяется как

$$\Delta n = \Delta s/l(y), \quad (2)$$

где  $l(y)$  – радиус корреляции поля. Переходя в (2) к дифференциалам и учитывая, что  $ds = \sqrt{1 + y^2} dx$ , получим уравнение, определяющее общее число точек измерения

$$[n] = \int_0^{x_1} \left( \sqrt{1 + \dot{y}^2} / l(y) \right) dx. \quad (3)$$

Задача нахождения координат минимального числа точек измерений сводится к простейшей вариационной задаче по нахождению минимума функционала (3) с граничными условиями  $y(0) = 0$ ;  $y(x_1) = y_1$ . В случае однородной изотропной среды радиус корреляции определяется уравнением [4]:  $l = \sqrt{\pi}/2 \cdot 1/\alpha$ , где  $\alpha$  – коэффициент затухания в среде. Учитывая, что с удалением от оси  $x$  вследствие интегрирующих свойств биосреды, радиус корреляции увеличивается, примем  $l(y) = y^n$  ( $n \geq 0$ ). Тогда экстремали, определяющие оптимальное расположение точек измерения, определяются уравнением

$$\frac{\sqrt{1 + \dot{y}^2}}{\sqrt{\frac{1}{\alpha^2} + \frac{y^{2n}}{2}}} = \frac{ay^2}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha^2} + \frac{y^{2n}}{2}\right)(1 + \dot{y}^2)}}, \quad (4)$$

где  $a$  – постоянная интегрирования определяется из граничных условий. При этом экстремали  $y_0(x)$ , минимизирующие (3), определяют оптимальное расположение точек измерения в плоскости  $(xy)$ . Ясно, что вид  $y_0(x)$  будет зависеть от характера изменения радиуса корреляции поля  $B(y)$ . Если, например, положить, что радиус корреляции растет линейно с  $y$ , то  $y_0(x)$  будет представлять собой дугу окружности, при  $l(y) = \sqrt{y}$  получаем циклоиду, при  $l(y) = \text{const}$  – прямую и т.д.

Аналогичным образом можно решить задачу оптимального расположения объемной системы точек измерения. Например, в случае анизотропного поля с радиусом пространственной корреляции  $l(\mathbf{r}) = l(x, y, z)$  задача сводится к нахождению экстремалей функционала

$$[n] = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sqrt{1 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}{l(x, y, z)} dx \quad (5)$$

при заданных граничных условиях.

Минимизация (5) приводит к системе дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial l(x, y, z)}{\partial y} \cdot \frac{\sqrt{1 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}{l^2(x, y, z)} + \frac{d}{dx} \frac{\dot{y}}{l(x, y, z)\sqrt{1 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} &= 0 \\ \frac{\partial l(x, y, z)}{\partial z} \cdot \frac{\sqrt{1 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}{l^2(x, y, z)} + \frac{d}{dx} \frac{\dot{z}}{l(x, y, z)\sqrt{1 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

определяющих искомые координаты точек измерения.

Следует отметить, что при многомерных измерениях необходимо также учитывать влияние общих и специфических помех (физиологические, артефактные, методические, шумы и искажения и др. [1, 4]), приводящих к ошибкам измерений [1, 3]. Влияние помех на точность многомерных измерений можно учесть на основе решения задачи по минимизации критерия среднего риска [3]:

$$R = \iint_V \Pi(u, \hat{u}) p(\hat{u}/u) p(u) du d\hat{u}, \quad (7)$$

где  $\Pi(u, \hat{u})$  – функция потерь, характеризующая убытки от неправильной оценки измеряемой величины,  $p(u)$  – априорная плотность вероятности измеряемого поля,  $p(\hat{u}/u)$  – условная плотность вероятности оценок по всей области измерений  $V$ .

Что касается ошибки регуляризации, то ее принято оценивать величиной [2]

$$\Delta x_{\alpha}(\mathbf{r}) = x_{\alpha}(\mathbf{r}) - x(\mathbf{r}), \quad (8)$$

где  $x_{\alpha}(\mathbf{r})$  – приближенное,  $x(\mathbf{r})$  – точное решение.

В условиях действия указанных выше помех имеет место еще среднеквадратические ошибки (СКО)

$$\delta^2 = \mathbf{M}\{[\tilde{x}_{\alpha}(\mathbf{r}) - x_{\alpha}(\mathbf{r})]^2\}, \quad (9)$$

где  $\tilde{x}_{\alpha}(\mathbf{r})$  – приближенное решение обратной задачи при наличии помех.

В заключении найдем связь ошибок измерений с ошибками в оценке параметров полей биопотенциалов. Для этого определим характер модуля непрерывности  $\omega(\alpha)$  для операторного уравнения (1), характеризующий оценку уклонения приближенного решения  $x_{\alpha}$  от точного  $x$  и удовлетворяющего условию [2]  $\|x - x_{\alpha}\| \leq 2\omega(\alpha)$ .

Рассмотрим наиболее важные для биоизмерений случаи мультипликативного и аддитивно-мультипликативного формирования наблюдаемого поля [4]. Для первого случая, представив оператор  $A$  из (1) в форме  $A = \prod_{i=1}^n A_i = A_0^{2^m}$ , на основании известных свойств линейного оператора [2] можно получить  $\omega(\alpha) = \alpha^{(1/2)^m}$ , а для второго случая  $A = \sum_{j=1}^l \prod_{i=1}^n A_{ij}$  получить  $\omega(\alpha) = |1/l|^{2^m-1} \cdot \alpha^{(1/2)^m}$ .

Из полученных уравнений видно, что для оценки величины  $x$  с точностью  $\alpha$  для первой схемы необходимо осуществить измерения наблюдаемого поля  $u(\mathbf{r})$  с точностью не менее  $\alpha^{2^m}$ , а для второй – с точностью не менее  $|1/l|^{2^m-1} \alpha^{2^m}$ . Отсюда следует, что использование второй схемы может существенно снизить требование к точности измерительной аппаратуры, и тем сильнее, чем больше число параллельных измерительных каналов, либо при заданной точности аппаратуры с большей точностью получить оценку  $x(\mathbf{r})$ . Учитывая, что поле биопотенциалов от заданной системы источников обычно формируется по нескольким различным путям, становится очевидной выгодность использования параллельной пространственно-временной системы измерения.

Важным достоинством пространственно-временной системы является также возможность существенного повышения помехоустойчивости ИИС путем использования отличительных свойств полей сигнала и помех во времени и пространстве. Так, на базе пространственно-временной ИИС может быть реализован метод латеральных обратных связей [5], который позволяет эффективно бороться со специфическими помехами.

#### Заключение

Определена оптимальна пространственно-временная структура измерений биоэлектрического поля, позволяющая восстановить параметры первичных источников биоэлектрической активности по итогам измерения вторичного поля.

Определено минимальное число измерительных каналов и оптимальное расположение точек измерения в пространстве, используя информацию о корреляционно-спектральных характеристиках поля  $u(\mathbf{r})$ .

Показано, что при выборе точек измерения необходимо принимать во внимание не только свойство исследуемого поля, но и характеристики помех и ошибки регуляризации. Установлена связь ошибок измерений с ошибками в оценке параметров полей биопотенциалов.

Показано, что поскольку поле биопотенциалов обычно формируется по аддитивно-мультипликативному принципу, то наиболее оптимальным является пространственно-временная система измерения, позволяющая не только извлечь всю доступную информацию об исследуемом объекте, но и необходимую для корректной постановки и решения обратной физиологической задачи, но и существенно повысить помехоустойчивость измерительной системы.

#### Литература

1. Бакалов В.П. Электросвязь в биологии и медицине. – М.: Радио и связь, 1998, 176 с.
2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1974, 224 с.
3. Бакалов В.П., Субботин Е.А. Оптимизация многомерных информационно-измерительных систем. – Новосибирск, Наука, 2009. – 456 с.
4. Бакалов В.П., Миррахимов М.М. Вероятностные модели электрофизиологических процессов и полей. – Фрунзе: Илим, 1984. – 205 с.
5. Бакалов В.П., Субботин Е.А. Обработка сигналов в системах с латеральными связями. М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 178 с.

ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С ЛАТЕРАЛЬНЫМИ СВЯЗЯМИ

Бакалов В.П.  
СибГУТИ  
+7 (913) 912-41-11, bvp@sibsutis.ru

В данной работе рассматриваются вопросы оптимизации структуры инфокоммуникационных сетей (ИКС) с внутрислойными и межслойными латеральными обратными связями (ЛОС) по критериям помехоустойчивости. Определяется оптимальное число ЛОС, минимизирующих среднеквадратичную ошибку (СКО) на выходе ИКС при различных соотношениях между флуктуационными помехами на входе и шумами ЛОС.

Ключевые слова: инфокоммуникационные сети, латеральные обратные связи, среднеквадратические ошибки.

On the optimal structure of the infocommunication network with lateral connections. Bakalov V.P. SibSUTIS

This paper discusses the optimization of the structure of infocommunication networks (ICS) with intralayer and interlayer lateral feedbacks (VOCs) according to noise immunity criteria. The optimal number of VOCs is determined that minimize the mean square error (RMS) at the ICS output for various ratios between fluctuation noise at the input and VOC noise.

Keywords: infocommunication networks, lateral feedbacks, root mean square errors.

Принцип латеральных обратных связей (ЛОС) является одним из важнейших принципов функционирования нейронных сетей в различных биологических системах, который позволяет реализовать разнообразные функции по обработке, выделению и различению чрезвычайно слабых сигналов на фоне интенсивных помех [1-3]. Как показано в [4-6] этот принцип можно успешно использовать и в инфокоммуникационных сетях (ИКС) для повышения их помехоустойчивости и эффективности.

В данной работе исследуются вопросы оптимизации многокаскадных инфокоммуникационных сетей (ИКС) с внутрикаскадными и межкаскадными шумящими ЛОС по критериям помехоустойчивости. На рис. 1 представлена  $n$ -канальная  $m$ -каскадная ИКС с идентичными функциональными элементами (ФЭ), обеспечивающими обработку и передачу сигналов  $x_1, x_2, \dots, x_n$  к последующему каскаду. Будем считать, что каждый ФЭ усиливает сигнал своего канала (по прямым каналам) и тормозит (подавляет) через ЛОС сигнал соседних каналов. Положим, что на вход каждого канала ИКС поступает аддитивная смесь полезного сигнала  $x$  и помех от  $(n-1)$  с шумами соседних  $(n-1)$  ЛОС.

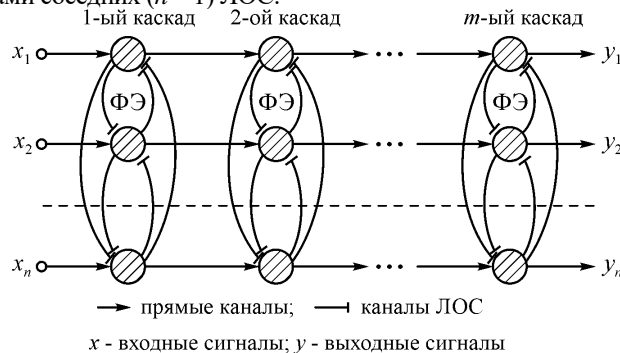


Рисунок 1 –  $m$ -каскадные ИКС с межкаскадными ЛОС

Причем будем считать, что помехи соседних каналов и шумов ЛОС взаимно независимы и при  $n \gg 1$  приближаются к нормальному флуктуационному шуму. Из рис. 1 нетрудно видеть, что среднеквадратическая ошибка (СКО) на выходе первого каскада определяется уравнением

$$\varepsilon_1^2 = \frac{\varepsilon^2}{(n-1)} + (n-1)\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2, \quad (10)$$

где  $\varepsilon$  – СКО первого каскада обусловленная действием флуктуационных помех от соседних каналов;  $\varepsilon_{\text{ЛОС}}$  – СКО, вызванная шумами ЛОС соседних  $(n-1)$  каналов первого каскада.

Аналогично можно найти СКО на выходе  $m$ -го каскада:

$$\varepsilon_m^2 = \frac{1}{(n-1)^m} \left[ \varepsilon^2 + \varepsilon_{\text{ЛОС}}^2 \sum_{k=2}^{m+1} (n-1)^k \right]. \quad (11)$$

При достаточно большом  $m$ , СКО на выходе  $m$ -го каскада ИКС определится уравнением

$$\varepsilon_m^2 \approx \frac{\varepsilon^2}{n^m} + m\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2. \quad (12)$$

Из уравнения (12) следует, что с одной стороны для уменьшения СКО на выходе  $m$ -каскадной ИКС от действия помех соседних каналов необходимо увеличивать число каскадов  $m$ , а с другой при достаточно большом  $m$  СКО  $\varepsilon_m^2$  будет определяться уже только от действия помех ЛОС  $\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2$ .

Оптимальное число ЛОС в каскаде можно найти из условия

$$n_{\text{опт}} = \sqrt[m+1]{m\varepsilon^2/\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2}. \quad (13)$$

При этом минимальное значение СКО на выходе ИКС определяется уравнением

$$\min \varepsilon_m^2 = \sqrt[m+1]{\varepsilon_m^2 \varepsilon_{\text{ЛОС}}^2} + \sqrt[m+1]{\varepsilon^2 \varepsilon_{\text{ЛОС}}^{2m}}. \quad (14)$$

Как следует из (13) и (14) оптимальное число ЛОС  $n_{\text{опт}}$  и минимальное значение СКО  $\min \varepsilon_m^2$  будет зависеть не только от числа каналов  $n$  и каскадов  $m$  ИКС, но и от соотношения между СКО  $\varepsilon^2$  от действия флуктуационных помех на входе ИКС и от СКО  $\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2$  – от помех, создаваемых ЛОС.

На рис. 2 приведены зависимости СКО на выходе ИКС от числа каналов  $n$  для различного числа каскадов  $m$  при отношении  $\varepsilon^2/\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2 = 100$ , а на рис. 3 приведены зависимости оптимального числа ЛОС  $n_{\text{опт}}$  от соотношения между СКО  $\varepsilon^2$  и СКО  $\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2$ .

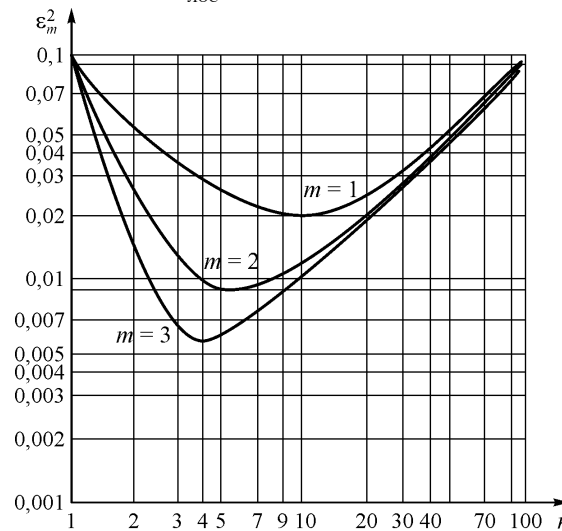


Рисунок 2 – Зависимости СКО на выходе ИКС с внутрислойными ЛОС от числа каналов

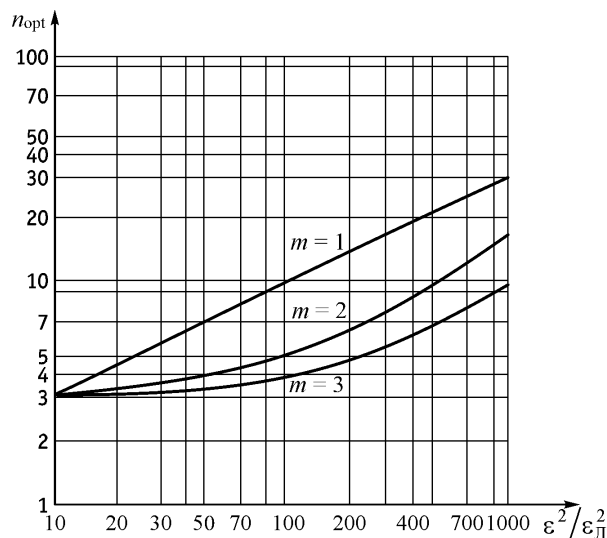


Рисунок 3 – Зависимости оптимального числа ЛОС от соотношения между СКО от помех на входе ИКС  $\varepsilon^2$  и СКО от шумов  $\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2$



Из представленных графиков следует, что с увеличением числа каналов и, следовательно, числа ЛОС  $\varepsilon_m^2$  уменьшается, достигая  $\min \varepsilon_m^2$  при  $n_{\text{опт}}$ , а затем увеличивается вследствие увеличения уровня шумов ЛОС. При этом с увеличением числа каскадов этот минимум  $\min \varepsilon_m^2$  уменьшается и сдвигается в сторону меньших значений  $n_{\text{опт}}$ .

Из графиков, представленных на рис. 3 следует также, что оптимальное число ЛОС, а следовательно и минимум результирующей ошибки СКО будет зависеть также от отношения СКО флуктуационных помех  $\varepsilon^2$  и шумов ЛОС  $\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2$ . Максимально допустимое число ЛОС можно приблизительно определить из соотношения  $n_{\text{max}} < \varepsilon^2 / \varepsilon_{\text{ЛОС}}^2$ .

Из вышеизложенного также следует, что варьировать в широких пределах числом ЛОС в случае, когда  $n$  – определяется числом передаваемых сигналов (параметров) в ИКС затруднительно, поэтому необходимо охватывать каналами ЛОС только наиболее мешающие источники помех.

Рассмотрим теперь случай ИКС с внутрикаскадными и межкаскадными ЛОС. На рис. 4 изображена  $n$ -канальная ИКС с внутрикаскадными и смежными межкаскадными ЛОС.

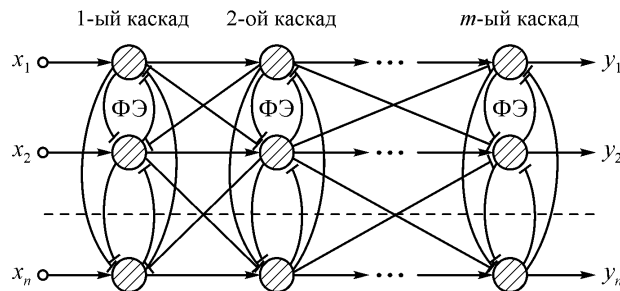


Рисунок 4 –  $n$ -канальная ИКС с внутрикаскадными и смежными межкаскадными ЛОС

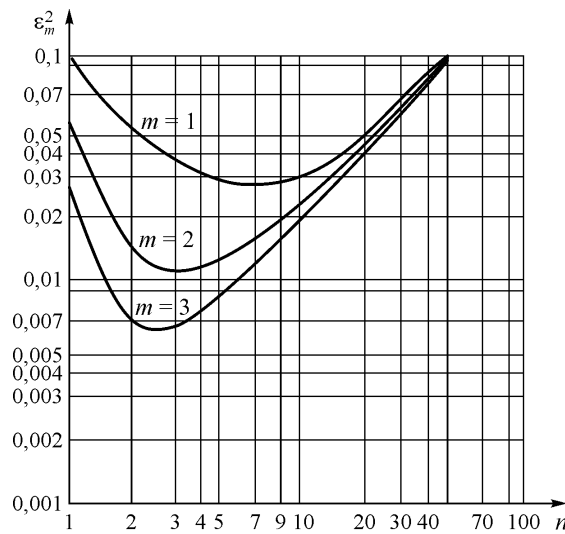


Рисунок 5 – Зависимость СКО на выходе ИКС с внутрислойными и межслойными ЛОС

По аналогии со схемой (рис. 1) можно показать, что СКО на выходе ИКС при  $n \gg 1$  будут определяться уравнением

$$\varepsilon_m^2 \approx \frac{2\varepsilon^2}{(2n)^m} + 2n\varepsilon_{\text{ЛОС}}^2, \quad (15)$$

а оптимальное число ЛОС, минимизирующих  $\min \varepsilon_m^2$  на выходе ИКС, уравнением

$$n_{\text{опт}} = {}^{m+1}\sqrt{m\varepsilon^2 / 2^m \varepsilon_{\text{ЛОС}}^2}. \quad (16)$$

На рис. 5 представлена зависимость  $\varepsilon_m^2$  от числа каналов  $n$  для этого случая. Сравнение уравнений (12) и (16) и графиков рис. 2 и 5 показывает, что СКО для второй схемы с внутрикаскадными и межкаскадными ЛОС оказывается больше, поэтому ее использование целесообразно только при малых шумах ЛОС в многоканальных ИКС в условиях сильных помех на входе от малого числа мешающих источников.

#### Заключение

Определены среднеквадратические ошибки (СКО) на выходе  $n$ -канальной ИКС с внутрикаскадными ЛОС и ИКС с внутрикаскадными и межкаскадными ЛОС.

Найдено оптимальное число каналов ЛОС минимизирующих СКО на выходе  $m$ -каскадной ИКС с внутрикаскадными и межкаскадными ЛОС.

Показано, что с увеличением числа каскадов  $m$  минимальная СКО на выход ИКС уменьшается, сдвигаясь в область малых значений ЛОС, а с увеличением отношений СКО от помех на входе к помехам от ЛОС оптимальное количество ЛОС растет. Все это позволяет в зависимости от числа каналов передаваемой информации, уровня помех на входе ИКС, уровня шумов ЛОС, числа мешающих источников выбрать оптимальную структуру ЛОС, обеспечивающую минимум СКО на ее выходе.

#### Литература

1. Теория связи в сенсорных системах. – М.: Мир, 1964; 514 с.
2. Бакалов В.П. Электросвязь в биологии и медицине. – М.: Радио и связь, 1988. 196 с.
3. Бакалов В.П. Методы биотелеметрии. – Л.: Наука, 1983. 176 с.
4. Бакалов В.П., Черных Ю.С. Использование принципа латеральных связей для обработки дискретных сигналов. Вестник СибГУТИ. 2015, № 3, с. 44-53.
5. Бакалов В.П., Субботин Е.А. Исследование влияния шумов латеральных связей на помехоустойчивость систем обработки дискретных сигналов. Вестник СибГУТИ, 2014, № 2. с. 42-49.
6. Бакалов В.П., Субботин Е.А. Исследование помехоустойчивости дискретных фильтров с латеральными связями. Вестник СибГУТИ, 2015. № 3. с. 89-95.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

<sup>1</sup>Бушмелева К.И., <sup>1</sup>Димитриева Е.А., <sup>2</sup>Занг Ван Тхань, <sup>2</sup>Дао Ань Куан

<sup>1</sup>Сургутский государственный университет, <sup>2</sup>МИРЭА - Российский технологический университет

В данной работе описан процесс создания автоматизированной системы оптимизации компоновки элементов в электронных средствах. Основная задача которой будет заключаться в поиске минимального значения температуры для всех компоновок, которые составит пользователь данной системы за один сеанс работы. Данная система позволит сократить время работы пользователя, повысит эффективность и автоматизирует процесс компоновки электронных средств. Оптимизация компоновки повысит качество и надежность проектируемых электронных средств.

Ключевые слова: автоматизированная система, критерии оптимизации, компоновка элементов, электронные средства, оптимизационные решения, температурный режим

Automated system of optimization of element layout in electronic means. <sup>1</sup>Bushmeleva K.I., <sup>1</sup>Dimitrieva E.A., <sup>2</sup>Zang Wan Thanh, <sup>2</sup>Dao An Quan. <sup>1</sup>Surgut state University, <sup>2</sup>MIREA - Russian technological University.

This paper describes the process of creating an automated system for optimizing the layout of elements in electronic means. The main task of which will be to find the minimum temperature value for all layouts, which will be made by the user of this system in one session. This system will reduce the user's work time, increase efficiency and automate the process of assembling electronic devices. Optimizing the layout will improve the quality and reliability of the electronic design.

Keywords: automated system, optimization criteria, arrangement of elements, electronic means, optimization solutions, temperature conditions

Высокая сложность современных электронных средств (ЭС) приводит к необходимости автоматизации задач размещения, трассировки, расчета тепловых режимов, электромагнитного взаимодействия компонентов на печатной плате. В связи с этим автоматизированные системы (АС) различного назначения широко внедряются в сферу радиопромышленности. При этом необходимо отметить, что вместе с наращиванием объема проектируемых схем повышаются запросы к их качеству. Проблема качества проектируемых схем существовала всегда, но только в последние десятилетия появились решения, которые позволяют более эффективно ее решать.

К конструкциям современных ЭС предъявляются достаточно высокие требования по технологичности и эксплуатационным характеристикам. Это: максимальная плотность монтажа элементов, жесткие ограничения по массогабаритным характеристикам, обеспечение высокого удельного тепловыделения, высокая степень стабильности характеристик [1]. Верное решение данной задачи позволит обеспечить высокую надежность проектируемого устройства.

Конструкторское решение, в котором достигаются наилучшие значения технико-экономических показателей, представляющих интерес, называется оптимальным. Показатель, по значению которого делают вывод об оптимальности решения, называют критерием оптимизации. В связи с этим конструкторы, занимающиеся проектированием электронных средств, очень нуждаются в автоматизированной системе, которая бы автоматически рассчитывала критерий оптимизации и тем самым ускоряла работу и повышала качество электронных средств.

Компоновка – размещение на плоскости или в пространстве различных элементов электронной аппаратуры. Это сложная и ответственная задача конструирования, которая занимает много времени, так как необходимо рассмотреть несколько возможных вариантов компоновки и выбрать оптимальный. Существует несколько принципов и приёмов компоновки, которые можно представить следующим образом (рис. 1).

Функциональный принцип компоновки заключается в объединении части электронного оборудования в структурно законченный блок, способный выполнять определенную задачу. В зависимости от масштаба охвата изделия метод может быть функционально-узловым или функционально-блочным. Принцип модульной компоновки заключается в создании унифицированных блоков по габаритным и установочным размерам. Этот метод появился для унификации электромонтажа и автоматизации сборочных работ. Размеры модуля в двух измерениях обычно выбираются равными и соответствуют размерам наиболее сложной единицы. Функционально-модульный принцип компоновки стал возможен благодаря появлению микросхем и микропроцессоров, так как они представляют собой функционально и конструктивно-законченный модуль.

Для оценки укрупнённых характеристик конструкции на ранних стадиях конструирования используются аналитический, а также номографический приёмы. При аналитической компоновке подсчитывается число элементов каждого вида и ориентировочный объём каждого элемента. Затем с учётом коэффициента заполнения объёма подсчитывают объём конструкции. Номографическая компоновка реализуется с помощью номограмм, которые приводятся в нормативных документах. Номограмма - чертёж, являющийся особым изображением функциональной зависимости. Аналитическая и номографическая компоновки выполняются по перечню элементов принципиальных схем. После того как схемотехник с помощью аналитической и номографической компоновок получил для себя информацию о возможности скомпоновать конструкцию ЭС, можно с помощью аппликационной или модельной компоновки воспроизвести точный макет будущей конструкции.



Рисунок 1 – Принципы и приёмы компоновки

При аппликационной компоновке трассировку электрических связей можно осуществить с помощью ЭВМ. Модельная компоновка применяется в том случае, когда разрабатываемая конструкция РЭА имеет сложную форму. Объёмные конструкции, узлы изготавливаются из пенопласта упрощёнными фигурами. Крепление их к несущей конструкции осуществляется клеем. Модельная компоновка позволяет получить пространственные модели сложной формы. Натурная компоновка – при макетировании предполагается использование реальных конструкций и узлов, благодаря чему получается большая наглядность.

В качестве критерия оптимизации в данной работе был выбран температурный режим, который характеризуется совокупностью температур отдельных его точек — температурным полем и создается как внешним температурным воздействием окружающей среды, так и тепловой энергией, выделяемой элементами самой микросхемы [2]. Температурный режим влияет на надежность ЭС. Под надежностью подразумевается свойство электронных приборов сохранять во времени значения всех параметров и выполнять требуемые функции в заданных условиях применения. Повышение температуры способствует увеличению частоты отказов электронных компонентов и вызывает ускоренное старение конструкционных материалов [3].

Нормальный тепловой режим — это режим, который при изменении в определенных пределах внешних температурных воздействий обеспечивает изменение параметров и характеристик конструкции, компонентов, материалов в пределах, указанных в их технических условиях. Высокая надежность и длительный срок службы изделия будут гарантированы, если температура среды внутри радиоэлектронного компонента является нормальной и равной 20-25°C. Изменение температуры относительно нормальной на каждые 10°C в любую сторону уменьшает срок службы аппаратуры приблизительно в два раза [4]. Обеспечение нормального теплового режима приводит к усложнению конструкции, увеличению габаритов и массы, введению дополнительного оборудования, затратам электрической энергии.

Для того, чтобы не пришлось выполнять описанные выше действия, в качестве критерия оптимизации будем выбирать наилучшую компоновку по минимальной температуре  $\Delta T$ , тогда можно записать:

$$\Delta T = T_{max} - T_{min},$$

где  $T_{max}$  - температура максимально нагретого элемента ЭС,  $T_{min}$  - температура минимально нагретого элемента ЭС. Значения  $T_{min}$  и  $T_{max}$  будут получены как результат работы термического исследования в программном обеспечении (ПО) SolidWorks 2019.

Пользователем данной системы будет инженер - схемотехник, который будет составлять компоновки элементов в ЭС для автоматического расчета критерия оптимизации. Основная задача автоматизированной системы будет заключаться в поиске минимального значения  $\Delta T$  для всех компоновок, которые составил пользователь системы за сеанс. Система позволит сократить время работы пользователя, повысит эффективность и автоматизирует процесс компоновки электронных средств. Оптимизация компоновки повысит качество электронных средств.

В процессе проектирования АС было принято решение вести разработку приложений на языке программирования C#, а в качестве СУБД использовать PostgreSQL. Для взаимодействия АС с базой данных (БД) будет использоваться технология Npgsql. В качестве среды разработки выбрана Visual Studio 2019. Для термического исследования будет использоваться ПО SolidWorks 2019 у которого есть собственный интерфейс SolidWorks API [5] и который позволяет передавать и принимать данные пользовательскому модулю, написанному на C#.

В соответствии с функциональными возможностями закладываемыми в разрабатываемую АС данная система позволит пользователю расставлять электронные компоненты, информация о которых будет находиться в БД, на плате с учетом входных ограничений (размер платы, размер максимального элемента). Данные о размерах платы и размер максимального элемента пользователь будет вводить самостоятельно или может выбрать готовые значения из БД. Система должна сохранять в БД компоновку элементов, которую составил пользователь на экране. При этом пользователь может выбрать компоновку из ранее сохраненных в БД, а также удалить выбранную компоновку элементов из БД [6].

После того, как пользователь введет входные данные для термического исследования и расставит элементы на плате, АС отправляет данные для расчета температурного режима в SolidWorks 2019. На основе температурного режима система рассчитывает температурный критерий, сохраняет данное значение в БД и выводит его на экран. После ввода пользователем всех желаемых компоновок, АС выбирает компоновку, значение температурного критерия которой является наименьшей. Сообщает результат пользователю и выводит выбранные значения на экран.

Функциональная модель АС содержит два вида диаграмм:

1. контекстная (обобщенная) диаграмма;
2. диаграмма декомпозиции (детализированная) представлена на рисунке 2.

На контекстной диаграмме представлен один блок – АС оптимизации компоновки элементов в электронных средствах. Входными данными для АС являются: элементы, размер платы, размер максимального элемента. Управляющими данными будут: функция оптимизации, ПО SolidWorks API. Механизм представлен пользователем и ЭВМ. Выходными данными являются: наилучшая компоновка, компоновка, температурный критерий.

На рисунке 2 представлена детализированная диаграмма функциональной модели, отражающая работу АС оптимизации компоновки элементов в электронных средствах, в ней выделены 5 блоков:

создание поля для расстановки элементов, расстановка элементов и сохранение компоновки, передача и прием данных в SolidWorks 2019, расчет температурного критерия, выбор наилучшего варианта размещения. Связями между блоками являются: поле, компоновка, температурный режим, температурный критерий.

На вход блока «Создание поля для расстановки элементов» поступает информация о размерах платы и максимального элемента, а на выходе эти данные преобразуются в поле для расстановки элементов. В блок «Расстановка элементов и сохранение компоновки» поступает информация о поле, на котором в дальнейшем расставляются элементы, и данная компоновка сохраняется в БД.

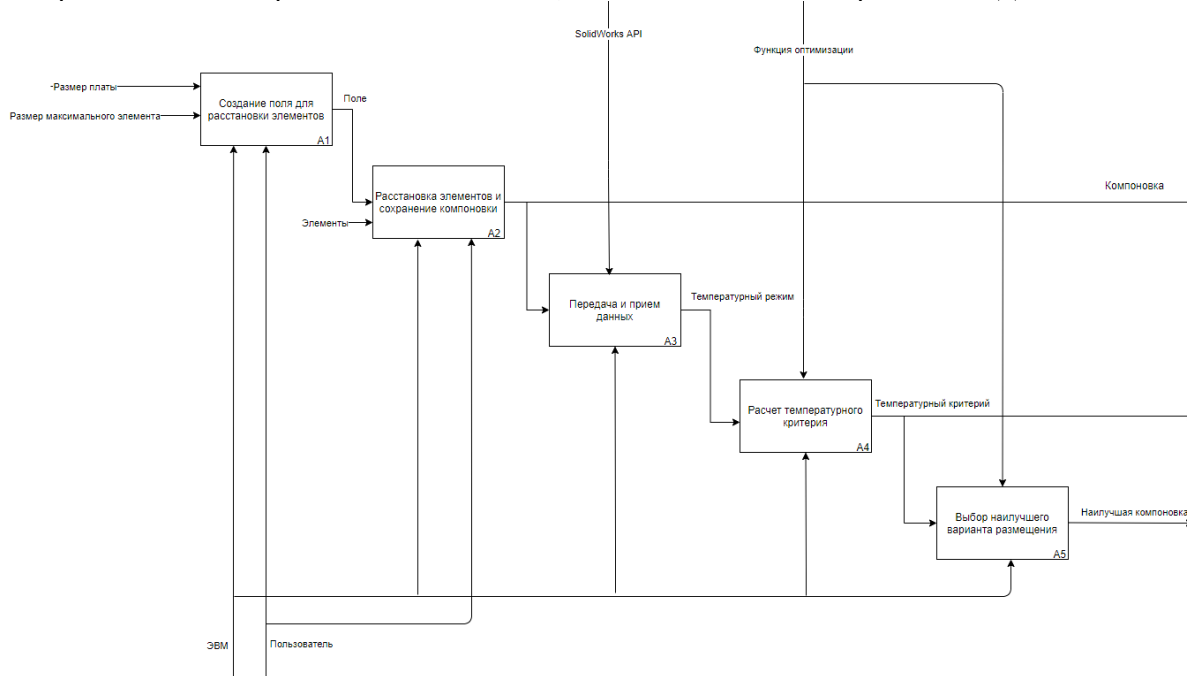


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции функциональной модели

В блок «Передача и прием данных» поступает информация о компоновке, которая затем передается в SolidWorks 2019. В SolidWorks 2019 происходит температурный анализ данной компоновки и на выход блока подаются данные о температурном режиме данной компоновки, полученные из SolidWorks 2019. Температурный режим содержит минимум и максимум температуры компоновки. В блок «Расчет температурного критерия» поступают данные о температурном режиме, на основе которого рассчитывается температурный критерий. В блок «Выбор наилучшего варианта размещения» на вход поступает информация о температурном критерии и из всех критериев за сеанс, выбирается наилучшая компоновка, данные о которой поступают на выход.

Инфологическая модель – модель предметной области ориентированная на человека и не зависящая от типа СУБД, определяющая совокупности информационных объектов, их атрибутов и отношений между объектами, динамику изменений предметной области, а также характер информационных потребностей пользователей. Цель инфологического моделирования – определение предметной области системы, которая позволяет исследовать информационные потребности будущих пользователей. Инфологическая модель проектируемой АС представлена на рисунке 3. Приведем описание сущностей инфологической модели:

- элементы – содержат сведения об элементах ЭС;
- компоновки – содержит информацию о готовых компоновках проектируемой схемы;
- температурный режим – содержит информацию о различных температурных режимах;
- поле – содержит сведения о сохраненных полях.

В сущностях «Температурный режим» и «Компоновки» будет храниться информация, получаемая непосредственно во время работы АС. Сущность «Элементы» будет содержать в себе данные об элементах, которые может использовать пользователь.

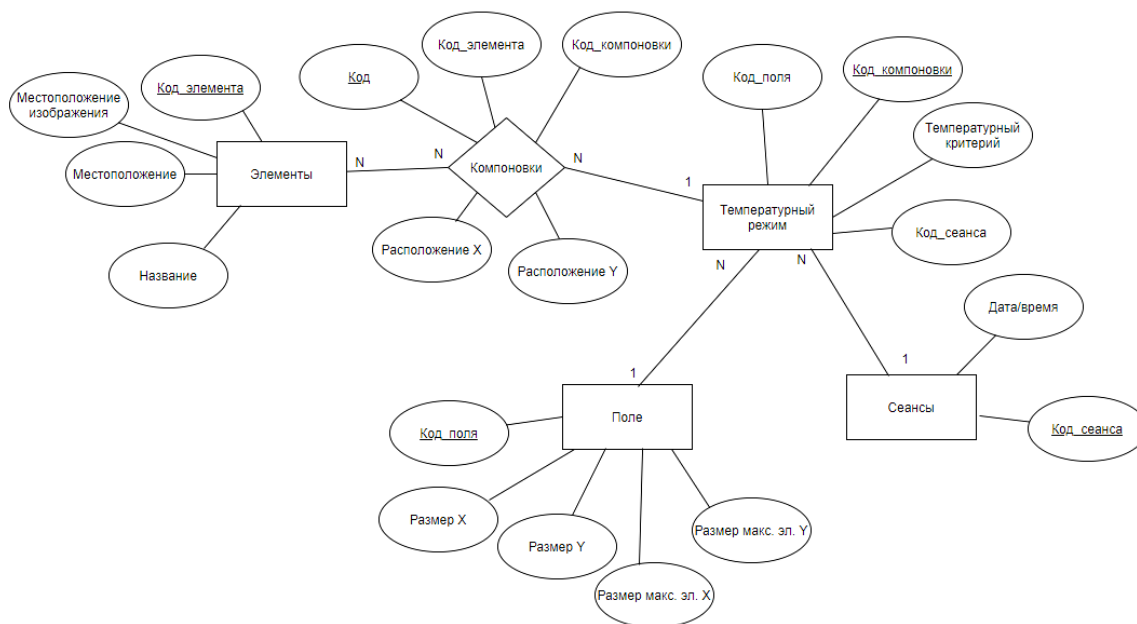


Рисунок 3 – Инфологическая модель предметной области

На основе инфологической модели была построена физическая модель. Физическая модель – логическая модель базы данных, выраженная в терминах языка описания данных конкретной СУБД. Содержит все детали, необходимые конкретной СУБД для создания проектируемой базы данных: наименования таблиц и столбцов, типы данных, определения первичных и внешних ключей. Физическая модель базы данных представлена на рисунке 4.

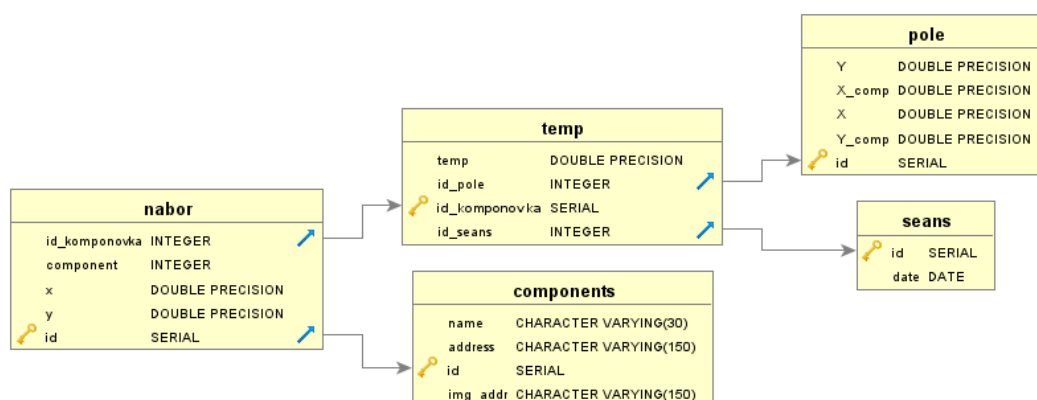


Рисунок 4 – Физическая модель БД

В модели указаны таблицы и поля этих таблиц. Первичные ключи помечены значком в форме «ключа». Вторичные ключи помечены значком в виде стрелки. Связи между парами таблиц 1:M. Реализовано каскадное обновление/удаление записей.

Разрабатываемая АС представляет собой приложение, загружающее данные из БД и позволяющая осуществлять их редактирование/добавление/удаление. АС передает данные для построения 3D модели и запуска термического анализа в SolidWorks 2019, а после завершения считывает эти данные для поиска наилучшей компоновки. Структуру АС составляет совокупность отдельных ее частей, модулей и представлена на рисунке 5.

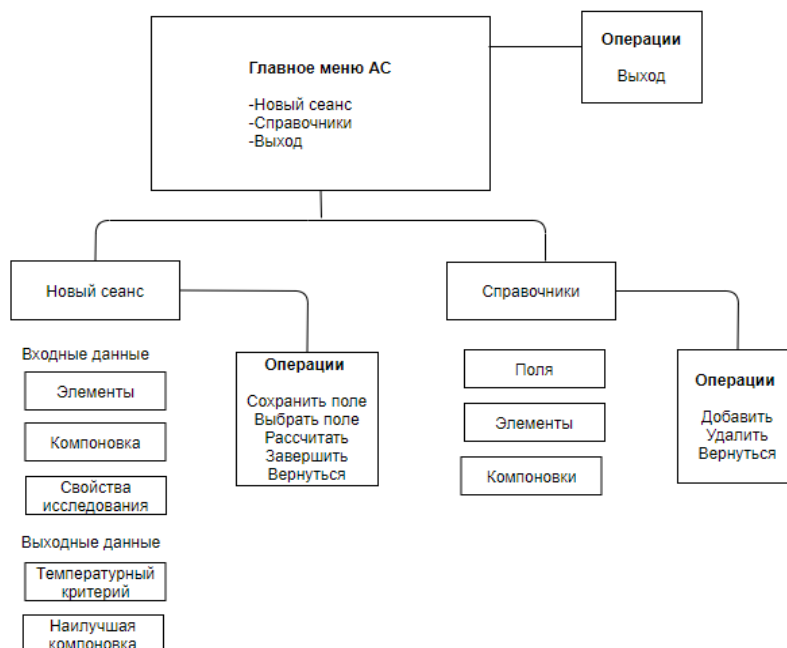


Рисунок 5 – Структура АС

Модуль «Новый сеанс» служит для создания компоновок, расчета температурного критерия и вывода наилучшей компоновки за сеанс. В модуле «Справочники» хранится информация об элементах, которые можно использовать, и о полях, которые сохранены пользователем в БД. В целом АС состоит из 6 модулей:

- Main.cs – форма главного меню;
- Properties.cs - форма задания свойств поля и температурного исследования;
- New\_seans.cs – форма проектирования новой компоновки;
- Seans.cs – форма справочника, который содержит данные о компоновках, удаление записей;
- Elements.cs – форма справочника, которая содержит данные об электронных компонентах, добавление/удаление записей;
- Poles.cs – форма справочника, которая содержит данные о полях, добавление /удаление записей.

Результатом данной работы является проект автоматизированной системы оптимизации компоновки элементов в электронных средствах. Данная система может в дальнейшем использоваться инженерами - схемотехниками в своей работе, однако необходимо разработать интерфейс и построить математическую модель для автоматической компоновки заданных компонентов.

#### Литература

1. Иванов И.А., Конашенкова А.Ю., Лышов С.М., Увайсов С.У., Цыздоев М.Б. Оценка достоверности выявления дефектов печатного узла с использованием встроенных эмуляторов генерации вибрационных колебаний // Качество. Инновации. Образование. 2016. № 11 (138). С. 55-60.
2. Бушмелева К.И., Бажаев А.Б., Увайсов С.У., Бушмелев П.Е. Автоматизированная система расчета отбраковочных допусков на электрорадиоэлементы электронных средств // Вестник кибернетики. 2018. № 1 (29). С. 72-81.
3. Тепловой режим [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://oplib.ru/himiya/view/1161251\\_teplovoy\\_rezhim](http://oplib.ru/himiya/view/1161251_teplovoy_rezhim) (дата обращения: 01.06.2020)
4. Шеремет М.А. К вопросу о пассивном охлаждении герметичных элементов радиоэлектронной аппаратуры и электронной техники // Микроэлектроника. 2013. № 6. С. 472.
5. SolidWorks [Электронный ресурс]: официальный сайт программного комплекса. Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru> (дата обращения: 01.06.2020)
6. Бурдыко Т.Г., Бушмелева К.И. Оценка надежности программного обеспечения // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1. С. 35-39.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

<sup>1</sup>Бушмелева К.И., <sup>1</sup>Кондрашов Д.Е., <sup>2</sup>Увайсов С.У., <sup>2</sup>Фам Лэ Куок Хань  
<sup>1</sup>Сургутский государственный университет, <sup>2</sup>МИРЭА - Российский технологический университет

На сегодняшний день дефектам, имеющим механическую природу, не уделяется достаточное внимание, поэтому разработка системы диагностики, направленной на выявление конструктивных дефектов, является актуальной задачей, имеющей практическую значимость. В работе представлена автоматизированная система диагностики радиоэлектронных средств на основе анализа ударных воздействий с помощью нейронных сетей, определена ее архитектура, спроектированы основные модули, определены виды обеспечения.

Ключевые слова: автоматизированная система диагностики, радиоэлектронные средства, ударные воздействия, нейронные сети

Automated system for diagnostics of electronic devices based on shock effects. <sup>1</sup>Bushmeleva K.I., <sup>1</sup>Kondrashov D.E., <sup>2</sup>Uvaysov S.U., <sup>2</sup>Pham Le Quoc Han, <sup>1</sup>Surgut state University, <sup>2</sup>MIREA - Russian technological University

To date, defects of a mechanical nature are not given sufficient attention, so the development of a diagnostic system aimed at identifying structural defects is an urgent task of practical significance. The paper presents an automated system for diagnostics of radio-electronic means based on the analysis of shock effects using neural networks, defines its architecture, designed the main modules, determine the types of support.

Keywords: automated diagnostics system, radio-electronic means, shock effects, neural networks

Активное развитие технологий производства радиоэлектронных средств (РЭС), постоянное стремление обеспечить их высокое качество и надежность способствуют появлению все более совершенных методов контроля и диагностики различных дефектов, которые неизбежно проявляют себя на производстве любой сложности. При том, что значительная доля дефектов РЭС имеет механическую природу. Важность механической диагностики состоит в том, что обнаружение некоторых конструктивных дефектов, как правило, возможно только в рамках приемочного контроля, в то время как электрические или тепловые параметры легче поддаются выявлению в процессе эксплуатации.

Так как любой дефект в изделии негативно сказывается на его эксплуатационных параметрах и может привести к серьезным авариям, наука и производство всегда находятся в поисках способов повышения такого показателя, как надежность. Одним из способов повышения надежности РЭС является техническая диагностика.

Таким образом, в связи с высокой значимостью обозначенных выше процессов диагностирования РЭС, в том числе и на этапе проверки конструктивных элементов, задача создания автоматизированной системы (АС) механической диагностики радиоэлектронных средств является актуальной.

