



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ  
УНИВЕРСИТЕТА ИТМО**

Том 2

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург  
2020**

**Альманах научных работ молодых учёных Университета ИТМО.** Том 2. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 341 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых учёных, доложенные на XLIX научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематике: безопасность информационных технологий; системы управления и робототехника.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

##### **Председатель редколлегии:**

Бобцов Алексей Алексеевич

доктор технических наук, профессор, директор мегафакультета компьютерных технологий и управления Университета ИТМО.

##### **Члены редколлегии:**

Пыркин Антон Александрович

доктор технических наук, профессор, декан факультета систем управления и робототехники

Кустарев Павел Валерьевич

кандидат технических наук, декан факультета программной инженерии и компьютерной техники

Заколдаев Данил Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, декан факультета безопасности информационных технологий

Андреев Ю.С.

кандидат технических наук, заместитель декана факультета систем управления и робототехники

ISBN 978-5-7577-0636-8

ISBN 978-5-7577-0638-2 (Том 2)



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, получивший в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Миссия Университета ИТМО – открывать возможности для гармоничного развития конкурентоспособной личности и вдохновлять на решение глобальных задач.

© Университет ИТМО, 2020

© Авторы, 2020

## **ВВЕДЕНИЕ**

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные 29 января – 1 февраля 2020 года на XLIX научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематике: безопасность информационных технологий; системы управления и робототехника.

Конференция проводится в целях усиления интегрирующей роли университета в области научных исследований по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники и ознакомления научной общественности с результатами исследований, выполненных в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, программы развития Университета ИТМО на 2009–2018 годы, программы повышения конкурентоспособности Университета ИТМО среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 гг., Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ, грантов РФФИ, РГНФ, РНФ и Правительства РФ (по постановлению № 220 от 09.04.2010 г.) и по инициативным научно-исследовательским проектам, проводимым учеными, преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами, магистрантами и студентами университета, в том числе в содружестве с предприятиями и организациями Санкт-Петербурга, а также с целью повышения эффективности научно-исследовательской деятельности и ее вклада в повышение качества подготовки специалистов.

**НАПРАВЛЕНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ;  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА**



**Афанасьева Любовь Петровна**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R3430,

направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления

движением и навигация,

e-mail: liubov97@mail.ru

УДК 65.011.56

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

**Л.П. Афанасьева**

**Научный руководитель – специалист А.П. Соколов<sup>1</sup>**

**1 – АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»**

**Аннотация**

В статье приведен пример удачного использования сетевых технологий на этапах производства в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Перечислены основные программные обеспечения (ПО), участвующие в процессе изготовления изделий, в том числе и в сопровождении его жизненного цикла. Для наглядности проведен разбор автоматизированных процессов от заключения контракта с заказчиком до получения готового опытного образца с рабочей технической документацией.

**Ключевые слова**

Локальная сеть, жизненный цикл, изделие, опытный образец, рабочая техническая документация.

Для минимизации эксплуатационных затрат, контроля за качеством выпускаемой продукции и сроками выполняемых работ принято использовать корпоративное программное обеспечение, отвечающее за сопровождение жизненного цикла изделия (Product Lifecycle Management – PLM), за документооборот между сотрудниками предприятия (системы электронного документооборота) и автоматизацию экономических процессов (ERP-системы) [1-3]. Подобное программное обеспечение используется в локальных сетях судостроительных предприятий, таких как: АО НПП «Радар ммс», судостроительный завод «Северная верфь», АО «Концерн «НПО «Аврора», АО «ЦКБ МТ «Рубин», АО «СПМБМ «Малахит» и т.д. При этом адаптация программных продуктов под специфику производства зависит от нормативных документов и стандартов, которым следует организация. В отсутствие отраслевого стандарта на ПО, опыт каждой организации, в том числе АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», можно назвать уникальным. Отличительной спецификой предприятия с точки зрения построения топологии сети при внедрении автоматизированных процессов является наличие отдаленных филиалов. При этом часть филиалов подключена к центральной площадке по защищенным каналам напрямую, а наиболее отдаленные филиалы, расположенные в Челябинске, Каспийске и Барнауле, были подключены к общей сети при помощи стороннего оператора. В данной работе рассматривается корпоративная вычислительная сеть АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», а также ПО, отвечающее за отдельные процессы.

На данном этапе развития предприятия используются следующее ПО: PLM Windchill, Галактика, АСУПр, Тезис, а также разнообразные САД-системы. Сопровождение жизненного цикла изделия осуществляется системой Windchill на следующих стадиях: планирование работ, разработка документации (конструкторской, эксплуатационной, ремонтной, нормативной и т.п.), внесение замечаний (журналы изменений), хранение рабочих и архивных версий документации, в том числе 3D-моделей. За техническое производство отвечает АСУПр: составление маршрутных карт и ведомостей, диспетчеризация производства, планирование. Тезис заведует офисным документооборотом, а Галактика закупкой материалов, складированием, учетом внутренних работ и выплатой заработной платы. В процессе изготовления изделий от заключения контракта с заказчиком до получения готового опытного образца с рабочей технической документацией корпоративное ПО участвует следующим образом. Согласно рис. 1 после оценки плана работ в системе Windchill, заключается договор, ТЗ и вносится в Тезис, данные о сроках и стоимости автоматически переносятся в Галактику.

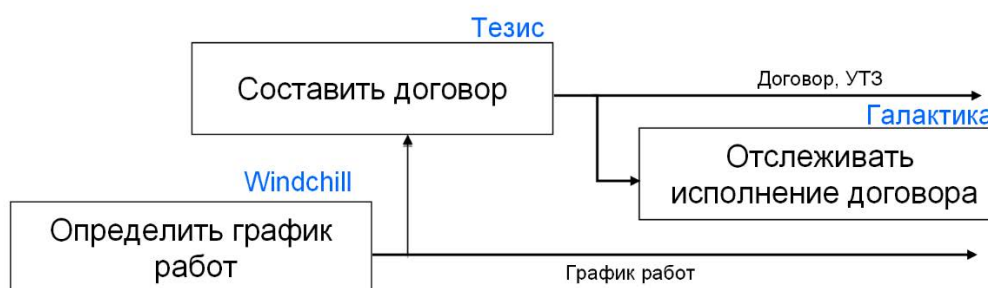


Рис. 1. Заключение контракта

Согласно рис. 2 в Windchill определяют участников процесса, ориентируясь на график работ и техническое задание. По составленному в нем маршруту задачи переходят от исполнителя к исполнителю, которые создают и сохраняют конструкторскую документацию.

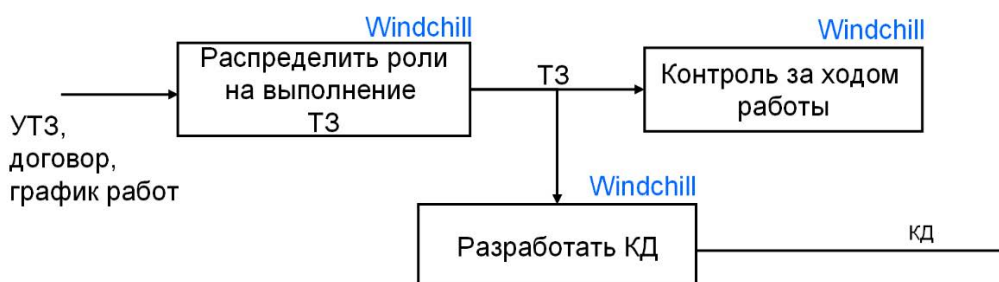


Рис. 2. Эскизное проектирование

Согласно рис. 3 на основе разработанной в Windchill конструкторской документации пишут маршрутную карту и ведомость в АСУПр. Необходимые для изготовления материалы покупают и заносят данные о них в Галактику. По маршрутной карте изделие проходит этапы производства, его нахождение фиксируется диспетчерами в АСУПр и заносится в Windchill. По изготовлению изделия выпускают техническую документацию, рабочую конструкторскую документацию и опытный образец. Если в процессе производства были замечания, то они фиксируются в Windchill и техническая часть изготовления повторяется.