В данной работе рассматривается задача создания АС диагностики РЭС, в частности печатного узла (ПУ), на основе анализа ударных воздействий. В качестве основного модуля системы, отвечающего за анализ входных данных и сам результат диагностики, выступает обученная модель нейронной сети (НС) и соответствующие программные средства вокруг неё. Полученная АС обеспечит для конечного пользователя удобное средство проверки РЭС на наличие конструктивных неисправностей в автоматизированном режиме за короткий промежуток времени.

Исследования показали, что наибольшее влияние на РЭС оказывает сочетание вибрационных воздействий и одиночных ударов [1, 2]. По этой причине данные виды испытаний имеют наибольший приоритет, остальные нагрузки при этом можно отнести к дополнительным.

Рассмотрим подробнее ударные воздействия, реакция на которые выступает в роли исходных данных, используемых при проведении диагностики в разрабатываемой АС [3]. В механике удар – это некоторый кратковременный скачкообразный процесс. Во время удара в точке соприкосновения твердых тел возникают большие, но мгновенно действующие силы, вызывающие некоторый конечный импульс. Конечный результат в этом случае зависит от динамических параметров (масса, жесткость) исследуемого объекта.

Основная идея разрабатываемой АС состоит в анализе подобных ударных воздействий на ПУ. При этом данным анализом будет заниматься нейронная сеть. Поскольку реакция или, иначе, отклик ПУ будет различным в зависимости от наличия тех или иных конструктивных дефектов, задача нейронной сети будет состоять в том, чтобы научиться классифицировать результаты ударных воздействий, выделяя ряд признаков, которые характеризуют конкретный дефект узла либо его отсутствие.



В качестве архитектуры для НС была выбрана свёрточная нейронная сеть. Данная архитектура предназначена в первую очередь для распознавания и классификации изображений, которые и будут являться входными данными для АС.

В работе была реализована функциональная модель предназначенная для изучения особенностей работы АС и её взаимосвязи с внутренними и внешними элементами, разработка велась в приложении для моделирования диаграмм и блок-схем «Draw.io». Функциональная модель содержит два типа диаграмм: контекстная (обобщенная) диаграмма представлена на рисунке 1; диаграмма декомпозиции представлена на рисунке 2. На контекстной диаграмме представлен один блок А0 – АС диагностики электронных средств на основе анализа ударных воздействий.

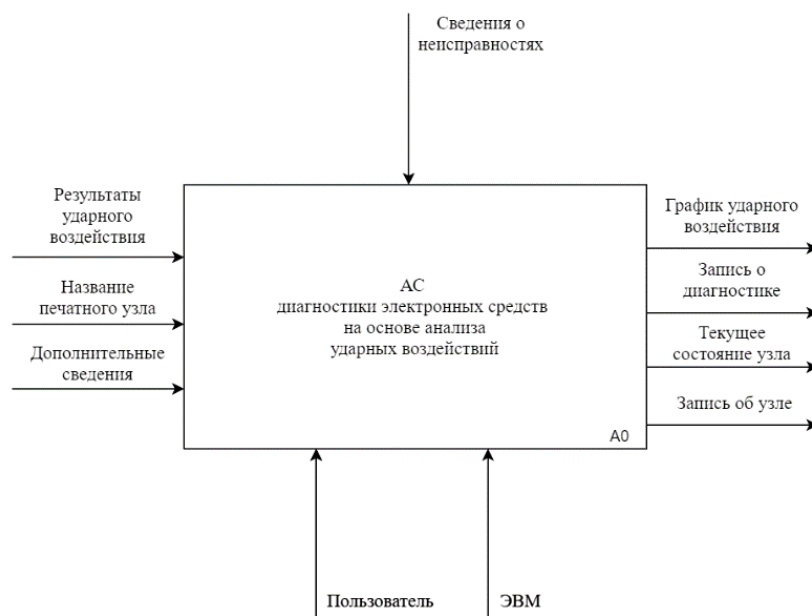


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма функциональной модели

Входными данными для данной АС являются: результаты ударного воздействия; название печатного узла; дополнительные сведения.

Выходными данными: запись об узле; запись о диагностике; текущее состояние узла; график ударного воздействия.

Управляющими данными: сведения о неисправностях (конструктивные дефекты).

Механизмами являются: пользователь (инженер конструктор работающий в области разработки и обслуживания РЭС); ЭВМ.

Далее была реализована детализированная диаграмма функциональной модели, представляющая работу разрабатываемой АС в виде набора функциональных блоков. На диаграмме выделены пять блоков: получение запроса на диагностику; построение графика и получение изображения матрицы Грама; обработка изображения: экстракция данных и нормализация; анализ изображения в нейронной сети и определение класса; вывод результатов.

Связь между блоками осуществляется следующим образом: на вход блока «Получение запроса на диагностику» (A1) поступают результаты ударного воздействия на исследуемый печатный узел в виде текстового файла с форматом «.CSV» и наименование ПУ, введенное пользователем посредством клавиатуры. На выходе из блока на основе имени ПУ создается соответствующая запись в базу данных (БД), а из загруженного файла извлекается совокупность точек на координатной плоскости, отражающих реакцию узла на оказанное ударное воздействие.

Совокупность точек поступает в блок «Построение графика и получение изображения матрицы Грама» (A2), где по полученным точкам вычисляются значения матрицы Графа, после чего с помощью специальной библиотеки генерируется изображение графика и полученной матрицы. Эти изображения поступают на выход данного блока.

Полученное изображение с матрицей, отражающей ударное воздействие на узел, поступает на вход блока «Обработка изображения» (A3). Здесь изображение подвергается ряду преобразований. В частности, проводится изменение размера, затем происходит перевод изображения в алгебраический тензор, значения которого приводятся к диапазону [0, 1]. Такие преобразования позволяют обеспечить единообразные входные данные, которые наилучшим образом подходят для обучения нейронной сети.

В блок «Анализ изображения посредством нейронной сети и определение класса» (A4) на вход поступает преобразованное ранее изображение. Результатом работы блока становится код статуса РЭС,

отражающий принадлежность к одному из классу объектов, на которых была натренирована имеющаяся в системе НС.

Завершающий блок «Вывод результатов» (A5) на основе поступившего на вход кода статуса ПУ и содержащейся в БД информации о соответствии каждому такому коду определенной неисправности выдает текущий статус продиагностированного узла, при этом в БД сохраняются сведения о проведенной диагностике.

Как уже было описано ранее, в качестве архитектуры для НС была выбрана свёрточная нейронная сеть. Однако для начала обучения НС с учителем требуются данные для ее тренировки и последующей проверки.

Поскольку разрабатываемая система направлена на анализ ударных воздействий, в качестве тренировочных данных были использованы результаты моделирования ударов на ПУ в программном комплексе SolidWorks (рис. 2) [4]. При этом моделирование будет производиться при следующих состояниях узла:

- ПУ деформирован;
- ПУ имеет неправильную компоновку элементов;
- в ПУ использован неправильный материал;
- в ПУ присутствует посторонний элемент;
- ПУ не имеет дефектов;
- в ПУ присутствует трещина;
- в ПУ ослаблен крепеж;
- в ПУ отсутствует один из компонентов.

Для получения разнообразных результатов необходимо изменять параметры самого узла. Основным параметром, оказывающим влияние на результаты, в данном случае является толщина печатной платы, на которой располагаются РЭС.

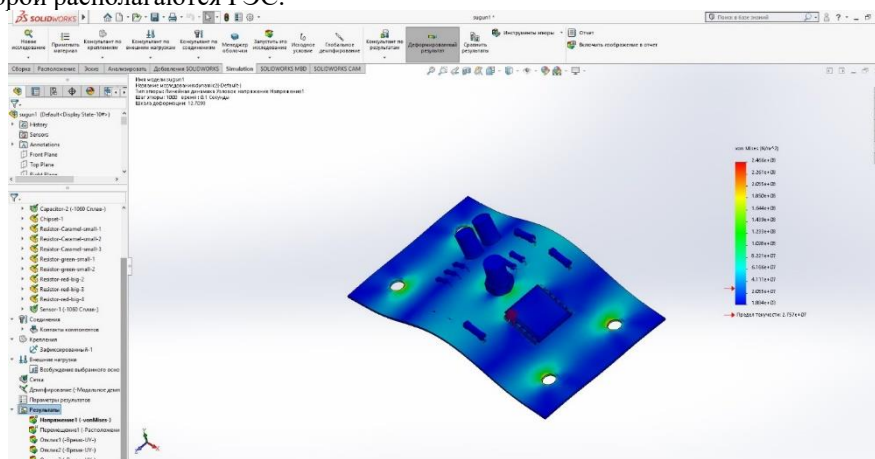


Рисунок 2 – Пример моделирования ударного воздействия в SolidWorks

С помощью метода Монте-Карло, используемого для моделирования случайных величин, был получен диапазон значений толщины платы [5]. Данный диапазон был использован для проведения серии автоматизированных экспериментов в программном комплексе SolidWorks – каждую итерацию толщина платы заменялась новой величиной из заданного диапазона, в результате чего было получено 1008 результатов ударных воздействий на ПУ со 126-ю наборами данных на каждое описанное выше состояние узла соответственно.

Имея результаты ударных воздействий в виде совокупности точек  $(X, Y)$ , можно построить изображения графиков, которые останутся лишь подать на вход НС, однако существует более эффективный подход для классификации подобных исходных данных. Если взглянуть на рисунок 4, отражающий график ударного воздействия на ПУ, то можно заметить, что значительную часть пространства на изображении занимают пустоты, не содержащие информации, а при уменьшении размера изображения теряется детализация самой кривой на графике. Для разрешения данной проблемы вместо использования графика необходимо получить изображение GAF-матрицы или угловой матрицы Грама, использование которой для анализа временных рядов уже дает высокую точность классификации на популярных классических наборах данных. Формулы получения матрицы, были внедрены в скрипт на языке Python, который

считывает  $Y$ -столбец каждого эксперимента и генерирует соответствующее ему изображение матрицы. Переход от графика к матрицы наглядно продемонстрирован на рисунке 3.

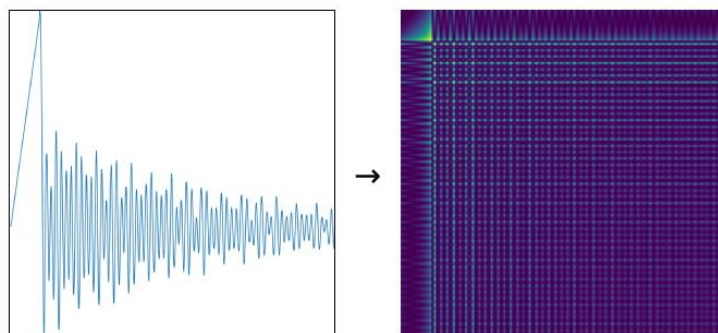


Рисунок 3 – Переход от изображения графика ( $X$ ,  $Y$ ) к угловой матрице Грама

Теперь, когда набор данных, готовый к передаче в  $HC$  полностью готов, определим составные элементы CNN. Конечная конфигурация нейронной сети представлена на рисунке 4.

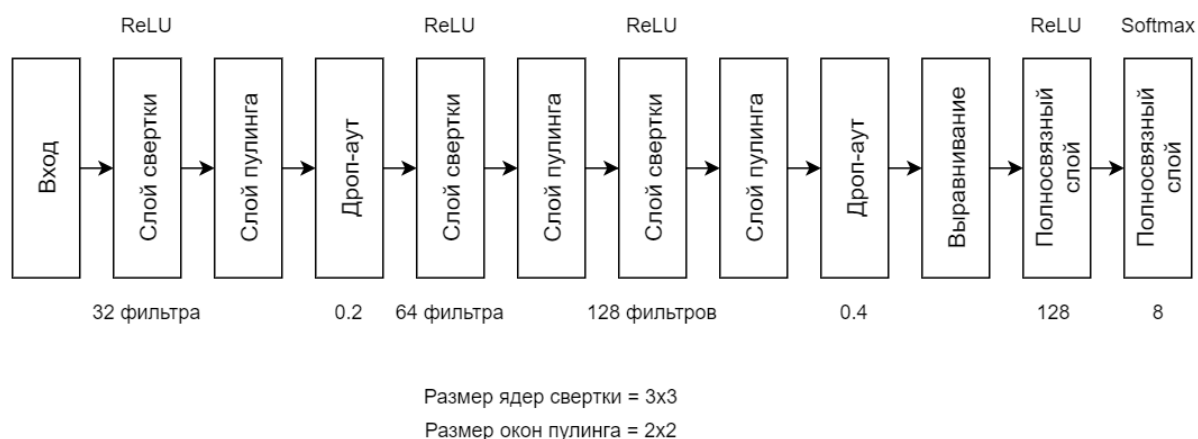


Рисунок 4 – Выбранная конфигурация для CNN

В итоговой конфигурации имеется 3 слоя свертки, использующих 32, 64 и 128 фильтров соответственно, с последующим уплотнением фильтров посредством слоев пулинга.

Механизм дропаут случайным образом обнуляет веса заданного процента нейронов, что позволяет избежать «переобучения» сети, то есть явления, когда  $HC$  всего лишь запоминает данные из тренировочной выборки, а не учится на них.

Слой выравнивания преобразует входные данные в одномерный массив и является входным слоем многослойного перцептрона, за которым следует скрытый слой из 128 нейронов, после чего конфигурация нейронной сети завершается на выходном слое, состоящем из 8 нейронов, по одному на каждый статус ПУ. Скомпилированная модель выбранной конфигурации сети обеспечивает точность в 98% на тренировочных данных.

Разрабатываемая АС является совокупностью клиентского приложения и базы данных. Программа представляет собой приложение, которое загружает данные из БД, визуализирует их, а также добавляет новые сведения в рамках установленной функциональной модели.

Программное обеспечение АС [6] – это совокупность программ, используемых для создания и дальнейшего функционирования системы. Так для обеспечения работы АС требуется наличие следующего набора программных средств: операционная система Windows 10/8; СУБД PostgreSQL не ниже версии 12; драйвер баз данных Npgsql не ниже версии 3.2.6.

Для написания скриптов, связанных с работой  $HC$ , использовалась среда разработки PyCharm и библиотека для машинного обучения TensorFlow. Для построения графиков и изображений матриц применялась программная библиотека Matplotlib.

Для создания клиентского приложения использовались API WindowsForms и среда разработки Microsoft Visual Studio 2019. Для формирования текстовых документов посредством программного кода была использована библиотека DocX.

АС состоит из 15 модулей, приведем ниже их описание:

Main.cs – модуль, определяющий содержимое формы главного меню. Форма содержит кнопки перехода на остальные формы. Здесь же происходит инициализация подключения к БД. Отражает текущего авторизованного инженера-конструктора;

Auth.cs – модуль формы, предназначенной для аутентификации и последующей авторизации инженера-конструктора путем ввода логина и пароля для системы;

Diagnostics.cs – модуль формы отображения всех проведенных диагностик в табличном формате. Доступен поиск и фильтры по дате и времени проведения диагностики;

DiagnostiNew.cs – модуль формы, позволяющей начать новую диагностику для предварительно выбранного печатного узла;

DiagnostiInfo.cs – модуль формы, отражающей информацию о выбранной в таблице диагностике. Сведения берутся за счет обращения к БД на основе идентификационного номера диагностики, посылаемого в конструктор формы;

Units.cs – модуль формы отображения всех сохраненных в системе печатных узлов в табличном формате. Доступен поиск и фильтр по статусу платы и наличию файла с результатами ударного воздействия;

UnitNew.cs – модуль формы, посредством которого в систему добавляется новый печатный узел;

UnitInfo.cs – модуль формы, предоставляющей сведения о выбранном узле;

Diagnostics\_launch.py – модуль, отвечающий за графика ударного воздействия, расчет матрицы Грама и построение последующего изображения матрицы;

Cnn\_launch.py – модуль, отвечающий за конфигурацию и последующее использование НС в рамках системы. Получает на вход изображение матрицы Грама, после чего совершает необходимые преобразования для передачи данных в сеть, далее выдает результат работы НС;

Setting.cs – модуль формы, предоставляющей некоторые персональные настройки для пользователей. К таким настройкам относится папка для сохранения отчетов по умолчанию, а также возможность выбора автоматического сохранения при каждой диагностике;

Stats.cs – модуль формы, отражающей статистику по работе системы в целом. Предоставляет возможность ознакомиться как с текстовым, так и с графическим отображением данных;

StatsBar.cs – модуль формы, отображающей гистограмму по выбранным статистическим данным;

Help.cs – модуль формы, содержащей справочную информацию о том, как использовать программный продукт;

About.cs – модуль формы, в которой отображается краткое описание системы и содержатся сведения об авторе.

Структура интерфейса разрабатываемой АС, связанная с описанными модулями программного продукта, схематично представлена на рисунке 5.

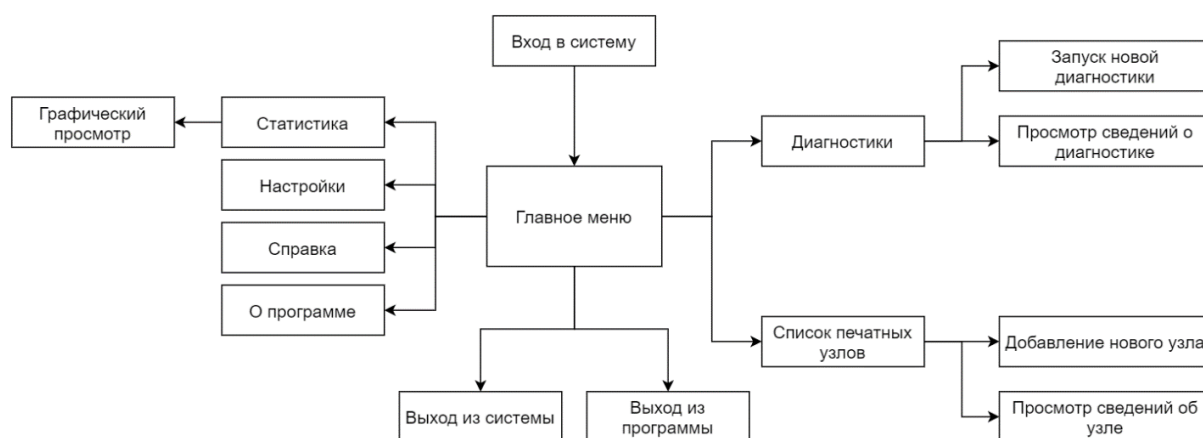


Рисунок 5 – Структура интерфейса АС

Данный интерфейс обеспечивает удобное и понятное использование программного обеспечения за счет визуального выделения основных функциональных элементов и последовательного доступа к необходимым окнам.

На основе схемы представленной на рисунке 5 была разработана автоматизированная система диагностики РЭС использующая в качестве входных данных ударные воздействия оказываемые на ПУ, которая полностью выполняет определенные для неё функциональные задачи. Высокая точность предсказаний нейронной сети на смоделированных дефектах говорит о перспективности выбранного

подхода в условиях реального цикла производства, а использование современных технологий и средств разработки АС обеспечивает легкое масштабирование разработанной системы в будущем.

#### Литература

1. Лышов С.М., Увайсов С.У., Черновская В.В., Фам Лэ.К.Х. Инженерная методика вибродиагностики конструкций бортовых радиоэлектронных средств //Наукоемкие технологии. 2020. Т. 21. № 2-3. С. 17-28.
2. Иванов И.А., Конашенкова А.Ю., Лышов С.М., Увайсов С.У., Цыздоев М.Б. Оценка достоверности выявления дефектов печатного узла с использованием встроенных эмуляторов генерации вибрационных колебаний //Качество. Инновации. Образование. 2016. № 11 (138). С. 55-60.
3. Бушмелева К.И., Бажаев А.Б., Увайсов С.У., Бушмелев П.Е. Автоматизированная система расчета отбраковочных допусков на электрорадиоэлементы электронных средств //Вестник кибернетики. 2018. № 1 (29). С. 72-81.
4. SolidWorks [Электронный ресурс]: официальный сайт программного комплекса. Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru> (дата обращения: 01.06.2020)
5. MachineLearning.ru [Электронный ресурс]: Метод Монте-Карло. — Режим доступа: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Метод\\_Монте-Карло](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Метод_Монте-Карло) (дата обращения: 01.06.2020)
6. Бурдыко Т.Г., Бушмелева К.И. Оценка надежности программного обеспечения //Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1. С. 35-39.

### ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

<sup>1</sup>Бушмелева К.И., <sup>1</sup>Сенчуков М.В., <sup>2</sup>Бушмелев П.Е.

<sup>1</sup>Сургутский государственный университет, <sup>2</sup>ООО «Газпром трансгаз Сургут»

В работе рассматривается проектирование и разработка комплекса программных средств анализа и контроля действий пользователей корпоративной системы в рамках определенного бизнес-процесса, с использованием методов технологии Process Mining. В процесс проектирования и создания программного комплекса были поставлены задачи разработать: функциональную модель ПК; инфологическую модель предметной области; структуру программного комплекса; подготовить решение, для реализации функциональных возможностей комплекса.

Ключевые слова: программный комплекс, корпоративные системы, бизнес-процессы, технология Process Mining, анализ и контроль действий пользователей

Software package for analyzing and monitoring the actions of corporate information system users. <sup>1</sup>Bushmeleva K.I., <sup>1</sup>Senchukov M.V., <sup>2</sup>Bushmelev P.E., <sup>1</sup>Surgut state University, <sup>2</sup>ООО «Gazprom transgaz Surgut»

The paper considers the design and development of a set of software tools for analyzing and controlling the actions of corporate system users within a certain business process, using the methods of Process Mining technology. In the process of designing and creating the software package, the tasks were set to develop: a functional model of the PC; an infological model of the subject area; the structure of the software package; to prepare a solution for implementing the functionality of the complex.

Keywords: software package, corporate systems, business processes, Process Mining technology, analysis and control of user actions

Задача повышения эффективности работы всегда являлась важной частью в управлении предприятием. Работа предприятия неразрывна связана с действиями, выполняемыми ее сотрудниками. В свою очередь действия сотрудников определены в рамках соответствующих бизнес-процессов (БП).

В настоящее время на многих предприятиях бизнес-процессы в той или иной степени автоматизированы. При этом, как правило, автоматизация подразумевает выделение определенного жизненного цикла процесса: определение целей, сбор данных, разбиение на множество шагов-подзадач и разработка модели БП. Далее этот процесс исполняется в информационных системах, посредством систем автоматизации. Как только процесс становится исполняемым, по нему копится статистика, на основе которой можно проводить анализ. Анализировать эти данные можно различными способами и для различных целей: от контроля и реинжиниринга БП и до контроля за действиями конкретных пользователей системы.

Возможность сбора информации о проходящих в системе процессах и общее повышение быстродействия вычислительных устройств позволяет, создавать новые технологии работы с подобными данными.

Такой технологией, которая приходит на смену классическим методам анализа БП, становится Process Mining. Данная технология в целом направлена на сравнительный анализ текущего исполняемого процесса в системе с «эталонной» моделью процесса, которая прописана в нормативных документах и стандартах. Самым важным результатом такого сравнения может быть то, что процессы на бумаге и исполняемые процессы в результате автоматизации могут иметь существенные различия, вплоть до полного их несоответствия.

Дополнительно к этому, данная технология может использоваться для анализа общего числа тех или иных действий в БП, выявления ошибок планирования, обнаружения действий, повлекших за собой сбой системы, выявления несоответствия прав доступа пользователей и т.д. Это достигается за счет возможности современных корпоративных информационных систем (КИС) сохранять информацию о каждом действии, происходящем в системе.

Ключевой особенностью технологии Process Mining, является то, что она применима лишь там, где создаются качественные журналы событий с указанием всех необходимых параметров. Журнал событий должен иметь как минимум четыре поля [1]:

- событие (Activity) – непосредственно какое-то событие, действие, например, авторизация, просмотр страницы, принятие или отклонение заявки;
- время регистрации события (Timestamp) – время начала события;
- идентификатор последовательности событий (CaseId) – таким образом идентифицируется последовательность действий;
- ресурс (Resource) – под ресурсом подразумевается исполнитель, или инициатор активности, это может быть, как пользователь, так и внешняя информационная система.

Дополнительно к этим полям журналы, получаемые из КИС, могут содержать и другие поля, информационного или уточняющего характера.

Основными понятиями, которыми оперируют, когда говорят о Process Mining это бизнес-процесс, модель бизнес-процесса, событие и журнал событий. Под бизнес-процессом понимается конечный набор действий (событий), который реализует конкретную цель определенной деятельности. Главным источником данных в Process Mining являются журналы событий. Каждая строка в таком журнале соответствует отдельному событию, которые, в свою очередь, содержат в себе информацию о каком-либо действии в системе.

Таким образом, данная работа посвящена разработке комплекса программных средств, который, используя методы работы технологии Process Mining, позволит проводить анализ и контроль действий пользователей, в рамках определенного БП корпоративной системы.

Хотя системы и решения класса Process Mining в последнее время набирают популярность, они остаются мало распространенными. На практике же, для решения задач поставленных в данной работе, методы Process Mining используются как инструмент для выполнения конкретного набора, порой узкоспециализированных, задач применительно к существующей КИС.

В процесс проектирования и разработки программного комплекса (ПК) были поставлены задачи разработать: функциональную модель программы; инфологическую модель предметной области; физическую модель базы данных (БД); структуру программного комплекса; подготовить решение, для реализации функциональных возможностей комплекса [2, 3].

Функциональная модель комплекса содержит два вида диаграмм:

- контекстная (обобщенная) диаграмма представлена на рисунке 1;
- диаграмма декомпозиции (детализированная) представлена на рисунке 2.

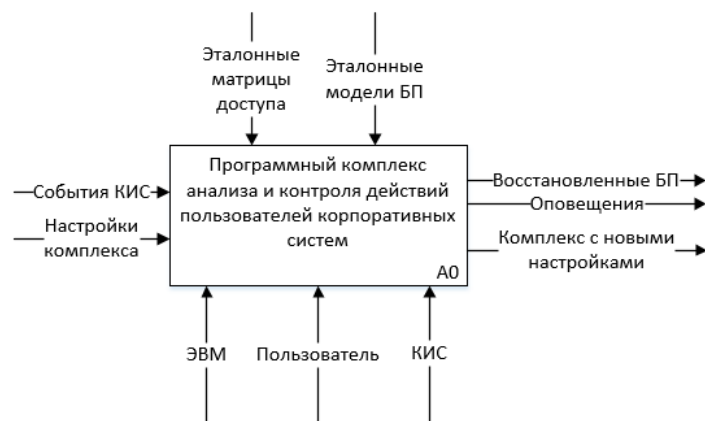


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма комплекса

На диаграмме А0 представлен один блок – «Программный комплекс анализа и контроля действий пользователей корпоративных систем». Входными данными поступающими в ПК являются: события КИС; настройки комплекса. Управляющими данными являются: эталонные матрицы доступа; эталонные модели БП. Механизмами являются: ЭВМ; пользователь; КИС. Выходными данными являются: восстановленные БП; оповещения; комплекс с новыми настройками.

На рисунке 2 представлена детализированная диаграмма функциональной модели, отражающая работу ПК. В ней выделено 4 блока: установка настроек комплекса; сбор журналов событий; восстановление БП; анализ БП. Связи между блоками осуществляются посредством создания: новых эталонных моделей БП; новые матрицы доступа; журналов событий; восстановленных БП.

На вход блока «Установка настроек комплекса» (А1) поступают данные о настройках работы ПК, которые соответствуют управляющим данным всего комплекса. В этом блоке, при необходимости, проходит обновление или добавление новых данных, управляющих комплексом, установка и изменение параметров подключения к БД и источникам БП во внешней системе. Изменение настроек комплекса выполняет пользователь, который является процессным аналитиком или сотрудником отдела безопасности предприятия.

В блок «Сбор журналов событий» (А2) поступают события из КИС. В этом блоке проходят процессы подключения к КИС, сбора событий из нее и сохранение их в виде журналов событий в локальной БД.

В блок «Восстановление БП» (А3) поступают журналы событий, полученные из предыдущего этапа или взятые из локальной БД. На основе эталонных моделей БП на выходе получается восстановленные модели «реальных» БП, которые могут использоваться для последующего анализа или визуального представления.

В блок «Анализ БП» (А4) поступает информация о восстановленных БП в системе или сами журналы событий для соответствующего анализа. В ходе соответствующих проверок и использования различных методов анализа, на выходе получены оповещения информационного характера. Таким образом, результатом работы блока А4 является множество оповещений – записи, которые сохраняются в БД и могут быть предоставлены через пользовательский интерфейс. Каждая запись хранит событие системы, текст оповещения и его тип, который определяется в одном из следующих блоков. Данный блок был детализирован, в результате было выделено еще три блока: проверка на уровень доступа; проверка на контрольные процедуры; проверка на маршрут процесса.

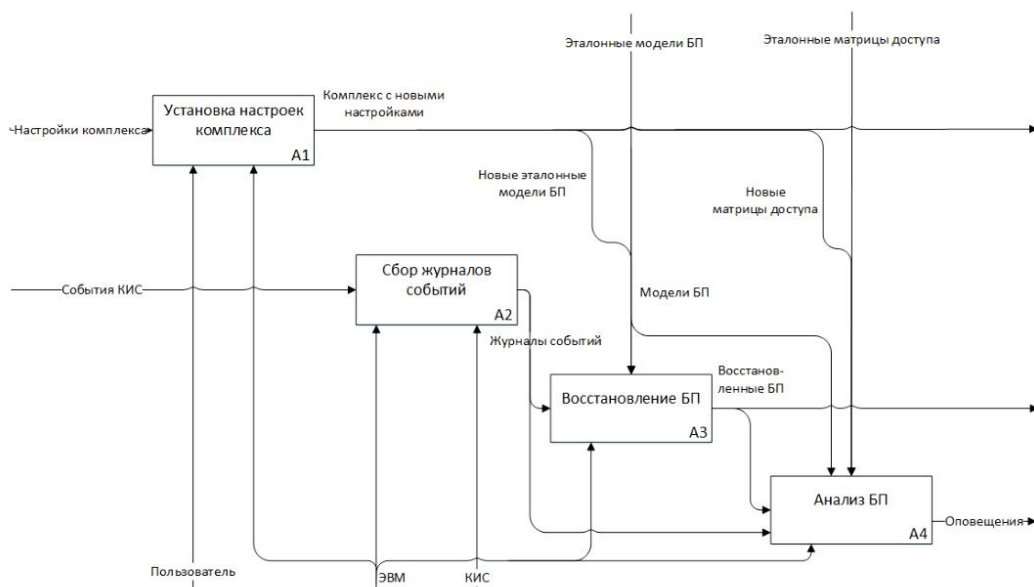


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции функциональной модели

В блоке «Проверка на уровень доступа» сопоставляются действия пользователей из журнала событий системы с уровнями доступа соответствующих пользователей, в рамках данного БП. В случае выявления нарушения уровня доступа, на выходе генерируется соответствующее оповещение.

В блоке «Проверка на контрольные процедуры» выполняется проверка на то, были ли выполнены контрольные процедуры для данного этапа БП (в данном случае проверка на время выполнение этапа БП). В случае невыполнения контрольной процедуры, генерируется соответствующее оповещение.

В блоке «Проверка на маршрут процесса» выполняется проверка на соответствие маршрута реального БП текущей модели БП. В случае, когда один из этапов был пропущен или произошло действие, которое не соответствует текущей модели БП, генерируется соответствующее оповещение.

Инфологическая модель – модель предметной области, представляющая ее основные понятия в виде совокупности объектов, их атрибутов, и связей между объектами. Цель инфологического моделирования – определение предметной области ПК, позволяющее изучить информационные потребности будущих пользователей. Приведем описание сущностей разработанной инфологической модели:

- «Системы» – содержит перечень КИС которых собираются данные;
- «Бизнес-процессы» – содержит информацию о бизнес-процессах, их структуре, моделях и источниках данных;
- «Случаи» – содержит информацию о случаях (case) БП – конкретный экземпляр выполнения БП, объединяющих множество событий;
- «Оповещения» – содержит сообщения о выявленных нарушениях/отклонениях;
- «События» – содержит информацию о событиях, входящих в состав случаев определенного БП;
- «Этапы БП» – содержит дополнительную информацию об этапах БП, входящий в события ;
- «Пользователи» – содержит информацию о пользователях, выполняющих события в рамках БП.

Сведения в сущностях «Этапы БП» и «Пользователи» – это данные, определенные структурой полей журнала событий БП, которые возможно получить из КИС (рис. 3). Данные сущности выделяются как дополнения к сущности «События» для ускорения работы с БД. При этом в сущность «Этапы БП» попадают поля, связанные с полями Activity, а в сущность «Пользователи» – с полями Resource.

Status Code	StatusText	Activity	ActivityText	ActivityText2	Resource	ResourceFIO	ResourceDepartment	ResourceFilial	TimeStamp	CaseId
Z3	Заявка принята	ZTP-Z3	ZTP-Заявка принята	ZTP-Z3(Заявка принята)	WF-BATCH	Система потока операций			05.11.2019 14:46	10000422381
Z1	Заявка подана	ZTP-Z1	ZTP-Заявка подана	ZTP-Z1(Заявка подана)	STARODUBZEVA	Стародубцев Александр Александрович	ОТПИВК ТобТПО	ТюмPC	05.11.2019 13:44	10000422381

Рисунок 3 – Формат выгружаемых данных из системы



Так как допускается, что форматы выгружаемых данных для разных бизнес-процессов и КИС могут различаться, целесообразным решением является выделение связки сущностей «События», «Этапы БП» и «Пользователи» в отдельную БД. При этом связь между «Случаи» и «События» выполняется посредством программного обеспечения. Такое разделение позволяет выделять под каждый бизнес-процесс свой набор сущностей, определяющих события, что также ускорит работу с БД. Дополнительно к этому, такое разделение позволит добиться расширяемости комплекса (например, распределение подсистемы сбора на различные организационные подразделения и филиалы) и большей независимости подсистем сбора и анализа данных.

На основе инфологической модели и отделения сущностей «События», «Этапы БП» и «Пользователи» были созданы физические модели баз данных. При этом в качестве СУБД была выбрана PostgreSQL – это объектно-реляционная система управления базами данных. Данная СУБД поддерживает большую часть стандарта SQL и обладает практически всеми возможностями, которые есть в других БД: сложные запросы, внешние ключи, триггеры, изменяемые представления, транзакционная целостность, многоверсионность и т.д.

Первой БД была реализована LogDB (рис. 4), предназначенная для хранения информации, собранной из журналов событий различных КИС. Эта БД выделена отдельно для уменьшения взаимозависимости частей программного комплекса и для последующего ее использования в других программах.

В таблице Users содержится информация о пользователях, выполняющих события в рамках БП. Эта информация относится к полям типа Resource в журнале событий (рис. 3).

В таблице Activities содержится дополнительная информация об этапах БП. Эта информация относится к полям типа Activity в журнале событий (рис. 3).

В таблице EventLogs содержится минимально необходимая информация о событиях, входящих в состав случаев определенного БП. Дополнительно к этому, в зависимости от структуры журнала событий, в таблице содержатся указатели на данные, дополняющие основные атрибуты.

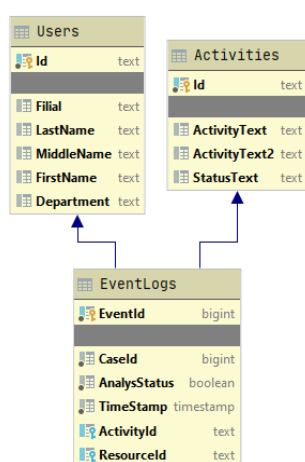


Рисунок 4 – Физическая модель БД LogDB

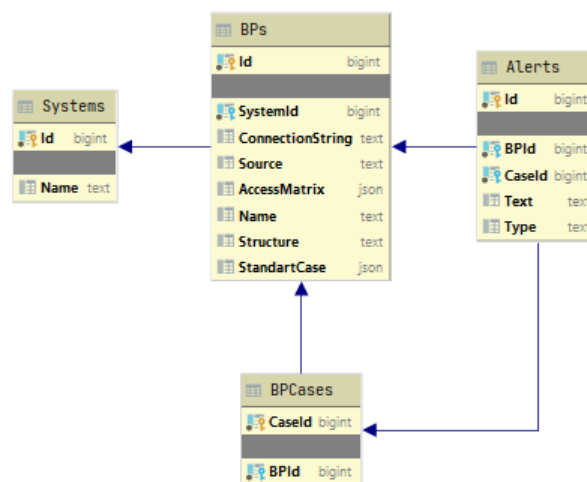


Рисунок 5 – Физическая модель БД MainDB

Следующая БД – MainDB (рис. 5). В ней хранится информация о бизнес-процессах и их вариантах для различных КИС. Данная БД используется основной (аналитической) частью программного комплекса.

В таблице Systems содержится перечень КИС из которых собираются данные. Данный перечень может содержать не только названия видов систем, используемых на предприятии, но и их части, разделенные по филиалам или подразделениям.

В таблице BPs содержится информация о бизнес-процессах. Для каждого БП определено его название, структура журнала событий, эталонная модель и источник. Источник определяется как строка подключения к системе и название самого модуля/процесса/функции/БД откуда можно получить данные журнала событий.

В таблице BPCases содержится информация о случаях бизнес-процессов, как о конкретных экземплярах выполнения БП, объединяющих множество событий.

В таблице Alerts содержатся оповещения о выявленных нарушениях/отклонениях, выявленных в ходе анализа случаев БП.

Разрабатываемый ПК представляет собой набор приложений, которые собирают данные о прохождении бизнес-процессов из КИС во внешние БД, и, на основе собранных данных и моделей БП, проводит их анализ с целью выявления отклонений в действиях пользователей и в самих процессах.

Разработка структуры программного комплекса основывается на паттерне MVC (model-view-controller). Главной идеей данного паттерна является разделение приложения на три компонента [4]: модель (model) представляет из себя данные приложения и логику работы с ними; представление (view) – пользовательский интерфейс, через который пользователь взаимодействует с приложением; контроллер (controller) – центральный, связующий компонент между моделью и представлением. Он содержит логику обработки запроса пользователя.

Использование подобных паттернов позволяет сделать составные части приложения более независимыми. Вместе с этим появляется возможность независимой разработки, поддержки и тестирования. Для взаимодействия с БД используется технология Entity Framework. Entity Framework – специальная объектно-ориентированная технология на базе фреймворка .NET для работы с данными. Данная технология представляет собой более высокий уровень абстракции, который позволяет абстрагироваться от самой базы данных и работать с данными независимо от типа хранилища.

Разработанная структура программного комплекса анализа и контроля действий пользователей корпоративных систем представлена на рисунке 6 [5].

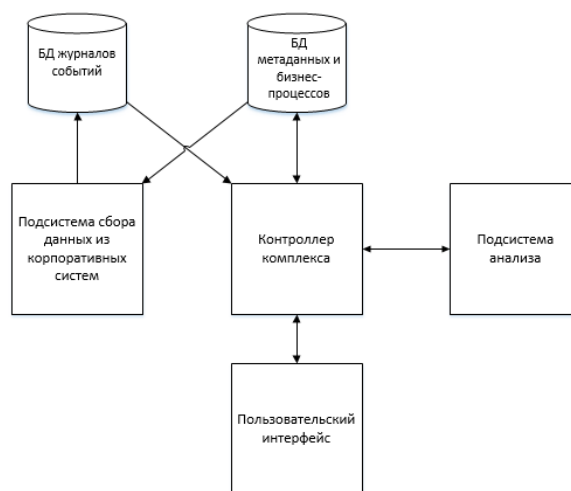


Рисунок 6 – Структура программного комплекса

«Подсистема сбора данных из корпоративных систем» реализует методы подключения к корпоративным системам и собирает необходимые данные. Данные подключения к корпоративной системе и о бизнес-процессе, действия которого необходимо собрать, берутся из БД «Метаданных и бизнес-процессов». После сбора данных подсистема сохраняет их в БД «Журнал событий».

«Контроллер комплекса» является связующим звеном между пользовательским интерфейсом и бизнес логикой комплекса. Он интерпретирует действия пользователя в команды для других подсистем и предоставляет результаты их работы посредством пользовательского интерфейса.

«Подсистема анализа» реализует различные методы анализа к собранным ранее данным (восстановление модели бизнес-процесса; проверка соответствия действий пользователей с их уровнем доступа и другие возможные методы).

В результате реализации ПК было подготовлено решение, которое реализует следующие функциональные возможности комплекса: восстановление модели бизнес-процесса по журналу событий; проверка прохождения обязательных этапов для данного бизнес-процесса; проверка соответствия действий пользователей с их уровнем доступа; возможность расширения и независимость подсистем сбора и анализа; сбор и объединение журналов событий из нескольких систем.

Подводя итог можно отметить, что разработанный программный комплекс полностью выполняет поставленную перед ним цель. В дальнейшем планируется доработать алгоритмы работы комплекса, с целью повышения производительности и последующего внедрения в производство.

#### Литература

1. Wil van der Aalst. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Springer, 2011. 352 p.
2. Боровков Д.Е., Бушмелева К.И., Увайсов С.У. Проектирование автоматизированной системы поиска и устранения причин повышенного значения очереди Workflow системы Directum //Балтийский морской форум. Материалы VII Международного Балтийского морского форума. В 6-ти томах. 2019. С. 117-124.

3. Зарипова Л.Р., Бушмелева К.И. Модель мультиверсионной системы управления изменениями программного обеспечения в информационных проектах //Вестник кибернетики. 2018. № 3 (31). С. 212-216.

4. METANIT.COM [Электронный ресурс]: Сайт о программировании. – Режим доступа: <https://metanit.com> (дата обращения: 01.06.2020)

5. Бурдыко Т.Г., Бушмелева К.И. Оценка надежности программного обеспечения //Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1. С. 35-39.

## МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ПЕЧАТНЫЙ ФРАГМЕНТ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ X-ДИАПАЗОНА С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Измайлов А.А., Большаков Ю.П.  
ПАО НПО «Алмаз» ТОП «ЛЭМЗ»  
+7 (916) 694-78-06, [yustas1993@yandex.ru](mailto:yustas1993@yandex.ru)

Выполнен анализ технического решения микрополоскового печатного фрагмента антенной системы (АС), состоящего из 16 излучателей (4x4), формирующих круговую поляризацию. Отмечено, что ключевой особенностью такой системы является возможность формирования круговой поляризации непосредственно излучателями без использования направленных ответвителей, мостов или кольцевых делителей мощности. Конструкция фрагмента антенной системы представляет собой многослойную печатную плату, состоящую из 5 слоев двухстороннего фольгированного диэлектрика. Показано, что значение коэффициента эллиптичности более 0.85 в рабочей полосе частот порядка 6.5%.

Ключевые слова: печатная антенная система, круговая поляризация, антенна X-диапазона.

Microstrip printed fragment of X-band antenna system with circular polarization. Izmailov A.A., Bolshakov Yu.P., PJSC “Almaz R&P Corp.” LEMZ

Analyzed the technical solution of microstrip printed sub-array of 16-element antenna system (4x4), forming radiation with circular polarization. It has been noted that a key-specific feature of such system is the possibility to form circular polarization directly on the emitters, without using directional couplers, bridges or ring power dividers. The construction of antenna sub-array is a multilayer printed circuit board consisting of a 5-layer double-sided foil dielectric. It has been shown that the ellipticity factor is greater than 0.85 in the working band-frequency of 6.5%.

Keywords: patch antenna system, circular polarization, X-band antenna system.

### Введение

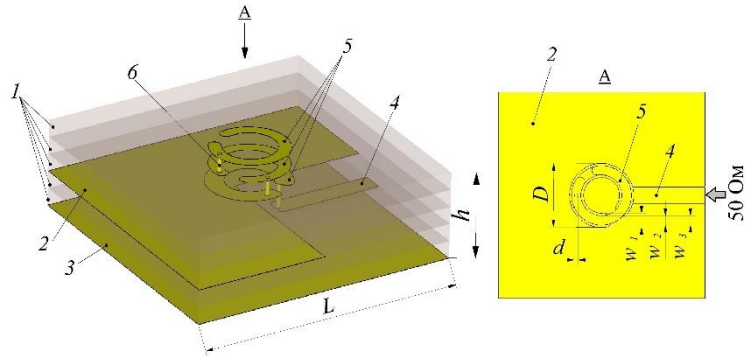
Основываясь на характеристиках и свойствах круговой поляризации, антенны с круговой поляризацией нашли широкое применение в различных беспроводных системах, таких как: спутниковая связь, навигационные системы, мобильная связь, беспроводные датчики и сенсоры, радиочастотная идентификация, беспроводные передатчики, а также службы прямого вещания. Применение в АС круговой поляризации дает преимущество перед линейной в регионах с интенсивными осадками, а также позволяет снизить влияние земной поверхности [1-2].

Конкретизация технического решения разрабатываемого фрагмента печатной АС с круговой поляризацией осуществляется применительно к АС со следующими параметрами: центральная частота –  $f_0 = 9.3$  ГГц; полоса рабочих частот – 600 МГц (6.5%); поляризация – круговая; технология изготовления – печать; масса – низкая; стоимость – низкая.

### Модель печатного излучателя с круговой поляризацией

На первом этапе работы был проведен анализ перспективных типов излучателей, пригодных для создания круговой поляризации, в том числе были рассмотрены: печатные микрополосковые (патчи), вибраторные на основе композитной СВЧ-структуры, щелевые продольного излучения, а также спиральные. Исходя из рассмотренных типов излучателей, был сделан вывод, что наиболее подходящим является использование печатного микрополоскового излучателя. Для исследуемого фрагмента АС была разработана электродинамическая модель многослойного печатного излучателя на диэлектрической подложке. Структуру излучателя можно разбить на две части: горизонтальная и вертикальная. Горизонтальная часть представляет собой три слоя печатных и разнесенных друг относительно друга секторов окружности (5). Вертикальная часть – связывает секторы между собой металлизированными отверстиями (6) в печатных платах (1) (рис. 1) [3]. Возбуждение излучателя осуществляется микрополосковой линией, расположенной между металлическим экраном (2) и основанием (3), при этом на выходе излучателя формируется электрическое поле круговой поляризации. В качестве диэлектрика

используется Rogers 3003 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3$  и толщиной  $t = 1.52\text{ мм}$ . Параметры печатного излучателя: длина  $L = 0.713\lambda_0$ , высота  $h = 0.238\lambda_0$ , диаметр колец  $D = 0.172\lambda_0$ , ширина нижнего кольца  $w_1 = 0.048\lambda_0$ , ширина промежуточного кольца  $w_2 = 0.031\lambda_0$ , ширина верхнего кольца  $w_3 = 0.032\lambda_0$ , диаметр металлизированного отверстия  $d = 0.013\lambda_0$



1 – слой диэлектрика; 2 – металлический экран; 3 – металлическое основание;  
4 – симметричная полосковая линия возбуждения; 5 – трёхслойный излучатель из секторов окружности;  
6 – металлизированные отверстия.

Рисунок 1 – Печатный излучатель с круговой поляризацией.

На рис. 2а, б приведены соответственно зависимости коэффициента отражения  $|Γ|$  от входа излучателя и КУ ( $G(\theta = 0^\circ)$ ) от частоты. Электродинамическое моделирование излучателя проводилось с применением оптимизации его геометрических параметров на основе симплекс алгоритма Нелдера-Мида. При этом получено, что величина коэффициента отражения в рабочей полосе частот 9.0...9.6 ГГц не превышает минус 25 дБ, а значение коэффициента усиления не менее 5.5 дБ.

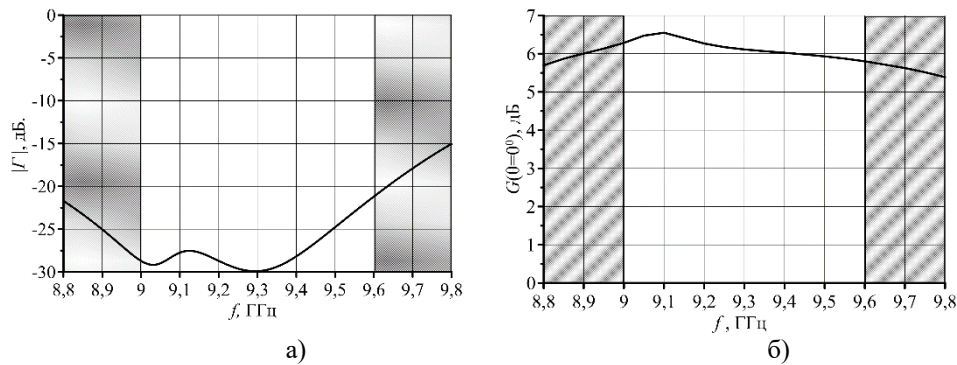


Рисунок 2 – Характеристики излучателя с круговой поляризацией: а) – коэффициент отражения от входа излучателя; б) – КУ

На рис. 3 приведены ДН излучателя в E- и H- плоскостях для основной и кроссполяризационной составляющих на различных частотах. Уровень кроссполяризационной составляющей в рабочей полосе частот 9.0...9.6 ГГц меньше минус 10 дБ.

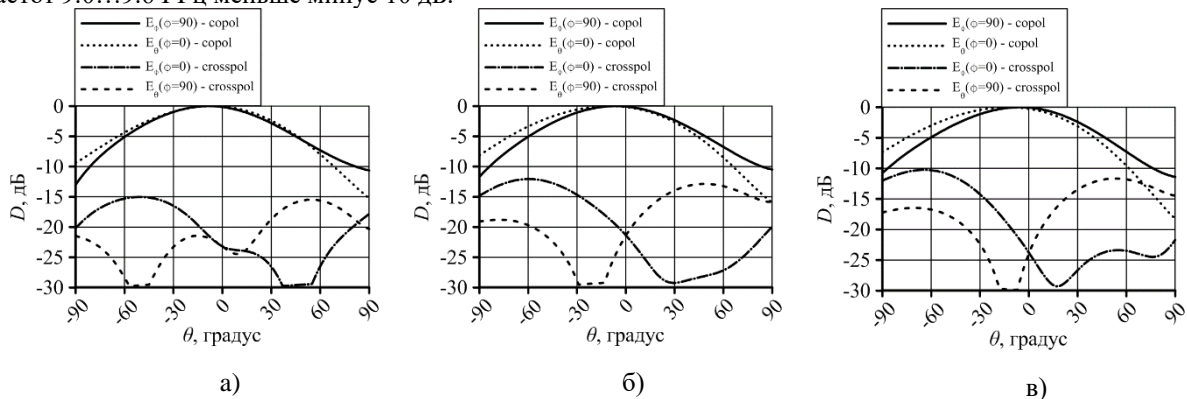
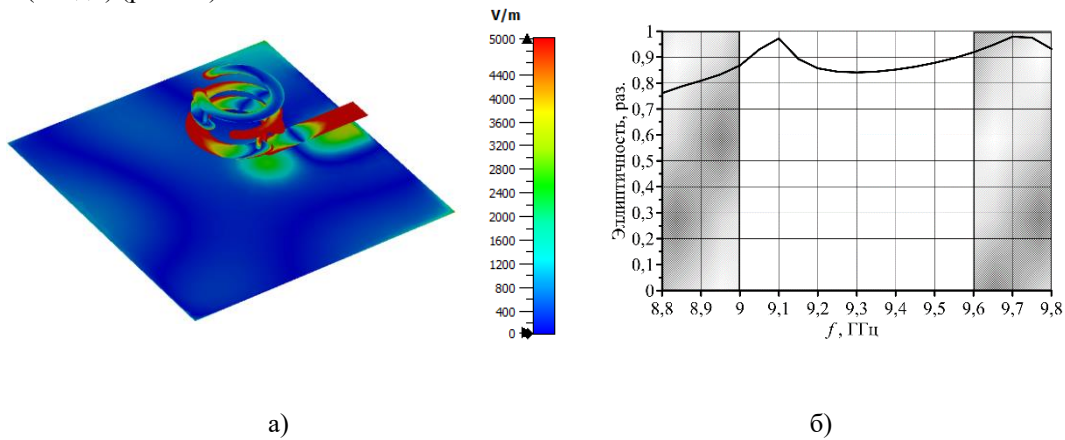


Рисунок 3 – Диаграмма направленности излучателя: а) – 9 ГГц; б) – 9.3 ГГц; в) – 9.6 ГГц

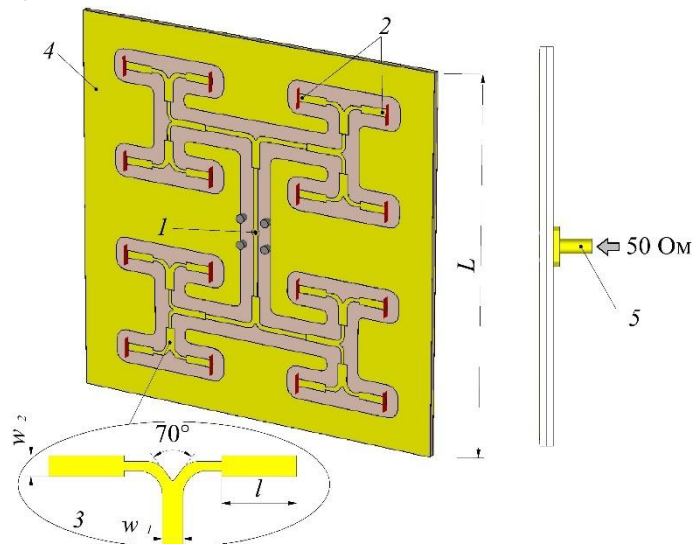
На рис. 4а, б приведены напряженность электрического поля  $E$  на поверхности излучателя и значение коэффициента эллиптичности от частоты. Видно, что при возбуждении излучателя каждая из полуокружностей начинает вращать попадающее на неё поле, при этом переход поля на следующий уровень осуществляется через металлизированные отверстия, а на выходе излучателя формируется круговая поляризация (рис. 4а). При этом коэффициент эллиптичности в рабочей полосе частот  $9 \dots 9.6$  ГГц более  $0.8$  ( $\leq 1$  дБ) (рис. 4б).



а) б)  
Рисунок 4 – Излучатель с круговой поляризацией: а) – напряженность электрического поля  $E$ ;  
б) – эллиптичность

#### Модель микрополоскового делителя мощности на 16

Система питания для разработанного излучателя построена на симметричной микрополосковой линии с применением 3 дБ делителей мощности равного деления. Ключевым элементом в таком делителе является микрополосковый тройник с V-образным делением между плечами (3). Коэффициент отражения  $|Γ|$  такого элемента в рабочей полосе частот  $9 \dots 9.6$  ГГц меньше минус 35 дБ. В качестве диэлектрической подложки использовался двухсторонний фольгированный диэлектрик Rogers 3003 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3$  и толщиной  $t = 1.52$  мм. На входе делителя установлен коаксиальный соединитель СК9-РБФП-Х-1-102 (рис. 5). Параметры делителя мощности: длина  $L = 2.852\lambda_0$ ,  $w_1 = 0.069\lambda_0$ ,  $w_2 = 0.057\lambda_0$ ,  $l = 0.217\lambda_0$ .



1 – вход делителя мощности; 2 – выходы на излучатели; 3 – 3 дБ делитель; 4 – экран;  
5 – входной разъем.

Рисунок 5 – Микрополосковый делитель мощности на 16

На рисунке 6а приведены зависимости коэффициента отражения  $|Γ|$  от входа делителя мощности  $|S_{11}|$  и развязки между входом и выходами делителя  $|S_{11}| \dots |S_{51}|$  от частоты. Величина коэффициента отражения в рабочей полосе частот  $9.0 \dots 9.6$  ГГц не превышает минус 15 дБ ( $|S_{11}| \leq -15$  дБ). Значения

развязки между входом делителя и четырьмя выходами не превышает минус 30 дБ ( $|S_{21...51}| \leq -30$  дБ). На рисунке 6б показано распределение напряженности электрического поля  $E$  на поверхности делителя мощности. Видно, что при подаче сигнала на вход, он равномерно делится между плечами элементов деления (тройниками) и поступает на выходы делителя с равной амплитудой.

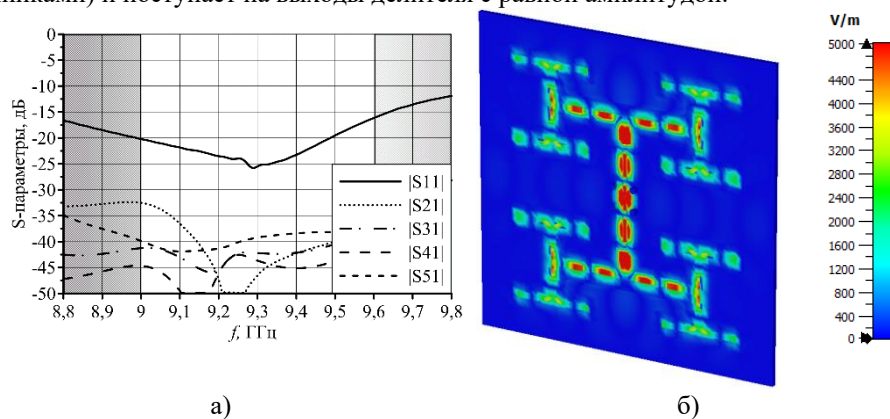
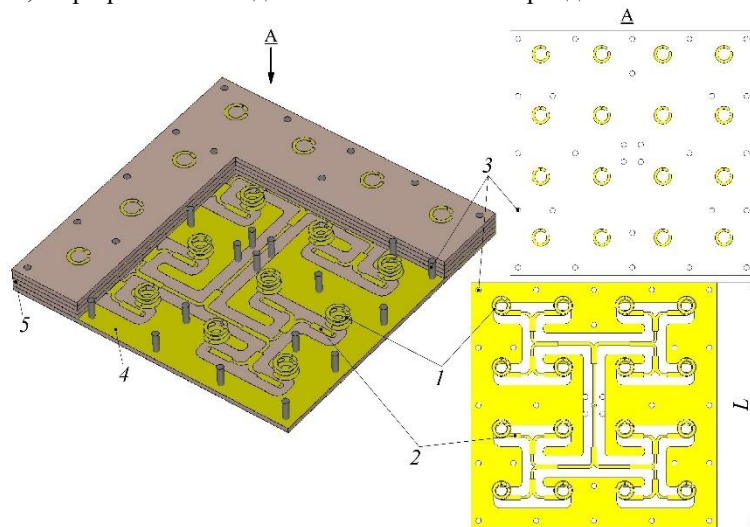


Рисунок 6 – Микрополосковый делитель мощности на 16: а) – S-параметры; б) – напряженность электрического поля  $E$

#### Моделирование фрагмента АС 4x4 с круговой поляризацией

На рис. 7 показано строение фрагмента АС в сборе, состоящей из 16 излучателей (4x4) (1) и делителя мощности (2). [4-6]. АС представляет собой печатную плату, состоящую из 5 слоёв двухстороннего фольгированного диэлектрика Rogers 3003 (5). Между собой платы скрепляются металлическими винтами М2 (3).

Достоверность электродинамического моделирования фрагмента АС контролировалась двумя методами: методом конечных разностей во временной области (КРВО) и методом конечных элементов (КЭ). Отметим, что при расчете методом КРВО использовались сетки разбиения из 32.8 млн. прямоугольных ячеек, а при расчете методом КЭ из 1959 тыс. тетраэдральных ячеек.



1 – излучатели; 2 – делитель мощности на 16; 3 – стягивающие винты;  
4 – экран; 5 – диэлектрическая подложка.

Рисунок 7 – Фрагмент АС 4x4 с круговой поляризацией

На рис. 8а, б приведены соответственно зависимости КСВ от входа АС и КУ ( $G(\theta = 0^\circ)$ ) от частоты. Как было отмечено ранее, для одиночного излучателя, электродинамическое моделирование фрагмента АС проводилось с применением оптимизации его геометрических параметров на основе симплекс алгоритма Нелдера-Мида. При этом получено, что величина КСВ в рабочей полосе частот 9.0...9.6 ГГц не превышает 1.5, а значение коэффициента усиления не менее 17.5 дБ.

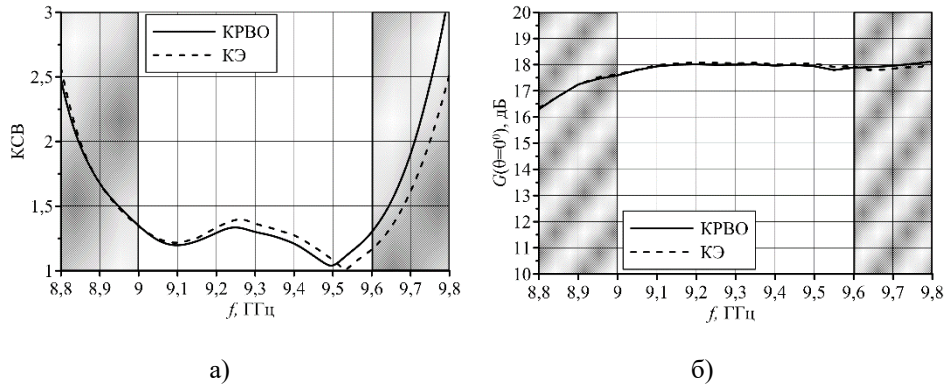


Рисунок 8 – Характеристики АС с круговой поляризацией: а) – КСВ; б) – КУ

На рис. 9 приведены ДН фрагмента АС в **Е**- и **Н**- плоскостях для основной и кроссполаризационной составляющих на различных частотах. Уровень кроссполаризационной составляющей в рабочей полосе частот 9.0...9.6 ГГц, меньше минус 15 дБ.

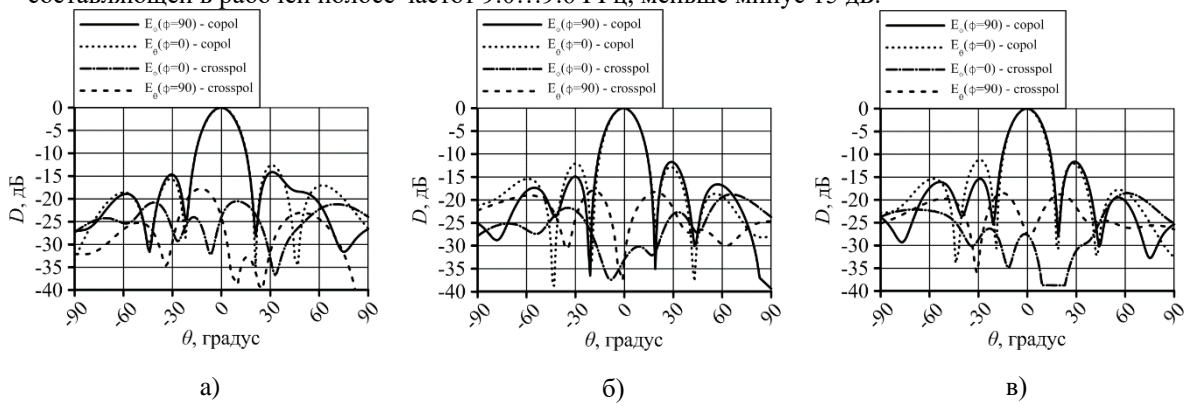


Рисунок 9 – Диаграмма направленности фрагмента АС: а) – 9 ГГц; б) – 9.3 ГГц; в) – 9.6 ГГц

На рис. 10а, б приведены напряженность электрического поля **Е** на поверхности АС и значение коэффициента эллиптичности от частоты. Видно, что при возбуждении АС, поступающий на вход сигнал равномерно делится в узлах делителя мощности и поступает на излучатели, формирующие электрическое поле с круговой поляризацией (рис. 10а). При этом коэффициент эллиптичности в рабочей полосе частот 9...9.6 ГГц более 0.85 ( $\leq 1$  дБ) (рис. 10б).

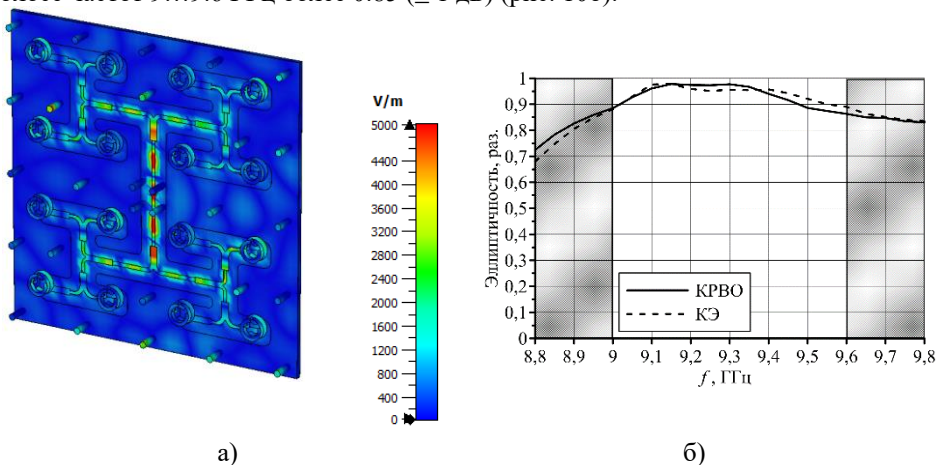


Рисунок 10 – Фрагмент АС с круговой поляризацией: а) – напряженность электрического поля; б) – эллиптичность

#### Заключение

Рассмотренный фрагмент АС удовлетворяет требованиям технологичности и стоимости, а полученные основные радиотехнические характеристики говорят о возможности применения такой АС в существующих радиолокационных станциях и комплексах и стать качественным аналогом используемых

на сегодняшний день систем. Исследованный фрагмент АС с излучателями, формирующими на выходе круговую поляризацию, наряду с небольшим весом (по сравнению, к примеру, с широко используемыми волноводно-щелевыми антенными системами) и малым поперечным сечением ( $h = 0.238\lambda_0$ ), обладает следующими радиотехническими характеристиками: в рабочей полосе частот 9...9.6 ГГц, значение КСВ меньше 1.5; величина коэффициента эллиптичности больше 0.85; значение коэффициента усиления больше 17.5 дБ [7-8].

#### Литература

1. Space antenna handbook. Edited by Imbriale W., Gao S., Boccia L. 2012. John Wiley & Sons. P. 744.
2. Circularly polarized antennas. Steven Gao, Qi Luo, Fuguo Zhu. 2014. Wiley & Sons. P. 307
3. Yongyan Du, Falin Liu. A novel broadband circularly polarized microstrip helical antenna // Conference: Antennas, Propag. and EM theory. 2008. ISAPE 2008. 8<sup>th</sup> International symposium.
4. Compact and broadband microstrip antennas. Kin-Lu Wong. 2002. John Wiley & Sons. P.324
5. Shafai L. L., Chamma W. A., Barakat M. and et.al. Dual-band dual-polarized perforated microstrip antennas for SAR applications // IEEE Trans. Antennas Propag. 2000. V. 48, № 1. P. 58–66.
6. Qin F, Gao S., Luo Q., et.all. A simple low-cost shared-aperture dual-band dual-polarized high-gain antenna for synthetic aperture radars// IEEE Trans. Antennas Propag. 2016. V. 64. № 7. P. 2914–2922.
7. Гринёв А.Ю., Измайлов А.А., Волков А.П. Двухдиапазонная совмещенная ОБЧ/УВЧ антенная система авиационного мониторинга земной поверхности // Антенны. 2019. №4. С. 20-32.
8. Измайлов А.А. Двухдиапазонная двухполяризационная антенная система авиационного мониторинга земной поверхности: дис. канд. тех. наук: 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии / МАИ (НИУ), Москва, 2017. С. 145, ([https://www.mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT\\_ID=107718](https://www.mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=107718)).

#### ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ

Кокин Д.С., Пономарев О.Г.  
НИ Томский государственный университет  
+7 923 423 1973, [19nikok941@gmail.com](mailto:19nikok941@gmail.com)

Работа посвящена исследованию возможности передачи информационных сообщений с помощью цифровых шумоподобных сигналов. Такие системы являются системами с расширенным спектром. Основная проблема при реализации систем связи с расширенным спектром заключается в синхронизации на приемной стороне генераторов шума, т.к. детектировать сообщение возможно лишь с помощью исходной расширяющей последовательности. В данной работе предлагается способ реализации широкополосной системы связи, у которой модулированный сигнал несет в себе биты информационного сообщения вместе с отсчетами расширяющей последовательности. Отличительная особенность рассматриваемой системы заключается в том, что псевдослучайная (шумоподобная) расширяющая последовательность генерируется динамически. Коэффициент расширения изменяется в широком диапазоне и является параметром системы. Помехоустойчивость рассматриваемой системы возрастает с увеличением коэффициента расширения.

Ключевые слова: псевдослучайная модуляция, сигнал с расширенным спектром, цифровая модуляция, корреляционная обработка сигнала

Digital communication system with noise-like signals. Kokin D.S, Ponomarev O.G. NR Tomsk state university.

The work is devoted to the study of the possibility of transmitting information messages using digital noise-like signals. Such systems are spread spectrum systems. The main problem in the implementation of communication systems with a spread spectrum is the synchronization on the receiving side of the noise generators, since the message can only be detected using the original spreading sequence. This paper proposes a method for implementing a wideband communication system, in which the modulated signal carries the bits of the information message along with the samples of the spreading sequence. A distinctive feature of the system under consideration is that a pseudo-random (noise-like) spreading sequence is generated dynamically. The expansion coefficient varies over a wide range and is a system parameter. The noise immunity of the system under consideration increases with the expansion coefficient.

Keywords: pseudo-random modulation, spread spectrum signal, digital modulation, correlation signal processing



### Введение

Идея увеличения спектра информационного сообщения зародилась во второй половине прошлого столетия [1], однако, на тот момент, возможности вычислительной техники были ограничены. В начале 21 века метод прямого расширения спектра стали использовать в беспроводной мобильной сотовой сети [2], технология получила название CDMA (англ. Code Division Multiple Access — множественный доступ с кодовым разделением). В CDMA для расширения спектра используют набор двоичных символов (чипов). В данной работе для расширения спектра предлагается использовать псевдослучайные отсчеты с нулевым средним и дисперсией равной 1. Здесь генератор псевдослучайной последовательности [3] работает непрерывно, генерируемая последовательность модулируется битами информационного сообщения. Коэффициент расширения задается пользователем и может изменяться в широких пределах.

### Описание работы системы

Пусть в качестве информационного сообщения используется последовательность из 10 бит  $S(t, t_s)$  (для примера будем использовать последовательность 1010111000). В качестве значений для модулируемой последовательности  $\xi(t, t_n)$  будем использовать псевдослучайные отсчеты, генерируемые по закону Вихрь Мерсенна (англ. Mersenne twister, MT) [3], с начальным значением генератора равным 0. Частота дискретизации модулированного сигнала определяется временным интервалом  $t_n$ , с этой же частотой изменяются значения  $\xi(t, t_n)$  на выходе генератора псевдослучайных чисел. Пусть значения синхронизирующей последовательности  $S(t, t_s)$  изменяются с частотой в 15 раз ниже, чем частота генерации псевдослучайных отсчетов  $\xi(t, t_n)$ , тогда время  $t_s$ , за которое изменяются значения  $S(t, t_s)$ , равно  $t_s = 15t_n$ .

Результатом модуляции является последовательность комплексных значений, у которых действительная часть это модулированные отсчеты  $\xi(t, t_n)$  значениями  $S(t, t_s)$ , а мнимая часть – это те же значения  $\xi(t, t_n)$ , задержанные на 10 временных интервалов  $t_n$ . Выражение 1 описывает результат работы модулирующего устройства на нулевой частоте:

$$S(t, t_s)\xi(t, t_n) + i\xi(t - 10t_n, t_n) \quad (1)$$

Несущее высокочастотное колебание, обозначим его  $\omega_0$ , заведомо выше частоты дискретизации  $t_n$ , тогда для переноса модулированного сигнала (выражение 1) на несущую частоту необходимо умножить его на комплексное значение  $\cos(\omega_0 t) + i \sin(\omega_0 t)$ . Действительная часть результата умножения (выражение 2) является результатом работы модулятора и подается на вход излучающей антенны.

$$S(t, t_s)\xi(t, t_n)\cos(\omega_0 t) - \xi(t - 10t_n, t_n)\sin(\omega_0 t) \quad (2)$$

В приемном устройстве для переноса сигнала на нулевую частоту необходимо умножить сигнал (выражение 2) на комплексное значение  $\cos(\omega_0 t) - i \sin(\omega_0 t)$  и отфильтровать удвоенную составляющую. Допустим, фаза приемного гетеродина отличается от фазы передающего, и принимаемый сигнал умножается уже на  $\cos(\omega_0 t + \varphi) - i \sin(\omega_0 t + \varphi)$ , где значение  $\varphi$  задает сдвиг фаз. Тогда после фильтра нижних частот сигнал в синфазном канале описывается выражением 3, а в квадратурном канале – выражением 4.

$$S(t, t_s)\xi(t, t_n)\cos(\omega_0 t)\cos(\omega_0 t + \varphi) - \xi(t - 10t_n, t_n)\sin(\omega_0 t)\cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (3)$$

$$\xi(t - 10t_n, t_n)\sin(\omega_0 t)\sin(\omega_0 t + \varphi) - S(t, t_s)\xi(t, t_n)\cos(\omega_0 t)\sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (4)$$

Из вышеуказанных выражений 3-4 легко получить выражения 5 и 6:

$$I(t, t_s, t_n) = \frac{1}{2} [S(t, t_s)\xi(t, t_n)\cos(\varphi) + \xi(t - 10t_n, t_n)\sin(\varphi)] \quad (5)$$

$$Q(t, t_s, t_n) = \frac{1}{2} [\xi(t - 10t_n, t_n)\cos(\varphi) - S(t, t_s)\xi(t, t_n)\sin(\varphi)] \quad (6)$$

Из выражений 5-6 видно, что детектирование сообщения  $S(t, t_s)$  можно произвести двумя способами. Во-первых, путем коррелирования значений  $I(t, t_s, t_n)$  с задержанными на 10 временных интервалов  $t_n$  значениями  $Q(t, t_s, t_n)$ . Во-вторых, путем коррелирования значений  $Q(t, t_s, t_n)$  с задержанными на 10 временных интервалов  $t_n$  значениями  $I(t, t_s, t_n)$ . Результат такой корреляционной обработки описывается выражениями 7-8.

$$\langle I(t, t_s, t_n), Q(t - 10t_n, t_s, t_n) \rangle = -\frac{\sigma_{\xi}^2(t, t_n)}{4} S(t - t_n, t_s) \sin^2(\varphi) \quad (7)$$

$$\langle I(t-10t_n, t_s, t_n), Q(t, t_s, t_n) \rangle = \frac{\sigma_{\xi}^2(t, t_n)}{4} S(t-t_n, t_s) \cos^2(\varphi) \quad (8)$$

Разность выражений 8 и 7 позволяет избавиться от фазового сдвига. Знак пиков разностного сигнала  $\frac{\sigma_{\xi}^2(t, t_n)}{2} S(t-t_n, t_s)$  полностью описывается битами информационного сообщения.

На рисунках 1-3 представлены осциллограммы корреляционных пиков для фазовых сдвигов  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ .

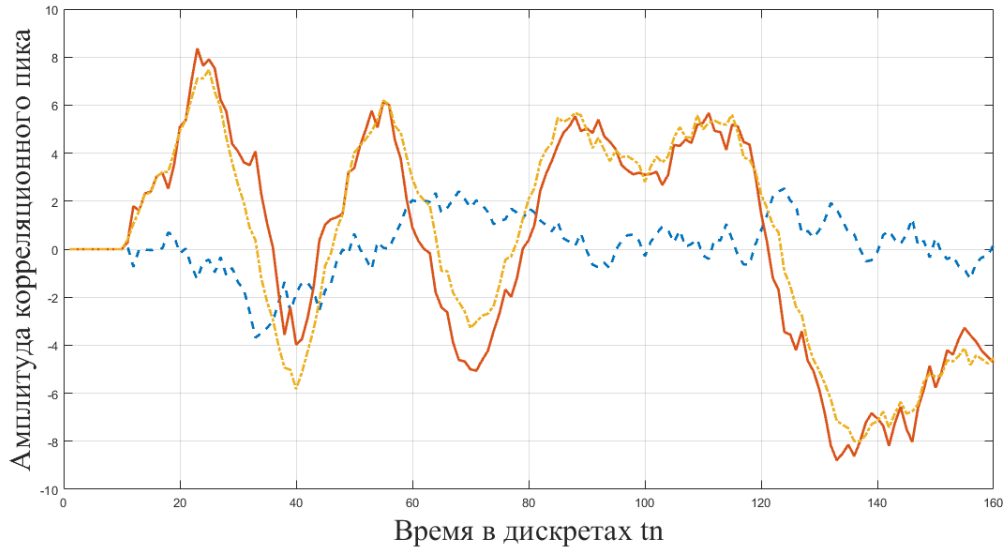


Рисунок 1 – Осциллограммы корреляционных пиков при значении фазового сдвига  $\varphi = 0^\circ$ . Сплошной линией обозначена осциллограмма компенсированных значений  $\sigma_{\xi}^2(t, t_n)S(t-t_n, t_s)$ . Пунктирной линией обозначена осциллограмма описываемая выражением 7. Штрихпунктирной линией обозначена осциллограмма описываемая выражением 8.

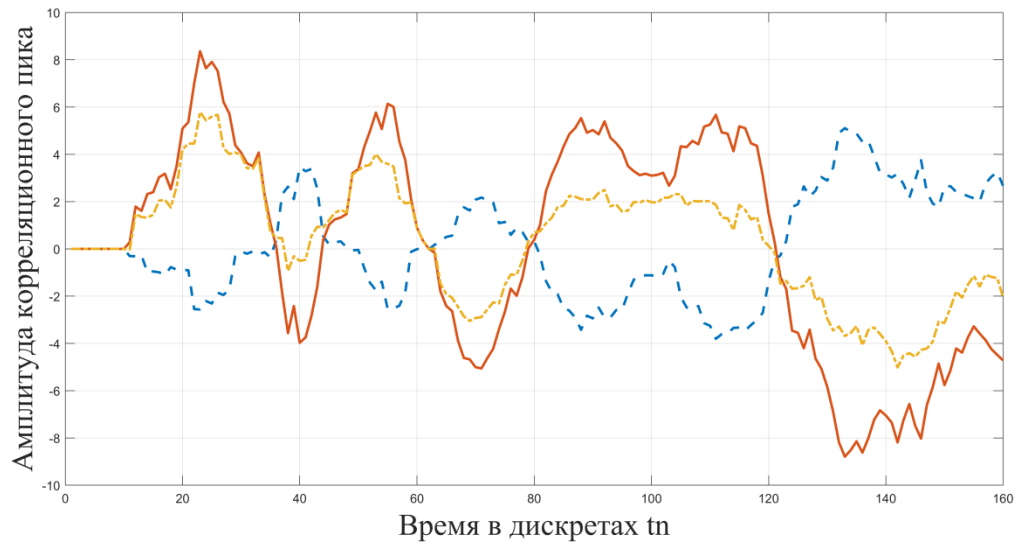


Рисунок 2 – Осциллограммы корреляционных пиков при значении фазового сдвига  $\varphi = 45^\circ$ . Сплошной линией обозначена осциллограмма компенсированных значений  $\sigma_{\xi}^2(t, t_n)S(t-t_n, t_s)$ . Пунктирной линией обозначена осциллограмма описываемая выражением 7. Штрихпунктирной линией обозначена осциллограмма описываемая выражением 8.

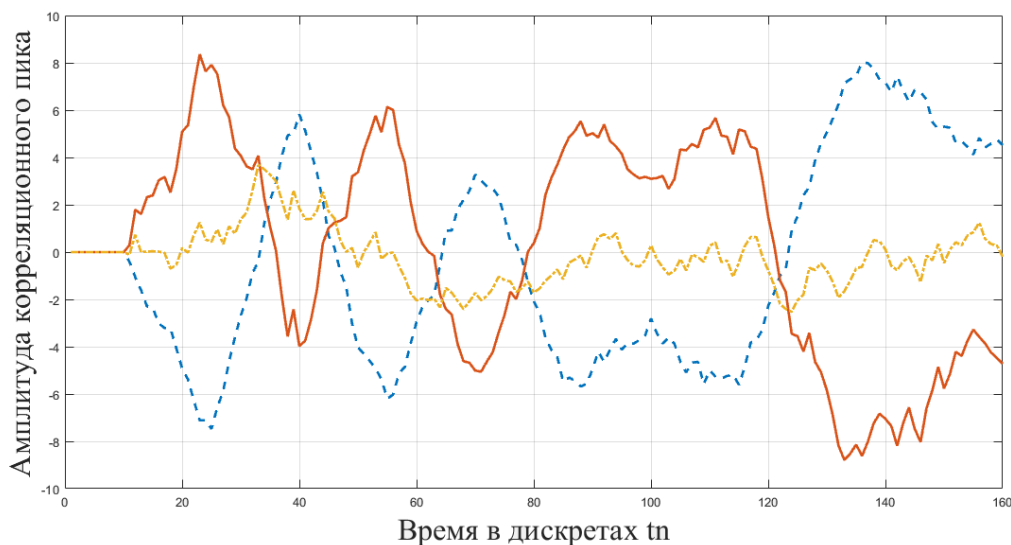


Рисунок 3 – Осциллограммы корреляционных пиков при значении фазового сдвига  $\varphi = 90^\circ$ . Сплошной линией обозначена осциллограмма компенсированных значений  $\sigma_{\xi}^2(t, t_n)S(t - t_n, t_s)$ . Пунктирной линией обозначена осциллограмма описываемая выражением 7. Штрихпунктирной линией обозначена осциллограмма описываемая выражением 8.

На рисунках 1-3 видно, что с изменением значения фазового сдвига осциллограммы, описываемые выражениями 7 и 8 (штрихпунктирная и пунктирная линии соответственно), меняют свою форму, однако осциллограмма компенсированных значений не изменяется, знак пиков совпадает со значениями бит передаваемого сообщения  $S(t, t_s)$ .

#### Заключение

В заключении следует отметить, что предложенный способ передачи информации, в отличие от CDMA, не ограничен в количестве отсчетов расширяющей последовательности. С увеличением количества отсчетов расширяющей последовательности возрастает амплитуда корреляционных пиков, а также увеличивается помехоустойчивость модулированного сигнала. С другой стороны, это приводит к уменьшению скорости передачи информации. Основная отличительная особенность предложенной системы заключается в том, что псевдослучайные отсчеты, используемые для расширения спектра информационного сообщения, динамически генерируются в передающем устройстве на протяжении всего времени передачи. В такой системе отсутствует необходимость хранить в памяти все значения расширяющей последовательности. Для детектирования информационного сообщения приемнику необходимо знать длину коррелируемой последовательности и задержку между каналами (синфазным и квадратурным).

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 2019-218-11-8205 «Разработка программно-аппаратного комплекса для формирования тестовых сигналов стандарта 5G NR»).

#### Литература

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами/ М.: Радио и связь, 1985. — 384 с., ил.
2. Don Torrieri Principles of Spread-Spectrum communication systems / Springer Science - Business Media, Inc., 2005. 444 p.
3. M. Matsumoto, T. Nishimura Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator (англ.) / ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations : journal, 2017. — Vol. 8, no. 1. — P. 3—30. — DOI:10.1145/272991.272995.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЧ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ МЕМБРАНЫ С П-ОБРАЗНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ЩЕЛЬЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ЗОНДОВ, ВОЗБУЖДАЮЩИХ СВЧ ПОЛЕ

Копылов А.Ф.\* , Огородников Д.К., Саломатов Ю.П., Харитонов Н.А.

Сибирский федеральный университет

+7 (983) 287-24-93, [kopaph@yandex.ru](mailto:kopaph@yandex.ru)

Приведены результаты экспериментальных исследований амплитудно-частотных характеристик модуля коэффициента прямой передачи  $|S_{21}|$  СВЧ фильтров, выполненных на основе волноводно-коаксиальной системы с волноводно-щелевой мембраной, имеющей резонансную щель П-образной формы, в зависимости от длины зондов, возбуждающих в системе СВЧ поле. Зонды расположены в середине узкой части П-образной щели с разных сторон мембраны, но с одной стороны волноводов системы. Показаны особенности формирования частотных характеристик величины  $|S_{21}|$  при трех значениях длин возбуждающих зондов.

Ключевые слова: СВЧ фильтры, волноводно-коаксиальная система, волноводно-щелевая мембрана.

Experimental study of amplitude-frequency characteristics of microwave filters based on a waveguide-slot membrane with a П-shaped resonance slot depending on the excitation microwave field length probes. Kopylov A.F.\* , Ogorodnikov D.K., Salomatov Y.P., Kharitonova N.A. Siberian Federal University, SibFU.

The paper presents the results of experimental studies of the amplitude-frequency characteristics of the direct transmission coefficient module  $|S_{21}|$  microwave filters made on the basis of a waveguide-coaxial system with a waveguide-slot membrane having a П-shaped resonance slot, depending on the length of the probes that excite the microwave field in the system. The probes are located in the middle of a narrow part of the П-shaped slot on different sides of the membrane, but on one side of the waveguides of the system. Trends in the formation of frequency characteristics of the  $|S_{21}|$  value at three values of the lengths of the exciting probes are shown.

Keywords: microwave filters; waveguide-coaxial system; П-shaped resonance slot.

#### Введение

Как известно, при построении систем связи, локации и навигации различных диапазонов длин волн сверхвысоких частот (СВЧ), широко используется волноводная техника [1]. Это обусловлено возможностью реализации СВЧ устройств с параметрами и характеристиками, недостижимыми при использовании других способов реализации этих устройств с точки зрения получения минимальных потерь, максимальных затуханий, высоких уровней пропускаемой мощности и электромагнитной изоляции. В полной мере это относится к разработке и реализации устройств СВЧ наиболее широкого класса – фильтрующих устройств [2], во многом определяющих качественные показатели разрабатываемых СВЧ систем. Особое место, на наш взгляд, при этом занимает разработка и реализация фильтров дециметрового диапазона длин волн СВЧ, что обусловлено относительно большими габаритами реализуемых устройств, определяемых длинами волн этого диапазона. В связи с этим, в дециметровом диапазоне длин волн актуален поиск путей уменьшения массогабаритных характеристик СВЧ фильтров с целью улучшения соответствующих показателей СВЧ аппаратуры, использующей их в своем составе. Одним из направлений реализации СВЧ фильтров дециметрового диапазона длин волн является использование волноводно-щелевых мембран (ВЩМ), расположенных перпендикулярно направлению распространения электромагнитных волн и имеющих различные формы резонансных щелей и различный состав каскадов в таких фильтрах [3, 4, 5].

#### Постановка проблемы

В предыдущих работах авторов [6, 7, 8] было проведено исследование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) фильтра, выполненного на основе волноводно-щелевой мембраны (ВЩМ) с П-образной резонансной щелью, установленной в волноводно-коаксиальной системе (ВКС), обеспечивающей полосу пропускания на частотах, ниже частоты отсечки используемого в системе волновода. Полученные в этих работах результаты показали возможность реализации полосы пропускания в волноводно-коаксиальной системе на частотах, ниже критической частоты прямоугольного волновода [6] и формирования на этих частотах резонансного полосно-пропускающего фильтра [7, 8]. Это достигалось применением ряда конструктивных решений, в том числе, использованием в ВКС резонансной щели П-образной формы путем возбуждения в ВКС СВЧ электромагнитных колебаний электрическими штыревыми зондами, расположенными в середине широких стенок прямоугольных волноводов волноводно-коаксиальной системы.

В работе [9] было проведено исследование АЧХ ВКС с ВЦМ, содержащей резонансную щель П-образной формы на предмет определения влияния места возбуждения щели штыревыми возбудителями (зондами) СВЧ поля на амплитудно-частотные характеристики системы. Было получено, что, с точки зрения получения минимального значения потерь на частоте пропускания при одновременно максимальной отстройке частоты пропускания от частоты заграждения, наилучшим расположением зондов является их положение в центре узкой части П-образной щели.

При выполнении настоящей работы нас интересовал вопрос изменения частотоизбирательных свойств фильтрующей системы на ВКС [9] при изменении размеров возбуждающих СВЧ поле зондов, т.е. при изменении глубины погружения зондов в волновод ВКС.

#### Конструкция исследуемой волноводно-коаксиальной системы

На рис. 1 показана конструкция ВКС, на рис. 2 – топологический рисунок волноводно-щелевой мембраны, входящей в состав ВКС, и зондов, возбуждающих СВЧ поле в резонансной щели ВЦМ.

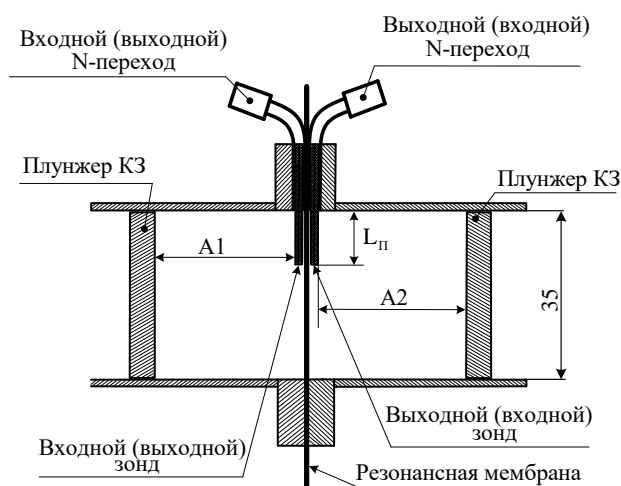


Рисунок 1 – Конструкция ВКС

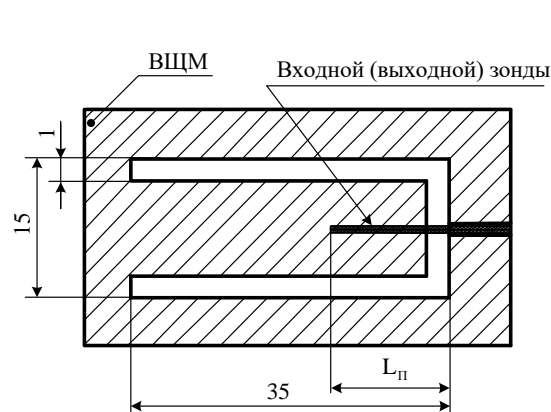


Рисунок 2 – Топология ВЦМ с зондами

Показанная на рис. 1 конструкция ВКС представляет продольное сечение системы и содержит два отрезка волновода сечением 35x15 мм с короткозамкнутыми (КЗ) плунжерами на одном из концов отрезков, и фланцами для механического крепления на другом из концов. Отрезки волновода соединены между собой соосно. Входной и выходной СВЧ сигналы подаются на ВКС и снимаются с неё с помощью входного и выходного коаксиальных переходов N-типа (7/3 мм). ВКС является симметричной системой, и поэтому её вход и выход взаимозаменяемы. Ко входному и выходному коаксиальным N-переходам подключены отрезки коаксиального кабеля, части которых через канавки во фланцах отрезков волновода проникают внутрь рабочего сечения волновода. На расстоянии ширины фланцев изоляция входного и выходного отрезков коаксиальных кабелей удалена, и заземляющая оплетка кабелей путем обеспечения тесного механического прижатия к поверхностям канавок имеет электрический контакт с фланцами. Части коаксиальных кабелей, проникающие в пространство рабочего сечения отрезков волновода на глубину L<sub>п</sub>, освобождены от заземляющей оплетки и таким образом представляют собой входной и выходной штыревые возбудители СВЧ поля ВКС – входной и выходной электрические зонды. В то же время, изоляция центрального проводника отрезков коаксиального кабеля в указанном пространстве сохранена. Диаметр центрального проводника зондов составляет около 1 мм, внешний диаметр зондов с изоляцией – около 3 мм. Расстояния от входного и выходного зондов до КЗ плунжеров составляют соответственно величины A1 и A2.

Между фланцами отрезков волновода и зондами механически плотно зажата волноводно-щелевая мембрана, обеспечивающая частотную селективность ВКС. На рис. 2 показана топология ВЦМ с изображенными на ней входным и выходным зондами. Как видно на рис. 2, длина и ширина ВЦМ больше рабочего сечения волновода 35x15 мм для обеспечения электрического контакта мембраны с фланцами отрезков волновода. Для обеспечения частотной селекции, по периметру рабочего сечения волновода вплотную к его обеим широкой и одной из узких стенок выполнена П-образная щель шириной 1 мм. Таким образом, длинные части П-образной щели равны по длине широкой стенке волновода, а короткая часть – длине одной из узких стенок волновода. Освобожденные от заземляющей оплетки зонды пересекают резонансную щель в середине её короткой части, т.е. в середине узкой стенки волновода.

Амплитудно-частотные характеристики фильтров в зависимости от длины зондов, возбуждающих СВЧ поле

На рис. 3 представлены экспериментальные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) исследуемых фильтров, измеренные для трех величин длин зондов, возбуждающих в ВКС СВЧ поле, т.е. от глубины погружения зондов в рабочее сечение волновода  $L_{\text{п}}$ . По вертикальной оси на этом рисунке отложены величины прямого коэффициента передачи  $|S_{21}|$  в дБ в пределах от 0 дБ до -70 дБ, по горизонтальной оси – частоты  $F$  в ГГц, от 1 ГГц до 6 ГГц. Величины  $L_{\text{п}}$  были выбраны для первого фильтра 12 мм (АЧХ – синяя кривая), для второго фильтра 6 мм (АЧХ – красная кривая) и для третьего фильтра 3 мм (АЧХ – коричневая кривая).