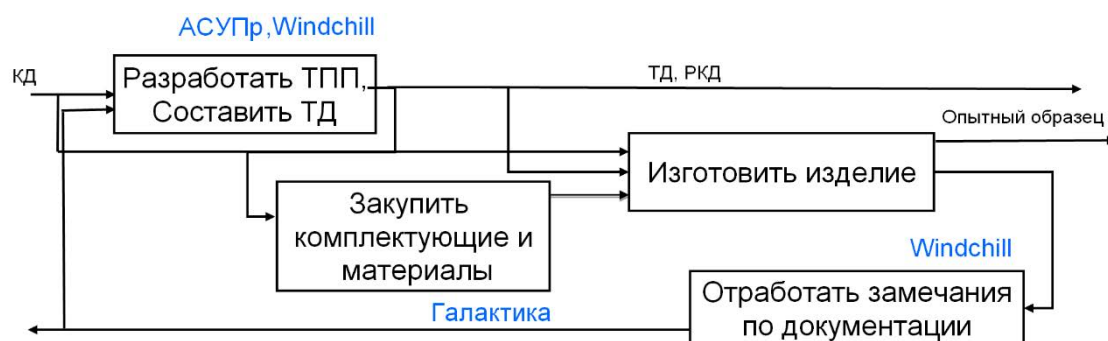


Рис. 3. Техническое проектирование

Если брать во внимание только действия, совершенные при помощи программного обеспечения, можно составить полноценный производственный процесс. Это говорит о рациональном использовании локальной сети. На настоящий момент планируется ввести автоматизированную логистическую поддержку, но для сохранения безопасности данных нет возможности подключить её через шлюз к локальной сети предприятия. Для этого платформа будет располагаться в сети Интернет, а данные туда будут переноситься по договоренности.

Таким образом, каждый этап производства до разработки эксплуатационной документации контролируется одной или несколькими ПО, которые содержат единый архив данных, стандартизируют производственные процессы и системные объекты, ограничивают права пользователей. За корректную работу сети отвечает специализированный сектор, который решает проблемы, возникающие в процессе эксплуатации. В списке его задач находится расположение платформы для логистической поддержки в ходе послепродажного производства.

### Литература

1. Медведева С.А. Основы технической подготовки производства / Учебное пособие. СПб. СПбГУ ИТМО. 2010. 69 с.
2. Калинов И.А. Автоматизация деятельности на крупных предприятиях оборонно-промышленного комплекса на основе PDM/PLM-средства Windchill в сфере управления реализацией системных проектов // Современная наука. 2016. №3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/avtomatizatsiya-deyatelnosti-na-kрупnyh-predpriyatiyah-oboronno-promyshlennogo-kompleksa-na-osnove-pdm-plm-sredstva-windchill-v-sfere>. Дата обр. 15.12.2019.
3. Jiu Sun Research and Application of PDM and CAD Integration Technology // Atlantic Press 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://download.atlantispress.com/article/3565.pdf>. Дата обр. 15.12.2019.





**Афанасьева Софья Олеговна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии

и компьютерной техники,

студент группы № Р42722

направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: sophi26@mail.ru



**Локалов Владимир Анатольевич**

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии

и компьютерной техники,

к.пед.н., доцент,

e-mail: lokalov@itmo.ru

УДК 159.955.2

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ДВОЙНОЙ СТИМУЛЯЦИИ**

**С.О. Афанасьева, В.А. Локалов**

**Научный руководитель – к.пед.н., доцент В.А. Локалов**

Работа выполнена в рамках темы НИР №643202 «Разработка программного средства для диагностики способностей учащихся к формированию понятийного мышления на основе метода двойной стимуляции».

### **Аннотация**

В работе описывается программное средство, реализующее метод двойной стимуляции Выготского-Сахарова, которое было разработано для определения уровня развития понятийного мышления. Производится оценка валидности компьютерной реализации метода двойной стимуляции на основе сравнения условий, сценария и результатов компьютерной методики с классическим вариантом. Делается вывод о том, что разработанное программное средство не только способно воспроизвести условия и методику эксперимента Выготского-Сахарова, но и дает возможность организовать гибкую и производительную систему оценки понятийного мышления учащихся.

### **Ключевые слова**

Метод двойной стимуляции, понятийное мышление, понятие, значение слова, структура комплекса, диагностика мышления.

Обучение – это процесс, который неразрывно связан с развитием понятийного мышления учащихся. Образование новых понятий происходит тогда, когда нужно найти способ описания решения целого класса задач, определить общие закономерности, построить систему знаний в какой-либо предметной области. Чем выше уровень абстракции описания решения задачи, тем выше вероятность

прикладного применения этого решения. Актуальность разработки компьютерных методов исследования развития понятий обусловлена потенциальной возможностью их использования для совершенствования методик обучения. Особенно это касается специальных дисциплин, связанных с информационными технологиями, и естественно-научных дисциплин, в которых низкий уровень развития системного мышления означает полную профессиональную непригодность. Формальное усвоение понятий, не предусматривающее раскрытия системных связей и выделения их существенных признаков, приводит к низкому уровню умений обучающихся решать практические задачи. Адекватная оценка уровня развития понятийного мышления учащихся позволит преподавателю своевременно выявить проблемы в усвоении теоретического материала и эффективнее организовать процесс обучения.

Большой вклад в изучение мышления и проблем формирования понятий внес Л.С. Выготский. Им совместно с Л.С. Сахаровым была разработана функциональная методика двойной стимуляции для исследования образования искусственных понятий. Суть данной методики заключается в том, что испытуемому предлагается два ряда стимулов. Один ряд стимулов выполняет функцию объекта, на который направлена деятельность испытуемого, а другой – функцию знака, с помощью которого эта деятельность организуется [1]. В процессе проведения эксперимента можно проследить, как формируется понятие, как происходит переход от образа к слову и к пониманию значения слова. На рис. 1 представлен алгоритм прохождения эксперимента в виде блок-схемы.

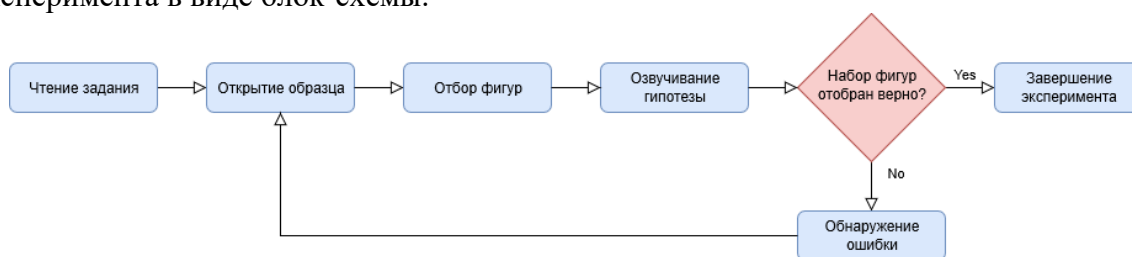


Рис. 1. Схема прохождения эксперимента

Л.С. Выготским в результате проведения исследования были обнаружены три основные ступени развития понятий, каждая из которых в свою очередь разбивается на несколько фаз.

Первой ступенью, ступенью синкретов, в образовании понятия по Выготскому является выделение кучи каких-либо предметов, объединяемых без достаточного внутреннего родства и отношения между образующими ее частями [2]. Синкретизм мышления, по мнению Выготского, присущ в основном детям дошкольного и младшего школьного возраста. Они выделяют кучу объектов, основываясь на своем впечатлении, на основании внешних связей между элементами, например, на основании пространственно-временных отношений.