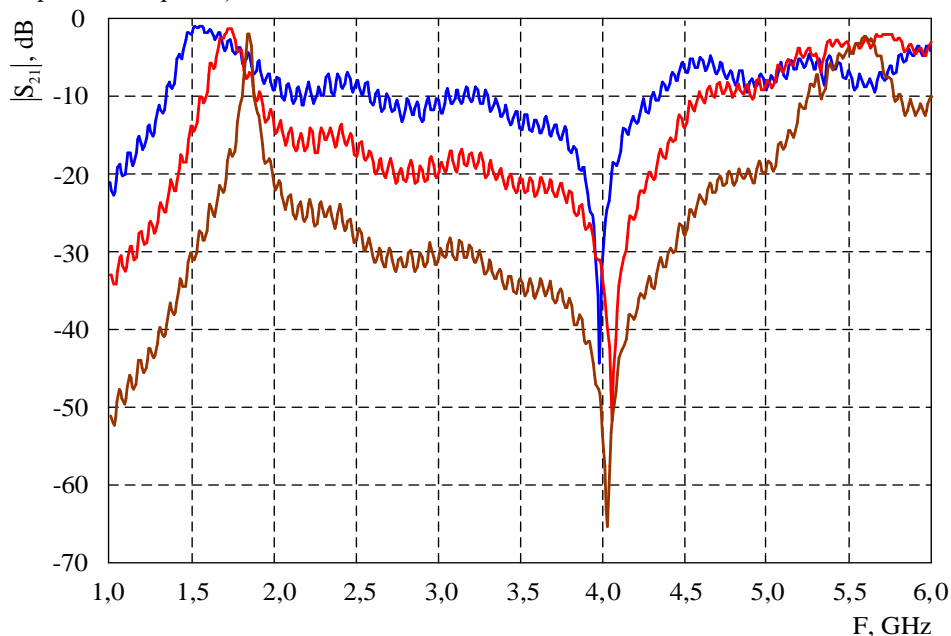


Рисунок 3 – Амплитудно-частотные характеристики фильтра при длине возбуждающих СВЧ поле зондов: синяя кривая – при  $L_{\text{п}} = 12$  мм, красная кривая – при  $L_{\text{п}} = 6$  мм, коричневая кривая – при  $L_{\text{п}} = 3$  мм

Как видно на рис. 3, для всех значений  $L_{\text{п}}$  АЧХ фильтров представляют собой кривые с тремя характерными частотами (экстремумами) – первый (низший по частоте  $F_1$ ) соответствует полосо-пропускающему резонансу, второй – на частоте  $F_2$  соответствует полосо-заграждающему резонансу, и третий на частоте  $F_3$  соответствует началу широкой полосы пропускания. Также во внимание при анализе АЧХ фильтров следует принимать частоту 1000 МГц, затухание на которой определяет избирательность фильтров в диапазоне частот ниже частоты  $F_1$  первого полосо-пропускающего резонанса. Очевидно, что ниже этой частоты величины затуханий, вносимых фильтрами, будут существенно больше тех величин, которые имеют место быть на частоте 1000 МГц.

Настройка фильтров проводилась путем подбора расстояний  $A_1$  и  $A_2$  (рис. 1) от короткозамыкающих плунжеров до внешнего края зондов по минимуму потерь, вносимых фильтрами на частоте  $F_1$  с одновременным максимумом затуханий, вносимых фильтрами на частотах  $F_2$  и  $F_3$ . Эти расстояния  $A_1$  и  $A_2$  оказались равными 12 мм.

Как мы считаем, качественный анализ полученных амплитудно-частотных характеристик свидетельствует о том, что представленные фильтры работают в двух диапазонах частот. Первый диапазон частот от 1000 МГц до 4000 МГц, второй – от 4000 МГц до 6000 МГц. В первом диапазоне АЧХ определяется свойствами резонансной П-образной щели в совокупности с зондами, возбуждающими СВЧ поле в системе, а также волноводными элементами, представляющими в этом диапазоне закрытую металлическую структуру. К волноводным элементам мы относим отрезки волновода и короткозамыкающие плунжеры (рис. 1, рис. 2). В этом диапазоне частот волноводные типы электромагнитных колебаний не могут существовать, так как низший тип волн  $H_{10}$  в волноводе сечением 35x15 мм имеет частоту отсечки около 4300 МГц, т.е. волна  $H_{10}$  частотах 1...4 ГГц в волноводе такого сечения не формируется. Единственным типом электромагнитных колебаний в первом диапазоне частот работы представленных фильтров может быть ТЕМ-волна. Подтверждением такого вывода является то, что при регулировке фильтров заметное влияние положения короткозамыкающих плунжеров на форму АЧХ в первом диапазоне частот не наблюдалось. Нами экспериментально определено, что это влияние

становится существенным в случае приближения плунжеров к возбуждающим зондами на расстояние примерно равное общему диаметру зондов (около 3 мм).

Второй диапазон частот, формирование которого наблюдается на рис. 3 начиная с 4 ГГц, характеризуется тем, что в нем существует низший тип электромагнитных колебаний, характерный для прямоугольного волновода, т.е. волна  $H_{10}$ . Для формирования волны типа  $H_{10}$  на частотах выше критической частоты используемого волновода в нашей ВКС существуют все условия, а именно: соответствующий вид возбуждения с помощью электрических зондов; наличие пространства, достаточного для формирования волны  $H_{10}$  (оно определяется расстоянием между короткозамыкающими плунжерами и возбуждающими зондами). При этом наличие частотоизбирательной волноводно-щелевой мембраны с резонансной П-образной щелью существенно влияет на вид АЧХ в диапазоне 4...6 ГГц.

Существование в представленных фильтрах двух типов волн с соответствующими каждому из них диапазонами частот дает определенные возможности для получения требуемых видов АЧХ для каждого из обозначенных диапазонов, в частности, возможность настройки АЧХ требуемого вида в диапазоне существования волн одного типа при слабом влиянии (или отсутствии такового) волн другого типа. Иными словами, это возможность формирования требуемой АЧХ в диапазоне частот до критической частоты используемого волновода и в диапазоне частот выше критической частоты используемого волновода. Естественно, что полной независимости формирования АЧХ одного диапазона при формировании АЧХ другого диапазона наблюдаться не будет. Выяснение этого вопроса, как мы полагаем, требует отдельных дополнительных исследований.

В табл. 1 приведены численные значения характерных частот  $F_1, F_2, F_3$  и соответствующие им значения коэффициентов передачи  $|S_{21}|_1, |S_{21}|_2, |S_{21}|_3$ , а также значения коэффициентов передачи  $|S_{21}|_{1ГГц}$  для частоты 1 ГГц для трех фильтров: первого – с глубиной погружения зондов в рабочее сечение волновода  $L_{П} = 12$  мм, второго – с глубиной погружения зондов в рабочее сечение волновода  $L_{П} = 6$  мм и третьего – с глубиной погружения зондов в рабочее сечение волновода  $L_{П} = 3$  мм.

Таблица 1 – Численные значения характерных частот фильтров и соответствующих им величин коэффициентов передачи для различных значений глубин погружения зондов в рабочее сечение волновода

Глубина погружения зондов $L_{П}$ , мм.	Коэффициент передачи на частоте 1000 МГц $ S_{21} _{1ГГц}$ , дБ.	Частота $F_1$ , МГц.	Частота $F_2$ , МГц.	Частота $F_3$ , МГц.	Коэффициент передачи $ S_{21} _1$ , дБ.	Коэффициент передачи $ S_{21} _2$ , дБ.	Коэффициент передачи $ S_{21} _3$ , дБ.
12	-23	1519	3988	4580	-1,178	-44	-6,9
6	-34	1746	4054	5313	-2,003	-52	-5,4
3	-52	1847	4033	5583	-2,455	-66	-3,3

Как показывает анализ полученных результатов (рис. 3, табл. 1), при уменьшении глубины погружения возбуждателей СВЧ поля в рабочее сечение волновода, наблюдаются следующие тенденции изменения амплитудно-частотных характеристик фильтров:

– значительное увеличение затухания на частоте 1000 МГц, от величины  $|S_{21}|_{1ГГц} = -23$  дБ при  $L_{П} = 12$  мм до величины  $|S_{21}|_{1ГГц} = -34$  дБ при  $L_{П} = 6$  мм и далее до величины  $|S_{21}|_{1ГГц} = -52$  дБ при  $L_{П} = 3$  мм;

– существенное изменение резонансной частоты полосы пропускания от величины  $F_1 = 1519$  МГц при  $L_{П} = 12$  мм до величины  $F_1 = 1746$  МГц при  $L_{П} = 6$  мм и далее до величины  $F_1 = 1847$  МГц при  $L_{П} = 3$  мм;

– заметное увеличение потерь на резонансной частоте полосы пропускания  $F_1$  от величины  $|S_{21}|_1 = -1,178$  дБ при  $L_{П} = 12$  мм до величины  $|S_{21}|_1 = -2,003$  дБ при  $L_{П} = 6$  мм и далее до величины  $|S_{21}|_1 = -2,455$  дБ при  $L_{П} = 3$  мм;

– небольшое изменение частоты  $F_2$  полосно-заграждающего резонанса;

– значительное увеличение затухания на частоте  $F_2$  полосно-заграждающего резонанса от величины  $|S_{21}|_2 = -44$  дБ при  $L_{П} = 12$  мм до величины  $|S_{21}|_2 = -52$  дБ при  $L_{П} = 6$  мм и далее до величины  $|S_{21}|_2 = -66$  дБ при  $L_{П} = 3$  мм;

– значительное увеличение третьей характерной частоты  $F_3$ , соответствующей началу широкой полосы пропускания от значения  $F_3 = 4580$  МГц при  $L_{П} = 12$  мм до величины  $F_3 = 5313$  МГц при  $L_{П} = 6$  мм и далее до величины  $F_3 = 5583$  МГц при  $L_{П} = 3$  мм;

– заметное уменьшение потерь, вносимых на третьей характерной частоте  $F_3$  от величины  $|S_{21}|_3 = -6,9$  дБ при  $L_{П} = 12$  мм до величины  $|S_{21}|_3 = -5,4$  дБ при  $L_{П} = 6$  мм и далее до величины  $|S_{21}|_3 = -3,3$  дБ при  $L_{П} = 3$  мм;

– существенное увеличение затухания в полосе частот от частоты  $F_1$  полосно-пропускающего резонанса до частоты полосно-заграждающего резонанса  $F_2$  – до 20 дБ.

Все эти тенденции, на наш взгляд, объясняются тем, то при уменьшении длины возбуждающих СВЧ поле зондов (уменьшении глубины погружения зондов в рабочее сечение волновода) происходит уменьшение величины электромагнитной связи зондов с резонансной системой волноводно-щелевой мембраны.

#### Заключение

Проведенные в настоящей работе экспериментальные исследования показывают тенденции изменения амплитудно-частотных характеристик фильтров, реализованных на основе волноводно-коаксиальной системы, использующей в качестве резонансного элемента волноводно-щелевую мембрану с П-образной формой резонансной щели при возбуждении щели в середине узкой стенки волновода для трех значений глубины проникновения возбуждающих СВЧ поле зондов (длины возбуждающих СВЧ поле зондов).

Получено, что при уменьшении длины зондов происходит существенное улучшение избирательных свойств системы с одновременным увеличением потерь, вносимых на частоте полосно-пропускающего резонанса.

#### Литература

1. Апин М.П., Боков С.И., Бушуев Н.А. и др. СВЧ-фильтры и мультиплексоры для систем космической связи // М.П. Апин, С.И. Боков, Н.А. Бушуев, А.В. Воробьев, В.М. Исаев И.Н. Кабанов, Б.М. Кац, В.В. Комаров, П.П. Куцько, В.П. Мещанов, В.М. Рожков, П.Д. Шалаев / Под ред В.П. Мещанова: М.: Радиотехника, 2017, 256 с., ил. ISBN 978-5-93108-155-7.
2. Snyder R. V., Mortazawi A., Hunter I., Bastioli S., Macchiarella G., Wu K. Present and Future Trends in Filters and Multiplexers, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2015, 10, 3324-3360.
3. Leal-Sevillano C. A., Montejo-Garai J. R., Ruiz-Cruz J., A., Rebollar J. M. Wideband Equivalent Circuit for Multi-Aperture Multi-Resonant Waveguide Irises, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2016, 3, 724-732.
4. Natalia Kopylova, Alexei Kopylov and Yuri Salomatov, "Experimental Investigation of Frequency Characteristics of Bandpass Microwave Filters on Waveguide Slots Membranes with Angular Geometry of Slots", Proc. of "Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)", 2018 IEEE Conference of Russian, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", 29 Jan.-1 Feb., 2018. P. 206-208.
5. Alexey F. Kopylov; Dmitri K. Ogorodnikov; Yu. P. Salomatov; Natalia A. Kharitonova. Effect of Symmetrically-Asymmetric Arrangement of Resonant Membranes on the Frequency Characteristics of Three-Section Filters on Waveguide-Slot Membranes // Proc. of "Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)", 2019 IEEE Conference of Russian, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", 28-31 Jan., 2019. P. 102-104.
6. Копылов, А.Ф., Огородников, Д.К., Саломатов, Ю.П., Харитонов, Н.А. Исследование возможности формирования полосы пропускания в волноводно-коаксиальной системе на частотах, ниже критической частоты прямоугольного волновода // В сб. трудов: Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции; / под. ред. С.У. Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019, с. 548. С. 464-469.
7. Kopylov, A.F., Ogorodnikov, D.K., Salomatov, Ju.P., Kharitonova, N.A. Experimental study of the amplitude-frequency characteristics of a waveguide filter with a resonant waveguide-slot membrane at subcritical waveguide frequencies. Proc. of "Antennas Design and Measurement International Conference (ADMInC'2019)", 2019 IEEE Conference of Russian, Saint Petersburg, Russia, 16-18 Okt., 2019. P. 135-137.
8. Natalya A. Kharitonova, Alexey F. Kopylov, Yuri P. Salomatov, Dmitri K. Ogorodnikov. Frequency Characteristics of a Resonant Waveguide-Slot Membrane Installed in a Waveguide-Coaxial System in the Range of 1 to 16 GHz, Providing Operation at Subcritical Frequencies of the Waveguide Used // Proc. of "Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)", 2020 IEEE Conference of Russian, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", 27-30 Jan., 2020. P. 138-140.
9. Копылов, А.Ф., Огородников, Д.К., Саломатов, Ю.П., Харитонов, Н.А. Результаты численного моделирования амплитудно-частотных характеристик волноводно-щелевой мембраны с П-образной формой резонансной щели в зависимости от точки её возбуждения // В сб. трудов: Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении, «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко; отв. ред. С.И. Клевцов; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: издательство Южного федерального университета, 2020, в печати.



## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ЛОВУШКИ ДЛЯ ДАТЧИКА ПЛОТНОСТИ И СОСТАВА ВЕРХНИХ СЛОЁВ АТМОСФЕРЫ

Аль Кадими Али Нури Мохаммед  
Юго-Западный государственный университет  
8-905-154-00-06; [alinoorimm@yahoo.com](mailto:alinoorimm@yahoo.com)

Описана усовершенствованная конструкция электронно-ионной ловушки для датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы. В отличие от конструкции, описанной в [1], она позволяет задерживать заряженные частицы любых энергий. Это достигнуто за счёт введения дополнительной (нижней) системы электродов, исключающей сквозной прострел высокоэнергичных заряженных частиц через зазоры между электродами верхней системы. При этом появилась возможность увеличить зазоры между электродами, что облегчает технологию изготовления ловушки и позволяет отдельно измерять потоки низко и высокоэнергичных заряженных частиц обеих полярностей. Проведен расчёт электрических полей между электродами ловушки и определена предельная энергия частиц, улавливаемых верхней системой электродов.

Ключевые слова: земная атмосфера, ионосфера, плотность, состав, экспериментальные исследования, инверсно-магнетронный преобразователь.

Improved design of electronic-ion trap for measuring the density and composition of the top atmospheric layers. Al Kadhimi Ali Noori Mohammed, South-Western State University

An improved design of an electron-ion trap for the density and composition sensor of the upper atmosphere is described. Unlike the design described in [1], it allows you to retain charged particles of any energy. This was achieved due to the introduction of an additional (lower) system of electrodes, which excludes the through shooting of high-energy charged particles through the gaps between the electrodes of the upper system. At the same time, it became possible to increase the gaps between the electrodes, which facilitates the technology of manufacturing the trap and makes it possible to separately measure the fluxes of low and high-energy charged particles of both polarities. The calculation of the electric fields between the electrodes of the trap is carried out and the limiting energy of the particles captured by the upper system of electrodes is determined.

Keywords: terrestrial atmosphere, ionosphere, density, composition, experimental studies, inverse-magnetron converter.

### Введение

Атмосфера является одной из важнейших составляющих экосистемы Земли. Её приповерхностный слой – тропосфера интенсивно изучался как многочисленными непосредственными наблюдениями, так и с помощью постоянно совершенствуемых инструментальных средств.

Инструментальное исследование стратосферы началось более 100 лет назад с помощью стратосферных шаров-зондов. В настоящее время они оснащаются радиотелеметрической аппаратурой и могут достигать высот в 40-45 км. Стратосферные воздушные шары позволили значительно продвинуться вперед в изучении стратосферы. Именно с их помощью был открыт озоновый слой и изучена его роль в сохранении биосферы Земли, изучен состав воздуха на этих высотах. Более высокие слои атмосферы долгое время были недоступны для прямых инструментальных исследований. Они изучались путём наблюдений серебристых облаков, полярных сияний и метеоров.

Прямые инструментальные исследования высоких слоёв атмосферы стали возможными только с развитием ракетно-космической техники и космонавтики. Беспилотные геофизические ракеты позволяют одновременно исследовать вертикальный профиль атмосферы на высотах от 20 до 400 км. Но с помощью ракет нельзя получать информацию со значительных площадей и в течение длительного времени. Зато это можно делать с помощью пилотируемых и непилотируемых спутников и орбитальных космических станций. Таким образом, исследования с использованием ракет и искусственных спутников Земли (ИСЗ) взаимно дополняют друг друга. Но орбиты ИСЗ располагаются на высотах свыше 350-400 км. Поэтому наименее исследованными оказались слои атмосферы на высотах от 150 до 500 км, где как раз и происходят наиболее важные процессы взаимодействия атмосферы с солнечным и космическим излучением. На этих высотах важную роль могут сыграть микро- и наноспутники, запускаемые с Международной космической станции (МКС) или с борта геофизических ракет. Однако, специализированная аппаратура для изучения плотности и состава атмосферы на этих высотах и пригодная для встраивания в микро- и наноспутники пока отсутствует. Перспективы инструментальных исследований атмосферы на этих высотах с помощью аппаратуры, размещаемой на наноспутниках, рассмотрены в [2], а разработка миниатюрного ионизационного датчика плотности верхних слоёв атмосферы – в [3] и [4]. При этом указано, что для корректной работы в условиях ионосферы он должен быть дополнен электронно-ионной ловушкой, не пропускающей заряженные частицы в активный объём ионизационного вакуумметрического преобразователя. Один из возможных вариантов её конструкции представлен в [1]. Там же проведен расчёт

электрических полей электронно-ионной ловушки совмещённого датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы и предельных энергий улавливаемых ловушкой заряженных частиц, начальная скорость которых направлена вдоль зазоров между электродами ловушки (заряженные частицы с другими направлениями начальной скорости будут задерживаться ловушкой независимо от величины их энергии). Однако во время солнечных вспышек высокоэнергичные протоны и электроны солнечного ветра могут проникать вплоть до нижних слоёв ионосферы, а с учётом очень низкого коэффициента преобразования вакуумметрических ионизационных преобразователей с холодным катодом, даже весьма малый поток проникающих в него из внешней среды заряженных частиц может существенно исказить его показания. Поэтому в данной работе предлагается усовершенствованная конструкция электронно-ионной ловушки, позволяющая полностью устранить попадание заряженных частиц из внешней среды в вакуумметрический преобразователь. При этом обеспечивается не только устранение искажения показаний вакуумметрического преобразователя, но и появляется возможность отдельно регистрировать заряженные частицы, находящиеся в термодинамическом равновесии с нейтральной средой, и высокоэнергичные частицы солнечного ветра, проникающие в нижние слои ионосферы во время солнечных вспышек.

Описание усовершенствованной конструкции ловушки

Усовершенствованная конструкция электронно-ионной ловушки представлена на рисунке 1.

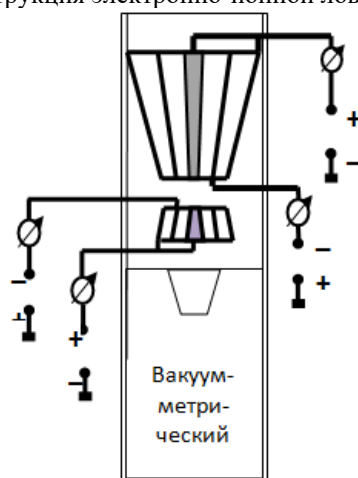


Рисунок 1 – Усовершенствованная конструкция датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы

По сравнению с конструкцией, представленной в [1], она дополнена системой обратных конических электродов, которые и должны улавливать все заряженные частицы, проскочившие через верхнюю систему электродов. Поскольку при этом уже нет необходимости стремиться к улавливанию частиц максимальной энергии верхней системой электродов можно уменьшить её высоту (с 40 до 30 мм) и вместо четырёх электродов использовать только три, что облегчит технологию изготовления датчика.

Геометрические размеры электродов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические размеры электродов

Электроды		Наружный	Средний	Внутренний	
Верхняя система электродов	Высота, мм	30			
	Верх	$D_n$ , мм	19	13	7
		$D_{вн}$ , мм	18,8	12,8	-
	Низ	$D_n$ , мм	10	6	2
$D_{вн}$ , мм		9,8	5,8	-	
Нижняя система электродов	Высота, мм	10			
	Верх	$D_n$ , мм	10	6	2
		$D_{вн}$ , мм	9,8	5,8	-
	Низ	$D_n$ , мм	14	10	6
$D_{вн}$ , мм		13,8	9,8	5,8	

Расстояние (по высоте) между верхней и нижней системами электродов равна 10 мм.

Напряжение между парами электродов 1000 В (от того же источника, который используется для питания вакуумметрического преобразователя).

Расчёт электрических полей верхней системы электродов

Расчёт электрических полей между соседними парами электродов будем проводить по той же методике, которая подробно изложена в [1], условно разделяя всю систему по высоте на 10 секций (каждая высотой 3 мм) и используя для каждой из них известную формулу для расчёта поля между коаксиально расположенными цилиндрическими электродами:

$$E = \frac{U}{r \ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (1)$$

С учётом указанных размеров электродов ловушки значения текущих радиусов  $R_1(h)$  и  $R_2(h)$  для наружной пары электродов будут определяться выражениями

$$R_1^{\text{нар}}(h) = R_{1\text{н}}^{\text{нар}} + \frac{R_{1\text{в}}^{\text{нар}} - R_{1\text{н}}^{\text{нар}}}{H} h = 4,9 + \frac{9,4 - 4,9}{30} h = 4,9 + 0,15h.$$

$$R_2^{\text{нар}}(h) = R_{2\text{н}}^{\text{нар}} + \frac{R_{2\text{в}}^{\text{нар}} - R_{2\text{н}}^{\text{нар}}}{H} h = 3 + \frac{6,5 - 3}{30} h = 3 + 0,117h$$

Для внутренней пары электродов получаем

$$R_1^{\text{вн}}(h) = R_{1\text{н}}^{\text{вн}} + \frac{R_{1\text{в}}^{\text{вн}} - R_{1\text{н}}^{\text{вн}}}{H} h = 2,9 + \frac{6,4 - 2,9}{30} h = 2,9 + 0,117h$$

$$R_2^{\text{вн}}(h) = R_{2\text{н}}^{\text{вн}} + \frac{R_{2\text{в}}^{\text{вн}} - R_{2\text{н}}^{\text{вн}}}{H} h = 1 + \frac{2,9 - 1}{30} h = 1 + 0,063h$$

Электрическое поле между электродами определяется выражением

$$E(h) = \frac{U}{r(h) \ln \frac{R_1(h)}{R_2(h)}} = \frac{1000}{r(h) \ln \frac{R_1(h)}{R_2(h)}},$$

где  $r(h)$  – значение текущего радиуса межэлектродного пространства;

$R_1(h)$  – текущий радиус наружного электрода пары;

$R_2(h)$  – текущий радиус внутреннего электрода пары.

Результаты расчёта электрического поля между наружной парой электродов представлены в таблице 2, а графики их зависимости от высоты ловушки – на рисунке 2. (Здесь  $E_{\text{н}}$  – напряжённость поля у наружного электрода,  $E_{\text{вн}}$  – напряжённость поля у внутреннего электрода,  $E_{\text{ср}}$  – напряжённость поля в середине зазора между электродами).

Таблица 2 – Расчёт электрического поля для наружной пары электродов

$h$ , мм	$R_1(h)$ , мм	$R_2(h)$ , мм	$R_{\text{ср}}(h)$ , мм	$E_{\text{н}}$ , В/мм	$E_{\text{вн}}$ , В/мм	$E_{\text{ср}}$ , В/мм
28,5	9,175	6,334	7,755	294	425	359
25,5	8,725	5,983	7,354	304	443	373
22,5	8,275	5,632	6,953	315	462	388
19,5	7,825	5,281	6,553	325	482	403
16,5	7,375	4,930	6,152	336	503	419
13,5	6,925	4,579	5,752	349	527	438
10,5	6,475	4,228	5,351	363	555	449
7,5	6,025	3,877	4,951	376	585	480
4,5	5,575	3,256	4,550	392	619	505
1,5	5,125	3,175	4,150	407	658	535

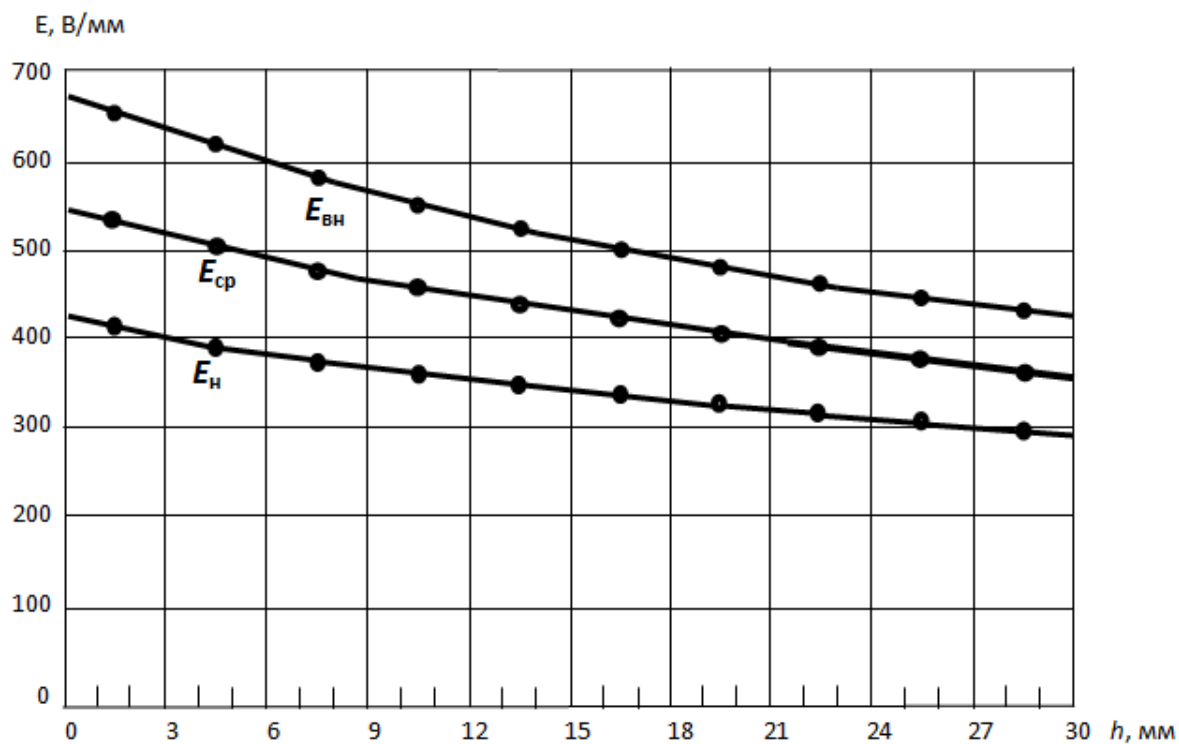


Рисунок 2 – Зависимости  $E=f(h)$  для наружной пары электродов

Результаты расчёта электрического поля между внутренней парой электродов представлены в таблице 3, а графики их зависимости от высоты ловушки – на рисунке 3. Таблица 3. Расчёт электрического поля для внутренней пары электродов

$h$ , мм	$R_1(h)$ , мм	$R_2(h)$ , мм	$R_{сп}(h)$ , мм	$E_n$ , В/мм	$E_{вн}$ , В/мм	$E_{сп}$ , В/мм
28,5	6,234	2,795	4,514	200	446	323
25,5	5,883	2,606	4,244	209	471	340
22,5	5,532	2,417	3,824	218	500	359
19,5	5,181	2,228	3,704	229	532	380
16,5	4,838	2,039	3,438	239	568	403
13,5	4,479	1,850	3,164	253	611	432
10,5	4,128	1,661	2,894	266	662	464
7,5	3,777	1,472	2,624	281	721	501
4,5	3,426	1,283	2,354	297	794	545
1,5	3,075	1,094	2,084	301	885	593

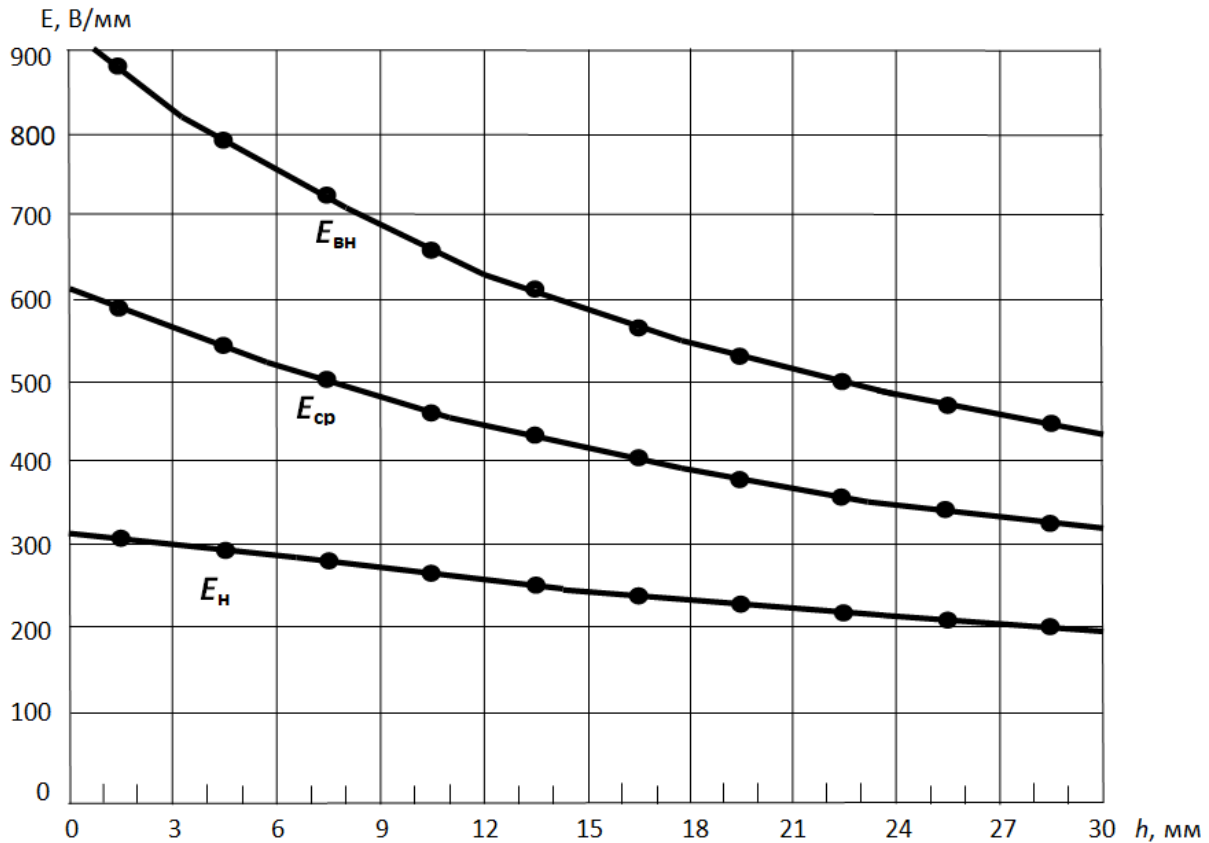


Рисунок 3 – Зависимости  $E = f(h)$  для внутренней пары электродов

Расчёт максимальной кинетической энергии заряженных частиц,  
улавливаемых верхней системой электродов

В соответствии с выражением (9), полученным в [1], максимальная кинетическая энергия частиц, которые будут задержаны верхней частью ловушки (при направлении их начальной скорости вдоль зазора между электродами) будет определяться выражением:

$$E_{\text{кин max}} = \frac{H^2 q E}{4d} \quad (2)$$

где  $q$  – заряд частицы (при учёте лишь однозарядных ионов для всех частиц он будет одинаковым по абсолютной величине:  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;

$d$  – ширина зазора между электродами;

$H$  – высота верхней системы электродов ловушки;

$E$  – напряжённости электрического поля на пути траектории движения частицы.

Ширина зазора  $d$  и напряжённость поля  $E$  на пути движения частицы будут меняться. Поэтому расчёт будем вести, как и раньше для их средних величин при разделении всей ловушки по высоте на 10 секций. Целью расчёта является определение максимальной кинетической энергии тех частиц, которые не будут задержаны верхней ловушкой и дойдут до нижней. Конечно, здесь будут учитываться лишь те частицы, начальная скорость которых направлена вдоль зазоров между электродами верхней ловушки. При этом будем учитывать среднее значение поля и по высоте ловушки, и по ширине зазора для каждой пары верхних электродов.

С учётом этих допущений и, учитывая коэффициент пересчёта из джоулей в электрон-вольты  $K_n = 6,25 \cdot 10^{18}$ , получаем:

- для наружной пары электродов

$$E_{\text{кин max}} = \frac{30^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 450}{4 \cdot 2,5} = 6,48 \cdot 10^{-15} \text{ Дж} = 40,5 \text{ кэВ};$$

- для внутренней пары электродов

$$E_{\text{кин max}} = \frac{30^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 500}{4 \cdot 2,5} = 7,2 \cdot 10^{-15} \text{ Дж} = 45 \text{ кэВ}.$$

Разница получается небольшая, только из-за некоторого увеличения среднего значения электрического поля между внутренней парой электродов (за счёт уменьшения средних диаметров электродов).

Проводить расчёт электрических полей между электродами нижней системы электродов нет необходимости, т. к. все заряженные частицы, прошедшие через верхнюю систему электродов обязательно столкнутся с электродами нижней системы и будут нейтрализованы. При этом электроны прекратят своё существование, а ионы превратятся в нейтральные атомы и попадут в вакуумметрический преобразователь.

#### Литература

1. Дрейзин В.Э., Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Электронно-ионная ловушка для совмещённого датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. Сб. трудов XVI Международной научно-практической конф. Сочи. 2019. С. 455-459.
2. Dreyzin V.E., Al Kadhimi Ali Noori Mohammed. Prospects of studies of the density and composition of the upper atmosphere using small spacecraft. Journal of Engineering and Applied Science. Vol. 15 (№ Sup. 01-02) to get release in January 2020.
3. Дрейзин В.Э., Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Вакуумметрический преобразователь для совмещённого датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы (математическая модель). Сб. трудов XVI Международной научно-практической конф. Сочи. 2019. С. 445-450.
4. Дрейзин В.Э., Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Вакуумметрический преобразователь для совмещённого датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы (эксперимент). Сб. трудов XVI Международной научно-практической конф. Сочи. 2019. С.450-455.

### РАСЧЁТ ТОКОВ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ЛОВУШКИ ДАТЧИКА ПЛОТНОСТИ И СОСТАВА ВЕРХНИХ СЛОЁВ АТМОСФЕРЫ

Аль Кадими Али Нури Мохаммед  
Юго-Западный государственный университет  
Телефон 8-905-154-00-06; эл. почта [alinoorimm@yahoo.com](mailto:alinoorimm@yahoo.com)

Для проведения инструментальных исследований верхних слоёв атмосферы предлагается совмещённый датчик плотности и состава воздушной среды на высотах 150-500 км, предназначенный для размещения на нано-спутниках. Он состоит из модернизированного ионизационного вакуумметрического преобразователя с холодным катодом, дополненного электронно-ионной ловушкой, не пропускающей заряженные частицы в активный объём вакуумметрического преобразователя, что обеспечивает корректность его показаний в условиях ионосферы. Измерение токов, собираемых электродами этой ловушки, позволяет определять дополнительно плотность электронов и ионов на разных высотах, т. е. не только плотность нейтральных частиц, но и плотность заряженных частиц каждого знака. Более того, усовершенствованная конструкция ловушки позволит отдельно измерять плотности низкоэнергетических заряженных частиц, находящихся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, и плотность высокоэнергетических частиц (электронов и протонов), заносимых в ионосферу солнечным ветром и поступающим из радиационных поясов Земли. В данной статье проводится расчёт возможных диапазонов токов такой ловушки, что необходимо для проектирования электронной схемотехники датчика.

Ключевые слова: земная атмосфера, ионосфера, плотность, состав, экспериментальные исследования, инверсно-магнетронный преобразователь, модернизация, математическое моделирование.

Calculation of the currents of the electronic-ion trap of the sensor to measure the density and composition of the top atmospheric layers. Al Kadhimi Ali Noori Mohammed, South-Western State University.

To carry out instrumental studies of the upper layers of the atmosphere, a combined sensor of density and composition of the air at altitudes of 150-500 km is proposed, designed for placement on nano-satellites. It consists of a modernized ionization vacuum transducer with a cold cathode, supplemented by an electron-ion trap that does not allow charged particles to pass into the active volume of the vacuum transducer, which ensures the correctness of its readings under ionospheric conditions. Measurement of the currents collected by the electrodes of this trap makes it possible to additionally determine the density of electrons and ions at different heights, i.e., not only the density of neutral particles, but also the density of charged particles of each sign. Moreover, the improved design of the trap will make it possible to separately measure the densities of low-energy charged parts in thermodynamic equilibrium with the environment and the density of high-energy particles (electrons and protons) carried into the ionosphere by the solar wind and coming from the Earth's radiation belts. This article calculates the possible ranges of currents of such a trap, which is necessary for the design of the electronic circuitry of the sensor.

Keywords: Earth's atmosphere, ionosphere, density, composition, experimental research, inverse-magnetron converter, modernization, mathematical modeling.

#### Введение

Прямые инструментальные исследования состава и плотности верхних слоёв атмосферы на высотах от 100 до 500 км затруднены поскольку, с одной стороны, стационарные орбиты спутников Земли лежат на высотах свыше 400 км, а с другой стороны, воздушная среда на этих высотах уже весьма разрежена и ионизирована, а высотное распределение концентраций заряженных и нейтральных частиц вариабельно и зависит от множества факторов. Поэтому инструментальные исследования атмосферы на этих высотах приобретают важное научное и практическое значение. Большой вклад в эти исследования могут внести инструментальные средства размещаемые на наноспутниках, запускаемых с борта МКС или геофизических ракет. Однако пока практически отсутствует соответствующая аппаратура, пригодная для работы в условиях ионосферы с возможностью размещения на наноспутниках. В [1] оцениваются перспективы использования наноспутников для инструментальных исследований атмосферы на этих высотах. В [2-4] рассмотрена возможная конструкция и теория датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы. В настоящем цикле статей [5] и настоящая статья) предлагается усовершенствованная конструкция электронно-ионной ловушки для этого датчика и проводится расчёт электрических полей в верхней системе электродов и верхней пороговой энергии задерживаемых ей заряженных частиц для случая, когда их начальная скорость направлена вдоль зазора между электродами. В данной статье проводится оценка возможных диапазонов токов от ионов и электронов, улавливаемых этой ловушкой.

#### Основные параметры атмосферы на высотах 150-500 км

Для расчёта токов электронно-ионной ловушки необходимо знать высотное распределение плотности заряженных частиц всех видов и их энергии на высотах 150-500 км. При этом следует учитывать значительную вариативность высотного распределения этих параметров в зависимости от широты местности, времени суток, времени года, солнечной активности и т. д. Более того, даже в состоянии термодинамического равновесия при постоянстве всех прочих параметров энергии частиц распределены по закону Максвелла-Больцмана в достаточно широком диапазоне. Поэтому далее будем использовать среднеквадратические значения и энергий, и скоростей частиц. Что касается направления их скоростей, то по отношению к скорости движения самого наноспутника можно считать их равновероятными, хотя на этих высотах движение заряженных частиц не является хаотическим, поскольку на высотах свыше 150 км плазма (т. е. заряженные частица воздушной среды) является полностью замагниченной. Это означает, что частицы совершают циклоидальное вращение вокруг силовых линий магнитного поля Земли, а, поскольку они имеют ненулевую составляющую скорости вдоль магнитного поля (с равной вероятностью с юга на север или с севера на юг), то движение происходит по винтовой линии с ведущим центром, движущимся вдоль магнитной силовой линии. Такое движение сохраняется в интервалах между столкновениями частиц друг с другом. Причём, для электронов при каждом столкновении с нейтральной частицей (молекулой воздуха) направление скорости изменяется скачком весьма сильно, но величина скорости, а значит и кинетической энергии практически не изменяется (поскольку масса электрона в десятки тысяч раз меньше массы молекулы или атома кислорода или азота). При столкновении электронов с положительными ионами последний захватывает электрон и превращается в нейтральную молекулу, но, поскольку на данных высотах концентрация ионов в много раз меньше концентрации нейтральных частиц, то этим эффектом можно пренебречь. При столкновениях ионов с нейтральными молекулами происходит обмен их кинетическими энергиями при сохранении величины их суммарной энергии. Но, тем не менее, и в этом случае направление и величина скорости иона скачком изменяется, хотя и менее существенно, чем у электрона. Следует также учитывать, что в равновесном состоянии (при равных давлениях и температурах) средние кинетические энергии электронов, ионов и нейтральных частиц будут примерно равны, хотя средние скорости электронов будут примерно на два порядка выше средних скоростей нейтральных частиц и ионов (за счёт разницы их масс). Это позволяет ограничиться расчётом среднеквадратичных энергий нейтральных частиц, концентрации которых преобладают над концентрациями заряженных на всех указанных высотах.

Средние значения характеристики всех частиц атмосферы на этих высотах приведены в таблице 1, полученной на основе материалов, содержащихся в [6 и 7].

Таблица 1 – Основные параметры атмосферы на высотах 150 ...500 км

z, км	150	200	250	300	400	500
T, К	800	900	1000	1100	1400	1950
p, Па	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$0,95 \cdot 10^{-6}$	$0,55 \cdot 10^{-6}$
$N_n$ , см <sup>-3</sup>	$7 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$7 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$
$N_e$ , см <sup>-3</sup>	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$
$V_{кв}$ , М/с	812	861	908	952	1073	1268

$E_{кв}, \text{эВ}$	0,98	1,1	1,23	1,35	1,71	5,67
$\lambda_{п\text{ ср}}, \text{м}$	3,37	29,5	143	337	$4,7 \cdot 10^3$	$14,7 \cdot 10^3$
$v_{пн}, \text{с}^{-1}$	222	26,9	5,85	2,33	0,21	0,079
$v_{ен}, \text{с}^{-1}$	910	150	47	18	3,5	0,9
$v_{еи}, \text{с}^{-1}$	480	440	650	810	590	300
$v_{ин}, \text{с}^{-1}$	60	6	2	0,7	0,2	0,05

**Примечание:** В данной таблице скорости и энергии частиц определены с учётом их термодинамического равновесия. Причём, здесь не учтены протоны и электроны, заносимые в верхние слои атмосферы солнечным ветром и из радиационных поясов Земли.

Солнечный ветер состоит, в основном, из протонов и электронов, испускаемых короной Солнца, и сопровождается коротковолновым фотонным излучением. Основные его параметры на расстоянии орбиты Земли от Солнца приведены в таблице 2. Конечно, подавляющая часть этих потоков тормозится магнитным полем Земли, образуя радиационные пояса. На высотах свыше 1000 км концентрация протонов превосходит концентрацию всех других частиц и потому эту часть атмосферы называют протоносферой. Но какая-то часть быстрых протонов и электронов проникает и в ионосферу.

Таблица 2 – Основные параметры солнечного ветра на орбите Земли

Параметр	Средняя величина	Медленная составляющая	Быстрая составляющая
Плотность, $n, \text{см}^{-3}$	8,8	11,9	3,9
Скорость, $V, \text{км/с}$	468	327	702
Температура, протоны, $T_p, \text{К}$	$7 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^5$
Температура, электроны $T_e, \text{К}$	$1,4 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$
$T_e/T_p$	1,9	4,4	0,45

Особенно глубоко протоны солнечного ветра проникают во время солнечных вспышек. Кроме того, высокоэнергичные протоны регулярно проникают в ионосферу из радиационных поясов Земли. Именно проникновением высокоэнергичных протонов на глубину вплоть до 100 км объясняют нагрев атмосферы на высотах от 100 до 1000 км. Однако найти надёжные сведения о концентрации и энергии протонов на этих высотах не удалось (как раз в силу отсутствия прямых методов и средств их измерения). Но, даже если учитывать лишь равновесные значения скорости и энергии частиц, не следует забывать, что на самом деле даже для фиксированных значений температуры они распределены в весьма широком интервале, причём спад плотности распределения после наиболее вероятного значения их энергии очень пологий, что означает наличие на всех указанных высотах частиц с существенно (в несколько раз) большей энергией, чем указано в табл. 1.

Тем не менее, расчёт токов ловушки будем вести для условий термодинамического равновесия, при котором скорости теплового движения молекул воздуха в несколько раз меньше орбитальной скорости спутника (на низких орбитах она примерно равна 8000 м/с). Однако, равновесные скорости электронов будут на 4 порядка выше скорости движения спутника. Соответственно, при расчёте скорости молекул и ионов воздуха относительно ловушки их собственной тепловой скоростью можно пренебречь, а при расчёте скорости электронов относительно ловушки можно пренебречь скоростью самого спутника. Поэтому при расчёте количества попадающих в ловушку ионов будем учитывать относительную скорость, равную орбитальной скорости ловушки  $V_{орб} = 8000 \text{ м/с}$ . А при расчёте количества попадающих в ловушку электронов, будем считать её неподвижной. К сожалению, распределение концентрации ионов по высоте найти в литературе не удалось. Известно лишь, что максимальная концентрация ионов соответствует высотам 150-200 км, тогда как максимальная концентрация электронов – высотам 250-400 км. Однако, поскольку целью расчёта является лишь определение возможных диапазонов вариации токов ловушки, то вполне можно считать, что на всех высотах плазма электронейтральна, т. е. на всех высотах концентрации электронов и ионов одинаковы. Геометрические параметры электронно-ионной ловушки приведены в [1] и представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Геометрические размеры электродов электронно-ионной ловушки

Электроды		Наружный	Средний	Внутренний	
Верхняя система электродов	Высота, мм		30		
	Верх	$D_n, \text{мм}$	19	13	7
		$D_{вн}, \text{мм}$	18,8	12,8	-



	Низ	$D_n$ , мм	10	6	2
		$D_{вн}$ , мм	9,8	5,8	-
Нижняя система электродов	Высота, мм		10		
	Верх	$D_n$ , мм	10	6	2
		$D_{вн}$ , мм	9,8	5,8	-
	Низ	$D_n$ , мм	14	10	6
$D_{вн}$ , мм		13,8	9,8	5,8	

Поскольку соотношение скоростей ионов и ловушки и электронов и ловушки кардинально отличаются, то методики расчёта токов ионов и электронов будут различны.

С учётом этого общая методика расчёта токов ловушки состоит в следующем:

1. Определяется площадь верхнего сечения зазоров между парами электродов верхней электродной системы. Суммарное сечение зазоров между электродами в их верхнем сечении будет определяться выражением:

$$S_3 = \frac{\pi}{4}(D_n^2 - D_b^2) = 0,785(19^2 - 7^2) = 241,3 \text{ мм}^2 \approx 2,4 \text{ см}^2;$$

2. Определяется количество ионов  $N_i^h$ , попавших в ловушку за 1 с на разных высотах с учётом скорости движения ловушки относительно самих частиц (условно их считаем неподвижными, поскольку тепловые скорости их движения во много раз ниже скорости движения ловушки).

$$N_i^h = N_i^h \cdot S_n \cdot V_n, \quad (1)$$

где  $N_i^h = N_e^h$  – концентрация ионов (условно равная средней концентрации электронов) на высоте  $h$ ;

$V_n$  – орбитальная скорость ловушки.

Поскольку нас интересует лишь диапазон вариации токов ловушки, то из данных табл. 1 будем использовать лишь максимальное и минимальное значения концентрации ионов. Разброс здесь не велик (всего лишь десятикратный в отличие от диапазона вариаций концентрации нейтральных частиц, составляющий 3 порядка). Соответственно получаем

$$N_{i \min}^h = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 2,4 \cdot 8 \cdot 10^5 = 1,92 \approx 1,9 \text{ с}^{-1};$$

$$N_{i \max}^h = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 2,4 \cdot 8 \cdot 10^5 = 19,2 \approx 20 \text{ с}^{-1}.$$

3. Определяется количество электронов  $N_e$ , попавших в ловушку за 1 с.

Из таблицы 1 следует, что даже в области максимальной ионизации (высота 300-400 км) степень ионизации атмосферы остаётся невысокой ( $n_e/n_n$  не выше 0,02), а с уменьшением высоты до 150 км она падает до  $10^{-5}$ . Следовательно, будут преобладать столкновения электронов с нейтральными атомами и молекулами. Но, поскольку длина свободного пробега электронов на этих высотах на несколько порядков превышает геометрические размеры ловушки, то скорость дрейфа электронов вдоль направления электрического поля будет определяться выражением

$$V_{де} = -\frac{eE}{m_e}, \quad (2)$$

где  $e$  – заряд электрона;

$E$  – напряжённость электрического поля;

$m_e$  – масса электрона.

Опуская знак минус и подставляя в 2 среднюю величину электрического поля между электродами ловушки  $E_{cp}$  (её несложно оценить по рисункам 2 и 3 в [5] величиной  $E_{cp} = 450 \text{ В/мм} = 0,45 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ ), и выражая заряд электрона в кулонах, а его массу в кг, получаем

$$V_{де \text{ ср}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,45 \cdot 10^6}{0,91 \cdot 10^{-30}} = 0,79 \cdot 10^{17} \text{ м/с}.$$

Результат получился выше скорости света ( $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ). Поэтому её и примем в качестве скорости дрейфа:  $V_{де} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ .

Определив скорость дрейфа электронов в поле ловушки  $V_{де}$ , и оценив среднюю длину их пути  $l_{cp}$  от момента попадания в ловушку до момента нейтрализации можно определить среднее время их жизни  $\tau_i$ :

$$\tau_i = \frac{l_{cp}}{V_{де}}. \quad (3)$$

Из таблицы 3 следует, что величины зазоров между электродами верхней системы по верхнему торцу составляют 3 мм, по нижнему – 2 мм. Следовательно, средняя величина зазора составит 2,5 мм. Соответственно

$$\tau_{esp} = \frac{l_{cp}}{V_{de}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^8} = 0,83 \cdot 10^{-11} \text{ с} .$$

Убыль электронов будет непрерывно восполняться из внешней среды. Следовательно, минимальное и максимальное количество нейтрализуемых в ловушке за 1 с электронов будут равны

$$N_{e \min} = \frac{N_{e \min}}{\tau_{e \text{cp}}} = \frac{1,9}{0,83 \cdot 10^{-11}} = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1} ;$$

$$N_{e \max} = \frac{N_{e \min}}{\tau_{e \text{cp}}} = \frac{20}{0,83 \cdot 10^{-11}} = 2,4 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1} .$$

4. Определяется диапазон вариации тока электронов

$$I_{e \min} = q_e \cdot N_{e \min} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,3 \cdot 10^{11} = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ А} = 37 \text{ нА}$$

$$I_{e \max} = q_e \cdot N_{e \max} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,4 \cdot 10^{12} = 3,84 \cdot 10^{-7} \text{ А} = 384 \text{ нА}$$

5. Оценка диапазона возможных величин токов нижней системы электродов

Верхняя система электродов задерживает и нейтрализует все заряженные частицы с энергией ниже 40 кэВ. При этом будут нейтрализованы практически все заряженные частицы на высотах от 150 до 500 км, находящиеся в термодинамическом равновесии с воздушной средой. Верхней системой электродов будет задержана и нейтрализована и подавляющая часть заряженных частиц более высоких энергий, начальные скорости которых не направлены вдоль зазоров между электродами ловушки. В модернизированной конструкции ловушки зазоры между электродами шире, а высота верхней части ловушки короче. Поэтому доля высокоэнергичных частиц, не задерживаемых верхней системой электродов, может достигать десятка процентов. И именно для их нейтрализации в модернизированную конструкцию введена нижняя система электродов. Сколько высокоэнергичных заряженных частиц дойдёт до нижней системы электродов сказать сложно. Это могут быть протоны и электроны солнечного ветра и заносимые из радиационных поясов Земли. При этом протоны и электроны, заносимые из радиационных поясов, достаточно быстро теряют избыточную энергию и приходят в состояние термодинамического равновесия (что и является одним из источников повышения температуры в термосфере). Но частицы солнечного ветра, имея громадную энергию (в тысячи раз превышающую среднюю энергию частиц воздуха на этих высотах) могут проникать вплоть до нижних слоёв ионосферы и даже в стратосферу. Однако, не удалось найти даже приближённых оценок их концентрации на рассматриваемых высотах (от 150 до 500 км). К тому же эти концентрации могут резко возрастать при солнечных вспышках. Именно для нейтрализации этих высокоэнергичных частиц и служит нижняя система электродов ловушки. Таких частиц будет явно в десятки или сотни раз меньше, чем частиц, улавливаемых верхней системой электродов. Поэтому измерительные каналы нижней системы электродов должны иметь чувствительность, по крайней мере, до единиц наноампер.

Литература

1. Дрейзин В.Э. Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Перспективы исследования плотности и состава верхних слоёв атмосферы с помощью малых космических аппаратов. Инновационные информационные и коммуникационные технологии. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции. 2018. С. 289-293.

2. Дрейзин В.Э., Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Вакуумметрический преобразователь для совмещённого датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы (математическая модель). Сб. трудов XVI Международной научно-практической конф. Сочи. 2019. С. 445-450.

3. Дрейзин В.Э., Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Вакуумметрический преобразователь для совмещённого датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы (эксперимент). Сб. трудов XVI Международной научно-практической конф. Сочи. 2019. С.450-455.

4. Дрейзин В.Э., Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Электронно-ионная ловушка для совмещённого датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. Сб. трудов XVI Международной научно-практической конф. Сочи. 2019. С. 455-459.

5. Дрейзин В.Э. Аль Кадими Али Нури Мохаммед. Усовершенствованная конструкция электронно-ионной ловушки для датчика плотности и состава верхних слоёв атмосферы. (В данном журнале).

6. Модель космоса: в 2 томах. Под ред. М.И. Панасюка и Л.С. Новикова. – М.: КДУ. 2007.

7. ГОСТ 25645.115 – 84 «Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полётов искусственных спутников Земли».

УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ  
ЛИНЕЙНОЙ ЭКВИДИСТАНТНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Конов К.И.  
ПАО «НПО «АЛМАЗ»  
НИУ Высшая школа экономики  
[konov.k.i@gmail.com](mailto:konov.k.i@gmail.com)

Рассмотрен подход к формированию минимума диаграммы направленности (ДН) линейной эквидистантной фазированной антенной решетки (ЛЭФАР). Образование минимума ДН достигается путем суммирования трех парциальных ДН. Приведено выражение для расчета амплитудного коэффициента второй парциальной ДН, позволяющего обратить в ноль сумму трех ДН

Ключевые слова: диаграмма направленности, метод парциальных диаграмм.

Level control of lateral petals of the directional diagram of a linear equidistant phased array antenna. Konov K.I., PJSC "Almaz R&P Corp." LEMZ, NRU HSE.

An approach to the formation of the minimum of the radiation pattern (RP) of a linear equidistant phased array antenna (LEPAR) is considered. The formation of the RP minimum is achieved by summing three partial RPs. An expression is given for calculating the amplitude coefficient of the second partial RP, which makes it possible to turn the sum of three MDs to zero.

Keywords: radiation pattern, partial diagram method.

Введение

Актуальной задачей в процессе разработки современных антенных комплексов [1] [2] [3] [4], построенных на основе линейных фазированных антенных решеток (ЛЭФАР) [5] является синтез диаграмм направленности (ДН) [6] [7] с минимумами в заданных направлениях. Подход к формированию минимума ДН ЛЭФАР в заданном направлении с использованием метода парциальных диаграмм [8] был изложен в работах [9], [10]. Суть подхода заключается в том, что минимизация уровня боковых лепестков (УБЛ) ДН достигается путем сложения трех парциальных диаграмм. Главные лепестки двух парциальных ДН сдвинуты на угол  $\pm\beta$  относительно главного лепестка третьей парциальной ДН. Подбирая коэффициенты парциальных диаграмм можно добиться того, что сумма трех парциальных ДН будет равна нулю на заданном направлении [9], [10]. В данной работе исследовано применение подхода из работ [9], [10] к ЛЭФАР, состоящей из 60 излучателей.

Пусть парциальные ДН заданы функцией для дискретного излучателя следующего вида:

$$f(\theta, \Delta\Phi) = \frac{\sin(\Psi(\theta, \Delta\Phi))}{\sin \frac{\Psi(\theta, \Delta\Phi)}{N}}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – угол направления излучения,  $\Delta\Phi$  – фазовый сдвиг между соседними излучателями,  $\Psi(\theta, \Delta\Phi)$  – обобщенный угол, определяемый из следующего выражения [11], [12]:

$$\Psi(\theta, \Delta\Phi) = \frac{N}{2}(kdsin\theta - \Delta\Phi), \quad (2)$$

где  $k$  – волновое число. Фазовый сдвиг  $\Delta\Phi$  вычисляется из следующего выражения [1]:

$$\Delta\Phi = kdsin\beta, \quad (3)$$

где  $\beta$  – угол, определяющий сдвиг главного лепестка МК относительно нормали к плоскости ЛЭФАР. Для первого нуля МК ЛЭФАР  $f(\theta, 0)$  его значение определяется из следующего выражения [11], [13]:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{2}{N}\right). \quad (4)$$

Рассмотрим ДН, задаваемую суммой трех парциальными ДН  $f(\theta)$ ,  $f(\theta, \Delta\Phi)$  и  $f(\theta, -\Delta\Phi)$  [9]:

$$f_{\Sigma}(\theta, \chi) = f(\theta, 0) + \chi f(\theta, \Delta\Phi) + (1 - \chi)f(\theta, -\Delta\Phi). \quad (5)$$

Для получения минимума ДН ЛЭФАР в заданном направлении  $\theta$  необходимо определить значение коэффициента  $\chi$  в выражении (5) при условии обращения в ноль ДН  $f_{\Sigma}(\theta, \chi)$ . Из выражения следует, что для рассматриваемого случая коэффициент  $\chi$  определяется из следующего выражения:

$$\chi(\theta) = \frac{f(\theta, 0) + f(\theta, -\Delta\Phi)}{f(\theta, -\Delta\Phi) - f(\theta, \Delta\Phi)} \quad (6)$$

На рис. 1 представлена зависимость коэффициента  $\chi(\theta)$  от угла  $\theta$ . Как видно из рисунка, форма зависимости коэффициента  $\chi$  имеет три точки разрыва. При углах  $\theta = -90^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  градусов. На оси ординат рис. 1 отмечено значение коэффициента  $\chi$  для заданного угла  $\theta_1 = \arcsin\left(\frac{21}{N}\right)$ . Как следует из результатов, представленных на рисунке, такому значению коэффициента  $\chi$  соответствуют два значения угла  $\theta$ :  $\theta_1$  и  $\theta_2$ .

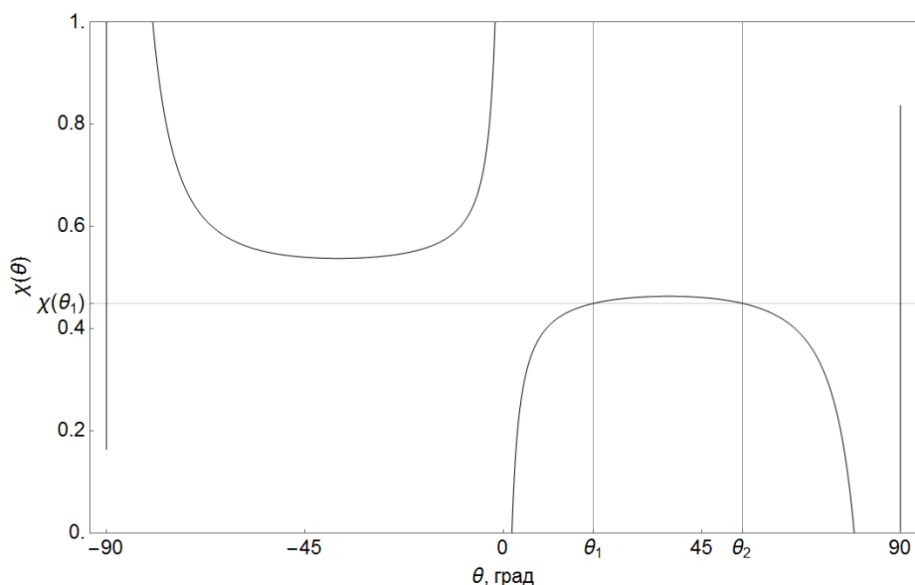


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента  $\chi$  от угла  $\theta$

На рис. 2 представлена зависимость нормированной ДН  $f_{\Sigma}(\theta, \chi)$  в дБ от угла  $\theta$  в градусах. Как видно из результатов, представленных на рисунке, полученная ДН характеризуется двумя нулями на заданных направлениях  $\theta_1$  и  $\theta_2$ . При этом ширина главного лепестка ДН по уровню половинной мощности не меняется, и форма ДН в области углов от  $-90$  до  $0$  градусов остается прежней.

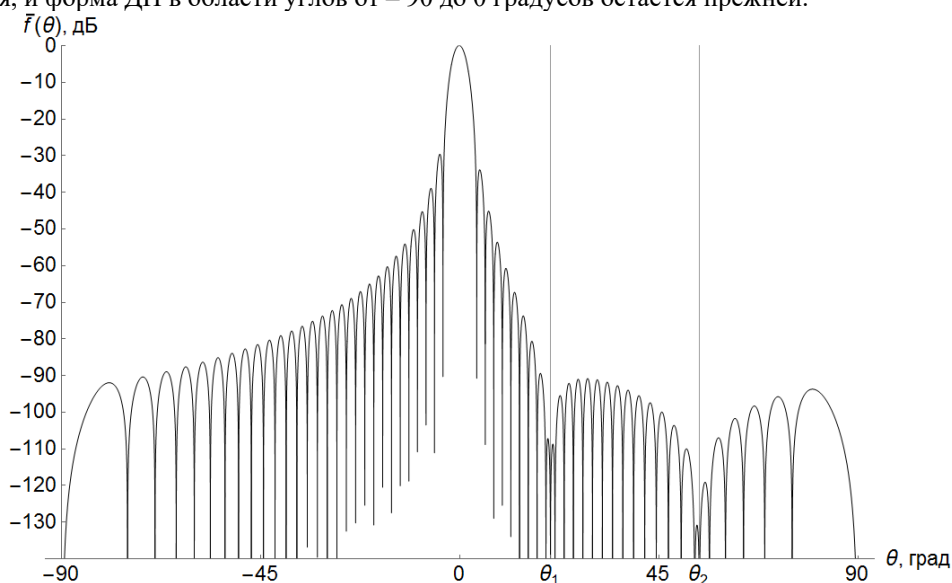


Рисунок 2 – Зависимость нормированной ДН  $f_{\Sigma}(\theta, \chi)$  в дБ от угла  $\theta$

#### Заключение

В работе рассмотрен подход к формированию минимума ДН ЛЭФАР в заданном направлении. Приведено выражение для расчета амплитудного коэффициента второй парциальной диаграммы. Показана зависимость коэффициента  $\chi$  от угла  $\theta$  в диапазоне от  $-90$  до  $90$  градусов. Приведен пример синтеза минимума ДН в заданном направлении для ЛЭФАР, состоящей из 60 излучателей.

#### Литература

1. Перфильев, В.В. Распределительная система многолучевой АФАР / Перфильев В.В., Климов К.Н., Годин А.С. // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – Санкт-Петербург, 2019.
2. Мацаян, М.С. Построение сверхширокополосной цифровой антенной решетке / Мацаян М.С., Перфильев В.В., Климов К.Н. // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – Санкт-Петербург, 2019.
3. Пшеничкин А.С., Андреев И.В., Климов К.Н. Влияние разности фаз в каналах сумматора мощности на эффективность сложения мощностей твердотельных усилителей в выходных каскадах передающих устройств перспективных РЛС / Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, т. 9, № 3, 2018, С. 135-141

4. Сучков, А.В. Синтез линейной антенной решетки с косекансной диаграммой направленности / Сучков А.В., Климов К.Н. // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. - Севастополь, 2013.
5. Сучков А.В., Климов К.Н. , «Линейная антенная решетка с расширенным рабочим сектором в угломестной плоскости.» Антенны. — 2013. — № 8. — С.18—29.
6. Suchkov, A.V. The synthesis of a linear antenna array with cosecant directional pattern / Мацаян М.С., Перфильев В.В., Климов К.Н. // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology. Conference Proceedings. – Sevastopol, 2013.
7. Годин А.С., Гежа Д.С., Климов К.Н. Использование автоматизированного комплекса для мультимастотного измерения диаграмм направленности малонаправленных антенн, *Антенны. 2013. № 12 (199). С. 045-053.*
8. Цай, А.Б. Программная реализация синтеза и оптимизации амплитудно-фазового распределения линейной антенной решетки методом парциальных диаграмм. / Цай А.Б., Климов К.Н. // 24-я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – Севастополь, 2014.
9. Конов, К.И. Использование метода парциальных диаграмм для снижения уровня ДН в заданном направлении / Конов К.И., Степанов Е.С., Годин А.С., // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – Санкт-Петербург, 2019.
10. Конов К.И., Дризе А.Д., Климов К.Н. Анализ результатов применения метода парциальных диаграмм для снижения уровня ДН в заданном направлении, *Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1 . С. 469-472.*
11. Марков Г.Т., Сазонов Д.М., Антенны, Москва: Энергия, 1975.
12. Д.А. Дупленков, Антенны. Простые излучатели. Решетки., Москва: Издательство МЭИ, 2002
13. Balanis C.A. , *Antenna Theory - Analysis and Design (3rd Edition)*, John Wiley & Sons, 2005, pp. 283-333.

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБЕГА САМОЛЕТА ПЕРЕД ВЗЛЕТОМ

Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Увайсов С.У.  
МИРЭА – Российский технологический университет  
+7 (905) 647-10-12, vietdang9944@gmail.com

Статья посвящена математическому описанию процесса разбега самолета перед взлетом. Данная задача является актуальной и своевременной, поскольку до настоящего времени не создано ни одной математической полной модели, описывающей движение самолета в процессе разбега, что приводит к трудностям восприятия информации пилотами, их запоздалой реакции на возникшую ситуацию и невозможности обеспечения необходимого уровня безопасности этого этапа полета. Наличие подобной математической модели позволило бы определить все параметры движения самолета при разбеге, а также автоматизировать процесс принятия решения о продолжении или прекращении взлета.

Ключевые слова: взлет, тяга двигателей, сила тяжести, сила трения, турбореактивный двигатель, подъемная сила, сила лобового сопротивления, сила реакции опоры, математическая модель.

Mathematical description of the aircraft launch process before takeoff. Zang Van Thanh, Dao An Quan, Pham Le Quoc Han, Nguyen Viet Dang, Nguyen Van Thuan, Uvaysov S.U.

The article is devoted to the mathematical description of the aircraft take-off run. This task is relevant and timely, since so far not a single mathematical complete model has been created that describes the movement of an aircraft during the takeoff run, which leads to difficulties in the perception of information by pilots, their delayed reaction to the situation that has arisen and the impossibility of ensuring the required level of safety for this stage of flight. The presence of such a mathematical model would make it possible to determine all the parameters of the aircraft movement during the takeoff run, as well as automate the process of making a decision to continue or terminate takeoff.

Keywords: Take-off, thrust of the engines, weight force, friction force, turbojet engines, lift force, drag force, normal earth reaction force, mathematical model.

#### Введение

Взлёт является одним из самых сложных и опасных этапов полёта, так как именно в эти моменты воздушное судно испытывает наибольшие перегрузки. По данным, представленным компанией Боинг, 14 % всех несчастных случаев со смертельным исходом на самолете происходят во время взлета. Одной из причин этого является то, что чем ближе самолет к земле, тем меньше возможностей для своевременной реакции пилота на возникающие проблемы. Взлет включает в себя три процесса: разбег, отрыв и набор

высоты. Разбег - это начальный этап взлета, который представляет собой процесс набора скорости от нуля до значения, при котором подъемная сила крыльев способна оторвать самолет от поверхности земли. Для того, чтобы обеспечить безопасность полета с технической точки зрения, необходимо исследовать динамику полета, а первоочередной задачей здесь ставится математическое описание процесса разбега.

Математическая модель движения самолета при разбеге составлена на основе анализа сил, действующих на самолет в этом процессе. Чем детальнее будут проанализированы силы, тем большей степени соответствия модели можно достичь. Поэтому для получения точной математической модели первоочередной задачей становится аналитическое описание всех сил и их последующее обобщение.

#### Постановка проблемы

При разбеге скорость самолета постепенно увеличивается от нуля до скорости отрыва, следовательно, приближенно можно считать, что разбег - это прямолинейное ускоренное движение самолета по взлетно-посадочной полосе (ВПП) под действием неуравновешенных сил. Пример современного самолета и силы, действующие на него при взлете, показаны на рис. 1. Здесь:

- $P$  - тяги всех двигателей;
- $G$  - сила тяжести;
- $Y$  - подъемная сила;
- $Q$  - сила лобового сопротивления;
- $N$  ( $N_1, N_2$ ) - сила реакции опоры;
- $F_{тр}$  ( $F_1, F_2$ ) - сила трения колес о грунт.

Рассмотрим более подробно каждую из действующих сил.

Тяга всех двигателей  $P$  в начале процесса разбега имеет максимальную величину, а затем, с увеличением скорости, тяги уменьшаются. Двигатели самолета могут быть поршневыми и турбореактивными, и уменьшение тяги для каждого из них будет различным. Каждый тип двигателя имеет скоростную характеристику, дающую значения тяги в соответствующих значениях скорости. Турбореактивный двигатель потребляет топливо для преобразования в кинетическую энергию струи газов, а возникающая при истечении из сопла двигателя сила реакции газов используется как движущая сила - сила тяги.

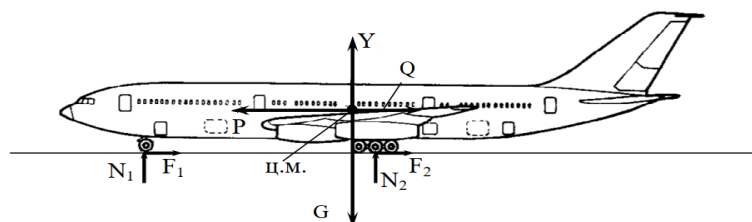


Рисунок 1 – Силы, действующие на самолет на разбеге

Из курса физики и механики известно, что изменение количества движения некоторой массы воздуха  $m$ , прошедшей через двигатель за время  $t$ , равно импульсу силы  $P$ , действующей на эту массу:

$$\begin{aligned} P \times t &= m(V_{н} - V), \\ \text{или} \quad P &= m_p(V_{н} - V), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V_{н}$  - скорость газов на выходе двигателя [м/с];

$V$  - скорость газов на входе [м/с];

$m_p$  - секундный расход воздуха через двигатель [кг/с]

Сила тяжести ( $G$ ) имеет постоянную величину, и направлена вниз. Сила веса определяется формулой (2).

$$G = mg; \quad (2)$$

где  $m$  - масса самолета [кг];

$g$  - Ускорение свободного падения [м/с<sup>2</sup>];

Подъемная сила крыльев  $Y=0$  во время стоянки самолета. Она прямо пропорциональна скорости движения, а при отрыве самолета от поверхности земли имеет максимальную величину, равную весу самолета. Подъемная сила возникает в результате разности давлений на нижней и верхней поверхности крыла. Разность давлений возникает при несимметричном обтекании профиля, вследствие чего на верхней поверхности крыла давление будет меньше, чем на нижней (рис.2).

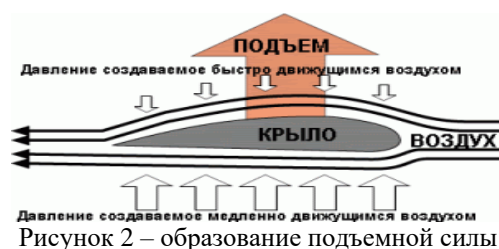


Рисунок 2 – образование подъемной силы

Подъемная сила описывается с помощью формулы Жуковского и коэффициента Смитона и имеет вид:

$$y = C_y \frac{\rho V^2}{2} \cdot S, \quad [H] \quad (3)$$

где

- Y - подъёмная сила крыла(Н)
- C<sub>y</sub> - коэффициент подъёмной силы
- ρ - плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>)
- V - скорость набегающего потока (м/с)
- S - площадь крыльев (м<sup>2</sup>)

Сила лобового сопротивления Q=0 перед разбегом и увеличивается в разбеге до определенного значения (она отличается у разных типов самолетов, зависит от угла атаки и профиля крыльев). Лобовое сопротивление самолета складывается из сопротивлений его отдельных частей, находящихся в потоке воздуха:

$$Q_c = Q_{кр} + Q_{ф} + Q_{г.о} + Q_{в.о} + Q_{д.у} + Q_{п.б} + \dots = C_x \frac{\rho V^2}{2} S' \quad (4)$$

- где Q<sub>кр</sub> - лобовое сопротивление крыла;
- Q<sub>ф</sub> - лобовое сопротивление фюзеляжа;
- Q<sub>г.о</sub> - лобовое сопротивление горизонтального оперения;
- Q<sub>в.о</sub> - лобовое сопротивление вертикального оперения;
- Q<sub>д.у</sub> - гондол двигательных установок;
- Q<sub>п.б</sub> - лобовое сопротивление подвесных баков;
- C<sub>x</sub> - коэффициент лобового сопротивления;
- S' - площадь соответствующих всех частей самолета.

Сила реакции опоры N имеет максимальную величину, равную весу самолета, когда самолет не движется. С увеличением скорости самолета и увеличением подъемной силы, сила реакции опоры уменьшается, а после отрыва самолета от взлетно-посадочной полосы становится равной нулю.

Сила трения колес о грунт F<sub>тр</sub> зависит от силы реакции опоры N и состава взлётно-посадочной полосы. Аналогично силе реакции опоры, после отрыва самолета сила трения колес имеет нулевое значение. Сила трения определяется формулой (5):

$$F_{тр} = N \times f \quad (5)$$

- где F<sub>тр</sub> - сила трения колес о грунт;
- N- нормальная сила реакции земли;
- f - коэффициента трения между колесами и ВПП.

Математическая модель движения самолета при разбеге по горизонтальной ВПП может быть представлена системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d(m V)}{dt} - P \cos \varphi_y - G \sin \varphi_{впп} - Q - F_{тр} = 0 \\ Y - P \sin \varphi_y - G \cos \varphi_{впп} + N = 0 \\ \frac{dL}{dt} = V \end{cases} \quad (6)$$

где

- m- масса самолета, [кг]
- V- скорость движения самолета, [м/с]
- P- суммарная тяга силовых установок, [Н]
- φ<sub>y</sub>-угол установки двигателей, [рад]
- φ<sub>впп</sub>-угол установки двигателей, [рад]
- G- сила тяжести, [Н]
- Y- аэродинамическая подъемная сила, [Н]

Q- сила аэродинамического лобового сопротивления, [Н]  
N - сила реакции ВВП на колеса, [Н]  
F<sub>тр</sub>- сила трения колес о грунт, [Н]  
L - длина пробега самолета, [м]

#### Заключение

В ходе исследования была проанализирована динамика полета самолета и выявлены силы, действующие на него при разбеге в процессе взлета. В результате работы была предложена математическая модель движения самолета при разгоне по горизонтальной ВПП. Из модели было получено, что длина разбега зависит от веса самолета и параметров воздуха. В статье не учитывались воздействия таких внешних факторов, как боковой ветер, температура и давление. Данный результат будет использован для дальнейших исследований в целях нахождения технических решений по обеспечению безопасности полета самолета в процессе его разбега и взлета.

#### Литература

1. Votyakov A.A., Kayunov N.T. Flight aerodynamics and dynamics of the aircraft. 1975 ,Moscow - DOSAAF, 295 p.
2. В.А. Саликов, В.И. Пентюхов, А.П. Будник Математическое моделирование автоматического движения самолета в турбулентной атмосфере; М-во образования Рос. Федерации, Воронеж. гос. техн. ун-т. - Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т, 2004. - 377 с
3. Бехтина Н.Б., Кубланов М.С./ Динамика полета: Пособие по выполнению лабораторных работ на ПЭВМ. – М.: МГТУ ГА, 2007. – 28 с.
4. <https://studfile.net/>

### СТРУКТУРА ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Попова Т.А.  
МИРЭА - Российский технологический университет  
+79688579769, [anhquan.hvu@gmail.com](mailto:anhquan.hvu@gmail.com)

Диагностика ошибок электронного оборудования играет важную роль в производстве и эксплуатации электронных средств. Для детектирования ошибки, полученной в печатном узле, в настоящее время используют методы неразрушающего контроля. Один из наиболее эффективных методов неразрушающего тестирования – применение тепловизионных методов. Использование искусственных нейронных сетей для диагностики позволяет повысить достоверность и эффективность контроля.

Ключевые слова: нейронная сеть, неразрушающий контроль и диагностика, надежность, тепловизионный метод.

The structure of an artificial neural network for recognizing defects of the printed node design. Zang Van Thanh, Dao An Quan, Pham Le Quoc Han, Nguyen Viet Dang, Nguyen Van Thuan, Popova T.A.

Diagnostics of errors in electronic equipment plays an important role in the production and operation of electronic devices. Non-destructive testing methods are currently used to detect an error received in a printed circuit assembly. One of the most effective non-destructive testing methods is the use of thermal imaging methods. The use of artificial neural networks for diagnostics improves the reliability and efficiency of control.

Keywords: neural network, non-destructive testing and diagnostics, reliability, thermal imaging method.

#### Введение

В методах теплового неразрушающего контроля используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте исследования. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов.

Основной характеристикой температурного поля, являющейся индикатором дефектности, служит величина локальной температурной передачи. Координаты места передачи, его рельеф или, иными словами, топология температурного поля и его величина в градусах, являются функцией большого числа факторов. Эти факторы можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние факторы определяются теплофизическими свойствами контролируемого объекта и дефекта, а также их геометрическими параметрами. Эти же факторы определяют временные параметры процесса теплопередачи, в основном, процесса развития температурного поля. Внешними факторами являются характеристики процесса



теплообмена на поверхности объекта контроля, мощность источника нагрева и скорость его перемещения вдоль объекта контроля.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) - модель обработки информации, которая в сочетании с неразрушающим термическим тестированием позволит улучшить возможности и точность диагностики.

Структура диагностических систем печатных узлов

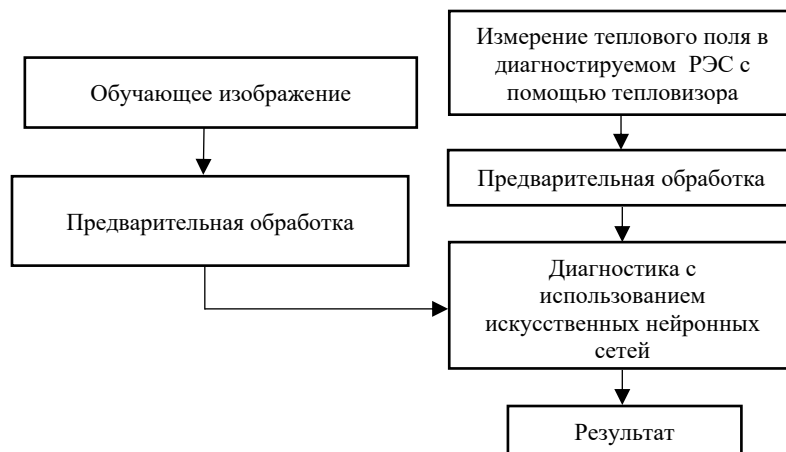


Рисунок 1 – Структура диагностических систем печатных узлов с использованием искусственных нейронных сетей

Процедура тестирования (правый тракт): При проведении исследования используется тепловая камера для получения теплового изображения печатной платы.

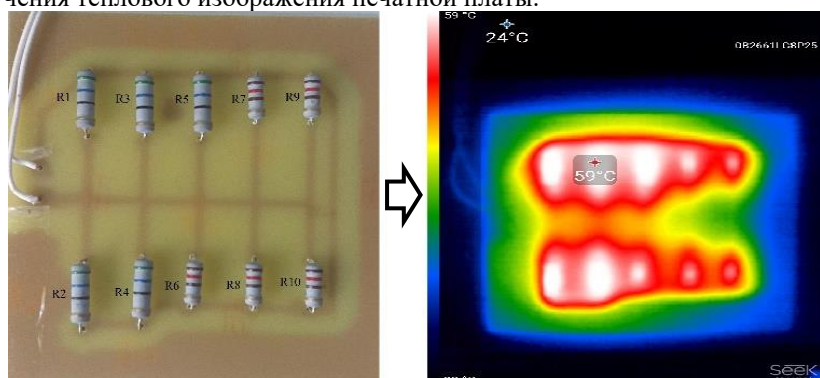


Рисунок 2 – Печатный узел и его тепловое изображение

Тепловое изображение (теплография) - это изображение, снятое с помощью инфракрасной термокамеры (рис.2).

Установка пороговых значений изображения используется для его сегментации. Пороговая обработка является способом обнаружения дефектов материала в инфракрасном термографическом изображении. Пороговая обработка - это процесс отделения объектов от их фона в цифровом виде. Основным инструментом в этом процессе разделения является гистограмма. Предположим, что уровень серого соответствует изображению  $f(x, y)$ , которое состоит из светлых объектов на темном фоне, таким образом, что у пикселей объекта и фона уровни серого сгруппированы в два доминирующих режима. Извлечение объекта из фона выполняется путем выбора порога  $T$ , разделяющего эти режимы:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

После обработки изображение вводится в базу данных для обучения нейронной сети с целью последующего распознавания подобного дефекта в исследуемом узле.

Процедура обучения (левый путь): Настройка системы для конкретного типа платы состоит в обучении нейронной сети на полученных образцах дефектов, которые хранятся в базе данных и используются в процедуре тестирования. Каждая нейронная сеть обучается с использованием набора шаблонов, соответствующих дефектам определенной области исследуемого узла. Схемы обучения строятся из изображений областей схемы с использованием той же процедуры предварительной

обработки, которая будет использоваться при тестировании. Обучающие изображения построены с использованием тепловизионного метода диагностирования исправных и неисправных печатных узлов.

### Нейронная модель

Нейронная сеть - вычислительная модель, состоящая из группы искусственных нейронных соединений, обрабатывающих информацию путем передачи и вычисления новых значений на узлах. Искусственные нейронные сети способны хранить знания и использовать их для прогнозирования неизвестных данных. Модель искусственной нейронной сети (ИНС), применяемая в данном исследовании, показана на рис.3.



Рисунок 3 – Модель искусственной нейронной сети

Основные компоненты ИНС:

Входной слой: является слоем, который работает непосредственно с внешними данными, поэтому количество нейронов во входном слое зависит от количества измерений внешних данных.

Промежуточный слой (скрытый слой): является слоем, который обрабатывает данные, полученные от входного слоя. Количество нейронов в каждом слое зависит от степени сложности решаемой задачи.

Выходной слой: является выходным слоем, количество нейронов выходного слоя зависит от количества получаемых результатов.

Структура нейрона показана на рис. 4.

Нейрон имеет аксон - выходное соединение данного нейрона, от которого на синапсы следующих нейронов посылается сигнал. Для каждого синапса характерен размер синаптического соединения (его вес  $w_i$ ). Текущее состояние нейрона определяется как общий вес его входного сигнала:

$$S = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$

Выход нейрона есть функция его состояния:  $y = f(s)$

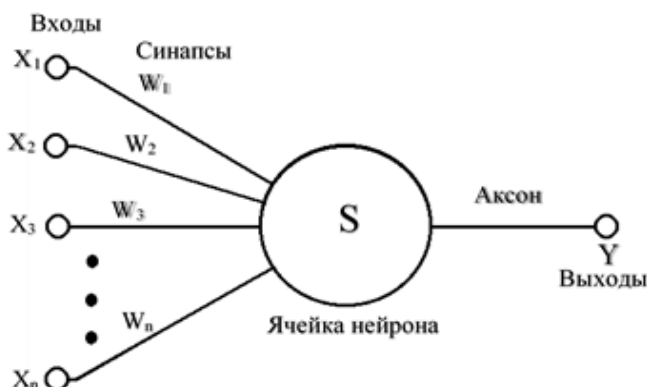


Рисунок 4 – Искусственный нейрон

Функция активации, также называемая характеристической функцией, является нелинейной функцией, которая вычисляет выход формального нейрона. Часто используемые функции активации:

- + Пороговая передаточная функция
- + Сигмоидальная передаточная функция

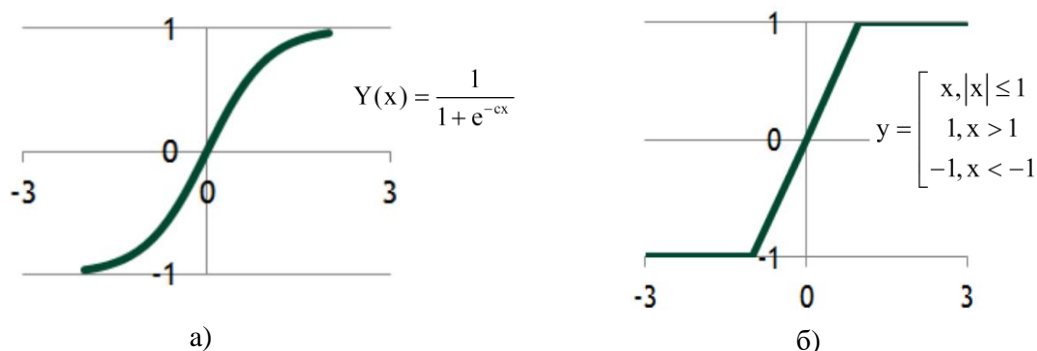


Рисунок 5 – Активационная функция  
а) Сигмоидальная передаточная функция  
б) Пороговая передаточная функция

Выбор функции активации определяется спецификой рассматриваемой задачи и ограничениями, накладываемыми алгоритмами обучения.

#### Заключение

В статье рассмотрен метод тепловизионного диагностирования печатных узлов электронных средств с применением искусственной нейронной сети для обнаружения дефектов. Преимущество искусственной нейронной сети заключается в ее способности обучаться на полученной в результате моделирования базе шаблонов для исправного состояния исследуемого узла и состояния с дефектом, и возможности регулировать веса для достижения оптимальных результатов. Использование тепловых изображений в качестве исходных данных позволяет повысить точность результатов диагностирования за счет применения алгоритма извлечения объекта из фона на основе тщательного подбора порогового значения.

#### Литература

1. Галушкин, А.И. Нейронные сети: основы теории. / А.И. Галушкин. - М.: РиС, 2014. - 496 с.
2. Ширяев, В.И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика / В.И. Ширяев. - М.: КД Либроком, 2016. - 232 с
3. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика – М.: Издательство Горячая линия-Телеком, 2002.
4. Васильев А. Н., Карп В. П. Моделирование саморегуляции нейрона в сети // Математика. Компьютер. Образование. Тезисы конференции – М.–Ижевск: R&C Dynamics, 2012. – С. 167.
5. Брусов В. С., Тюменцев Ю. В. Нейросетевое моделирование движения летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2016. 192 с
6. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 380 с.

#### ОСОБЕННОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ JTAG В ДИАГНОСТИКЕ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Увайсова А.С.  
РТУ МИРЭА  
+79855376587, tuanmya2pkkq@gmail.com

В статье рассматриваются возможности применения программных средств, реализующих JTAG – технологию, для задач диагностирования печатных узлов. Использование этой технологии в тестировании печатных узлов помогает производителям экономить материальные и временные ресурсы и обеспечивает высокую эффективность тестирования. Для обеспечения возможности применения JTAG-технологии необходимо сформировать исходную информацию о печатных узлах, которая сохраняется в различных файлах, а затем - подключить программный модуль для генерации тестов, например, пакет JTAG ProVision или JTAG Live-AutoBuzz.

Ключевые слова: периферийное сканирование, средство автоматизации проектирования, тестовое покрытие, модель компонентов, таблица истинности, тестируемая цепь.

Feature of application of JTAG technology in diagnostics of printed units. Zang Van Thanh, Dao An Quan, Pham Le Quoc Han, Nguyen Viet Dang, Nguyen Van Thuan, Uvaysova A.S.

The article discusses the possibilities of using software tools that implement JTAG technology for problems of diagnostics of printed nodes. The use of this technology in the testing of printed circuit assemblies helps manufacturers to save material and time resources and ensures a high efficiency of testing. To enable the use of JTAG technology, you need to generate initial information about printed nodes, which is saved in various files, and then connect a software module for generating tests, for example, the JTAG ProVision package or JTAG Live-AutoBuzz.

Keywords: boundary scan, design automation tools, test coating, Component models, truth table, tested circuits.

#### Введение

Современные радиоэлектронные средства (РЭС) – это сложные аппаратно-программные комплексы с высокой степенью интеграции, достигаемой за счет совершенствования технологических процессов производства, и широким спектром функциональных возможностей, реализуемых посредством применения программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Микроминиатюризация и расширение функционала разрабатываемых РЭС, в свою очередь, приводят к необходимости тщательного контроля, отладки и тестирования многопроцессорных вычислительных систем, входящих в их состав. Это направление проектной деятельности требует разработки новых эффективных методов в задачах диагностирования электронных средств.

Для успешной реализации тестирующих процедур необходимо обеспечить технологический доступ к выводам компонентов или к отдельным контактным площадкам, но для многослойных печатных плат соблюсти эти требования весьма непросто. В связи с этим встает вопрос о совершенствовании тестирующих процедур и разработке метода, позволяющего выполнить диагностирование без необходимости доступа ко всем контрольным точкам схемы. Стандарт периферийного сканирования IEEE 1149.1 был утвержден в 1990 году, но чаще его ассоциируют с названием рабочей группы по его созданию – Joint Testing Action Group.

#### Технология JTAG

Обобщенная структура приведена на рис.1. TAP - машина состояний требует 5-х контактов:

- TDI (Test Data Input)—контакт для ввода данных;
- TDO (Test Data Output)—контакт для вывода данных;
- TCK (Test Clock Input)—контакт сигнала синхронизации обмена;
- TMS (Test Mode Select)—контакт для управления состоянием автомата TAP.
- TRST (Test ReSeT)—переход в начальное состояние контроллера автомата TAP.

### Typical FPGA SOC JTAG Structure

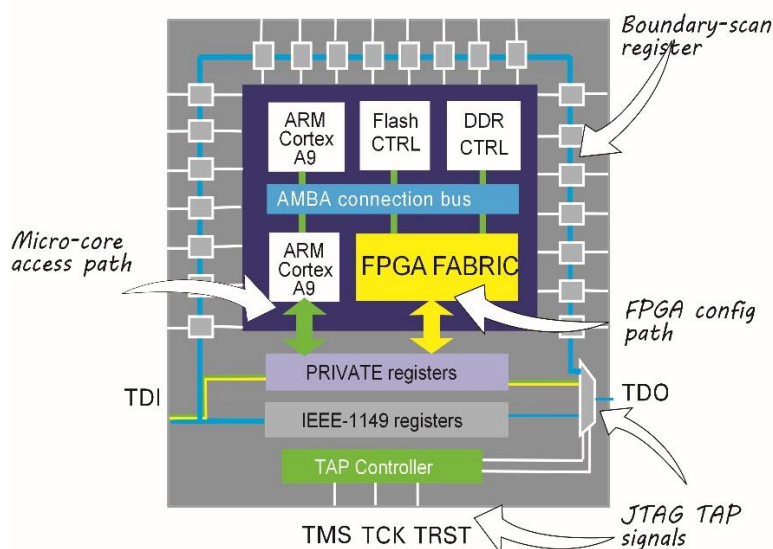


Рисунок 1 – Обобщенная структура ИС, содержащей структуру ГС

Контроллер TAP – это конечная машина состояний. Она имеет 16 состояний, а диаграмма перехода от одного состояния в другое приведена на рис.2. Переходы зависят от значения сигнала TMS и импульса TCK.

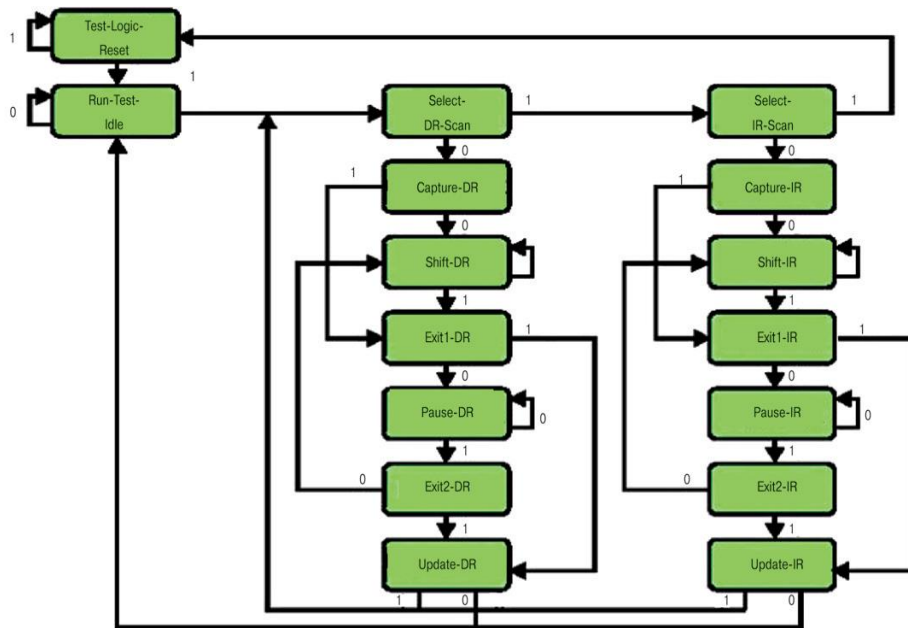


Рисунок 2 – Диаграмма состояний контроллера TAP

Инструменты для генерации тестовых приложений и тестирования  
и программирования плат и систем

Пакет JTAG ProVision является специализированным программным средством, реализующим рассматриваемую технологию. Тест в нем создается и запускается автоматически. Для обеспечения работы программного модуля необходимо предварительно сформировать исходные данные:

- список соединений компонентов схемы (Netlist), который может быть создан в любой системе автоматизированного проектирования печатных плат, например, Altium Designer;
- BSDL-файл, который предоставляется производителем;
- тестовые модели компонентов печатных плат, в которых не поддерживается технология JTAG.