Следующую ступень, ступень комплексов, Л.С. Выготский характеризует как способ объединения отдельных конкретных предметов, или вещей, который основывается на выделении уже не только субъективных связей, устанавливаемых во впечатлении, но на основе объективных связей, действительно существующих между этими предметами [3]. Выготский выделил пять типов комплексов:

- 1) ассоциативный (ядерный) комплекс;
- 2) комплекс-коллекция;
- 3) цепной комплекс;
- 4) диффузный комплекс;
- 5) псевдопонятие.

На рис. 2 представлены две основные структуры комплексов — ядерная и цепная. Все типов комплексов по своей общей конфигурации можно отнести либо к одной, либо к другой из вышеуказанных структур.

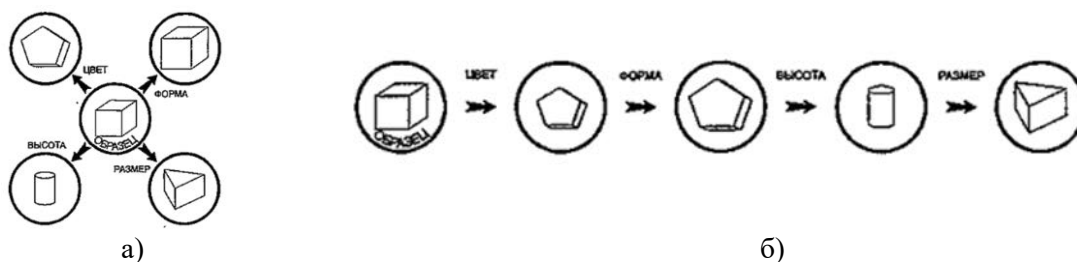


Рис. 2. Общая конфигурация структуры комплексов: ядерная (а); цепная (б)

Наконец, про последнюю ступень, ступень настоящих понятий, Выготский писал, что выделить виды собственно понятий, пользуясь только стимульным материалом методики, достаточно трудно [4]. Он поясняет, что сформированность понятия можно определить только путем практического пользования словом, а в рамках эксперимента данный момент не учитывается.

Несмотря на всю простоту и эффективность метода двойной стимуляции при исследовании процесса развития понятий, у методики все же имеется ряд ограничений, которые могут повлиять на результаты эксперимента. Во-первых, это невозможность расширения предметного ряда, предоставляемого испытуемому. Во-вторых, исследование проводится под наблюдением экспериментатора, индивидуально с каждым человеком. В связи с этим проведение эксперимента является довольно продолжительным, что в свою очередь затрудняет его применение для обследования больших групп людей. А фиксирование данных осложняется наличием риска допустить ошибку, что может привести к искажению результатов исследования. В-третьих, это необъективность результатов исследования, вследствие постоянного нахождения экспериментатора рядом с испытуемым.

Целью настоящей работы было решение указанных проблем. Для этого нами было разработано программное средство, реализующее метод двойной стимуляции, которое автоматизирует процессы формирования и проведения исследования. Программное средство предоставляет инструментарий, необходимый для проведения всех этапов эксперимента. На рис. 3 представлена его полная структурно-функциональная схема.



Рис. 3. Структурно-функциональная схема приложения

Программное средство предоставляет следующие возможности:

- создавать и просматривать стимульный материал методики;
- задавать порядок проведения эксперимента;
- проигрывать эксперимент.

Функционал реализуется в виде соответствующих режимов работы приложения, которые представлены в интерфейсе в виде основных вкладок. На рис. 4 показан интерфейс окна проигрывания эксперимента.

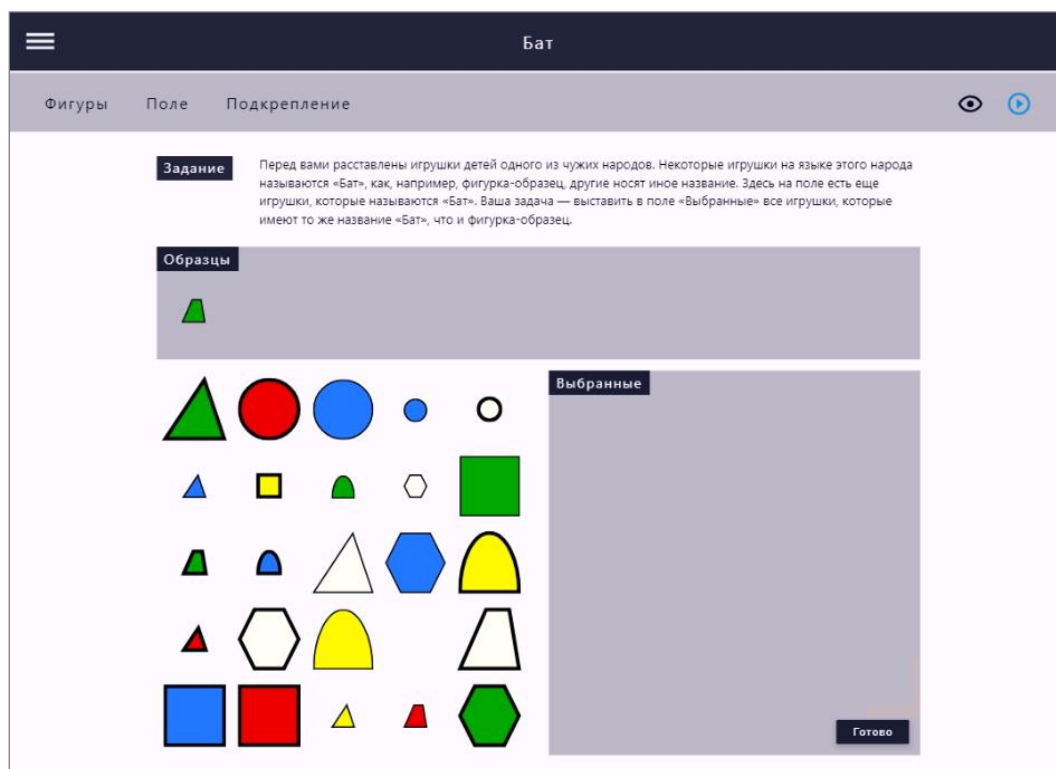


Рис. 4. Режим проигрывания эксперимента

Программное средство разрабатывалось как веб-приложение, содержащее клиентскую и серверную части, реализованное на React, Redux и Node.js. По окончании разработки был проведен эксперимент. На рис. 5 представлен протокол пошагового прохождения эксперимента одного из испытуемых.

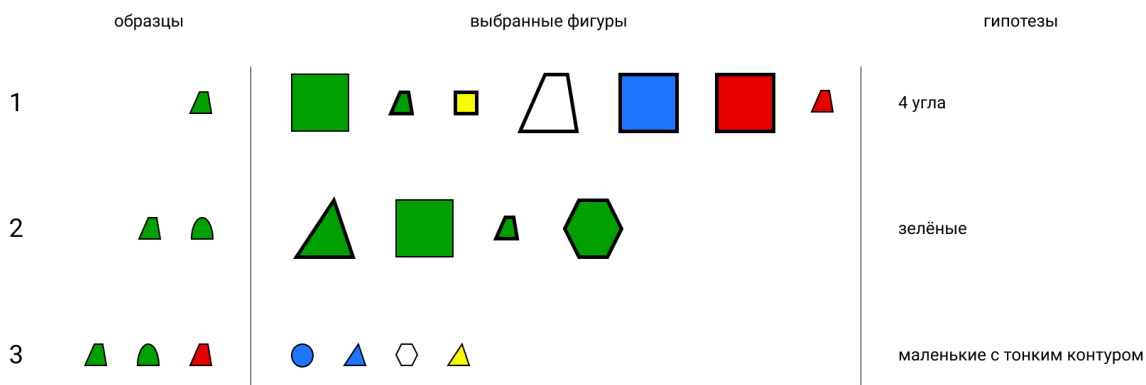


Рис. 5. Протокол прохождения эксперимента

Представлены выборы (шаги) испытуемого. Также отображены гипотезы, которые выдвигал испытуемый относительно задуманного понятия. Анализируя выборы испытуемого, можно выделить на 1-ом шаге цепной комплекс, на 2-ом – комплекс с ядром и на последнем шаге – псевдопонятие. Псевдопонятие еще не является истинным понятием, так как привязка шла только к конкретному набору фигур, и искались только фактические конкретные связи между предметами, а не логические. Испытуемый справился с задачей за три шага. Он сразу начал образовывать комплексы и достаточно быстро выделил существенные признаки и абстрагировал, что может указывать на высокий уровень развития у него понятийного мышления. Синкреты обнаружены не были. Это объясняется тем, что исследование проводилось на студентах старших курсов, а синкретизм мышления, как упоминалось выше, присущ в основном детям дошкольного и младшего школьного возраста.