Рабочее окно пакета JTAG ProVision по созданию отчета представлено на рис.3.

Обзор цепей		Обзор компонентов	
Имя цепи	Плата / Классификация	Testability	Покрытие
~> ALE/ADV_N	µ2156_1	100%	50%
~> BA0	µ2156_1	67%	67%
~> BA1	µ2156_1	67%	67%
~> BOOT_ASDO	µ2156_1	67%	67%
~> BOOT_ATA0	µ2156_1	100%	100%
~> BOOT_CSO	µ2156_1	100%	83%
~> BOOT_DCLK	µ2156_1	67%	67%
~> BUS_A0	µ2156_1	100%	50%
~> BUS_A1	µ2156_1	100%	50%
~> BUS_A2	µ2156_1	100%	50%

Статистика по цепям		Статистика по компонентам		Статистика по выводам ИС	
		Тестопригодность	%	Покрытие	%
<b>Общее количество цепей</b>		<b>617</b>	<b>100%</b>	<b>617</b>	<b>100%</b>
Цепей в нетлисте		612		612	
Цепей, добавленных для неподключенных выводов ИС (+)		5		5	
Цепей, игнорируемых пользователем (-)		0		0	
<b>Цепи, тестируемые периферийным сканированием</b>		<b>449</b>	<b>73%</b>	<b>420</b>	<b>68%</b>
Считанные компонентом периферийного сканирования (прямые)		401		387	
С доступом через прозрачный компонент (непрямые)		13		2	
Цепи питания / заземления		9		8	
Цепи, тестируемые косвенно		26		23	

Рисунок 3 – Создание отчета о тестовом покрытии

Встроенный мастер приложений JTAG ProVision помогает создавать различные виды тестов. При необходимости (например, для улучшения тестового покрытия) можно добавить или убрать цепи, компоненты и т.д. (рис. 4)

Рисунок 4 – Вывод результатов тестирования в виде таблицы истинности

Еще одним примером специализированного программного средства, реализующего рассматриваемую технологию, является JTAG Live–AutoBuzz. С его помощью схемы тестируются автоматически. Результаты тестов сравниваются с эталонными, которые сохраняются в базе данных. Приложение Slip дает возможность создавать тестовые векторы и проверять с их помощью логику работы микросхем. Интерфейс работы с программным модулем представлен на рис. 5.

Рисунок 5 – Приложение JTAG Live Buzz

### Заключение

Периферийное сканирование позволяет проверить целостность и правильность работы всех шин печатных плат. С их помощью также можно выполнять программирование ПЛИС через интерфейс JTAG и, в целом, осуществлять координирование JTAG-технологии с другими методами тестирования элементов печатных плат. В результате, для печатного узла, на котором имеется лишь один компонент, поддерживающий периферийное сканирование, можно обеспечить до 90% тестового покрытия этого узла.

### Литература

1. Первая в России конференция пользователей систем периферийного сканирования, 2 июня 2015 года в Санкт-Петербурге.

2. Иванов А.В. Доклад: Технология периферийного сканирования// в семинаре: JTAG, как технология тестирования: от разработки схемы до серийного производства, преимущества на всех этапах.
3. Н.Клюквин. Введение в технологию периферийного сканирования Описание и рекомендации для разработчиков. 2013 №5 (00127).

## РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОМ УЗЛЕ ПРИ НАДЁЖНОСТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Черноверская В.В.  
МИРЭА - Российский технологический университет  
[gjangvanthanh.92tb@gmail.com](mailto:gjangvanthanh.92tb@gmail.com), 8-909-632-65-26

Возрастающая сложность современных электронных средств приводит к необходимости комплексного решения задачи топологического проектирования печатных узлов (компоновки, размещения, трассировки, расчета тепловых режимов, анализа электромагнитного взаимодействия компонентов на печатной плате). Комплексный подход к задачам проектирования напрямую связан с решением задачи повышения надежности разрабатываемого устройства. Каждая из рассматриваемых задач в отдельности имеет свои методы и алгоритмы решения. В этом аспекте размещение элементов на коммутационном поле печатной платы можно отнести к классу многокритериальных оптимизационных задач, поскольку электрорадиокомпоненты характеризуются различными мощностями рассеивания, рабочими температурами, типами материалов и массогабаритными характеристиками.

Ключевые слова: Оптимизация, размещение элементов, радиоэлектронное средство, печатный узел, температурный режим, надёжность электронных средств.

Placement of elements on the printing unit for reliable design of electronic means. Zang Van Thanh, Dao An Quan, Pham Le Quoc Han, Nguyen Viet Dang, Nguyen Van Thuan, Chernoverskaya V.V.

The high complexity of modern electronic devices leads to the need for technical design of placement, routing, calculation of thermal conditions, electromagnetic interaction of components on a printed circuit board. In this regard, technical design in the framework of solving the problem of improving the quality and reliability of electronic devices that are widely used in the electronics industry. In addition, meeting the design requirements for optimizing the placement of elements on a printed circuit board (PCB) is a multicriteria task, since most components have different power dissipation, operating temperature, material types and sizes.

Keywords: Optimization, placement of elements, electronic equipment, printed circuit assembly, temperature regime, reliability of electronic equipment.

### Введение

В последние годы при проектировании электронных средств компании-разработчики уделяют большое внимание решению задачи размещения электронных компонентов на печатных платах с целью обеспечения максимального надежности электронных средств.

Из опыта проектирования электронных средств известно, что расположение каждого электронного компонента на печатном узле влияет на температуру перехода и общее распределение тепла на поверхности печатной платы. Следовательно, если при размещении компонентов соблюдается температурный баланс, то тепловое поле не будет выходить за пределы допустимых значений, что обеспечит оптимальные рабочие режимы работы узла и ожидаемые показатели надежности. Поэтому создание алгоритма оптимального размещения компонентов является важной и актуальной задачей для современных разработчиков электронных средств, поскольку он позволит найти наилучшее техническое решение в пространстве разнородных показателей.

### Метод размещения элементов печатного узла при надёжностном проектировании электронных средств

К конструкциям современных радиоэлектронных средств предъявляются достаточно высокие требования по технологичности и эксплуатационным характеристикам. Это: максимальная плотность монтажа элементов, жесткие ограничения по массогабаритным характеристикам, обеспечение высокого удельного тепловыделения, высокая степень стабильности характеристик [1,2]. В данной работе описан метод, позволяющий выбрать наилучший вариант размещения электронных компонентов с точки зрения обеспечения температурных режимов, что дает возможность увеличить рабочий ресурс электронного оборудования и, следовательно, повысить его надежность.

Модели, используемые для оптимизации, содержат параметры, которые можно изменять для достижения поставленной цели. Неправильное размещение электронных компонентов на печатной плате

может привести к возникновению горячих точек и вывести из строя электронный узел. Поэтому, необходимо рассчитать все параметры радиокомпонентов, соединенных между собой на печатной плате, проанализировать фактические значения температуры и сравнить их с максимально допустимыми значениями. Структурная схема предложенного метода размещения элементов на печатном узле при надёжном проектировании электронных средств представлена на рисунке 1.

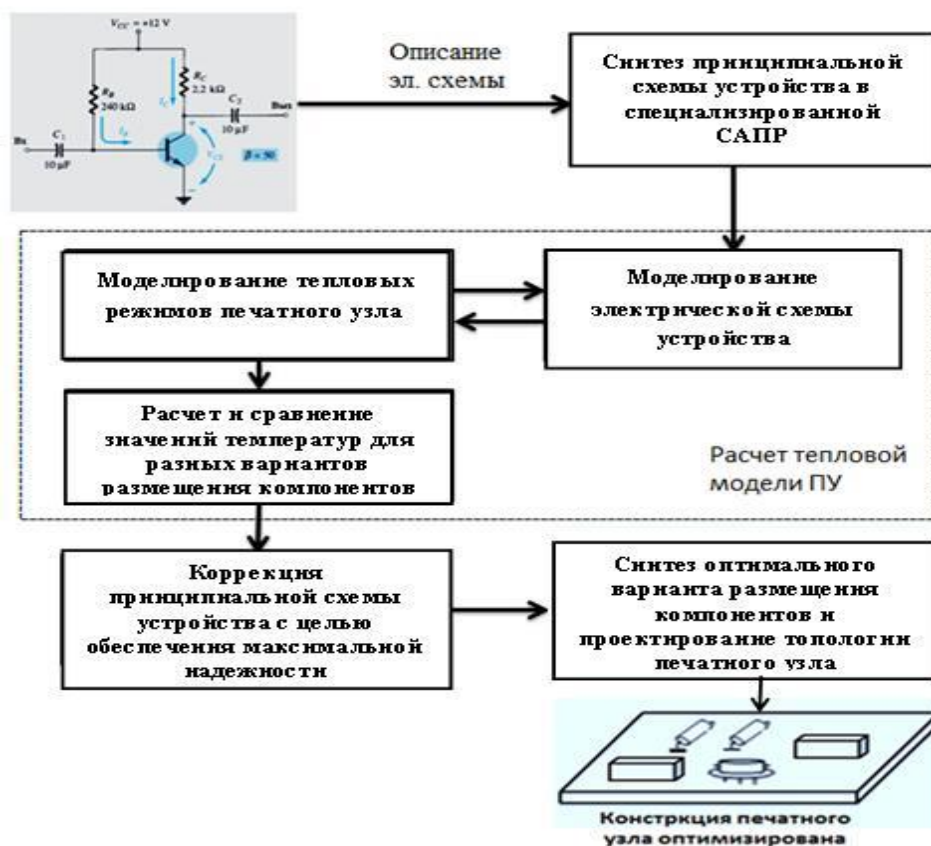


Рисунок 1 – Структурная схема метода размещения элементов на печатном узле при надёжном проектировании электронных средств

При реализации отдельных этапов предложенного метода применяются специализированные САПР, позволяющие синтезировать принципиальную схему устройства и рассчитать параметры элементов, смоделировать различные режимы разрабатываемого узла и выполнить расчеты выходных характеристик, создать топологию печатного узла и выполнить трассировку слоев.

#### Моделирование тепловых режимов с использованием программного обеспечения Solidworks

SolidWorks — программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. В проведенном исследовании применялся модуль SolidWorks Simulation - инструмент для структурного анализа (линейного, нелинейного статического, динамического), основанный на методе конечных элементов. Такой анализ позволяет прогнозировать поведение изделия в реальной среде путем виртуального тестирования САД-моделей.

В процессе моделирования тепловой системы существенную роль играет общее количество размещаемых электронных компонентов, которое напрямую влияет на размерность решаемой задачи: чем больше элементов, тем большее количество факторов необходимо учесть. Инструменты моделирования SolidWorks обладают достаточной точностью для получения реалистичных результатов, а также позволяют запустить и оптимизировать тепловое проектирование полученных вариантов.

С помощью аналитической тепловой модели электронного устройства рассчитывается температура каждого элемента. Результаты моделирования представлены на рис.2.



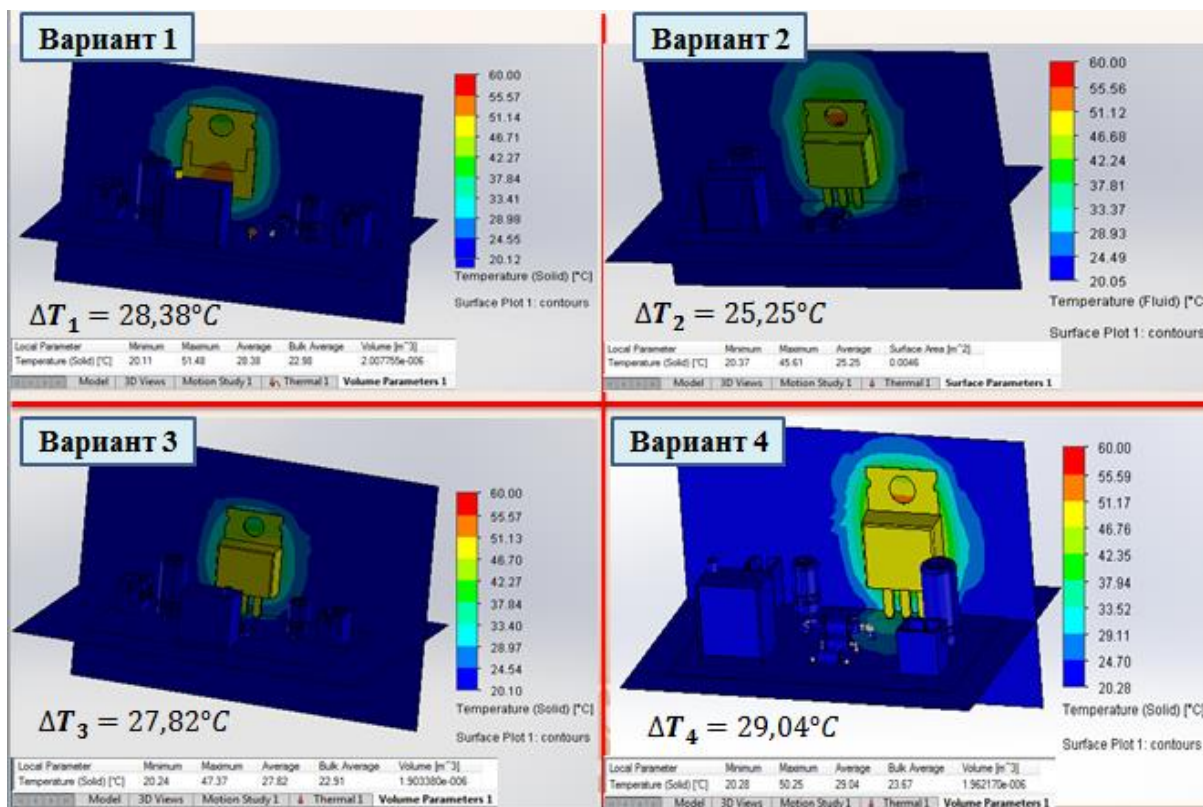


Рисунок 2 – Моделирование тепловых режимов печатного узла в САПР SolidWorks Simulation для разных вариантов размещения ЭРЭ

Для анализа и моделирования более сложных электронных средств разработаны оптимизационные алгоритмы, основанные на применении теории множеств, теории графов, генетических алгоритмов., один из которых описан ниже.

Алгоритм оптимального размещения элементов на печатном узле при надежном проектировании электронных средств с использованием самоорганизующегося генетического алгоритма

В последние годы при проектировании электронных средств большое внимание уделяется применению нейросетевых технологий и адаптации заложенных в них алгоритмов для решения конструкторских задач. Структурно алгоритм SOGA можно рассматривать как каскад из двух GA, основанный на двухэтапном процессе оценки пригодности (фитнеса), который должен гарантировать оптимальную выборку хромосом для каждого итерационного процесса. Алгоритм разработан на основе генетического алгоритма с взвешенной суммой (WSGA), в котором GA внутренней петли используется для оптимизации выбора весов WSGA. В рамках решаемой задачи оптимального размещения ЭРЭ была проведена серия экспериментов, для которой сформулированы четыре критерия, наиболее значимых с точки зрения разработки конструкции и обеспечения надежности проектируемого узла: температурные показатели компонента; площадь печатной платы; рассеиваемая мощность компонента; расстояние до критического компонента с высоким потенциалом. Результаты показали, что алгоритм SOGA дает лучшее оптимальное решение по сравнению с другими методами.

#### Заключение

В данной статье рассмотрена задача оптимального размещения компонентов на печатной плате при надежном проектировании электронных средств. Показано, что при рациональном расположении электронных компонентов на печатной плате схема будет работать более стабильно. Дальнейшим направлением развития представленного исследования станет совершенствование алгоритма поиска оптимального решения с учетом многокритериальности рассматриваемой задачи и более полной оценки факторов, влияющих на надежность электронного устройства в целом.

#### Литература

1. Меркухин Е. Н. Априорный критерий оценки эффективности оптимизации теплового режима путем рационального размещения электронных элементов // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – с. 77-81. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37198> (дата обращения: 06.01.2020).
2. Кольтюков Н. А., Белоусов О. А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009.
3. Меркухин Е.Н. Использование графовых моделей пространства допустимых решений в задаче размещения электронных элементов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 5. С. 56—61.
4. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК-Пресс, 2010.
5. Lombard M. SolidWorks 2013 Bible. John Wiley & Sons Inc., 2013.
6. Горячев, Н. В. Подсистема расчета средств охлаждения радиоэлементов в интегрированной среде проектирования электроники / Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. А. Рыжов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 4. – С. 24–29.
7. Выбор оптимального варианта построения электронных средств / И. И. Кочегаров, Н. В. Горячев, А. К. Гришко // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 2 (10). – С. 153–159.
8. Меркухин Е.Н. Синтез тепловой модели на основе принципа суперпозиции температурных полей для платы микроблока электронной аппаратуры // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 10-4. – С. 534-538; URL: <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=10384>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В 3D-ПЕЧАТНЫХ УЗЛАХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ ЛИНЕЙНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Глухов П.А., Черноверская В.В., Ветрова В.В., Увайсова А.С.  
МИРЭА - Российский технологический университет  
8(909)988-17-34 [shadetai@gmail.com](mailto:shadetai@gmail.com)

В статье рассмотрены результаты моделирования тепловых характеристик стабилизатора напряжения, представленного в двух конструктивных реализациях: в виде печатного узла, изготовленного по традиционной технологии с применением поверхностного монтажа и в виде 3D-печатного узла, изготовленного по новой аддитивной технологии объемной печати. Приведен сравнительный анализ температурных показателей, полученных в результате численного эксперимента для двух вариантов исполнения устройства. Данная работа является частью исследования, проводимого с целью изучения возможностей применения аддитивных технологий печати для создания узлов и модулей электронных средств в виде 3D - конструктивных решений, а также поиска новых форм-факторов реализации конструктивных элементов.

Ключевые слова: стабилизатор напряжения, аддитивная технология, 3D-печать, теплопроводность, температурный диапазон, тепловое моделирование.

Investigation of thermal processes in 3D-printed units of electronic means on the example of a linear voltage stabilizer. Glukhov P.A., Chernoverskaya V.V., Vetrova V.V., Uvaisova A.S.

The article considers the results of modeling the thermal characteristics of a voltage stabilizer presented in two design implementations: in the form of a printing unit manufactured using traditional surface-mounted technology and in the form of a 3D-printed unit manufactured using a new additive technology for three-dimensional printing. A comparative analysis of the temperature parameters obtained as a result of a numerical experiment for two versions of the device is presented. This work is part of a research conducted to study the possibilities of using additive printing technologies to create components and modules of electronic tools in the form of 3D design solutions, as well as to search for new form factors for the implementation of structural elements.

Keywords: voltage stabilizer, additive technology, 3D printing, thermal conductivity, temperature range, thermal modeling.

### Введение

Современная электроника требует повышения производительности, функциональности, надежности электронных средств на фоне продолжающейся миниатюризации разрабатываемых устройств. Эти требования создают необходимость в поиске новых методов разработки и реализации конструктивных элементов электронных средств (нестандартных форм-факторов с применением криволинейных поверхностей для печатных слоев, печатных узлов со встроенными внутрь компонентами и др.). Создание таких элементов стало возможным с появлением аддитивных технологий объемной печати в радиоэлектронной промышленности. В статье приведены результаты расчетов, выполненных в

САПР SolidWorks, которые отражают различие между тепловыми характеристиками элементов электрической схемы, реализованной в рамках традиционных технологий производства печатных плат и схемой, выполненной с использованием аддитивных технологий.

На сегодняшний день 3D-печать является революционной технологией для производства печатных плат, обеспечивая сокращение времени разработки, гибкость и вариативность при проектировании, а также отсутствие рисков потери интеллектуальной собственности, что позволяет выпускать новую продукцию в более короткие сроки, не прибегая к услугам сторонних изготовителей.

Сегодня для достижения наиболее высоких результатов в решении данных задач подходит принтер DragonFly-2020. Данный комплекс дает возможность разработчикам печатать как диэлектрические, так и токопроводящие материалы с использованием лишь одной установки.

Основными элементами данного принтера являются две печатающие головки и системы отверждения. Первая используется для нанесения диэлектрического слоя из полимера, повторяющего свойства материалов группы FR4, вторая для нанесения проводящего слоя, состоящего из пасты с содержанием серебряных наночастиц. Данный набор инструментов дает возможность изготавливать многослойные 3D-MID изделия, а также печатные платы с дискретными компонентами.

#### Исследование

Для проведения расчетов была выбрана схема линейного стабилизатора напряжения с использованием планарных микросхем, позволяющих обеспечить 3D-принтеру максимальную точность заполнения проводящего слоя в изделии: резисторы выполнены в корпусе 2512, стабилитрон в корпусе SOD-962, транзистор в корпусе SOT1061.

Исходные данные:

- $U_{вх} = 8 \text{ В}$
- $U_{вых} = 5 \text{ В}$
- $I_{н} = 0.01 \text{ А}$
- D1  $U_{ст} = 5 \text{ В}$
- D1  $I_{ст.мин.} = 0.005 \text{ А}$
- Q1 h21э = 63
- R1 = 590 Ом
- R2 = 500 Ом

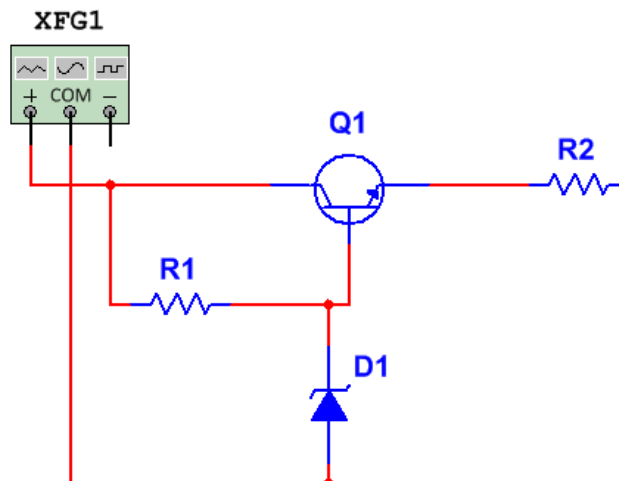
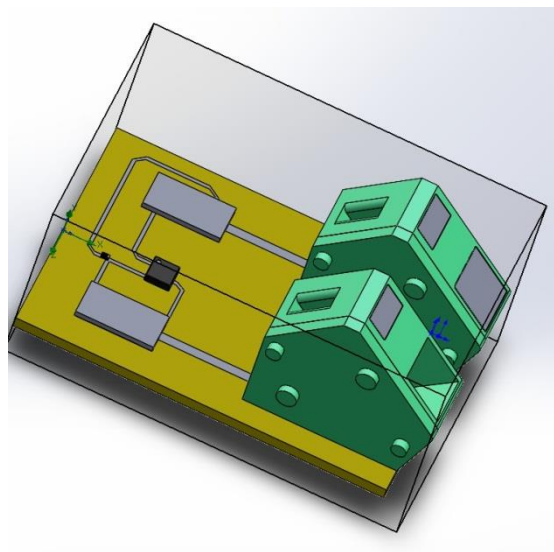


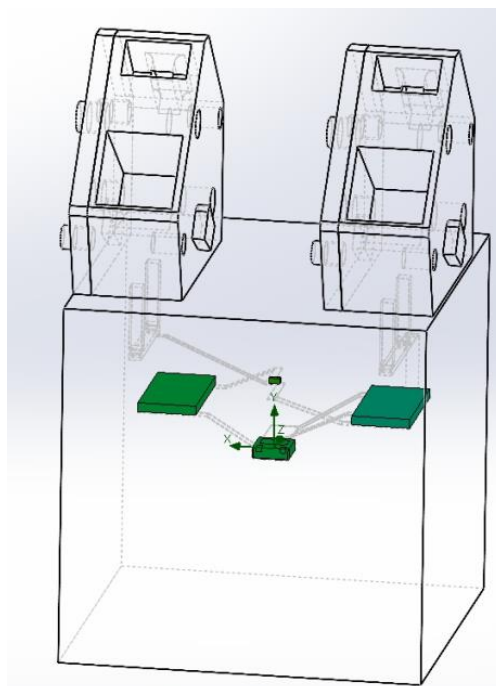
Рисунок 1 – Электрическая схема линейного стабилизатора

В среде разработки SolidWorks были спроектированы 2 варианта исполнения печатной платы:

- с применением стандартной технологии производства печатных плат, рис.2а)
- с использованием возможностей аддитивных технологий, рис.2б)



а) плата, выполненная по стандартным технологиям



б) плата, выполненная с помощью аддитивных технологий

Рисунок 2 – Варианты исполнения печатной платы

Размеры расчетной области на печатной плате (рис. 2а) составляют 20x30 мм, площадь куба (рис.2б) составляет 2400мм<sup>3</sup> при длине грани в 20мм.

При проведении расчетов в SolidWorks Flow Simulation были выставлены следующие начальные данные:

- Нормальное атмосферное давление - 760 мм рт.ст.
- Температура окружающей среды - 21°C.
- Теплопроводность воздуха - 0,0259 Вт/(м·град)
- Теплопроводность стеклотекстолита FR4 - 0,25 Вт/(м·град)
- Диапазон рабочих температуры комплектующих -55° +125°C.

На рис. 3 – 4 представлены результаты теплового моделирования для схем линейного стабилизатора, выполненных в двух вариантах исполнения.

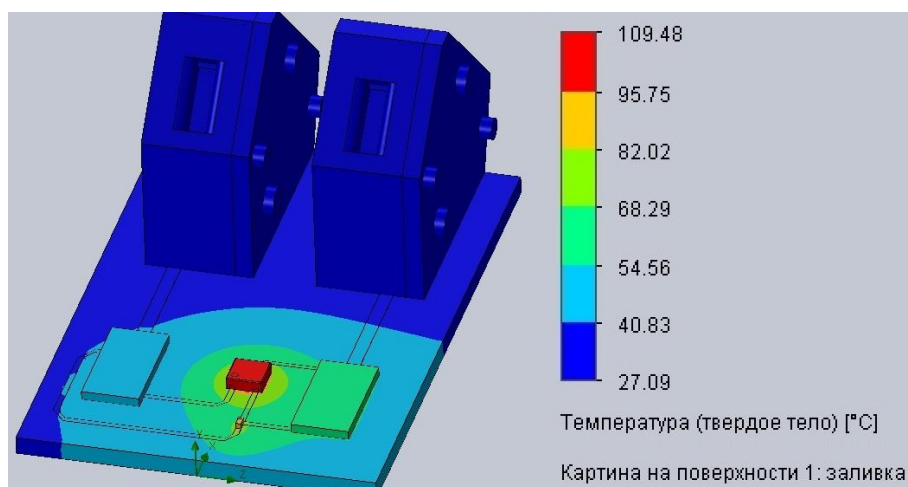


Рисунок 3 – Результат теплового моделирования печатной платы, выполненной по стандартным технологиям

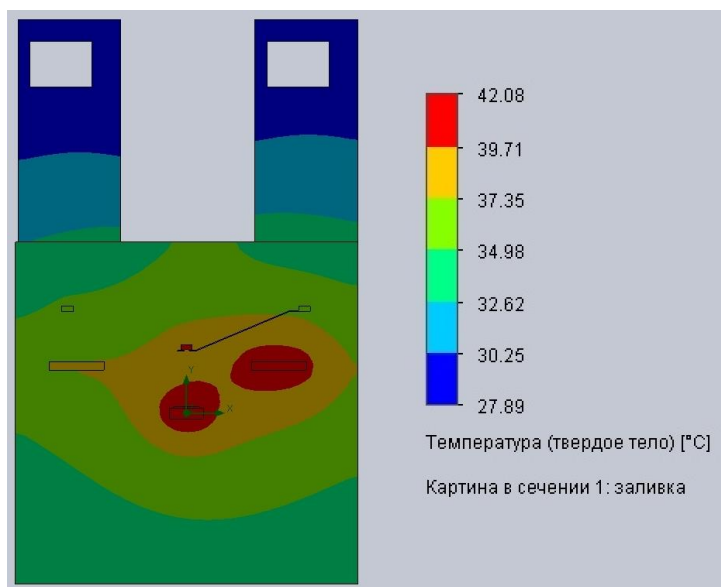


Рисунок 4 – Результат теплового моделирования печатной платы, выполненной с применением аддитивных технологий

Значения температуры, полученные при обоих расчетах, не превышают допустимых, однако результат моделирования печатной платы с дискретными компонентами существенно отличается по показателям. Согласно значениям теплопроводности, при нагреве элементов стеклотекстолит проводит испускаемое тепло быстрее, чем это происходит в воздушном пространстве без дополнительных источников конвекции.

#### Выводы

На основе предоставленных данных можно выделить возможность применения аддитивных технологий с целью создания печатных плат с дискретными комплектующими, при соблюдении невысоких тепловых значений, испускаемых элементами.

#### Литература

1. 3D-принтер DragonFly – революция в изготовлении многослойных печатных плат // Вектор высоких технологий №4 (39) 2018, с. 7-10
2. Обзор технологий и оборудования для 3D-печати в области электроники. <https://additiv-tech.ru/publications/obzor-tehnologiy-i-oborudovaniya-dlya-3d-pechati-v-oblasti-elektroniki.html>
3. Обзор применения 3D-печати в электронике. [https://top3dshop.ru/blog/3d\\_printing\\_at\\_electronics.html](https://top3dshop.ru/blog/3d_printing_at_electronics.html)

#### МЕТОД УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ ЦЕЛОСТНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Попова Т.А.  
МИРЭА – Российский технологический университет  
+7 (916) 121-57-29, [khanhmtak45@gmail.com](mailto:khanhmtak45@gmail.com)

Создание современных электронных средств, характеризующихся расширением функциональных технических решений возможностей и областей применения, требует от разработчиков применения более сложных технических решений в процессе проектирования и разработке технологических процессов, что приводит к возникновению, с высокой вероятностью, производственных ошибок, скрытых дефектов и повреждений после определенного периода эксплуатации. Своевременное обнаружение таких процессов при проведении диагностики может стать решающим фактором в задаче повышения надежности электронного средства.

Диагностика электронных средств при испытаниях на ударные воздействия является одним из методов неразрушающего контроля, который характеризуется высокой эффективностью, хорошей методической проработанностью и несложной технической реализацией.

Ключевые слова: диагностирование, ударные воздействия, реакция на ударное воздействие, механические дефекты, компьютерное моделирование, математическая модель, электронные средства.

The method of impact impacts in the problem of diagnostics of the integrity of the structure of electronic means. Zang Van Thanh, Dao An Quan, Pham Le Quoc Han, Nguyen Viet Dang, Nguyen Van Thuan, Popova T.A.

The creation of modern electronic tools, characterized by the expansion of functional technical solutions of capabilities and applications, requires developers to use more complex technical solutions in the design and development of technological processes, which leads to the occurrence, with a high probability, of production errors, hidden defects and damage after a certain period of operation. Timely detection of such processes during diagnostics can be a decisive factor in improving the reliability of an electronic tool.

Diagnostics of electronic devices during impact tests is one of the methods of non-destructive testing, which is characterized by high efficiency, good methodological elaboration and simple technical implementation.

Keywords: diagnostics, shock impacts, shock response, mechanical defects, computer modeling, mathematical model, electronic means.

#### Введение

Повышение требований к точности изготовления электронных средств, появление новых технологий, а также широкое внедрение автоматизации технологических процессов и создание автоматических систем управления и регулирования вызвало резкое увеличение роли динамических исследований разрабатываемых систем.

Вопросы надежности с каждым годом приобретают все большую актуальность. Надежность любого технического устройства на практике проявляется в периодическом появлении тех или иных неисправностей, выводящих это устройство из строя. В связи с этим вводятся понятия безотказности, неисправности и отказа; причем при анализе надежности всякое техническое устройство рассматривается как система или элемент. Максимальные требования по надежности предъявляются к электронным средствам, устанавливаемым в аппаратуре космического, авиационного и военного назначения, где эксплуатация происходит в условиях жестких внешних воздействий. [2]

Механические испытания с помощью ударных воздействий позволяют осуществить контроль качества элементов, аппаратуры и других электротехнических изделий. Данные об ударных испытаниях являются ключевой информацией о произведенном продукте, поскольку позволяют оценить, способно ли изделие устоять в реальных условиях работы.

#### Типы дефектов в конструкции электронных средств

Механические дефекты могут возникать по разным причинам, например, из-за ошибок в производстве, после периода эксплуатации и т.д. В общем, механический дефект электронного узла имеет следующие типы:

- Деформация электрорадиоизделия
- Изменение компоновки платы
- Изменение материала платы
- Наличие в ЭС посторонних элементов
- Образование трещины в конструкции
- Ослабление крепежа
- Отсутствие электрорадиоизделия

#### Принцип диагностического исследования

На печатный узел электронного средства оказывается механическое воздействие (в данной работе исследуется влияние ударного воздействия) и снимается реакция узла. Любая конструкция представляет собой анизотропную гетерогенную структуру, обладающую своими механическими характеристиками (распределение массы в конструкции). При смене физической характеристики меняется картина отклика системы вследствие изменения распределения массы. Таким образом, проводя испытания на ударные воздействия можно выделить определенные зависимости. Данный метод автоматизированной диагностики печатных узлов основан на создании математической модели, показывающей амплитудно-временную характеристику отклика системы на удар. Сравнение результатов, полученных после ударного воздействия, с образцами, хранимыми в базе данных характеристик печатного узла, позволяет с высокой степенью достоверности идентифицировать дефекты.

Первоначальная задача состояла в выборе эффективного входного импульсного сигнала. Этот вопрос является ключевым при проведении механических испытаний электронных средств, поскольку позволяет обеспечить требуемую достоверность результатов и минимизировать ошибки диагностирования. Экспериментально доказано, что пилообразный возрастающий импульс является

лучшим вариантом входного воздействия, поскольку он дает четкую картину исследования и помогает легко идентифицировать дефекты.

Вторая задача состояла в поиске местоположения датчика. В эксперименте было выявлено, что необходимо выбирать точку, максимально удаленную от узлов крепления печатной платы. Обычно датчик устанавливается в центре печатной платы, чтобы он мог воспринимать все изменения, даже если они очень малы.

Изучение процесса ударного воздействия с помощью компьютерного моделирования

Компьютерное моделирование позволяет существенным образом сократить время исследований и получить наиболее полную картину с учетом допусков и отклонений в физических характеристиках печатного узла. Для выполнения исследования необходимо:

- Создать математическую модель исследуемого печатного узла.
- Произвести компьютерное моделирование с учетом дефектов, т.е. при выходе показателей за пределы допусков.
- На основе проведенного моделирования сформировать базу амплитудно-временных характеристик, поскольку каждый дефект изменяет вид динамической характеристики.
- Определить какие виды ударного воздействия на систему обеспечивают необходимый отклик для диагностики.

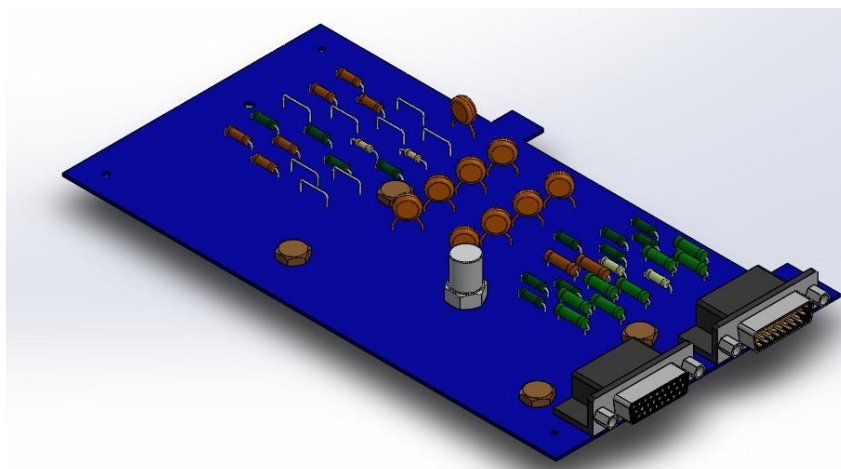


Рисунок 1 – Компьютерная модель печатного узла

В рамках проведенного исследования произведено компьютерное моделирование печатного узла, которое доказывает возможность и целесообразность применения предложенной методики. Графики реакции системы приведены на рис. 2.

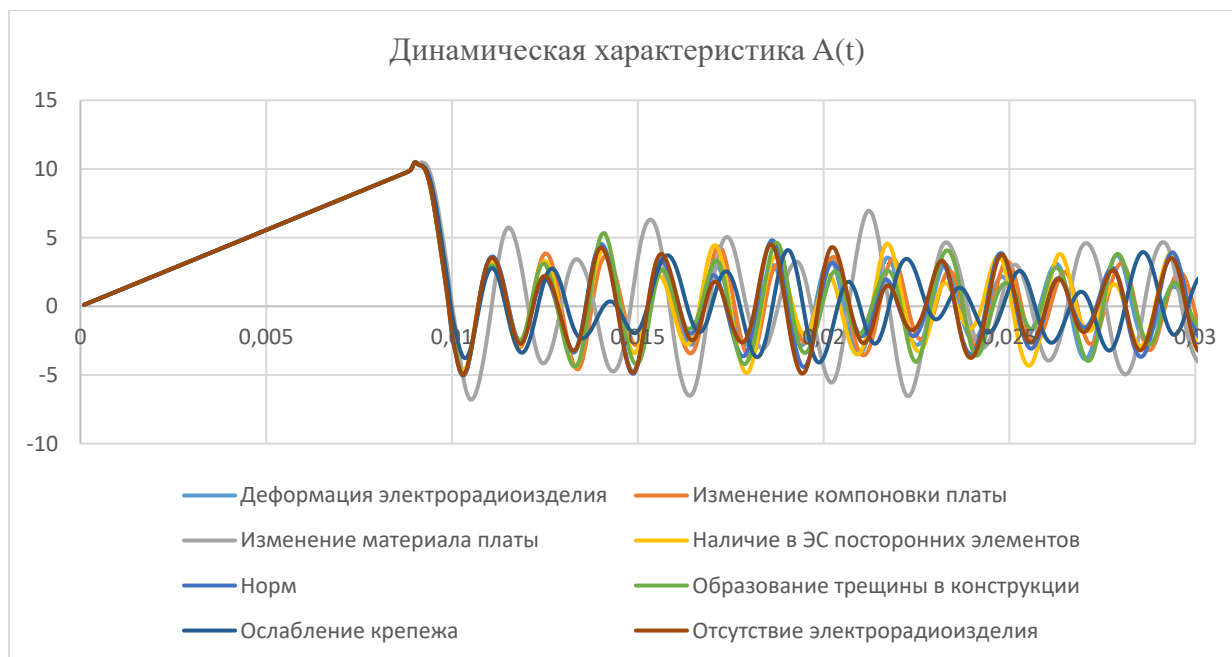


Рисунок 2 – Амплитудно-временная характеристика реакции на ударное воздействие амплитудой 10 мм

Из рис.2 видно, что для каждого случая (исправного состояния или при наличии определенного дефекта) волна реакции сильно различается. На основе проведенной серии экспериментов с заданным диапазоном разброса параметров и с учетом существующих погрешностей, применяется метод Монте-Карло. Это позволяет найти вариант, максимально приближенный к реальной системе значений.

#### Заключение

В статье показано, что диагностика радиоэлектронных средств при испытаниях на ударные воздействия имеет важное значение в вопросах неразрушающего контроля устройства. Этот метод прост в реализации и достаточно эффективен.

#### Литература

1. Р.И. Увайсов, Метод диагностирования дефектов бортовых радиотехнических устройств.
2. И.В. Любимов, С.С. Мешков, А.А. Ушаков, Р.В Чалый, Методы и средства диагностирования технических систем.
3. Д. Е. Анатольевна, Информационно-измерительная система обнаружения дефектов печатных плат.
4. Рентгеновский контроль — мощное средство для диагностики и локализации дефектов современных печатных узлов. Текст научной статьи по специальности «Электротехника, электронная техника, информационные технологии» Гафт Станислав ЖУРНАЛ Компоненты и Технологии.

#### PRINCIPLE OF OPERATION AND MEANS OF IMPLEMENTING A NON-CONTACT METHOD OF TEMPERATURE MEASUREMENT

Proshin A., Melnichuk A., Gerasimova Yu. and Yurkov N.  
Penza state university  
+7-903-324-26-58, ra4foc@yandex.ru

When designing, testing and operating electronic equipment, it is impossible to do without the use of special devices-temperature meters. At different stages of the life cycle of an electronic product, meters that operate on different physical principles can be used. At the same time, two methods of temperature measurement remain unchanged – contact and non-contact (non-destructive). In their work, the authors focus on the contactless method of temperature measurement, considering two types of contactless meters separately. The theoretical part is given as the basis for the entire process of non-destructive temperature control, and two of the most common devices for non – contact temperature measurements-a pyrometer and a thermal imager-are considered. The advantages and disadvantages of pyrometric and thermal imaging contactless temperature meters are considered in detail. An



example of a modern integrated pyrometric meter is given. In conclusion, the authors set a number of tasks, the implementation of which allows you to create a universal, multi-channel temperature meter.

Keywords: Heat, flow, radiation, temperature, object, pyrometer, thermal imager.

### Introduction

The development of electronics and technology follows the path of microminiaturization of both finished radio equipment and its component parts - electric and radio products. In this regard, the solution to the problem of heat removal from fuel elements is complicated. New cooling means are being developed, working both on new physical principles and well-known ones, for example, air means based on a convective cooling method. To determine the effectiveness of such means, it is necessary to measure the temperature of the cooling means during its operation. For this purpose, measuring systems that implement the contact method of measuring temperature are actively used. Existing methods of contact temperature measurement have a number of disadvantages and do not always allow for adequate studies of cooling means. For example, the size of an electric and radio product can be comparable to or much smaller than the size of a contact temperature sensor, which leads to inadequate readings from the measurement system. Contactless methods are also not without drawbacks [1]. In particular, this type of measurement can be called less sensitive than contact, since obtaining an indication of the temperature of the object is based on the perception of thermal energy emitted by this object. In this article, we will focus on non-contact methods of measuring temperature, consider methods and means that allow this type of thermal control to be performed [2,3].

### Theoretical aspects of non-contact temperature measurement

Any physical body has the ability to emit electromagnetic energy, the intensity of which is affected by its temperature. In turn, the temperature value can be calculated based on the quantitative characteristics of the heat flow. This is what the non-contact temperature measurement method is based on. Its essence is as follows. The investigated heat source emits heat flow into the surrounding atmosphere, which is detected at a certain distance by the receiver sensor, a sensitive element of the device for measuring temperature at a distance. There are two main types of such devices: a pyrometer and a thermal imager.

Measurement accuracy directly depends on a number of factors:

1. An object, whose temperature is measured at a distance, should be in direct line of sight of the heat sensor.
2. The path of the sensor beam to the object under study should not be obstructed. A variety of objects, atmospheric conditions (fog, dust, steam) can adversely affect the accuracy of the measurement. Particular attention should be paid to the cleanliness of the optical components of the device, they should not be contaminated in any way.
3. Temperature readings are affected by the structure and physical state of the surface under study. This effect is clearly seen in Figure 1, which shows the characteristics of different shades: black, grey and color.

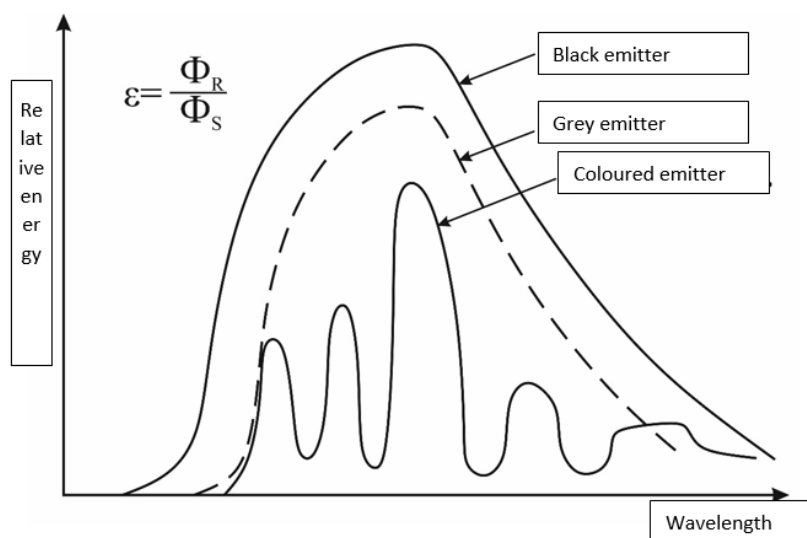


Figure 1 – Emissivity of the material

The infrared radiation of the black emitter  $F_S$  is a starting point equal to one, from which the emission coefficients of other substances and physical bodies  $F_R$  are calculated. Based on the accepted value, all other readings automatically become equal to less than the original value. The operation of all devices for non-contact

temperature measurement is based on this principle. In other words, under real operating conditions, all pyrometers and thermal imagers display a final temperature value calculated on the basis of an ideal indicator. Do not forget that the accuracy of the measurement, in addition to the components listed above, is influenced by the actual temperature of the studied body, as well as the wavelength of the infrared spectrum, which is the most important component of the measurement.

The principle of construction of the pyrometric meter

Broadly speaking, we can say that all pyrometric meters or pyrometers consist of four blocks:

1. receiving IR sensor equipped with optics and a mirror system;
2. a set of electronic components for receiving and processing information;
3. screen to display the received values;
4. power and control buttons.

The temperature in the pyrometer is measured in two stages. First, the optics system “catches” the heat flow and, using a mirror mechanism, sends it to a sensor that converts heat into an electrical signal. Then this signal is transmitted to the main electronic device, in which all the necessary calculations are performed and the resulting value is displayed on the pyrometer screen.

After reading this information, we can assume that measuring the temperature with a pyrometer is very simple and all you need to do is point it at the measurement object and press the button. This is partly true if the measurement accuracy is not significant and the measurement error of several degrees is not a problem [4]. However, if it is necessary to obtain the most accurate readings, it is necessary to take into account not only the factors described in the article, but also the distance from the device to the object under study (Fig. 2) [5]. The latter, in turn, depends on the optical resolution of the device.

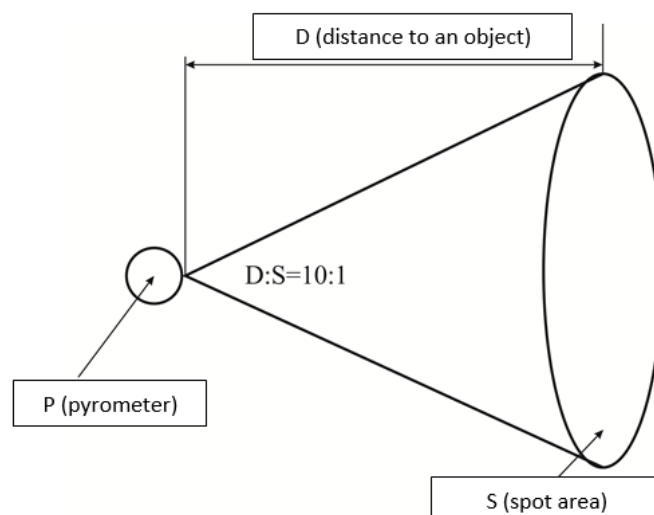


Figure 2 – Optical resolution of the pyrometer

There are varieties of pyrometer models and their manufacturers in the world, and each of them wants to bring something unique to their sample, which would advantageously distinguish its device from the rest. One of the results of such surveys were different viewing angles in different models. For the comfort of a person using the device, this characteristic is the ratio of the distance to an object to the area of a spot formed on the surface of this object during direct measurement [6]. Since both quantities are directly dependent on each other, the accuracy of the obtained values is closely related both to the accuracy of pointing at the object and to the correct selection of the distance to determine the measurement area. Having correctly selected these two parameters, the processing of heat flows by the optics system will be carried out as correctly as possible, it will not be affected by extraneous, nearby objects and other distracting factors. In order to simplify the calculation and selection of the correct distances by simple users, most pyrometer models today are equipped with laser pointers projecting a small point on the measurement object, which, despite the simplicity of the solution, greatly simplifies the use of the device [7].