На рис. 6 и рис. 7 представлены дополнительные примеры ядерного и цепного комплексов, визуализированных в виде общей конфигурации структуры комплексов.

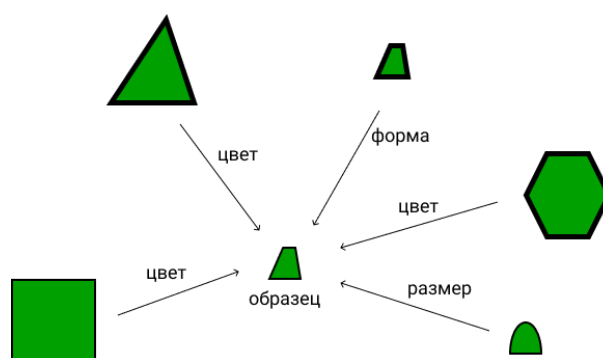


Рис. 6. Пример ядерного комплекса

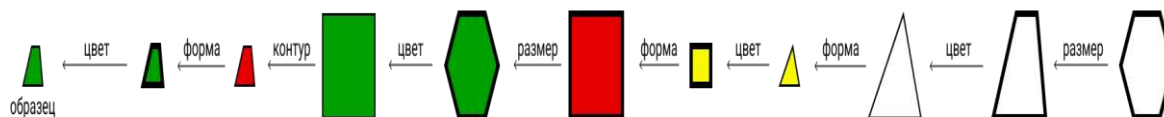


Рис. 7. Пример цепного комплекса

По окончании эксперимента была произведена оценка валидности компьютерной реализации метода двойной стимуляции на основе сравнения условий, сценария и результатов компьютерной методики с классическим вариантом.

Сравнивались следующие компоненты методики:

1. Задание, предоставляемое испытуемому.
2. Стимульный материал.
  - фигуры и их признаки;
  - экспериментальные понятия;
3. процесс проведения;
  - открытие образцов;
  - обнаружение ошибок испытуемого.

Критерии сравнения результатов эксперимента:

1. Порядок выставления фигур испытуемым.
2. Обнаруженные ступени развития понятий.

В процессе сравнения методики проведения эксперимента были выявлены некоторые различия. Мы поделили эти различия на две категории: существенные и несущественные, то есть те, которые могут сильно повлиять на результат, и те, которые

могут повлиять слабо или не повлиять вообще. К существенным различиям мы отнесли различия в стимульном материале эксперимента и различия в порядке проведения эксперимента, а именно в обнаружении ошибок испытуемого. Мы заменили объемные фигуры плоскими в силу того, что их легче воспринимать с экрана компьютера. Соответственно некоторые признаки были переориентированы, уменьшилось их количество. В компьютерной версии порядок открытия фигур задает экспериментатор, но он делает это до начала эксперимента, а не в процессе, как в классической версии. Это сделано по той причине, что экспериментатор не находится рядом с испытуемым во время прохождения эксперимента, поэтому не может на основании действий испытуемого решать, какая фигура должна быть открыта следующей. То же касается и обнаружения ошибок, одна стратегия выбирается в силу того, что мы не знаем, какие фигуры выберет испытуемый, поэтому не можем выбрать какую-то одну из них в качестве ошибки. В процессе сравнения результатов эксперимента из выявленных Выготским ступеней развития понятий нами была обнаружена только ступень комплексов, в полном ее объеме. Синкреты обнаружены не были, в силу «взрослой» выборки. И наконец настоящие понятия не были обнаружены в силу того, как писал Выготский, что выделить виды собственно понятий, пользуясь только стимульным материалом методики, достаточно трудно.

В результате оценки валидности был рассчитан процент эквиваленции компьютерной реализации и некомпьютерного варианта. Исходя из сравнения методики проведения нами были выделены 3 существенных различия. Исходя из сравнения результатов эксперимента существенных различий не наблюдалось. В итоге можно сделать вывод, что вероятность замены классического эксперимента компьютерной версией составила примерно 75-80%. Полученные результаты показали, что компьютерная реализация метода двойной стимуляции эквивалентна некомпьютерному варианту и позволяет исследовать процесс развития понятийного мышления.

### Литература

1. Сахаров Л.С. О методах исследования понятий // Культурно-историческая психология. 2006. №2. С. 32–47.
2. Юдина Е.Г. Эксперимент Л.С. Выготского. – Л.С. Сахарова: культурно-историческая ретроспектива // Культурно-историческая психология. 2006. №2. С. 55–57.
3. Выготский Л.С. Мышление и речь. М. Лабиринт. 1999. С. 128–129.
4. Вклад Л.С. Выготского в становление патопсихологического подхода в изучении олигофрении. Методика Выготского-Сахарова [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.medtheory.ru/mter-576.html> (дата обращения: 18.02.2020).



**Башкова Виктория Николаевна**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,  
факультет систем управления  
и робототехники,

студент группы №R3430

направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления движением  
и навигация

e-mail: vxbxn@rambler.ru

УДК 65.011.56

**ЭЛЕМЕНТЫ ДОПОЛНЕННОЙ  
И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**В.Н. Башкова**

**Научный руководитель – специалист С.С. Виноградов <sup>1</sup>**

**1 – АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»**

**Аннотация**

В статье рассмотрен опыт освоения и применении технологии дополненной и виртуальной реальности при проектировании изделий в АО Концерн "ЦНИИ "Электроприбор". Проведен краткий анализ внедренных решений на промышленных предприятиях Санкт-Петербурга, рынка готовых кейсов, а так же основные этапы подготовки 3D - моделей, проиллюстрированы конечные результаты работы.

**Ключевые слова**

Проектирование, дополненная реальность, виртуальная реальность, AR\VR-технологии, эскизный проект, технический проект, натурное макетирование, 3D- моделирование.

**Введение**

Концерн "ЦНИИ "Электроприбор" – современное высокотехнологичное предприятие, идущее в ногу со временем. Технологии виртуальной и дополненной реальности (virtual reality - VR, augmented reality - AR) – ключ к принципиально новому уровню взаимодействия человека с цифровым миром. Одной из приоритетных задач организации является полная цифровизация процессов разработки и сопровождения изделия на всех этапах его жизненного цикла. Освоение AR\VR - технологий и их адаптация для решения задач проектирования являются частью этой глобальной задачи.

Задачи данной работы:

- изучение доступной аналитики рынка промышленных AR\VR - решений в России;
- изучение доступной аналитики внедренных решений на промышленных предприятиях Санкт-Петербурга;
- отработка технологии подготовки 3D-моделей для визуализации в виртуальной и дополненной реальности;
- накопление опыта использования элементов AR\VR в процессе проектирования изделия;
- обстановка на рынке AR\VR - решений и внедренные проекты в промышленности.

Изучение рынка готовых промышленных AR\VR-решений в России показывает, что спектр готовых AR\VR - решений охватывает узкий круг задач, таких как создание различных симуляторов для обучения ремонту оборудования, безопасного ведения работ, авиатренажеров для пилотов. Решения связанные с применением дополненной и виртуальной реальности в процессе проектирования промышленных изделий находятся на стадии разработки.

Определенных успехов в использовании VR технологий добились, например, ФГУП "ВНИИА" реализовав проект "3D комната виртуальной реальности с погружением", позволяющий проводить анализ правильности принятых конструктивных решений на этапе проектирования [1].

Примером успешного внедрения технологии виртуальной реальности является СПМБМ "Малахит". Действующий в организации аппаратно-программный комплекс "Стенд 3D" позволяет выполнять анализ эргономики, поиск конструкторских решений, проведение презентаций моделей и многое другое без использования устаревших технологий натурального макетирования [2].

Технологии дополненной реальности в промышленности пока не так популярны в России (устройства все еще несовершенны и дорого стоят). Однако потенциал AR для повышения эффективности всего предприятия даже больше, чем у VR. Например, сотрудник в AR-очках может окинуть взглядом всю производственную линию и увидеть все параметры ее работы.

### **Применение AR\VR -технологии на различных этапах проектирования**

Рассмотрим этапы проектирования (рис. 1) с позиции возможности применения AR\VR -технологии.

Техническое задание и техническое предложение - начальные этапы, на которых определяется, что данная система должна делать, как работать и при каких условиях. На данных этапах недостаточно "материала" для визуализации каких-либо концептуальных решений или демонстрации принципа работы. Особенно в случае проектирования изделия с "нуля".

Завершающие этапы проекта — разработка рабочей документации и наладка серийного производства — предполагают изготовление изделия в "железе", а следовательно вопросы проектирования решены и не являются актуальными.

Наиболее перспективными выглядят этапы эскизного и технического проекта. Так в эскизном проекте определяется приборный состав и компоновка, сотрудники тематических и конструкторских подразделений находятся в поисках частных решений, значит, есть необходимые 3D-модели, а также предпосылки для применения дополненной реальности. В ЦНИИ "Электроприбор" на этапе эскизного проекта нового исполнения находились БИНС и магнитный компас (КМ). Новые исполнения этих изделий были выбраны для демонстрации заказчикам в формате дополненной реальности (рис. 2, 3).

Для отработки технологии виртуального моделирования и макетирования в качестве тестового проекта была выбрана одна из модификаций системы оптической посадки, находящаяся в стадии технического проекта. С помощью специализированного программного обеспечения (ПО) было подготовлено виртуальное пространство с моделью модернизируемого изделия, установленного в отсеке корабля. Это позволило наглядно, в реальном масштабе, увидеть дизайн помещения и компоновку оборудования в нем (рис. 4).