Previously, the implementation of pyrometers represented a rather complicated engineering work. This is primarily due to the complexity of the optical system of these devices. Meanwhile, a development in microelectronics and signal processing have made these devices more affordable.

A prominent representative of pyrometric meters is the infrared thermometer MLX90614. This integrated meter is made in the TO-39 case and it has 4 outputs. In the upper face is a silicon lens designed to focus the

detected radiation. The design of this IR thermometer may include a refraction filter designed to limit the viewing angle of the sensitive element (Figure 3).



a) b)  
Figure 3 – Exterior of the MLX90614 meter:  
a - without refraction filter, b - with refraction filter

This pyrometric meter can measure temperature in the range from  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Power is supplied from DC voltage from 2.6V to 5.5V. It includes non-volatile memory (EEPROM), a powerful digital signal processor and a 16-bit ADC. Communication between the meter and the processing device can be via the I2C bus or using pulse width modulation. In addition, the MLX90614 has two digital filters.

#### The principle of building a thermal imaging meter

Most people are used to thinking that a thermal imager is much more complicated than a pyrometer, but in general terms there are not so many differences. The basic and main one of them is a hybrid microcircuit operating as a receiver of thermal radiation [8]. Infrared radiation is perceived by the epitaxial layer having high photo sensitivity and penetrates further through the heavily doped substrate. A schematic image of an IR receiver with a hybrid microcircuit is shown in Figure 4.

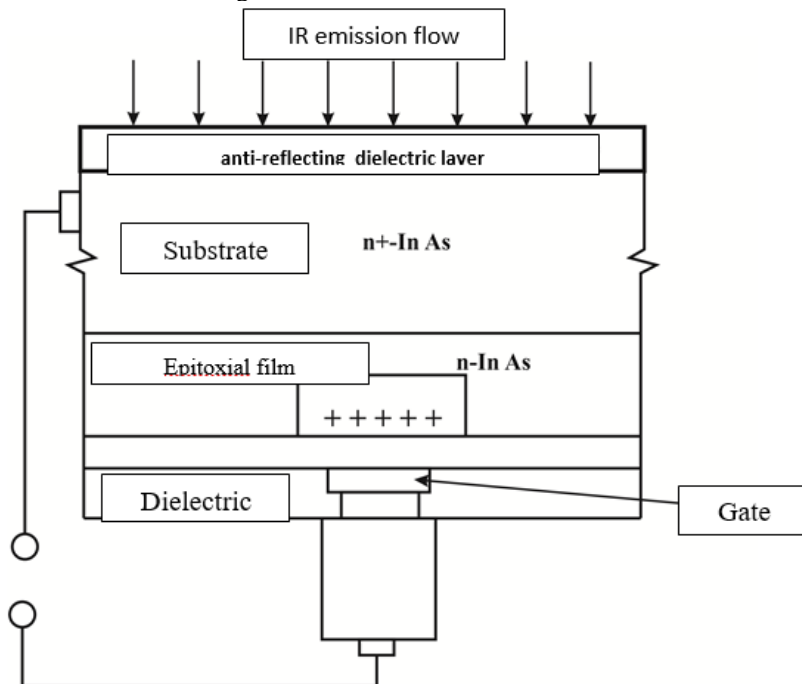


Figure 4 – The device of the thermal imager receiver

The measurement accuracy reaches 0.1 degrees in thermal imagers equipped with matrix detectors, which is a very big advantage over pyrometers with a simpler design. Such accuracy is often not required by ordinary users, therefore, basically, thermal imagers are used in stationary laboratory installations [9, 10].

Of course, there are also manual thermal imagers, the principle of work with which is not very different from working with a pyrometer. Information is also displayed on the built-in screen, but not in the form of dry numbers, but in the form of a multimedia image where the object of study and all its zones are visible with different degrees of heating. Next to the image there is always a scale that allows you to compare the colours visible on the display with real temperature readings. Summarizing all of the above, it is safe to say that the thermal imager

allows for a more in-depth analysis of all the components of an object under study, while the pyrometer only shows the approximate temperature in the area that its sensor is aimed at.

#### Conclusion

The two devices described in this article are the most common devices for non-contact temperature measurement. Both of them are mobile, have built-in batteries and small dimensions so that they can be comfortably used in manual mode and, if necessary, be taken to a remote place of work. Moreover, their range of application is not limited only to heat measurement; there are low-temperature models that can record the degree of cooling of controlled objects and operate at low ambient temperatures in general.

From the foregoing, an indisputable conclusion can be drawn that pyrometers and thermal imagers, as devices that implement a non-contact method of measuring temperature, are extremely necessary devices. Meanwhile, the above drawbacks can significantly limit their scope, in particular in the study of new designs of electronic equipment, in which direct access to fuel elements is closed by structural elements or other details.

Under these conditions, there is an urgent need to create a universal temperature meter that combines both a non-contact and a contact method of measurement, which was discussed in detail in [11]. To create such a meter, it is necessary to use the methodology of building information-measuring systems. This will ensure the uniformity of measurements when using several measuring channels of the same magnitude, but operating on different physical principles. Based on this, when creating such an information-measuring system, it is necessary to solve the following problems:

1. Based on the analysis of the scope, determine the structural composition of the information-measuring system.
2. Based on the generalized structure of information-measuring systems, develop a structural diagram of a multi-channel temperature meter.
3. Develop metrological support for each measuring channel of the information-measuring system.
4. Develop procedure and algorithmic support for the functioning of the information-measuring system.

Thus, such an information-measuring system will become an indispensable device for workers in the fields of design and testing of electronic equipment, electric power, and many others.

#### Acknowledgments

The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90089.

#### References

1. Bezrodny, B.F., Bezrodny I.F., Vinogradov A.S. Optimization of the application of tools and measures to ensure absolute fire safety of the facility / Reliability and quality of complex systems. 2018. No. 3 (23). pp. 133-142.
2. Ishkov, A.S., Solodimova G.A., Kuchkovskaya N.A. Reliability and quality management of sensors as critical products / Reliability and quality of complex systems. 2018.No 2 (22). pp. 18-25.
3. Sementsov, S.G., Gridnev V.N., Sergeeva N.A. Investigation of the influence of temperature conditions on the reliability of electronic equipment with the help of thermal imaging methods / Proceedings of the international symposium Reliability and quality. 2016.V. 2. pp. 6-10.
4. Artemov, I.I., Akimov D.A., Krevchik V.D. The effect of ultrasonic treatment on the elastic modulus of an ion-implanted metal surface / News of higher education. Volga region. Technical science. 2018. No. 3 (47). pp. 140-149.
5. Garelina, S.A., Latyshenko K.P., Frunze A.V. Comparative analysis of energy pyrometers and spectrometer pyrometers / Fire safety: problems and prospects. 2017.Vol. 1. No. 8. pp. 417-420.
6. Gulyaev, I.P., Dolmatov A.V., Berestok G.M. Optimization of temperature measurements with a spectral pyrometer based on MATLAB / Multi-core processors, parallel programming, FPGAs, signal processing systems. 2016.V. 1. No. 6. pp. 201-207.
7. Vesnin, V.I., Prilepsky A.S. Errors of temperature measurement with an infrared pyrometer / In the collection: Traditions and innovations in construction and architecture. Natural sciences and technosphere safety collection of articles. Samara, 2017. pp. 177-181.
8. Semeshina, N.I., Grishina S.Yu. Thermal imager in construction / In the collection: Student of Russia: XXI century. Collection of materials of the III Youth Scientific and Practical Conference. 2016.S. 311-312.
9. Kabaeva, O.N., Sadovnikov I.V. Thermal imager in the modern world / Scientific discussion: issues of technical sciences. 2016. No. 2 (32). pp. 76-81.
10. Koshkin S.Yu. Thermal imager. Selection Criteria / Water Treatment. 2019.No 7. pp. 47-53.
11. Dulnev G.N. Heat and mass transfer in electronic equipment: Textbook for universities on special. "Design and production of radio equipment." - M.: Higher. school., 1984. – 247 pp.

## ГЛАВА 5. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

### ОСОБЕННОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОБЖИГОВОГО ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Кукин Л.А., Шуваев Д.И., Волков В.В., Гаврикова Р.Ю.  
Воронежский государственный технический университет  
[+7\(910\)345288](tel:+7910345288), [u00136@vgasu.vrn.ru](mailto:u00136@vgasu.vrn.ru)

В статье представлены особенности процессов структурообразования композитов с применением глины, золошлаковых материалов, получаемых при сносе зданий и сооружений, цемента и других компонентов. Установлено закономерное влияние физико-химических и кристаллографических свойств дисперсных материалов на результаты технологических процессов устройства оснований фундаментов для дорожного строительства, строительства зданий и сооружений. Показано, что основные положения теории агрегативной устойчивости и инновационные строительные технологии, дополняя друг друга позволяют получать надежные однородные строительные композиционные системы, обладающие повышенными прочностными показателями и достаточной водостойкостью при небольших энергетических затратах, повысить надежность зданий, построенных на основаниях, произведенных по инновационным технологиям.

Ключевые слова: безобжиговые строительные материалы, глинистые материалы, технологии.

Peculiarities of innovative technology of non- burning production of building materials. Zolotukhin S.N., Kukina O.B., Kukin L.A., Shuvaev D.I., Volkov V.V., Gavrikova R.Yu., Voronezh State Technical University

The article presents the features of the processes of structure formation of composites using clay, ash and slag materials obtained during the demolition of buildings and structures, cement and other components. The natural influence of physicochemical and crystallographic properties of dispersed materials on the results of technological processes of the construction of foundations for road construction, construction of buildings and structures has been established. It is shown that the main provisions of the theory of aggregate stability and innovative construction technologies, complementing each other, make it possible to obtain reliable homogeneous construction composite systems with increased strength indicators and sufficient water resistance at low energy costs, to increase the reliability of buildings built on foundations produced using innovative technologies.

Keywords: non-fired building materials, clay materials, technologies.

#### Введение

В настоящее время перед человечеством стоит проблема глобального потепления, выпадение кислотных дождей, истощение запасов пресной воды, деградация почвенного покрова, что грозит изменением климата на земле, сокращением биологического разнообразия и самой жизни на земле. Одной из основных причин выше названных проблем являются выбросы углекислого газа в атмосферу. Глобальные антропогенные выбросы в атмосферу в настоящее время составляют порядка 100 миллиардов тонн, до 30-ти миллиардов тонн от этих выбросов приходится на строительную отрасль, поэтому основными тенденциями развития строительной отрасли необходимо направить на снижения выбросов углекислого газа в атмосферу. К одному из таких направлений необходимо отнести энергосберегающие строительные технологии, среди которых следует отметить технологии безобжигового малоцементного строительства.

Несмотря на долговечность каменных материалов применяемых при строительстве зданий и сооружений многие из них подвергаются сносу, образуя при этом огромные объемы отходов, что привело к тому что от 40-70 % объема свалок твердых бытовых отходов, согласно статистике, заполнены строительным мусором. Строительные материалы будучи перемешанными с бытовыми отходами превращают огромные территории в зловонные горы непригодные для переработки, загрязняющие воздух, воду, и отнимающие у человека и животного мира среду для нормального обитания.

Индивидуальное жилищное строительство в России в последние годы развивается стремительными темпами. Снижение стоимость жилья напрямую зависит от стоимости используемых строительных материалов, в свою очередь снижение себестоимости строительной продукции в целом зависит от степени обеспеченности местными материалами. Отечественный и зарубежный опыт малоэтажного строительства показывает, что при устройстве фундаментов малоэтажных зданий глиноцементные материалы позволяют исключить применение металла, привозных материалов (щебня, песка) и снизить расход цемента. При должной обработке глинистых минералов и при грамотном конструировании сооружений обеспечивается необходимая долговечность зданий. Ограниченное

использование глин, в настоящее время, связано с предвзятым отношением строителей и специалистов к ним, как к отжившему материалу, а также в связи с отсутствием справочной литературы, освещающей вопросы современного строительства из глин с учетом местных природно-климатических условий.

#### Постановка проблемы

Глина – один из наиболее доступных и распространенных вяжущих сырьевых компонентов в технологии безобжиговых строительных изделий и один из наиболее древних строительных материалов во всем мире. Материалы на основе необожженной глины успешно применялись при сооружении различных ограждающих конструкций во всем мире: Великая китайская стена, Тезифонская Арка в Ираке, Пирамиды Саккара в Египте и др. Свойства данного полиминерального материала зависят ряда факторов: минералогического состава, гранулометрии частиц и их месторождения [1]. При применении глин в строительстве способность их к набуханию и размоканию отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах, поэтому необходимо обеспечить их водостойчивость и достаточную механическую прочность, которые обеспечиваются путем введения в состав вяжущих веществ.

Известно, что при соединении глинистых материалов с цементом, известью и известьюсодержащими материалами происходит образование грунтобетонов [2, 3].

Ограниченное использование глин, в настоящее время, связано с предвзятым отношением строителей и специалистов к ним, как к отжившему материалу, а также в связи с отсутствием справочной литературы, освещающей вопросы современного строительства из глин с учетом местных природно-климатических условий. Сложность работы с глинистыми материалами также заключается в отсутствии технологий, обеспечивающих их качественное перемешивание и уплотнение в больших объемах. Вместе с тем, появившееся современное оборудование позволяет разработать такие технологии. Поэтому изучение возможности получения грунтобетонов на основе глинистых материалов с применением крупнотоннажных отходов образующихся при сносе зданий и сооружений является актуальной задачей, позволяющей решить ряд проблем, таких как: повышение надежности строительства зданий и сооружений за счет создания однородных грунтов оснований с повышенной прочностью, уменьшение объемов свалок ТБО, выбросов углекислого газа в атмосферу земли за счет повторного использования материалов, образующихся при сносе зданий и сооружений и снижение стоимости строительства.

Задачи исследования: провести литературный обзор теоретических материалов, определяющих способность глинистых и карбонатсодержащих материалов к структурообразованию.

#### Основная часть

Рассматривая процессы структурообразования композиционного материала на основе глины следует отметить, что в глиноцементных составах наиболее часто используемых в настоящее время при укреплении глинистых грунтов при протекающих процессах гидратации и гидролиза, вследствие физико-химического (обменного) поглощения катионов кальция, происходит извлечение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из цемента тонкодисперсной частью грунта, что приводит к формированию кристаллизационной структуры с пониженными физико-механическими показателями. [4, 5] Увеличение прочности глиноцементного каркаса со временем зависит от количества образующихся тоберморритоподобных гидросиликатов и гидратов окиси кальция. Микроскопические исследования показывают [4,5], что твердеющий цементный камень представляет собой, весьма сложный конгломерат кристаллических и коллоидных (или микрокристаллических) гидратных новообразований; а также непрореагировавших еще с водой остатков цементных зерен, тонкораспределенной воды и воздуха. При смешивании глины с цементом и водой протекают процессы, которые при определенных условиях приводят к самопроизвольному синтезу в массе обрабатываемого комплексного вяжущего, образующего прочный каркас. В состав этого вяжущего входят гидратированные силикаты цемента, гидрат извести и алюмосиликатные и кремнекислые соединения, которые имеются в составе глины. Обменные свойства глинистых минералов обуславливаются несколькими факторами:

- поверхностные силы (для каолинитов);
- явление изоморфизма (для монтмориллонита);
- при высокой дисперсности отмечают поверхностное поглощение катионов. Глина, насыщенная органическими катионами частично или, полностью теряет способность к разбуханию, при этом прочность связи между обменными катионами глин и органическими катионами зависит от их размера. При размерах катионов близких к диаметрам впадин кремний-кислородной сетки глинистых минералов возникает прочная связь. Поглощенные катионы перестают быть обменными, не вытесняются другими катионами. В глиноцементных композитах физико-механические характеристики зависят от катионообменной способности глин, и для получения, глиноцементного вяжущего со стабильными свойствами необходимо создать условия для нормального протекания реакций гидролиза и гидратации цемента в процессе структурообразования композиции. Глины с высокой катионообменной способностью активно поглощают

отдельные продукты гидролиза цемента, чаще всего катионы  $\text{Ca}^+$ , препятствуя образованию прочной, водостойчивой и морозостойкой структуры композита [4,5].

Таким образом, качество строительных материалов на основе дисперсных и дисперсно-зернистых материалов зависит от знания сущности процессов структурообразования и способности управлять этими процессами при производстве. Процессы формования зависят от соотношения внутренних сил дисперсной системы, направленное регулирование которых позволит при меньших затратах энергии получить необходимый результат.

Качество структуры должно обеспечиваться на всех этапах технологии устройства грунтовых оснований на глинистых материалах, причем особое внимание должно уделяться процессам раннего структурообразования на стадии подготовки глинистых масс. Технология укрепления глинистых грунтов на основе глины и цемента является наиболее эффективной с использованием уплотнения. За счет высоких внешних усилий происходит синтез искусственного камня. При уплотнении ускоряется образование фазовых контактов не только в системе «цемент-вода», но и в системе «шлаковые композиты-цемент-глина-вода». Все перечисленные физико-химические процессы влияют на прочность получаемых материалов, их водостойкости, и обуславливается большим числом контактов, образованием фазовых контактов между частицами дробленого шлака, цементного и известково-цементного камня, образующихся при сносе старых зданий, свежего цемента и глинистыми минералами.

Управлять структурой и свойствами безобжиговых композитов возможно рациональным использованием свободной поверхностной энергии.

В основу работы положены следующие теоретические предпосылки;

- глина, известь, золошлаки, цемент и каменные материалы на их основе, образующиеся при сносе зданий, как материалы, обладающие высокой дисперсностью и поверхностной энергией за счет ненасыщенных валентных связей и высокой ионно-обменной способностью образовывать кристаллогидраты
- глина, известь, золошлаки, цемент и каменные материалы на их основе, образующиеся при сносе зданий, обладают высокой гидрофильностью, что создает хорошие условия для роста кристаллогидратов;
- общность физико-химических процессов структурообразования искусственного камня дисперсных систем «алюминаты-вода-силикаты» и «алюминаты-вода-карбонаты», «алюминаты-вода-фериты».

Для понимания процессов идущих при создании композитов из диспергированных глинистых и карбонатсодержащих материалов укреплению грунтов оснований необходимо понимать процессы, идущие в водных пленках между дисперсными частицами. Эти процессы хорошо описываются теорией ДЛФО [6-14]. Теория ДЛФО (сокр. от теории Дерягина, Ландау, Фервея, Овербека), также теория агрегативной устойчивости лиофобных дисперсных систем. В основе теории лежит положение о сопоставлении межмолекулярных взаимодействий частиц в дисперсионной среде. Согласно данной теории коллоидные частицы дисперсных минеральных компонентов лиофобной дисперсной системы из-за наличия броуновского движения могут беспрепятственно сближаться друг с другом, пока не соприкоснутся своими жидкими диффузными оболочками или слоями. Важнейшие составляющие - энергии притяжения и отталкивания. На малых расстояниях между коллоидными частицами преобладают силы притяжения ("ближний минимум"). Если частицы сближаются на такое расстояние, произойдет коагуляция, что приведет к повышению прочности укрепляемых грунтов. Однако перемешивать такие составы физически невозможно. На средних расстояниях силы отталкивания больше сил притяжения, возникает энергетический максимум — потенциальный барьер, препятствующий слипанию частиц; высота барьера зависит от заряда поверхности и толщины диффузионного слоя, система устойчива. Такие толщины водных пленок между частицами минеральных компонентов позволяют перемешивать наши составы. На относительно больших расстояниях превалируют силы притяжения, образуя на кривой так называемый дальний минимум. Если дальний минимум достаточно глубок, то частицы при сближении не могут покинуть потенциальной ямы и остаются в равновесном состоянии на соответствующем расстоянии друг от друга, сохраняя свою индивидуальность. При большой концентрации дисперсной фазы может образоваться структурированная система, гель. В гелях при повышении концентрации гелей и наличии свободной поверхностной энергии, либо подачи энергии извне: тепло, получаемое от самых различных источников, которым можно отнести и солнечную энергию, энергию воздействия электромагнитных полей, давления прессования, пульсирующие нагрузки, изменение кислотности среды, введение цемента, негашеной извести, которые способны менять кислотность среды и одновременно выделять большое количество тепла возможен рост кристаллогидратов, при наличии минералов, имеющих склонность к росту кристаллогидратов. Появление кристаллогидратов приводит к получению водонерастворимых однородных материалов грунтобетон. Последние исследования позволили уточнить кривые зависимостей расклинивающего давления от толщин водных пленок, возникающих при взаимодействии дисперсных минеральных компонентов [6-14].

При температуре 65 ... 70 °С и изменении рН водных вытяжек от 2 до 8 водные пленки резко меняют свою толщину. При этих же температурах резко повышается проникающая способность воды. Эти зависимости можно использовать при формировании структуры получаемых материалов [6-14].

Первым процессом, который позволит максимально использовать силы взаимодействия, необходимо считать образования как можно большего количества дисперсных поверхностей, глинистые материалы при этом являются наиболее удачными для этих целей. Такими дисперсными материалами являются: глинистые материалы, золы, известь и цемент. Рассмотрим микрофотографии различных минеральных компонентов, которые будут использоваться нами для создания грунтобетонов (рис. 1- 9).

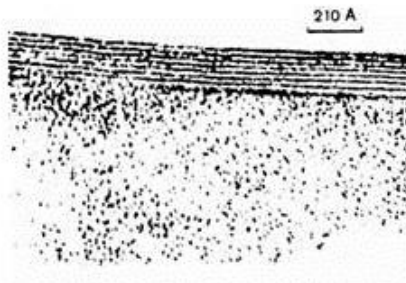


Рисунок 1 – Микрофотография набухшей глины

Вверху — на электронной микрофотографии образца набухшей глины (рис.1) отчетливо видна слоистая структура, составленная из кристаллических алюмосиликатных пластин, в промежутках между которыми находятся вода и растворённые в ней обменные катионы. Ниже, представлена электронная микрофотография гидротермальной глины (рис.2).

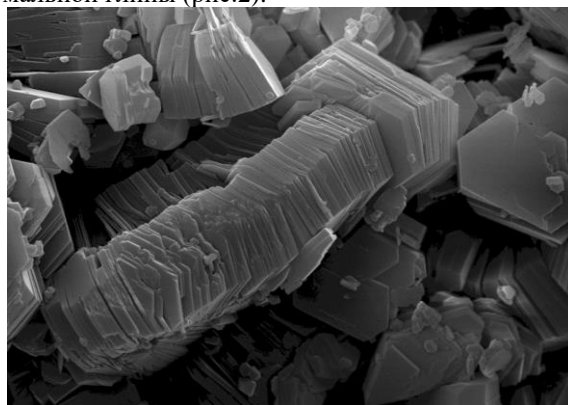


Рисунок 2 - Гидротермальные глины с полуострова Камчатка

Пальгорскиты, в действительности представляют собой смеси глинистых минералов (рис. 3).

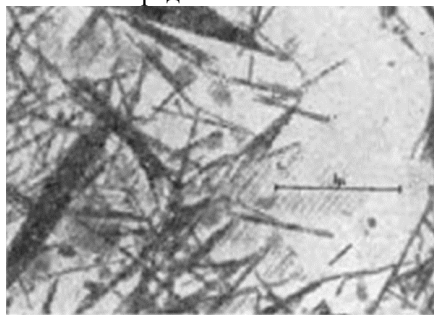


Рисунок 3 – Электронная микрофотография аттапульгита

Электронно-микроскопические исследования (рис.4) показали, что эти глинистые минералы встречаются в виде пучков брусочкоподобных частиц. При диспергировании в воде эти брусочкоподобные частицы распадаются на более мелкие пучки по спайности и вдоль краев в тех местах, где брусочкоподобные структурные единицы соединены вместе. Число таких расщеплений этих частиц зависит от величины затраченных усилий и энергии работы в процессе дезагрегации. При больших затратах энергии такие глины можно дезагрегировать в чрезвычайно мелкие частицы. Этого, по-видимому, легче добиться для аттапульгит-сепиолитовых глин, чем для каких-либо других глинистых минералов. Таким образом, для этих глин в большей степени, чем для любых других глинистых минералов,



гранулометрический анализ устанавливает только степень дезагрегации и немного дает в отношении размера частиц в природной глине. На электронных микрофотографиях часто обнаруживаются пучки с диаметром от 50 до 100 А и длиной от 4 до 5 мк.

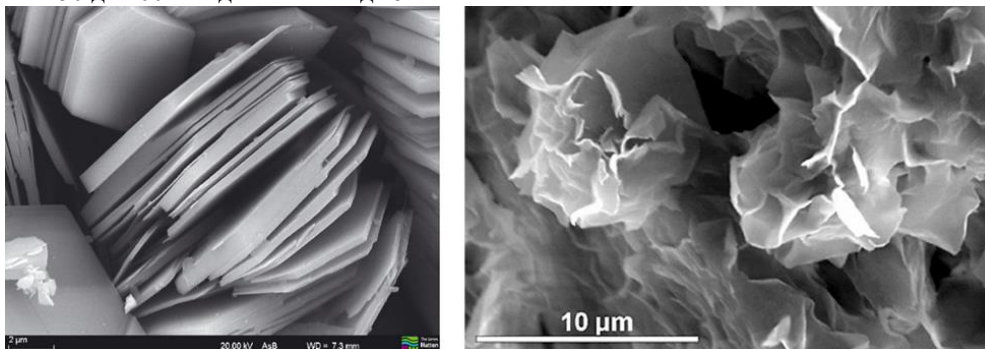


Рисунок 4 - Микрофотографии каолинита и монтмориллонита (основных глинистых материала)

Зола –унос часто используется для укрепления глинистых грунтов. На микрофотографии (рис.5) мы видим, что при смачивании водой, из-за наличия в составе золы-уноса обожженной медленно гасящейся извести, замачивание приводит к росту ее дисперсности.

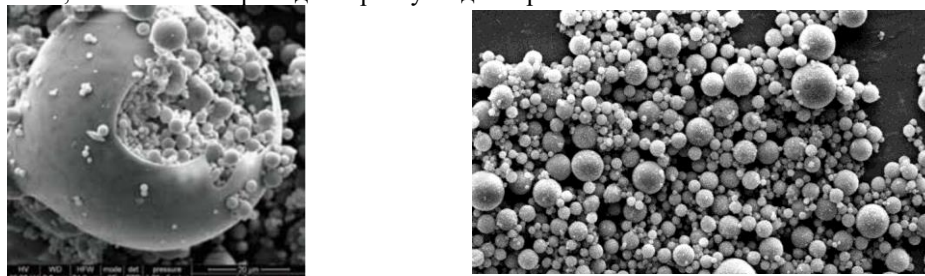


Рисунок 5 – Электронная микрофотография золы-унос

На микрофотографиях видно (рис.6,7), что известь и цемент является высокодисперсным материалом с развитой поверхностью. Известь является материалом служащим для укрепления глинистых грунтов.

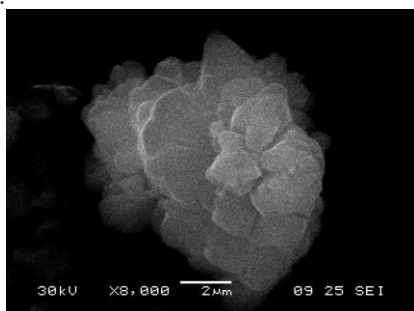


Рисунок 6 – Микрофотография агломерата дисперсной негашеной непрессованной извести (×8000)

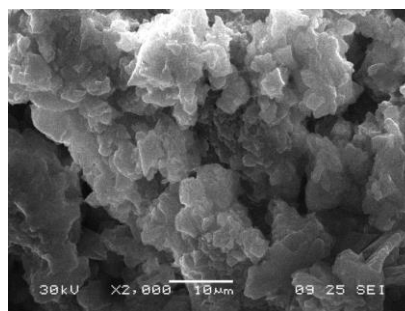


Рисунок 7 – Микрофотография дисперсной гашеной непрессованной извести (×2000)

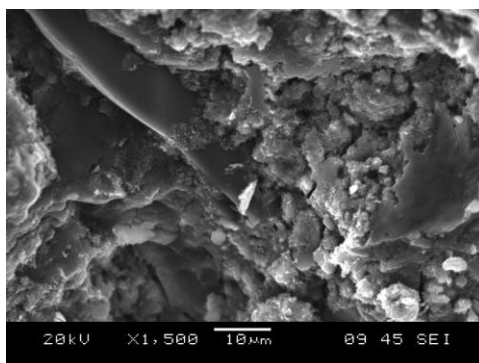


Рисунок 8 – Микрофотография цемента

Данные микрофотографии хорошо иллюстрируют, что глинистые грунты, золошлаковые отходы, известь, цемент, которые при соединении способны образовывать грунтобетоны, являются: гидрофильными и высокодисперсными материалами.

#### Заключение

Крупнотоннажные отходы каменных материалов, образующихся при сносе зданий и сооружений способны образовывать с глинистыми материалами надежные однородные композиционные системы, обладающие повышенными прочностными показателями и достаточной водостойкостью при небольших энергетических затратах с помощью современной землеройной техники, что позволяет повысить надежность зданий, построенных на таких основаниях.

#### Литература

1. Доржиев П.А. Безобжиговые цементно-глиняные стеновые материалы: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Доржиев Петр Александрович. Улан-Уде. 2004. 130 с.
2. Золотухин С.Н., Чигарев А.Г., Ларионов С.Г. Совершенствование технологии укрепления грунтов с одновременным проведением инженерно-геологических изысканий. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1. С. 511-515.
3. Насонова Т.В., Золотухин С.Н., Потехин И.А. Повторное использование строительных отходов при возведении малоэтажных зданий и сооружений как возможность решения экологической проблемы. В сборнике: Проблемы современных экономических, правовых и естественных наук в России - синтез наук в конкурентной экономике. реферативный сборник статей по материалам VII международной научно-практической конференции. 2018. С. 17-19.
4. Кнатько В.М. Теория синтеза вяжущих – как научная основа химических методов укрепления дисперсных грунтов. Ленинград: Вестник ЛГУ. 1983. №24. С. 5 - 11.
5. Безрук В.М. Основные принципы укрепления грунтов. – М.: Транспорт. 1987. 280 с.
6. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Абраменко А.А., Волков В.В., Еремин А.В., Волокитина О.А. Безобжиговые строительные материалы из отвалного фосфогипса. Saarbrücken, 2020.
7. Золотухин С.Н., Макарычев К.В., Телегин А.М., Левищев М.Ю., Крикунов А.Д. Рациональное проектирование фундаментов зданий и сооружений в глинистых грунтах с использованием материалов после сноса зданий StudNet. 2020. Т. 3. № 9. С. 1698-1708.
8. Колодяжный С.А., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Артемова Е.А. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий. Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 2. С. 271-293.
9. Способ объемной цементации грунтов. Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С. Патент на изобретение RU 2656656 C2, 06.06.2018. Заявка № 2015149374 от 17.11.2015.
10. Золотухин С.Н., Насонова Т.В., Потехин И.А. Рациональное строительство с повторным использованием строительных материалов, конструкций, изделий после сноса зданий. Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 206-209.
11. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Волков В.В. Разработка методики аналитического исследования зависимости свойств материалов от внешних условий с использованием приемов проектирования. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2018. № 1. С. 630-633.
12. Золотухин С.Н., Чигарев А.Г., Вязов А.Ю. Технология объемной стабилизации грунтов. В сборнике: Современные проблемы инженерных изысканий на территории центрально-черноземного региона. Материалы I региональной научно-практической конференции. Под редакцией А.А. Аузина. 2017. С. 103-107.
13. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Абраменко А.А., Мищенко В.Я., Гапеев А.А., Соловьева Е.А., Савенкова Е.А., Камзолов Ю.В. Исследования процессов структурообразования дисперсных материалов при получении строительных композитов с заранее заданными свойствами. Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. № 5 (74). С. 93-106.
14. Абраменко А.А., Золотухин С.Н., Кукина О.Б. и др. Безобжиговые строительные материалы из отвалного фосфогипса. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – 153 с.

#### ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРЫ СМЕСЕЙ С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПЕНОБЕТОНА

Моргун Л.В., Моргун В.Н.\* , Богатина А.Ю.\*\*

Донской государственный технический университет, Южный федеральный университет\*, Ростовский государственный университет путей сообщения\*\*

+7 (928) 762-28-02, [konst-lvm@yandex.ru](mailto:konst-lvm@yandex.ru)

Отражена актуальность совершенствования свойств газонаполненных бетонов. Изложены теоретические предпосылки комплексного улучшения механических свойств пенобетонов при дисперсном армировании их синтетическими волокнами. Приведены результаты эксперимента, отражающие влияние длины полипропиленовой фибры на скорость фазового перехода в смесях и физико-механические свойства затвердевших пенобетонов (предельную растяжимость, модуль упругости на растяжение, прочность на растяжение при изгибе), полученные при испытании крупноразмерных балок. Экспериментально доказана возможность перехода газонаполненного бетона от хрупкого характера разрушения к вязкому.

Ключевые слова: пенобетон, фибропенобетон, предельная растяжимость, модуль упругости на растяжение, прочность на растяжение при изгибе

Relationship between the structure of mixtures and the mechanical properties of foam concrete. Morgun L. V., Morgun V. N.\*, Bogatina A. Yu\*\*, Don state technical University, southern Federal University\*, Rostov state University of railway transport\*\*

The urgency of improving the properties of gas-filled concretes is reflected. The theoretical prerequisites for complex improvement of the mechanical properties of foam concrete when dispersed reinforcement with synthetic fibers are described. The results of the experiment reflecting the effect of the length of polypropylene fiber on the speed of phase transition in mixtures and the physical and mechanical properties of hardened foam concrete (ultimate tensile strength, modulus of elasticity, Flexural strength) obtained during testing of large-sized beams are presented. The possibility of transition of gas-filled concrete from a brittle nature of destruction to a viscous one has been experimentally proved.

Keywords: foam concrete, fiber-foam concrete, ultimate elongation, modulus of elasticity in tension, tensile strength in bending

#### Введение

Бетон – широко применяемый строительный материал, не имеющий альтернативы в обозримом будущем, по следующим причинам:

- сырьем для производства любых видов указанного материала являются распространенные природные каменные материалы и минеральные отходы промышленности [1,4];
- современная стройиндустрия способна изготавливать для строительной практики бетоны с плотностью от 200 до 3500 кг/м<sup>3</sup> и прочностью до 200 Мпа [2,3], т.е. обладающих свойствами, удовлетворяющими требованиям к практически любым строительным конструкциям. Отсюда следует, что поиск и разработка способов совершенствования эксплуатационных свойств бетонов, конкретного назначения, являются актуальными.

#### Постановка проблемы

В данной работе будет рассмотрена взаимосвязь между особенностями макроструктуры смесей и важнейшими эксплуатационными свойствами пенобетонов потому, что потребность строительного комплекса в энергоэффективных, пожаробезопасных и ресурсосберегающих материалах постоянно растет [5,6]. К числу важнейших недостатков газонаполненных бетонов (пено- и газо-), изготавливаемых по практически любой технологии, относятся [7-9]:

- недостаточная устойчивость газонаполненных вязко-пластичных структур в период между укладкой их формы и окончанием схватывания минерального вяжущего;
- возможность перестройки макроструктуры (при частичной утрате дисперсной газовой фазы) и накопления дефектов в межпоровых перегородках в результате слабых случайных механических воздействий (толчки форм и т.п.), колебаний температуры и влажности окружающей среды;
- незначительная предельная растяжимость, обуславливающая малую трещиностойкость затвердевших бетонов и исключаяющая их ремонтпригодность;
- малая прочность на растяжение и изгиб.

Известно [10,11], что на сегодняшний день самым эффективным способом улучшения механических свойств газонаполненных бетонных смесей является их дисперсное армирование синтетическими волокнами. Причинами повышения агрегативной и седиментационной устойчивости вязко-пластичных структур фибропенобетонных смесей являются:

- наличие избытка поверхностной энергии на поверхности твердой фазы фибры и зернистых дисперсных частиц [2];
- гибкость полипропиленовой фибры, обеспечивающая её расположение в структуре межпоровых перегородок [3];
- особенности массопереноса высокодисперсных зернистых частиц твердой фазы, происходящие в период раннего формирования структуры межпоровых перегородок [8].

В период преобладания вязких связей между компонентами твердой фазы, формирование межпоровых перегородок в фибропенобетонных смесях по сравнению с пенобетонными происходит в ускоренном темпе [12]. Причинами отмеченного, чрезвычайно важного для эксплуатационных свойств бетонов процесса, являются:

- адсорбционная и химическая диспергация минералов цементного вяжущего, предопределяющая, с одной стороны перевод части воды затворения из свободного состояния в физически и химически связанное, а с другой – обеспечивающая уменьшение геометрических размеров дисперсных зернистых частиц твердой фазы;

- уменьшение размеров частиц вяжущего ведет к росту агрегативной устойчивости пеносмесей, поскольку скорость седиментационных процессов в таких дисперсных системах прямо зависит от размеров частиц дисперсной фазы;

- наличие у гибкого волокнистого компонента избытка поверхностной энергии вынуждает зернистые дисперсные частицы к формированию фрактальных кластеров [], физические свойства которых характеризуются понижением плотности упаковки мельчайших зернистых частиц от центра к периферии. При этом вода, слабо связанная с их поверхностью, отжимается [13,12] в периферийное по отношению к фибре пространство.

Вышеизложенный процесс самоорганизации структуры межпоровых перегородок в период начального формирования структуры дисперсно армированного пенобетона следует отнести к конструктивному. Поэтому можно полагать, что затвердевший дисперсно армированный полипропиленовыми волокнами бетон будет обладать улучшенными эксплуатационными свойствами.

#### Результаты эксперимента

Изготовление равноплотных пенобетонных смесей осуществляли по одностадийной технологии в лабораторном турбулентном смесителе емкостью 60 литров и скоростью вращения рабочего органа 750 об/мин. Экспериментальную оценку меры упрочнения пенобетона при дисперсном армировании его полипропиленовой фиброй различной длины в количестве 1,5% от объема цементного камня осуществляли на балках из пенобетона марки D600 размером 150x150x600 мм.

В ходе исследований было установлено, что все смеси в период преобладания вязких связей между компонентами твердой фазы обладали агрегативной и седиментационной устойчивостью. Поэтому макроструктура, сформированная при изготовлении в турбулентном смесителе, сохранилась без видимых изменений. Однако фазовый переход из «вязкого состояния в упругое» происходил через разные промежутки времени.

Пенобетонная смесь, обрела пластическую прочность, превышающую 200 Па, через 3,5 часа после её укладки в формы. Фибропенобетонная смесь, дисперсно армированная полипропиленовыми волокнами длиной 18 мм, обрела требуемую практикой пластическую прочность через 135 (2,25 часа) минут. Для стабилизации макроструктуры фибропенобетона с волокнами 40 мм длинны, понадобилось чуть меньше 2-х часов.

Результаты механических испытаний отражают принципиальное влияние длины фибры на:

- предельную деформативность пенобетона D600;

- модуль упругости;

- прочность на растяжение при изгибе (рис. 1).

Из графика, представленного на рис. 1 следует, что дисперсное армирование пенобетона полипропиленовыми волокнами положительно и эффективно влияет на энергоёмкость разрушения газонаполненного бетона. Бетон средней плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> полностью утрачивает способность к хрупкому разрушению.

Количественный анализ результатов испытаний показал, что предельная растяжимость ( $\epsilon$ ) исследованного пенобетона составляет:

$$\epsilon = (0,312:500) \times 100\% = 0,062\%$$

Предельная растяжимость ( $\epsilon_{18}$ ) фибропенобетона с волокнами длиной 18 мм при их содержании 1,5% от объема цементного камня достигла:

$$\epsilon_{18} = (0,429:500) \times 100\% = 0,086\%$$

Предельная растяжимость ( $\epsilon_{40}$ ) фибропенобетона с волокнами длиной 40 мм при их содержании 1,5% от объема цементного камня:

$$\epsilon_{40} = (0,478:500) \times 100\% = 0,096\%$$

Т.е. дисперсное армирование пенобетона волокнами длиной 18 мм привело к повышению предельной растяжимости пенобетона на 38,7%, а при увеличении длины до 40 мм на 54,8%.

Расчет модуля упругости на растяжение показал, что пенобетон марки D600 достиг величины:

$$E_{ПБ} = 0,207:0,000312 = 663 \text{ Кпа} = 0,66 \text{ Мпа.}$$

Равноплотный ему фибропенобетон, дисперсно армированный фиброй длиной 18 мм, достиг:  $E_{ФПБ18} = 0,584:0,000429 = 1351 \text{ Кпа} = 1,36 \text{ Мпа.}$

При введении в смесь длинной фибры (40мм) модуль фибропенобетона на растяжение составил:  
 $E_{ФПБ40} = 0,736:0,000478 = 1540 \text{ Кпа} = 1,54 \text{ Мпа}$ .

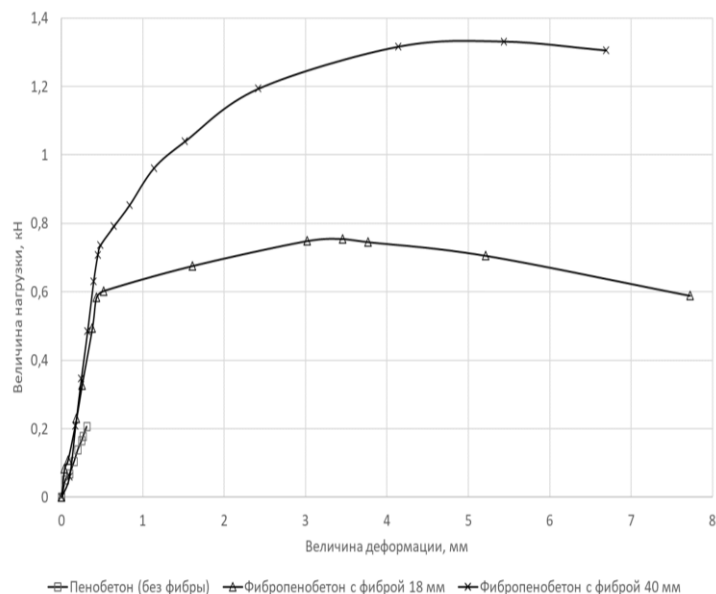


Рисунок 1 – Деформации пенобетонов плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> при воздействии нагрузки

Прочность на растяжение при изгибе пенобетона марки D600 в балках размером 150x150x600 мм составила 46 Кпа, у равноплотных фибропенобетонов 168 и 296 Кпа, соответственно. То есть, на растяжение при изгибе эффективность дисперсного армирования пенобетона полипропиленовыми волокнами составила 360 и 640%.

#### Заключение

В ходе испытаний установлено, что пенобетонные балки после достижения предельной растяжимости материала в растянутой зоне хрупко разделялись на части. Фибропенобетонные балки после превышения предельной растяжимости материала получали магистральную трещину, но не утрачивали своей несущей способности (рис. 1). Установленный результат показывает, что при дисперсном армировании пенобетонов волокнами практики могут получать материал, который обладает не только повышенной прочностью, но и безопасностью. Последнее чрезвычайно важно для устойчивого развития социума.

#### Литература

1. Рунова, Р.Ф. Формирование структуры высокопрочных бетонов [Текст] / Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Троян В.В., Товстонис В.В. Щербина С.П., Пашина Л.Д. concrete-performance.narod.ru/4.pdf
2. Моргун, Л.В. Приемы управления эксплуатационной надежностью пенобетонов [Текст]/ Моргун Л.В.// Технологии бетонов, 2014, №9 (98).- С.37...39.
3. Чумакин, Е.Р. Ячеистый бетон и его перспективы [Текст]/ Чумакин Е.Р. // СтройПРОФИль №5(67), 2008. – С.58.
4. Несветаев, Г.В. Анализ материалов для производства бетонов класса В40 и выше во Вьетнаме [Текст]/ Несветаев Г.В. // Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/> Том 7, №3 (2015). <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-3>
5. Федеральный Закон Российской Федерации №261 «О ресурсосбережении...»
6. Маркевич, А.И., Охота Б.Г. Для тех, кто заработал возможность выбирать [Текст]/ Маркевич А.И., Охота Б.Г. // Сб. тр. Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве. Украина, Севастополь, 2007. – С.236...248.
7. Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Heat insulating reinforced airhardened foamed concrete, Vestnik TSUAB, 2013, № 4. - p.60-65.
8. Моргун, Л.В. Инженерное решение задачи повышения эксплуатационной надежности пенобетонов [Текст]/ Моргун Л.В. // Бетон и железобетон - взгляд в будущее: научные труды I Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и ж/б (Москва, 12-16 мая 2014) в 7 т. Т.5. Новые эффективные бетоны и технологии. Легкие и ячеистые бетоны. Образование и подготовка кадров. Москва : МГСУ, 2014. – С.309...314.
9. Герега, А.Н. Управление свойствами композиционных материалов. Перколяционный подход

[Текст]/Гергега А.Н., Выровой В.Н.//Вестник ОГАСА, выпуск №20,2005.- С.56-61.

10. Сари М. Армирование волоками вяжущие композиционные материалы: вклад полиамидных волокон [Текст] /М. Сари, Дж. Лекселент, Р. Решерш // Современные технологии сухих смесей в строительстве «MixBULD»: сб.докладов под редакцией Э.А. Большакова. — СПб.: Изд-во ГУПС, 2001 — С. 48–60.

11. Моргун Л.В., Вотрин Д.А., Моргун В.Н. Влияние диаметра дисперсной арматуры на скорость фазового перехода в пенобетонных смесях// Строительные материалы. - 2018. - № 11. - С. 27-30.

12. Моргун, Л.В. Структурообразование пенобетонных смесей [Текст]/ Моргун Л.В., Моргун В.Н. Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – 2015. - № 57. - С. 310-315.

13. Перцев, В.Т. Управление процессами раннего структурообразования бетонов [Текст]: монография. Перцев В.Т., Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2006. – 234 с.

## К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ НЕГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В ВГТУ

Бурак Е.Э., Фонова С.И.

ФГБУ ВО Воронежский государственный технический университет (ФГБУ ВО ВГТУ)

В статье проанализирована деятельность негосударственной экспертизы в РФ. Представлена история развития негосударственной экспертизы в ВГТУ.

Ключевые слова. Негосударственная экспертиза, государственная экспертиза, эксперт.

On the development of non-state expertise at VSTU. Burak E.E., Fonova S.I., FGBU VO Voronezh State Technical University (FGBU VO VSTU)

Annotation. The article analyzes the activities of non-state expertise in the Russian Federation. The history of the development of non-state expertise at VSTU is presented.

Keywords. Non-state expertise, state expertise, expert.