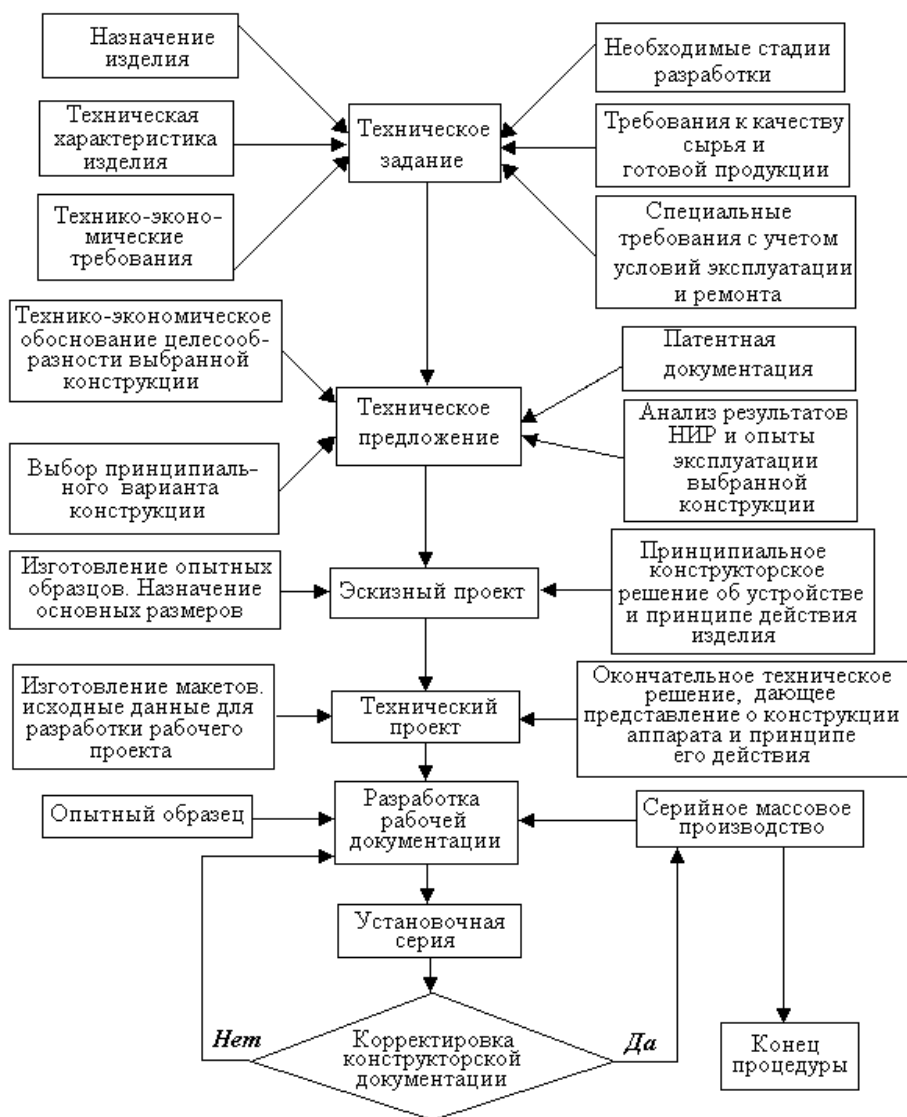


Рис. 1. Блок схема обобщенного процесса проектирования

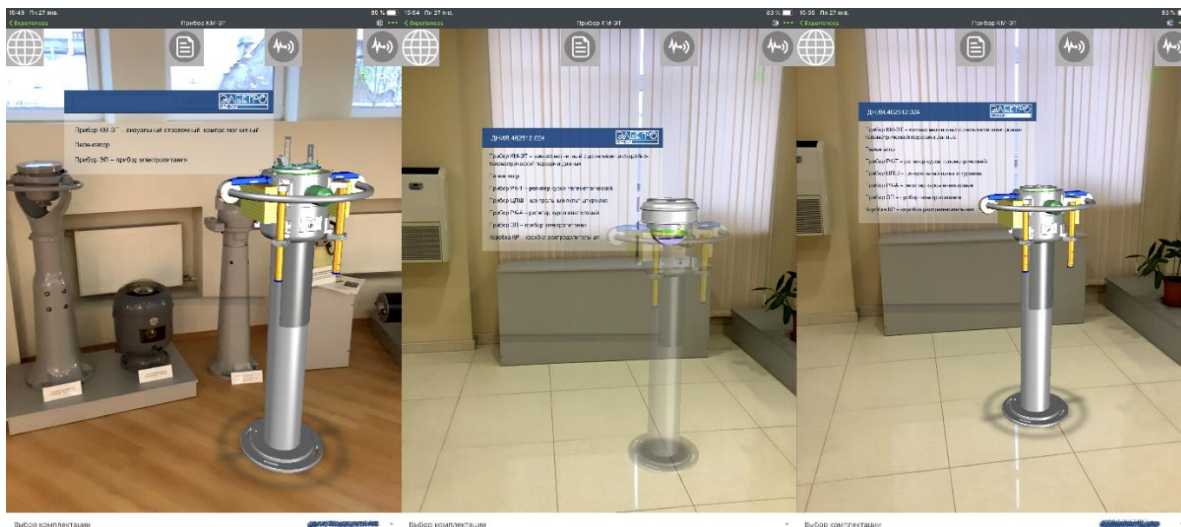


Рис. 2. Варианты исполнения магнитного компаса



Рис. 3. Демонстрация компоновки и габаритных размеров БИНС

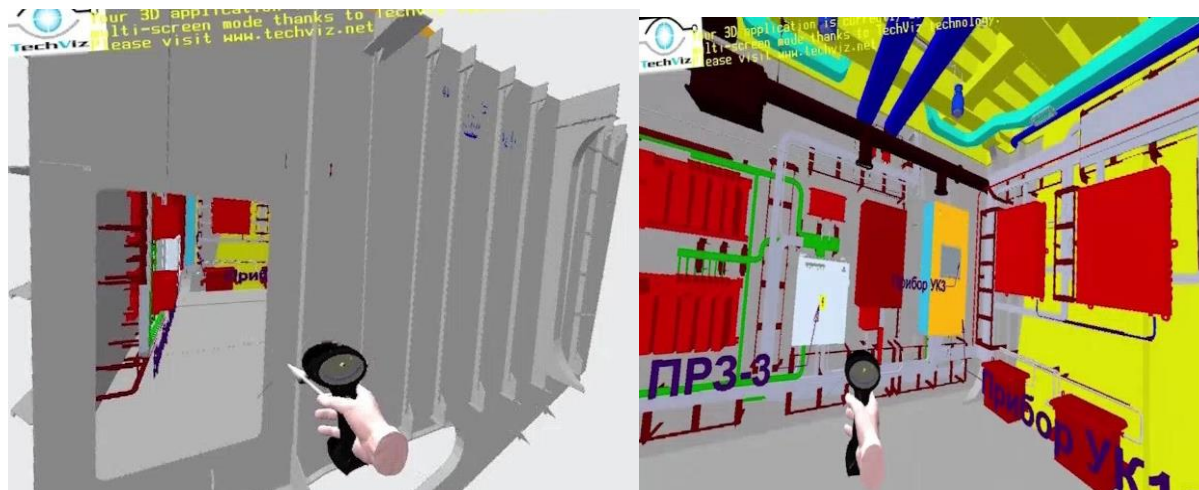


Рис. 4. Вид агрегатной снаружи и изнутри

### Реализация демонстрации вариантов приборного состава и компоновки БИНС и КМ в формате дополненной реальности

В качестве основной конструкторской системы автоматизированного проектирования и разработки (САПР) в ЦНИИ "Электроприбор" принята САПР PTC Creo Parametric. Разработанные сотрудниками тематических и конструкторских подразделений модели изделия подверглись следующим преобразованиям:

1) облегчение моделей путем объединения сборок (assembly) в единую деталь (part). Редактировались только те сборки, которые не отражают принцип

функционирования изделия и сборки, с которыми не предполагается взаимодействовать;

- 2) наложение материалов и текстур на отредактированные модели;
- 3) импорт моделей в PTC Creo Illustrate (3D-иллюстратор ассоциированный с САПР для создания зависящей от конфигурации графической информации) [3];
- 4) коррекция масштаба модели и настройка шагов анимации;
- 5) импорт полученных примитивов из PTC Creo Illustrate в Vuforia Studio (платформа для создания AR приложений для телефонов и планшетов на операционных системах iOS и Android) [3];
- 6) настройка пользовательского интерфейса для интерактивного взаимодействия с конечной моделью в режиме дополненной реальности;
- 7) загрузка готового приложения на устройство воспроизведения (смартфон, планшет и т.д.)

### **Реализация виртуального макета системы оптической посадки**

Подготовка моделей для создания виртуального макета включает аналогичные преобразования т.е. облегчение, текстурирование, импорт в PTC Creo Illustrate, масштабирование и анимирование. Главное отличие в подготовке моделей - это создание окружения, а значит необходимо имитировать источники света и звука. В целом, для достижения эффекта погружения, виртуальная реальность более требовательна к детализации. Итоговая визуализация генерировалась с помощью приложения TechViz. Данное приложение позволяет работать с 3D моделями только в режиме просмотра (без функции редактирования параметров и атрибутов модели), при этом позволяет оператору, находясь внутри виртуальной среды, производить пространственные перемещения и манипуляции с 3D моделями деталей и узлов, а также производить различного рода измерения [4].

Результаты проделанной работы:

- 1) изучена доступная аналитика, публикации на сайтах участников рынка, новости в профильных изданиях;
- 2) проведено интервьюирование участников рынка (разработчиков\пользователей VR\AR-решений);
- 3) отработана технология подготовки 3D-моделей для визуализации в виртуальной и дополненной реальности;
- 4) получен опыт применения элементов AR\VR в процессе проектирования изделия.

### **Выводы**

Применение дополненной реальности на ранних стадиях проектирования дает возможность конструктору и заказчику оценить принципиальные конструктивные решения, габаритные размеры разрабатываемого изделия, а также данные, определяющие его дизайн. И при необходимости внести необходимые изменения на этапе эскизного проекта.

В рамках технического проекта, как показал анализ внедренных решений в отрасли, наиболее эффективное применение виртуальной реальности состоит в замене или дополнении натурального макетирования.

### **Литература**

1. Кулагин А.В. статья "Внедрение методов моделирования ВО ФГУП "ВНИИА" на основе технологии 3d визуализации" АО «ЦКБ МТ "Рубин" XII молодежная-

- научнотехническая конференция "Взгляд в будущее – 2014". Материалы конференции с. 332.
2. Официальный сайт АО "СПМБМ "МАЛАХИТ" [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.malachite-spb.ru/137/> (дата обращения: 20.11.2019).
  3. Официальный сайт ООО "ИРИСОФТ" [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.irisoft.ru/products/vuforia-expert-capture-tkr/> (дата обращения: 27.01.2020).
  4. Программное обеспечение для системы виртуального моделирования [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.techviz.net/products/techviz-xl-virtual-workbench/> (дата обращения 13.12.2019).



**Безбах Юлия Игоревна**

Год рождения: 1992  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
ассистент, старший лаборант, аспирант,  
направление подготовки: 05.13.12 – Системы  
автоматизации проектирования  
e-mail: bezbkh@itmo.ru



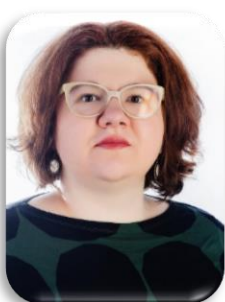
**Белимова Полина Андреевна**

Год рождения: 1995  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, инженер,  
e-mail: belimova\_polina@mail.ru



**Казначеева Анна Олеговна**

Год рождения: 1980  
Университет ИТМО,  
физико-технический факультет,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: a\_kazn@mail.ru



**Джумагулова Алёна Фёдоровна**

Год рождения: 1985  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.псих.н., инженер,  
e-mail: afdjumagulova@itmo.ru



**Балканский Андрей Александрович**

Год рождения: 1983  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
преподаватель, ведущий инженер,  
e-mail: aabalkanskii@itmo.ru

УДК 004.5

## ТЕСТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ОПЫТА ПРИ АНАЛИЗЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЙ ДАННЫХ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**Ю.И. Безбах, П.А. Белимова, А.О. Казначеева, А.Ф. Джумагулова,  
А.А. Балканский**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

Современная киберфизическая система подразумевает интеграцию больших данных, полученных от вычислительных ресурсов в физические сущности, подвергающиеся обработке и анализу. Так, функционирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВиК) определяется показаниями датчиков, следящих за климатом здания и заданными значениями. Визуализационные подходы могут значительно повысить эффективность исследовательского анализа больших данных для выявления подозрительной деятельности в системах ОВиК и дальнейшего машинного обучения на основе этого анализа. Во многих случаях существующие подходы технологий визуального анализа требуют оценки эффективности и удобства их использования. Данная статья описывает результаты пилотного юзабилити-тестирования трех технологий визуализации: RadViz, матричных таблиц и линейных графиков. Дается оценка эффективности данных визуализаций в контексте анализа функционирования систем типа ОВиК. Предлагаются дальнейшие направления исследования данного набора визуализаций.

### **Ключевые слова**

Визуализация, большие данные, киберфизическая система, юзабилити, пользовательский опыт.

### **Введение**

В сложных технических системах, предназначенных для отслеживания параметров и динамической коррекции режимов работы оборудования, важным фактором является алгоритм управления различными физическими устройствами. Особенностью таких систем является непрерывное накопление показаний датчиков, комплексный анализ данных за длительный промежуток времени, визуализация измерений. Набор фиксируемых показателей зависит от назначения системы [1-3], а решение конкретной задачи начинается как правило с отбора данных в базе данных с учетом пространственной и временной привязки. Примером подобных систем является система контроля отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВиК), позволяющая поддерживать климатические условия на заданном уровне в помещениях, требующих точное поддержание условий эксплуатации оборудования или использующих технологии “умный дом”.

Существующие технологии автоматического анализа позволяют выявить корреляцию между несколькими показателями, сопоставить во времени данные с разных устройств, выявить выход значений за установленные пределы. Поиск причин неисправностей часто выполняется на основе анализа данных специалистом с последующей разработкой корректирующего алгоритма, например, с использованием машинного обучения [4].

Использование интеллектуальных устройств в контексте интернета вещей

привело к появлению новых опасных сценариев, в том числе возможности вмешательства злоумышленников в физическую безопасность систем, атаки на системы ОВиК. Для эффективного анализа данных специалистом и предотвращения сбоев важен метод визуализации, выбор которого будет определяться измеряемыми физическими величинами и шагом дискретизации данных. Результат также определяется целенаправленностью дизайна и его элементов, структурой окон, оптимальным использованием цветов, рациональным подходом к предоставляемой информации для точного анализа и прогнозирования в контексте ситуационного восприятия операторами интерфейса системы.

Целью данной работы является сравнение эффективности методов визуализации разнородных физических данных для решения задач функционирования систем ОВиК.

### Описание визуализаций

Технология поддержания климатических условий в помещении (рис. 1) включает датчики измерения температуры, влажности и химического состава воздуха (уровень углекислого газа, уровень кислорода). Поддержание температурных условий осуществляется в заданном пользователем диапазоне, при этом оценивается как средняя температура, так и температура воздуха на входе (приточная вентиляция) и выходе (вытяжка). Для системы вентиляции основными контролируруемыми параметрами являлись скорость движения воздуха и положение заслонки, ограничивающей поток воздуха. Также к контролируемым параметрам отнесены уровень потребления электроэнергии освещением и техническими устройствами, освещенность помещения.

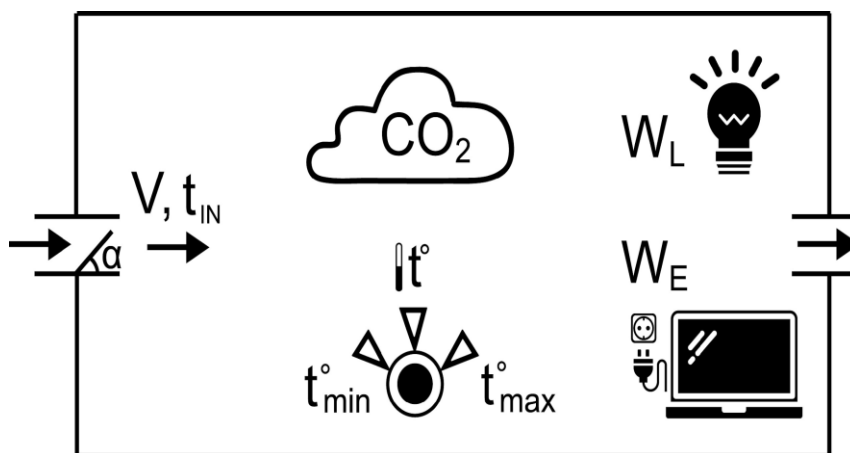


Рис. 1. Контролируемые параметры системы ОВиК

Анализируемый объем данных был взят из конкурсного задания VAST Challenge (2016) и включал показания 9 датчиков ОВиК, регистрируемые каждые 5 минут в течение 14 дней для 3-х этажного здания с десятками контролируемых зон и формирующих визуализируемый массив. Для юзабилити-тестирования данные были уменьшены и была смоделирована задача для возможного поиска повторяющихся закономерностей и аномалий. Таким образом, стимульный материал был ограничен двумя днями нормального поведения системы, двумя днями легко обнаруживаемого аномального поведения и одним днем едва обнаруживаемого аномального поведения.

Выбранный набор данных визуализировался тремя способами [5], применяющимися в обработке больших данных: RadViz (рис. 2), табличное представление (рис. 3), графические зависимости (рис. 4). Каждый набор данных отображался всеми тремя способами визуализации, что позволяло оценить влияние

представления данных на результат анализа.

Задача визуализации RadViz (рис. 2) состоит в выделении типичных закономерностей и аномалий. RadViz можно рассматривать как инструмент кластеризации, демонстрирующий изменчивость показателей системы в многомерном пространстве в соответствии с временными промежутками, которые кодированы цветом. Показатели датчиков системы и установленных параметров расположены по кругу. Регистрируемое значение представлено точкой, которая соединена воображаемыми пружинами с соответствующими осями параметров.