В настоящее время система экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий России представлена следующими организациями: ФАУ «Главгосэкспертиза России»; Управление государственной экспертизы Минобороны с отделами в военных округах и на флотах; Управление государственной экспертизы, государственного строительного надзора и разрешительной деятельности государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»; Главное управление специальных программ Президента Российской Федерации; Безопасность; Региональные органы государственной экспертизы; Организации негосударственной экспертизы. Структура системы экспертизы приведена в аналитическом отчете ФАУ «Главгосэкспертиза России» «Система экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий: итоги 1-го полугодия 2020 года по данным ФГИС ЕПРЗ<sup>1</sup>». Всего 608 организаций вправе осуществлять экспертизу проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий, из них 3 организации системы безопасности, 86 региональных органов государственной экспертизы и 515 организаций негосударственной экспертизы. Распределение организаций в процентном соотношении представлено на рисунке 1.

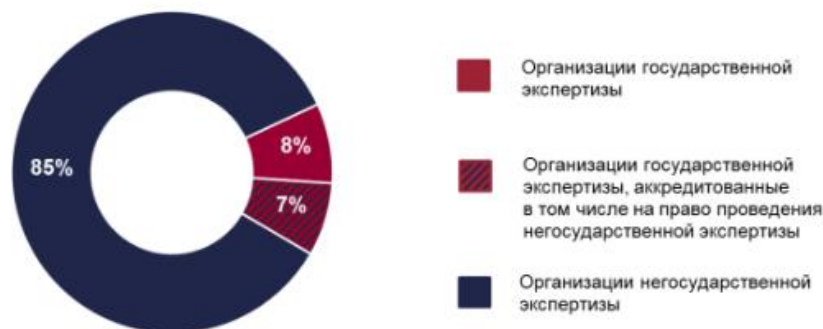


Рисунок 1 – Структура организаций экспертизы (по количеству организаций) (аналитический отчет ФАУ «Главгосэкспертиза России»)

В отношении некоторых объектов капитального строительства выполняется только государственная экспертиза в соответствии с действующим законодательством.

Институт негосударственной экспертизы проектной документации появился в апреле 2012 года после введения в действие с 1.04.2012 № 337-ФЗ «О внесении изменений в градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации», который уравнивал в правах государственные и негосударственные экспертные организации, выполняющие экспертизу проектной документации и создал условия для конкуренции с целью повышения качества экспертизы и сокращения сроков её выполнения. Распределение организаций, аккредитованных на право проведения негосударственной экспертизы, по организационно-правовой форме, распределение совокупных объемов заключений негосударственной экспертизы, внесенных в ЕГРЗ, по видам организаций и по федеральным округам представлено на рисунках 2 - 4 (в соответствии с аналитическим отчетом ФАУ «Главгосэкспертиза России» «Система негосударственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий: итоги 1-го полугодия 2020 года по данным ФГИС ЕГРЗ»).



Рисунок 2 – Распределение организаций, аккредитованных на право проведения негосударственной экспертизы, по организационно-правовой форме

В 2018 году был введен в эксплуатацию институт ФГИС ЕГРЗ Федеральным законом от 03.07.2016 N368-ФЗ "О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации". Согласно части 7.1 статьи 49 Градостроительного кодекса, в редакции указанного закона, не допускается выдача заключения экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий до включения сведений о таком заключении в единый государственный реестр заключений экспертизы проектной документации объектов капитального строительства.



Рисунок 3 – Распределение совокупных объемов заключений негосударственной экспертизы, внесенных в ЕГРЗ, по видам организаций



Рисунок 4 – Распределение совокупных объемов заключений негосударственной экспертизы, внесенных в ЕГРЗ, по федеральным округам

Предназначение Федеральной государственной информационной системы Единый государственный реестр заключений [1]:

1. Консолидация информации о заключениях экспертизы, проектной документации и инженерных изысканиях в отношении объектов капитального строительства в едином месте.

2. Обеспечение информационных и организационно-технологических условий для эффективного использования экономически эффективной проектной документации повторного использования.

3. Повышение информационной открытости деятельности экспертных организаций.

4. Повышение оперативности и качества принимаемых управленческих решений, направленных на сокращение инвестиционного цикла и оптимизации расходов бюджетов бюджетной системы Российской Федерации при проектировании объектов капитального строительства, исходя из условий обеспечения соответствия разрабатываемой проектной документации критериям экономической эффективности.

Созданная в 2016 г. при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» негосударственная экспертиза успешно развивается, обеспечивая конструктивную надежность и безопасность, архитектурную выразительность и долговечность объектов капитального строительства, возводимых в Воронежской области.

Высококвалифицированные эксперты негосударственной экспертизы ВГТУ выполняют экспертизу проектной документации различной направленности и сложности. В составе коллектива 10 специалистов со стажем работы в экспертизе и проектировании от 20 до 40 лет, 5 из них кандидаты наук и доценты ВГТУ. Все эксперты аттестованы Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Объем выполненных положительных заключений представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Объем выполненных положительных заключений

№	Тип здания, сооружения	%
1	Жилые дома	43
2	Спортивные сооружения	2.8
3	Магазины, торговые центры	8.3
4	Общественные здания	4.6
5	Инженерные сооружения	16.7
6	Промышленные сооружения	24.6
	Итого	100

По каждому объекту проектирования замечания, полученные от экспертов в процессе изучения проектной документации, доводились до сведения заказчиков и проектировщиков, после чего выполнялась корректировка проектных решений.

Вывод. Экспертиза проектной документации служит препятствием к реализации неверных инженерных решений, обеспечивает соответствие принятых проектных решений результатам инженерных изысканий, требованиям нормативных технических документов и технических регламентов, в том числе санитарно-эпидемиологическим, экологическим требованиям, требованиям пожарной безопасности и требованиям к содержанию разделов проектной документации, предусмотренным в соответствии с частью 13 статьи 48 Градостроительного кодекса Российской Федерации.



Литература

1. Интернет-ресурс egrz.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ОТХОДОВ В  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГИПСОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО

Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С.  
ФГБОУ ВО ТвГТУ  
+7 (991) 113-15-43, victoriapetrop@gmail.com

Статья посвящена исследованию влияния дисперсных базальтовых отходов на свойства композиционного гипсового вяжущего (КГВ), а также рассмотрению особенностей их применения. Определены физико-механические свойства модифицированного дисперсными базальтовыми отходами гипсового камня нескольких составов, получены базовые составы сухих строительных смесей на композиционном гипсовом вяжущем.

Ключевые слова: базальтовые пылевидные отходы, композиционное гипсовое вяжущее, предел прочности при сжатии, плотность, пористость, коэффициент размягчения.

Physical and chemical features of the application of basalt waste in the production technology of gypsum composite binder. Petropavlovskaya V. B., Zavadko M. Y., Novichenkova T. B., Petropavlovskiy K. S., TSTU

The article is devoted to the study of the influence of pulverized basalt waste on the properties of composite gypsum binder, as well as to the consideration of the features of their application. The physical and mechanical properties of several compositions of gypsum stone modified by pulverized basalt waste were determined, and the basic compositions of dry building mixes based on a composite gypsum binder were obtained.

Keywords: basalt pulverized waste, composite gypsum binder, compressive strength, density, porosity.

Введение

Производство базальтовых материалов и изделий является одним из быстрорастущих сегментов строительного рынка, среднегодовой темп роста которого по прогнозам до 2025 года составит около 14 % [1, 2], связано это в первую очередь с тем, что в последнее время такие продукты все чаще применяются при разработке новых высокопрочных композитов для применения в совершенно разных отраслях. Например, по данным автора работы [3], базальтовые волокна – перспективный в ближайшем будущем материал для композитов, предназначенных для судостроения, позволяющий добиться высоких аэро- и гидрочарактеристик судов. При этом, наиболее востребованными продукты базальтового производства остаются в строительной сфере [4], отчасти это связано с дефицитом ресурсов для производства металлических материалов [5]. Однако, они так же довольно широко применяются при разработке композитов для нефтяной и газовой отрасли, коммунального и водного хозяйства [6]. Базальты обладают высокой химической стойкостью, стойкостью к перепадам температур, отвечают требованиям по пожарной безопасности, биологически пассивны [7]. Поэтому применение отходов их производства в качестве армирующего компонента актуально и целесообразно ввиду того, что они имеют большое число преимуществ [8-14].

Постановка проблемы

Все же, учитывая даже широкую номенклатуру и возможности базальтовой промышленности в области производства материалов на минеральных вяжущих, наиболее популярным продуктом здесь остается само базальтовое волокно, связано это в первую очередь с оказываемым армирующим эффектом и возможностью замены или частичной замены дорогостоящей стальной арматуры.

Повышение характеристик бетонов, в частности трещиностойкости, при армировании их базальтовыми волокнами, отмечается многими авторами [10]. Однако, базальтовое волокно хоть и является актуальным в качестве армирующего компонента к бетонам, многие отмечают необходимость защиты его от щелочной среды портландцемента, которая приводит к скорому разрушению [11-12]. Изучение коррозионного воздействия продуктов гидратации цемента показало, что базальтовое волокно по отношению к СаО обладает большей реакционной способностью, чем кварцевый песок, что может свидетельствовать о его химическом взаимодействии с продуктами гидратации цемента. Однако механизм разрушения базальтовых волокон в щелочной среде полностью не изучен и единого мнения по этому вопросу не существует.

Некоторые из исследователей склоняются к мнению, что щелочная среда портландцемента приводит к полному растворению волокна. При этом даже если катионы щелочного раствора образуют соединения с нерастворимыми продуктами разрушения волокна, и на поверхности образуется пленка,

препятствующая скорому ее разрушению, эта пленка обладает слабой адгезией к самому волокну, поэтому при растяжении волокно перестает работать как армирующий компонент [13-14].

Таким образом, введение базальтовых волокон без дополнительной их защиты в среду портландцемента целесообразно в качестве меры по предотвращению трещиностойкости, а не по повышению прочности в перспективе, в связи с нестойкостью волокна по отношению к щелочной среде.

Стоит отметить так же, что при производстве базальтовой продукции скапливается большое количество пылевидных отходов, на первый взгляд наиболее популярным способом утилизации которых ведется возможность применения их в бетонах, однако, в этой области аналогично существует целый ряд спорных вопросов, который опять же касается протекающих технологических процессов в системах портландцемент-базальтовое волокно, описанных выше.

Применение базальтовых волокон в гипсовых композитах или смесях на композиционном гипсовом вяжущем (КГВ), напротив, недостаточно изучено, в связи с отсутствием необходимости обеспечения высокой трещиностойкости гипсовых изделий в отличие от бетонных. При этом необходимо справедливо заметить, что нейтральная среда поровой жидкости в структуре гипсового вяжущего позволяет сохранить неизменным базальтовый отход, а, следовательно, и его армирующий эффект во все время эксплуатации изделий из гипса [14-16]. В связи с вышесказанным, видится перспективным разработка материалов на КГВ, модифицированных пылевидными отходами базальтового производства, для обеспечения более плотной структуры композита с одной стороны и обеспечения утилизации большого количества высокодисперсных отходов с другой [15].

#### Материалы и методы

В работе в качестве основного компонента сырьевых смесей применяли гипсовое вяжущее  $\beta$ -модификации марки Г-4 ЗАО «Самарский гипсовый комбинат». В качестве компонента в исследованиях использовался так же отход пылеудаления производства базальтового волокна, расположенного в Тверской области, по своим свойствам представляющий порошок серого цвета без запаха, не взрывоопасный и не горючий, а также оксид кальция чистый производства ООО «Компонент-реактив» по ГОСТ 8677-76.

Исследования основных физико-механических свойств гипсовых композитов проводились в соответствии с ГОСТ 23789-2018, ГОСТ 8462 – 85, ГОСТ 7025 – 91. Сырьевые смеси приготавливались перемешиванием ручной мешалкой гипсового вяжущего и добавок, а также – дальнейшим затворением сухого гомогенного состава смеси дистиллированной водой. Из приготовленной смеси изготавливались образцы гипсовых композитов литьевым способом.

#### Результаты

Использование базальтового отхода без его предварительной обработки отражается на свойствах композита, способствуя изменению его плотности и прочности. Согласно анализу результатов исследований совместного влияния содержания пылевидного отхода производства базальтовых волокон (варьировалось от 8 до 12 % от массы гипсового вяжущего) и водотвердого отношения (от 0,73 до 0,79), зависимость прочности получаемого модифицированного гипсового камня, представленная на рисунке 1, показывает увеличение ее показателей в среднем на 22 % при увеличении содержания отхода в составе сырьевой смеси от 8 до 10 %, что возможно обусловлено ростом числа контактов в уплотненном гипсовом камне за счет обеспечения оптимального гранулометрического состава сырьевой смеси [15, 16]. Рост водопотребности объясняется ростом удельной поверхности смеси при увеличении содержания отхода и необходимостью смачивания сложной поверхности изломов высокодисперсных частиц базальтового волокна, что отражается и на общей пористости композита.

Исследование микроструктуры модифицированного камня оптимального вещественного состава (рис. 2) подтверждает присутствие кристаллогидратов и аморфной фазы. Наличие окислов алюминия и железа объясняет изменение структуры модифицированного камня, его кристаллической решетки, за счет химической активности базальта и влияния окислов алюминия и магния на свойства полимеров, включения которых присутствуют в составе отхода. В гипсовой матрице также выявляется присутствие хлора, поскольку в составе вводимого в гипс отхода количество Cl составляло – 5,73 мас. %. Таким образом, изменение элементного и вещественного составов приводит к формированию измененной структуры гипсового композита.

С целью повышения реакционной способности базальтового отхода в гипсовых структурах была выполнена механоактивация добавки. Проведенные исследования показали, что предварительный помол пылевидного отхода производства базальтовых волокон позволяет изменить его реакционную способность, обеспечив повышенную дисперсность и дефектность структуры, тем самым обеспечив прочность получаемому модифицированному гипсовому камню (рис. 3).

Установленные в продолжение исследований характеристики аналогичных составов, но полученных с использованием активированного отхода (рис. 3), а также с введением дополнительно и оксида кальция (рис. 4, таблица) подтвердили повышение показателей всех исследованных свойств.

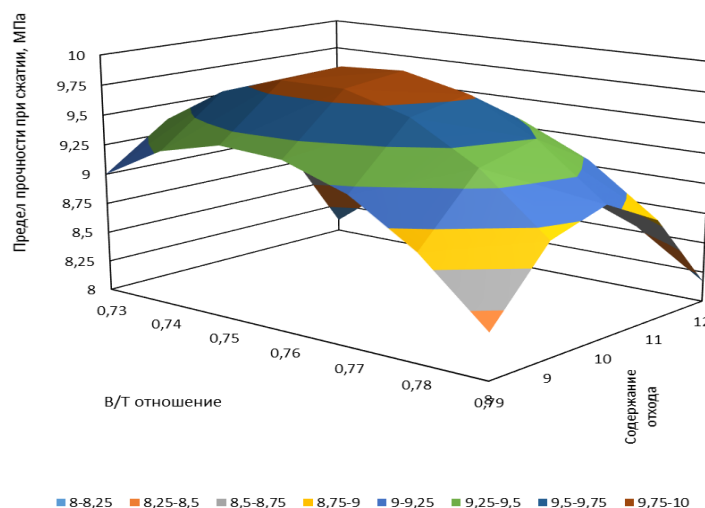


Рисунок 1 – Влияние содержания пылевидного отхода на прочность при сжатии модифицированного гипсового камня

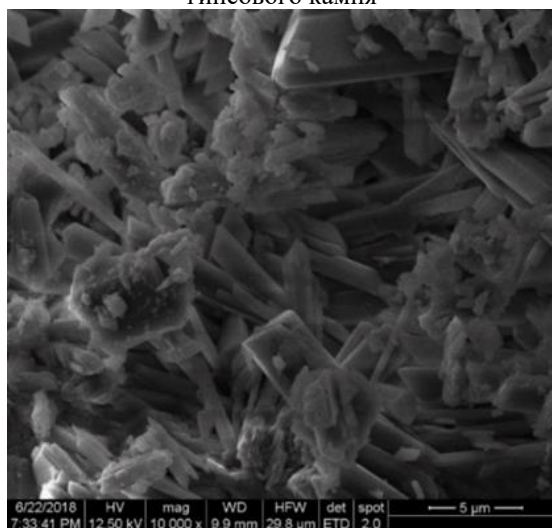


Рисунок 2 – Микроструктура гипсового камня модифицированного 10 % пылевидного отхода

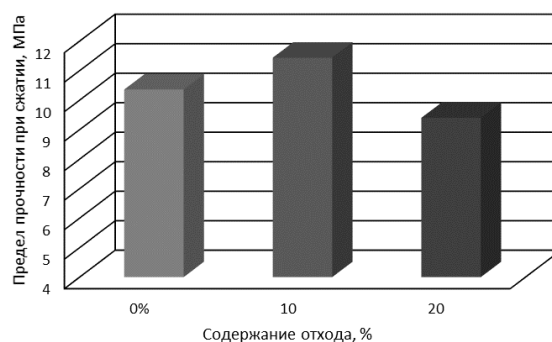


Рисунок 3 – Влияние содержания пылевидного отхода после помола на прочность при сжатии модифицированного гипсового камня

Введение оксида кальция в гипсовое вяжущее, модифицированное отходом, позволяет повысить плотность получаемого камня в среднем на 10 %, что, по-видимому, объясняется протеканием гидратного твердения извести в системе и кристаллизацией гидроксида кальция в свободном пространстве структуры дигидрата на поверхности частиц базальта, выступающих в качестве подложки [16]. Сушка гипсового материала в свою очередь способствует активизации зародышеобразования кристаллогидратов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , поскольку интенсивное испарение способствует ускорению процесса кристаллизации гидроксида кальция.

Таблица – Характеристики составов композиционного вяжущего

Состав * №	Прочность при сжатии, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %	K <sub>разм.</sub>	Водопоглощение, %
1	10,81	1096	45,3	0,2	29,2
2	8,78	1076	47,63	0,3	25,5
3	9,41	1137	41,71	0,5	25,2

\*где 1 состав (контрольный) включал только гипсовое вяжущее марки Г-4; состав 2 содержал гипсовое вяжущее Г-4 (90 мас. %) и отход производства базальтовых волокон (10 мас. %); в состав 3 помимо гипсового вяжущего Г-4 (80 мас. %) и отхода производства базальтовых волокон (10 мас. %) вводился оксид кальция (10 мас. %).

Исследования составов с измельченным отходом и оксидом кальция показали, что для составов с содержанием измельченного базальтового отхода в количестве 10 % присутствие оксида Са оказывает мало влияния, прочность изменяется в среднем в пределах 10 % при увеличении добавки СаО от 0 до 10 %, а затем, при дальнейшем увеличении оксида, изменение прочности замедляется и составляет лишь 3,3 %.

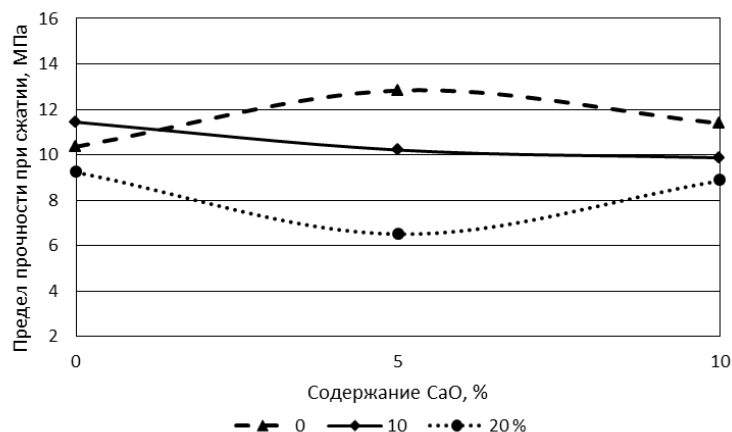


Рисунок 4 – Влияние содержания активированного пылевидного отхода (от 0 до 20 мас. %) на прочность при сжатии модифицированного гипсового камня

Более плотная структура, получаемая посредством введения в состав гипсового вяжущего пылевидного отхода, образующаяся в первые несколько часов твердения гипсового камня, по-видимому, в присутствии оксида кальция понижает свои физико-механические показатели. Причиной могут быть деструктивные процессы, протекающие в формирующемся гипсовом камне между оксидом кальция и базальтовым отходом.

#### Заключение

Проведенные исследования показали, что составы композиционного гипсового вяжущего с содержанием отхода производства базальтовых волокон в количестве 10 % от массы гипсового вяжущего показали себя, как эффективные и ориентированные на развитие отечественного зеленого строительства [19].

В ходе работы были достигнуты следующие результаты:

1 Выявлены закономерности изменения структуры гипсового камня, модифицированного отходом производства базальтового волокна, в зависимости от условий образования фазовых контактов и протекания физико-химических процессов при твердении, что обеспечивает необходимую прочность и улучшение других качественных показателей;

2 Установлены закономерности изменения свойств и состава модифицированного гипсового вяжущего от содержания пылевидного отхода производства базальтовых волокон;

3 Выявлен синергетический эффект при совместном введении минерального модификатора на основе пылевидного отхода производства базальтовых волокон и гидроксида кальция, основанный на активизации процессов твердения и структурообразования, синтеза водостойких гидроалюминатов кальция и проявляющийся в повышении технических характеристик гипсового композита.

Литература

1. Никитин А.В. Непрерывное базальтовое волокно - сейчас и в будущем // Композитный мир. - 2018. - № 5 (80). - С. 20-21.
2. Карпесов И. Прогнозы, ожидания и реальность в сфере базальтового волокна // Композитный мир. - 2018. - № 5 (80). - С. 36-37.
3. Францев М.Э. Определение целесообразности использования армирующих материалов на основе базальтового волокна при создании отечественных судов из композитов // Транспортные системы. - 2018. - № 1 (7). - С. 15-24.
4. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. К вопросу упрочнения гипсовых изделий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2015. - № 1 (192). - С. 15-17.
5. Шияев А.И., Беляев Е.В., Калабеков У.К., Меньшикова Е.А. Диабазы Дагестана - источник сырья для производства базальтового волокна // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2018. - № 11-12 (238-239). - С. 37-41.
6. Оснос М.С., Оснос С.П. Базальтовые непрерывные волокна - основа для создания новых промышленных производств и широкого применения армирующих и композитных материалов // Композитный мир. - 2019. - № 1 (82). - С. 58-65.
7. Матчанова Н.Н. Результаты исследования свойств базальтовых волокон и их структуры // Advances in Science and Technology: материалы XXV международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 125-127.
8. Гигинейшвили Д.Я., Кристесяшвили Е.Н. Непрерывное базальтовое волокно и перспективы их широкомасштабного применения. результаты исследований за 40 лет // Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности. Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и Международного Косыгинского Форума. - 2019. - С. 24-29.
9. Васильева А.А., Павлова М.С. Получение базальтового непрерывного волокна на основе базальта Васильевского месторождения // Техника и технология силикатов. - 2019. - Т. 26. - № 4. - С. 111-114.
10. Оснос С.П. Применение материалов из базальтовых пород в автомобильной промышленности // Композитный мир. - 2020. - № 1 (88). - С. 46-51.
11. Патент РФ 2695188 С1, Устройство изготовления непрерывных базальтовых волокон. Строгонов К. В., Назаров М. Н. 22.07.2019.
12. RU 2561070 С2 Способ производства базальтовых волокон и оборудование для их изготовления. Безлаковский А.И., Дубовый В.К., Петунов В.Т., Черняков Р.Г. 20.08.2015.
13. Казымов К.П., Манькова Т.В., Бражкина Т.В., Меньшикова Е.А., Исаева Г.А. Исследования сырья ООО "Вулкан" для производства непрерывного базальтового волокна // Базальтовые технологии. - 2012. - № 1. - С. 18-20.
14. Пономарев В.Б., Громков Б.К., Орешко С.М., Чебряков С.Г. Технология производства базальтового непрерывного волокна // Базальтовые технологии. - 2013. - № 2. - С. 47-50.
15. Усманова Р.Р., Заиков Г.Е., Дебердеев Р.Я. Теоретическое и экспериментальное исследование эффективности сепарации дисперсных частиц // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. № 20. - С. 11-14.
16. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Петропавловский К.С., Завадько М.Ю. Получение гипсовых композитов, модифицированных отходом базальтового производства // Строительные материалы. - 2016. - № 7. - С. 13-15.
17. Дребезгова М.Ю., Крынин А.А., Мищенко А.С. Технология приготовления композиционного гипсового вяжущего с минеральными добавками разного генезиса. "Образование. Наука. Производство": материалы IX Международного молодежного форума. - 2017. - С. 694-699.
18. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Н., Петропавловский К.С. Утилизация отходов минерального волокна в производстве гипсовых изделий Вестник МГСУ. - 2017. - Т. 12. № 12 (111). - С. 1392-1398.
19. Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Шаталова С.В., Лесниченко Е.Н., Крынин А.А. К вопросу об эффективности "зеленого" строительства. Актуальные вопросы охраны окружающей среды: материалы Всероссийской научно-технической конференции. - 2018. - С. 462-466.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ.....</b>	<b>8</b>
Голев Н.Д., Мельникова В.С. ОБРАТНЫЙ МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД НА СЛУЖБЕ ЮРИДИЧЕСКОЙ ЛИНГВИСТИКИ.....	8
Кунижев И.Р., Иванов И.А. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА .....	11
Абрамов А.В., Голдовский Я.М., Желенков Б.В., Сафонова И.Е. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА «ОТКРЫТАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ СРЕДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК» .....	14
Васильчук А.Н., Бушмелева К.И. SAR HANA: СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РАБОТЫ С БОЛЬШИМИ ДАННЫМИ .....	18
Бушмелева К. И., Гавриленко Т.В., Никифоров А.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВЕРСИИ УПРАВЛЕНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ В АРХИТЕКТУРЕ СИСТЕМЫ КОСВЕННОГО МОНИТОРИНГА НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ АКТИВНОСТИ .....	21
Богданова М.В., Богданова В.Г. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНОКЛИМАТИЧЕСКИМ КУРОРТОМ.....	24
Аралбаев Т.З., Галимов Р.Р., Арзамасков А.О., Бобров К.В. РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.....	27
Григорьев Д.В. ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПОИСКОВОГО ОБРАЗА ОБЪЕКТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА ПАТЕНТНОГО ПОИСКА ПРИ СОЗДАНИИ НОВОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ .....	31
Гришин Е.С. ПОДСИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ТРЁХФАЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ И ГАЗО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ .....	35
Гришмановская О. Н., Бушмелева К. И., Гришмановский П. В. АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТЕЙ ГРАЖДАН В ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ .....	40
Дугина Е.Л., Доржиева Е.В. РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ РЕГИОНА .....	45
Савельев Б.А., Смагина И.А., Козлов Н.Ю., Кузнецов К.Д. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСТУПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫХ ФОНДОВ .....	50
Ларина Т.Б., Падалка М.Н. АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ СИСТЕМНЫХ ДИСКОВЫХ СТРУКТУР ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ....	54

Мазур З.Ф., Мазур Н.З. ПАТЕНТНАЯ АНАЛИТИКА НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ВЕДУЩИХ ВУЗОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ.....	59
Ларина Т.Б., Падалка М.Н. МЕТОД ЗАЩИТЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМНЫХ СТРУКТУР НА ЖЕСТКИХ ДИСКАХ .....	63
Бушмелева К.И., Майоров В.В. РОЛЬ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ РАБОТЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ .....	68
Меденников В.И. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИДЕЙ ОГАС В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ .....	72
Меденников В.И. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОНЯТИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ .....	76
Ковалевская А.С., Смолова О.В., Семенова М.И. МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ.....	81
Веженкова И.В., Ковалевская А.С., Кустов Т.В. МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ .....	85
Юрчишина М.В. ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ .....	89
Разумова О.В., Садыкова Е.Р., Туктарева Л.А. О ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДИАИНФОРМАЦИОННОЙ ГРАМОТНОСТИ УЧАЩИХСЯ В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ.....	94
Рогозин К.И., Рогозина И.В., Пацева Ю.В., Госниц С.Е., Драчева Т.О. КУРС ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ГЛАЗАМИ СТУДЕНТОВ .....	98
Рогозин К.И., Рогозина И.В. Пацева Ю.В., Госниц С.Е. Драчева Т.О. ДИСТАНЦИОННЫЙ УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС: ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ .....	103
Сафонова И.Е. ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЗАРЯДОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	108
Сотников А.Д., Катасонова Г.Р. КОНСТРУИРОВАНИЕ «ЦИФРОВЫХ» КОМПЕТЕНЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ ВУЗЕ .....	112
Старостин И.Е. К ВОПРОСУ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПОТОКОВЫХ УРАВНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ .....	114
Старостин И.Е., Быков В.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ФОРМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПОТОКОВЫХ УРАВНЕНИЙ ПРОЦЕССОВ В НИХ НА ОСНОВЕ СКМ SCILAB .....	119
Старостин И.Е., Халютин С.П. ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ.....	124

Лях К.Н., Стасышин В.М. СИСТЕМА ВНУТРЕННЕГО МОНИТОРИНГА НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА .....	129
Шкрум А.С., Катасонова Г.Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТОМАТОЛОГИИ .....	132
Мирзакулова Ш.А., Юсупова Г.М, Исакова А.Ж., Тойбаева Ш.Д., Кожабаяева И.Б. АНАЛИЗ РАЗРАБОТАННЫХ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ .....	136
Соколов А., Остромухов Р.О., Смирнов А.В., Ковалевская А.С., Кустов Т.В., Веженкова И.В. ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ» .....	141
Федотова М. В., Косякин Ю.В. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ .....	148
Хайретдинов М.С., Шиманская Г.М., Седухина Г.Ф. АНАЛИЗ И ПРЕДСКАЗАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЭКОЛОГООХРАННЫХ ЗАДАЧАХ .....	152
Шамров М.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ КЭШ-ПАМЯТИ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ .....	157
Ким Л.Г. ОБЫДЕННЫЕ ПОЛИТИЧЕСКИЕ ИНТЕРНЕТ-КОММЕНТАРИИ: КОНФЛИКТ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ НОВОСТНОГО ТЕКСТА .....	160
Морозов Б.М., Маслаков И.В., Рыбаков С.А., Рудницкий С.Ф. РАЗВИТИЕ ПРОТИВ КРИЗИСА: НЕОБХОДИМ ЛИ ПЕРЕЗАПУСК РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ .....	165
Зыонг К. Х. Т, Кравец А. Г. ОБЗОР МЕТОДОВ ДОБЫЧИ ДАННЫХ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ: СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ МАПИРОВАНИЕ .....	168
<b>ГЛАВА 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ, ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ .....</b>	<b>174</b>
Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В. РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПО ХУ-Х СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ПЛОТНОСТЕЙ ВЕРоятНОСТЕЙ ЭЛЛИПСОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА..	174
Осипов А.Л., Трушина В.П ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАЛОГОВЫХ ПОСТУПЛЕНИЙ..	178
Абрамова Т.В., Аралбаев Т.З. МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ТРАНЗАКЦИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ АСУ ТП НА ОСНОВЕ СИГНАТУРНОГО ПРИНЦИПА .....	181
Ашарина И.В. ТЕХНОЛОГИЯ SPACEFIBRE В СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ .....	185
Бестугин А.Р., Филин А.Д., Рачков В.П, Киришина И.А.	



АВИАЦИОННЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПОЛИГОНЫ .....	188
Бобровская О.П., Девицын И.Н. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.....	193
Богодистова Е.С. АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКОЙ И ЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА USB.....	197
Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Истомина Т.В., Славкин И.Е., Бадеев В.А. МАЛОГАБАРИТНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ С КОМПЕНСАЦИОННЫМ КАНАЛОМ.....	204
Вятчин Г.К., Палагута К.А. МОДЕРНИЗАЦИЯ МОДУЛЯ ПИТАНИЯ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ СЛАБОВИДЯЩИМ ЛЮДЯМ.....	208
Гатчин Ю.А., Сухостат В.В. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ.....	213
Головинский П.А., Еникеев Э.И. МЕТОД РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПЛОСКИХ МАССИВОВ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА	217
Горшков П.С., Ветошкин В.М., Лялюк И.Н., Потемкин А.В. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРАБЕЛЬНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ВЗЛЕТНО- ПОСАДОЧНЫХ РЕЖИМАХ С АВИАНЕСУЩИХ КОРАБЛЕЙ .....	221
Груненко Н.В., Палагута К.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОИСКА РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ АТМЕГА328Р .....	225
Денисенко М.А., Исаева А.С. ВЕРТИКАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ СЕНСОР ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ .....	231
Жилова О.В, Макагонов В.А., Панков С.Ю., Ситников А.В., Бабкина И.В. ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ ВОДОРОДА НА ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕНОСА В ОКСИДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ И МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ НА ИХ ОСНОВЕ .....	234
Кардашова Г.Д., Сафаралиев Г.К., Ризаханова С.У., Дибиргаджиев Д.Ш. ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ, КАК ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ SiC .....	238
Колпаков А.А., Бейлекчи Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ТРАНСЛЯЦИИ И ЭКСТРЕННОГО ОПОВЕЩЕНИЯ..	242
Колпаков А.А., Белов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТРАНСЛЯЦИИ И ОПОВЕЩЕНИЯ ОТ ВИДА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПЛАТФОРМ.....	247
Кузьмич Р.И. МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ.....	252
Пиотровский Д.Л., Подгорный С.А., Куколев А.А.	

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ФАКТОРА УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ТУРБОКОМПРЕССОРА СУДОВОГО ГЛАВНОГО МАЛООБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ ..... 256

Лобанов А.В.

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КАНАЛА ОБМЕНА SPACEFIBRE И ТЕОРИИ СОЗДАНИЯ СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ..... 260

Мартынов В.В., Филосова Е.И., Ширяев О.В.

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ЦИФРОВОЙ ИНДУСТРИИ..... 265

Недосекин П.Г., Саргсян Г.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫМ СЕНСОРОМ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛМАЗА ..... 270

Ершов И.А., Стукач О.В., Мясникова Н.В., Цыденжапов И.Б., Сычев И.В.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ МЕТОДА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ..... 275

Ловцов Д.А., Гаврилов Д.А.

МОДЕЛЬНО АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ..... 279

Фам Ван Ты

ИНТЕГРАЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКТА..... 285

Бестугин А.Р., Филонов О.М., Киришина И.А., Овчинникова Н.А., Окин П.А.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ, ИДЕНТИФИКАЦИИ И СОПРОВОЖДЕНИЯ НЕОПОЗНАННЫХ БПЛА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ ..... 289

Деев М. В., Финогеев А. Г., Финогеев А. А.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СБОРА И АНАЛИЗА ТРЕБОВАНИЙ РАБОТОДАТЕЛЕЙ ..... 293

Финогеев А.А., Деев М.В., Колесников И.Н., Финогеев А.Г.

МОНИТОРИНГ ИНЦИДЕНТОВ В ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ..... 296

Харьков В.П.

НЕЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ..... 301

Чернодаров А.В., Патрикеев А.П., Иванов С.А.

ИНЕРЦИАЛЬНО – ОДОМЕТРИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОЙ СПУТНИКОВОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ..... 306

Деренок А.Н., Ли В.Ю., Деренок А. Д., Чулков Н. А.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТА ГАЗОБОЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА, РАБОТАЮЩЕГО НА ДИЗИЛЬНОМ ТОПЛИВЕ ..... 311

Чухаджян Н. Г.

К РАСЧЕТУ ОБМОТКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ПОЕЗДА МАГЛЕВ.. 316

Шихина А.В. ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВЫБОРОК.....	319
Панькина К.Е. УТИЛИТЫ ДЛЯ ПОИСКА WEB-УЯЗВИМОСТЕЙ, НЕ ИМЕЮЩИХ СИГНАТУР .....	323
Касимов А.О., Есенбек С.Я. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ ПРЕПАРАТАМИ .....	328
Кириченко А.А. НЕЙРОКОНСТРУИРОВАНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ, ЛЕЖАЩИХ В ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА .....	330
Ермолаев В.А., Проскураков А.Ю., Миловидов А.Е. ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ И ПРЕЦИЗИОННОСТИ НЕЙРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ .....	335
В.И. Нефедов, А.Н. Дементьев, К.В. Арсеньев, М.В. Аралкин, А.А. Маркин, М.С. Курушкин РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ ЭЛЕМЕНТНУЮ БАЗУ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ .....	339
Переляев С.Е. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ СЕМЕЙСТВА «ОБОБЩЕННЫЙ» МАЯТНИК ФУКО НА ОСНОВЕ 3-D СФЕРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСНОГО ГИРОСКОПА.....	347
Гришко А.К., Моисеев А.В., Пакайкин А.А., Тумакова И.А., Гришко Е.И., Бростилов С.А., Трусов В.А. МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ И ВВОДА ДАННЫХ.....	351
Мирзакулова Ш.А., Сибанбаева М.Б., Жақан Ә.Қ., Кожаева Д.Т., Жолдасов Б.Ж. АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА.....	354
<b>ГЛАВА 3. ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>359</b>
Кутуев И.В., Бушмелева К.И. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА ОТ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ К «УМНОЙ» .....	359
Панков С.Ю., Макагонов В.А., Калинин Ю.Е., Жилова О.В., Каширин М.А., Фошин В.А. ОКСИДНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ .....	362
Зорин П.А., Стукач О.В. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ В ЖИЛОМ ФОНДЕ ГОРОДА ТОМСК .....	365
Алтухов А.В., Гостилович А.О., Давидов А.О., Кашкин С.Ю., Халютин С.П. ПЛАТФОРМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА.....	368
<b>ГЛАВА 4. АНТЕННЫ, СВЧ ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ.....</b>	<b>372</b>
Бакалов В.П. ПРОБЛЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ .....	372
Бакалов В.П. ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С ЛАТЕРАЛЬНЫМИ СВЯЗЯМИ .....	375

Бушмелева К.И., Дмитриева Е.А., Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ.....	378
<sup>1</sup> Бушмелева К.И., Кондрашов Д.Е., Увайсов С.У., Фам Лэ Куок Хань АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ .....	384
Бушмелева К.И., Сенчуков М.В., Бушмелев П.Е. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	389
Измайлов А.А., Большаков Ю.П. МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ПЕЧАТНЫЙ ФРАГМЕНТ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ X-ДИАПАЗОНА С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ .....	395
Кокин Д.С., Пономарев О.Г. ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ .....	400
Копылов А.Ф., Огородников Д.К., Саломатов Ю.П., Харитонов Н.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЧ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ МЕМБРАНЫ С П-ОБРАЗНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ЩЕЛЬЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ЗОНДОВ, ВОЗБУЖДАЮЩИХ СВЧ ПОЛЕ .....	404
Аль Кадими Али Нури Мохаммед УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ЛОВУШКИ ДЛЯ ДАТЧИКА ПЛОТНОСТИ И СОСТАВА ВЕРХНИХ СЛОЁВ АТМОСФЕРЫ .....	409
Аль Кадими Али Нури Мохаммед РАСЧЁТ ТОКОВ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ЛОВУШКИ ДАТЧИКА ПЛОТНОСТИ И СОСТАВА ВЕРХНИХ СЛОЁВ АТМОСФЕРЫ.....	414
Конов К.И. УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЭКВИДИСТАНТНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ.....	419
Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Увайсов С.У. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБЕГА САМОЛЕТА ПЕРЕД ВЗЛЕТОМ.....	421
Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Попова Т.А. СТРУКТУРА ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ .....	424
Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Увайсова А.С. ОСОБЕННОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ JTAG В ДИАГНОСТИКЕ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ	427
Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Черноверская В.В. РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОМ УЗЛЕ ПРИ НАДЁЖНОСТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	431
Глухов П.А., Черноверская В.В., Ветрова В.В., Увайсова А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В 3D-ПЕЧАТНЫХ УЗЛАХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ ЛИНЕЙНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ .....	434
Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан, Фам Лэ Куок Хань, Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан, Попова Т.А. МЕТОД УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ ЦЕЛОСТНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	437

Proshin A., Melnichuk A., Gerasimova Yu. and Yurkov N. PRINCIPLE OF OPERATION AND MEANS OF IMPLEMENTING A NON-CONTACT METHOD OF TEMPERATURE MEASUREMENT.....	440
<b>ГЛАВА 5. РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ.....</b>	<b>445</b>
Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Кукин Л.А., Шуваев Д.И., Волков В.В., Гаврикова Р.Ю. ОСОБЕННОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОБЖИГОВОГО ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	445
Моргун Л.В., Моргун В.Н., Богатина А.Ю. ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРЫ СМЕСЕЙ С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПЕНОБЕТОНА ...	450
Бурак Е.Э., Фонова С.И. К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ НЕГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В ВГТУ .....	454
Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ОТХОДОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГИПСОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО .....	457



125167, Москва, 4-я улица 8 Марта, д. 6А  
тел.: +7 (495) 255-36-35,  
факс: +7 (499) 558-00-49,  
contacts@xlab-ns.ru, www.xlab-ns.ru

### ПРАКТИКА, ОСНОВАННАЯ НА НАУЧНЫХ ТРАДИЦИЯХ

Экспериментальная мастерская НаукаСофт создана в 2005 году представителями ведущих научных школ Военно-воздушной инженерной академии им. проф. Н. Е. Жуковского в области авиационной электроэнергетики, автоматических и автоматизированных систем управления и навигации, а также научно-исследовательского Центра образовательных и информационных технологий Военно-воздушной академии им. Ю. А. Гагарина.

В разные годы эти научные школы возглавляли действительные члены Академии наук СССР и РАН: В. С. Кулебакин, Г. С. Поспелов, А. А. Красовский, профессора Ю. А. Кочетков, В. А. Боднер, И. М. Синдеев, В. А. Винокуров и другие известные ученые.

В настоящее время «ЭМ НаукаСофт» – это коллектив с внушительным научным потенциалом и опытом его применения на практике для решения самых разнообразных задач: от разработки высокоточных авиационных систем навигации, управления и электроэнергетики до создания сложных автоматизированных информационно-аналитических систем.

### СПЛАВ УЧЕНЫХ И ИНЖЕНЕРОВ

В организации трудятся доктора и кандидаты технических наук, молодые талантливые специалисты ведущих московских вузов, а также высококвалифицированные инженеры с большим опытом в решении прикладных задач. Это позволяет «ЭМ НаукаСофт» предоставлять полный комплекс услуг по IT-консалтингу, организации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по сопутствующим научным направлениям, а также по разработке, требуемого заказчиком, программного обеспечения.

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Электроэнергетика автономных систем.
- Управление и навигация подвижных объектов.

- Автоматизированные информационные, аналитические и управляющие системы.

Все направления деятельности лицензированы Министерством промышленности и торговли РФ.

### ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА РЕАЛИЗАЦИЮ

Опытное конструкторское бюро и производство «ЭМ НаукаСофт» позволяют реализовывать на практике собственные научно-технические идеи и решения. Это означает, что мы выполняем проекты «под ключ», добиваясь идеальных результатов по заданным параметрам, и имеем возможность тщательно контролировать ход проектов на любом из этапов их жизненных циклов.

### ВОЕННОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО

В «ЭМ НаукаСофт» создаются и проходят проверку на жизнеспособность разноплановые проекты, в том числе такие, которые требуют контроля качества и приемки со стороны Министерства обороны РФ. Все проекты, связанные с Гособоронзаказом, проводятся под контролем аккредитованного на предприятии военного представительства.

### ОБМЕН ОПЫТОМ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ

«ЭМ НаукаСофт» является организатором ежегодной Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского». Кроме того, принимает активное участие в организации многих других научных конференций, оказывает спонсорскую и информационную поддержку в проведении ежегодной Международной научно-практической конференции «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий», ежегодной Международной научно-практической конференции «Инновационные информационные технологии», а также ежегодного Международного симпозиума «Надежность и качество».



По инициативе ветеранов Военно-воздушной инженерной академии имени профессора Н.Е.Жуковского создана некоммерческая организация – **Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского**, которая основана на членстве физических и юридических лиц, и преследующая социальные, культурные, научные и иные общественно-полезные цели.

**Целями** деятельности Ассоциации являются:

- Сохранение исторического наследия ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского.
- Представление и защита общих, в том числе профессиональных интересов своих членов.
- Содействие организации патриотического воспитания молодежи и благотворительная деятельность.

**Основные задачи** Ассоциации:

- Изучение и донесение до общественности истории ВВИА и ее подразделений, а также результатов деятельности научных школ ВВИА.
- Организация и поддержка на информационных ресурсах Ассоциации социальной сети для сотрудников и выпускников академии.
- Организация юбилеев ВВИА, её научных школ и выдающихся деятелей.
- Мониторинг современного состояния деятельности научных школ ВВИА и разработка мероприятий, направленных на повышение эффективности их деятельности.
- Выработка предложений по созданию перечня критических направлений в развитии авиационной науки и техники, позволяющих обеспечить конкурентоспособность российской авиационной техники.
- Проведение междисциплинарных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в интересах развития авиационной науки и промышленности РФ.
- Организация системы поддержки научных конференций с помощью информационных ресурсов Ассоциации.
- Организация и проведение юбилейных и тематических конференций и семинаров, издание тематических научных публикаций.
- Проведение молодёжных научных форумов в рамках деятельности научных школ ВВИА.
- Организация выступлений ветеранов ВВИА в школах, иных учебных заведениях среднего и высшего профессионального образования.
- Организация мероприятий по патриотическому воспитанию совместно с Советом ветеранов ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского и Домом-музеем Н. Е. Жуковского.
- Организация проведения конференций, симпозиумов, конгрессов, лекций, встреч по вопросам истории авиации, космонавтики и ВВИА.
- Создание и поддержка информационного ресурса в рамках деятельности Совета ветеранов ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского.
- Поддержка ветеранов ВВИА и их семей.
- Восстановление традиций ВВИА по оказанию шефской помощи Дому ребёнка № 5 (ул. Красноармейская, д. 1) и участие в других благотворительных акциях.
- Содействие и координация усилий членов Ассоциации по организации научно-педагогической деятельности выпускников и сотрудников ВВИА.

Предусмотрена работа периодического печатного (или на иных носителях) издания: газеты «Вперед и выше». В рамках деятельности Ассоциации разработан и поддерживается информационный портал [http://nasledie-](http://nasledie-vvia.ru/)

[vvia.ru/](http://nasledie-vvia.ru/)

Организована работа 3-х проектов:

- ежегодные Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н. Е. Жуковского;
  - большая электронная энциклопедия ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского;
  - научные школы ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского.
- На портале Ассоциации размещается информация:
- о мероприятиях Ассоциации и Совета ветеранов ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского;
  - новости Ассоциации и Совета Ветеранов;
  - исторические очерки о ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского;
  - информация о проектах Ассоциации.

**Предлагаю выпускникам и сотрудникам Академии, неравнодушным к наследию ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, и желающим участвовать в общественной и научной деятельности Ассоциации, присоединиться к нам.**

С уважением,  
Президент Ассоциации  
генерал-лейтенант В.П. Кутахов

**Сборник трудов  
XVII Международной научно-практической конференции**

Гл. ред. С.У.Увайсов  
Отв. ред. И.А.Иванов

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка: Д.С.Панасик

Дизайн И.А.Иванов

Подписано в печать 18.09.2020.  
Формат 60×84/8. Бумага «Pioneer»  
Усл. печ. л. 54.9 Тираж 500 экз. Заказ 64

Подготовлено к изданию  
Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского  
г. Москва, 4-я, ул. 8 Марта, 6А.  
[nasledie-vvia.ru](http://nasledie-vvia.ru)

Отпечатано в типографии НИУ ВШЭ  
Москва, Кочновский проезд, 3  
[hse.ru](http://hse.ru)