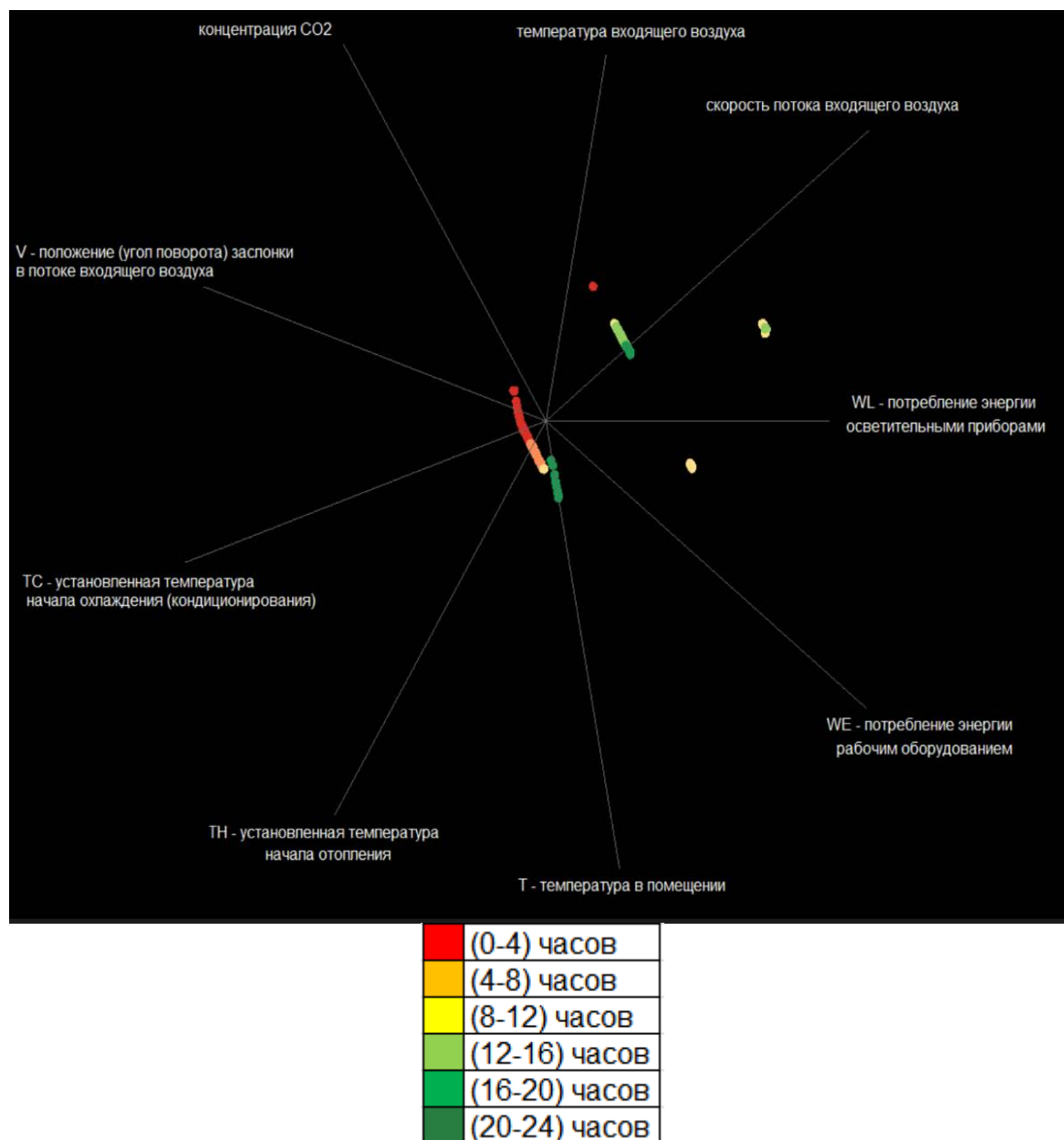


Рис. 2. Визуализация RadViz одного из 5 дней функционирования ОВиК

В подходе для построения матрицы (рис. 3) используется алгоритм кластеризации на основе плотности. Строки соответствуют системным показателям, а столбцы представляют собой срезы данных. Каждая ячейка представляет среднее значение атрибута за некоторый промежуток времени. Цветовая насыщенность используется для кодирования значений. Такая форма позволяет отследить совпадение событий на выбранном интервале времени и сопоставить их интенсивность.





Рис. 3. Матричное представление данных одного из 5 дней функционирования ОВиК

Для возможности анализа абсолютных значений и понимания шкалы реального времени используются линейные диаграммы (рис. 4). Различными цветами обозначены временные кластеры, переход от кластера к кластеру отражает значительное изменение параметров системы и ее переход к новому режиму работы. По оси Y отложены значения показателей, по оси X отложено время от 00:00 часов до 23:59.

### Организация исследования

В рамках исследования эффективности визуализаций были поставлены следующие задачи:

Определение частоты использования, времени использования, понятности и полезности визуализаций для анализа работы системы ОВиК;

Определение способов использования визуализаций и эффективности решения задачи респондентами.

В эксперименте участвовали 2 группы респондентов: 4 испытуемых со специальной подготовкой и опытом эксплуатации киберфизических систем (холодильного оборудования – 3 человека и магнитно-резонансного томографа – 1 человек) и 4 испытуемых без специальной подготовки.

Испытуемым было дано 15 минут на ознакомление с общей информацией и схемой гипотетического помещения и 15 минут на ознакомление с визуализациями.

Участникам были представлены данные в трех различных методиках визуализации и заданы вопросы: 9 вопросов разного уровня сложности и 30 минут на ответы в среднем. Они имели возможность использовать любую имеющуюся у них информацию в любом порядке.

Задачами испытуемых являлись поиск повторяющихся закономерностей и аномалий работы оборудования ОВиК с помощью вышеперечисленных визуализаций данных и определение причинно-следственных связей и закономерностей в работе оборудования ОВиК с помощью визуализаций.

Вопросы разделялись на 3 категории: 4 вопроса касались общих представлений о распорядке рабочего дня и относились к разряду легких. 3 вопроса средней сложности

касались качественной оценки значимости изменяющихся параметров системы (нормальные и аномальные дни с точки зрения ОВиК). В рамках 2-х последних сложных вопросов испытуемым предлагалось сформулировать гипотезы о причинно-следственных связях и закономерностей в данных.

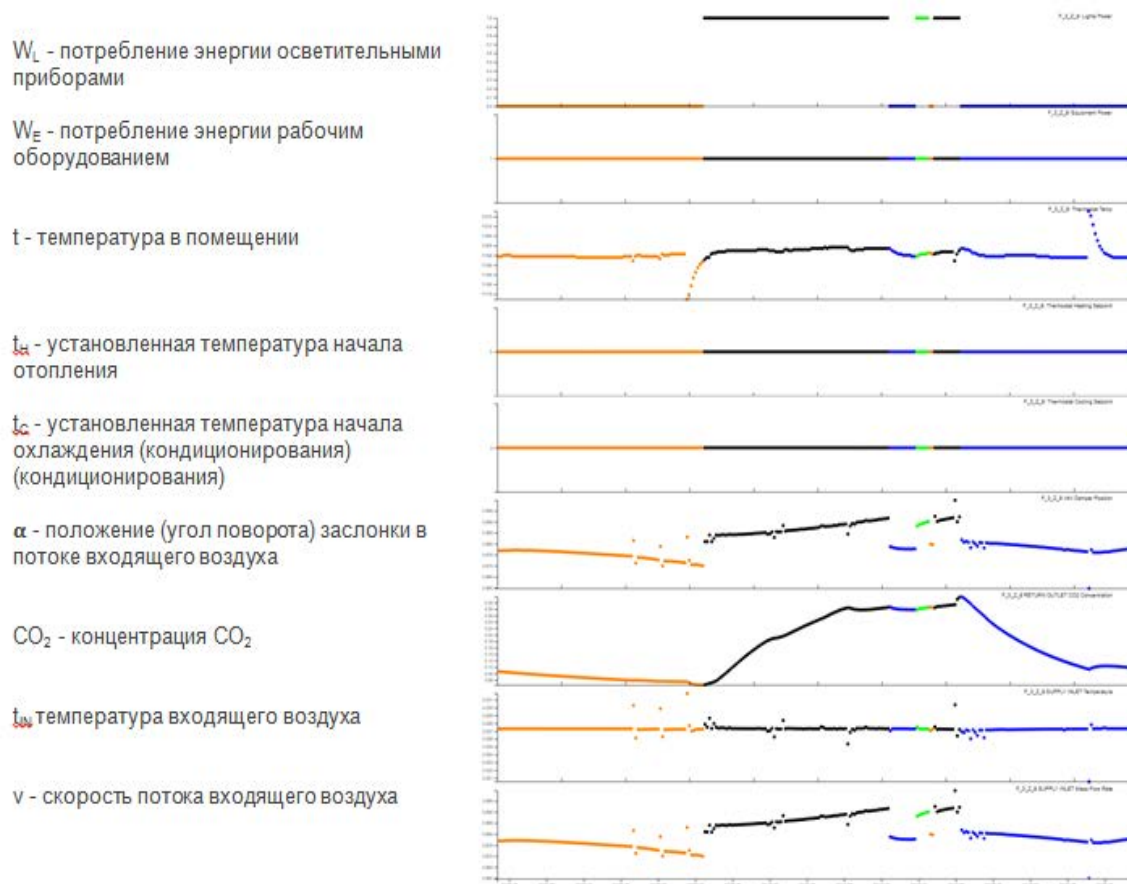


Рис. 4. Линейная диаграмма данных одного из 5 дней функционирования ОВиК

После ответа на вопросы, испытуемым было предложено оценить визуализации по двум шкалам: понятность и полезность для решения поставленных задач. Испытуемые использовали пятибалльную шкалу для оценки своих субъективных предпочтений.

Для анализа эффективности визуализаций фиксировались частота использования каждого вида визуализации, факт ответа испытуемым на вопросы задания, оценка пользователем понятности и полезности каждого типа визуализации.

### Результаты эксперимента

В ходе пилотного юзабилити-тестирования большинство субъектов ответили на все поставленные вопросы: вынесли свои предположения по поводу аномальных дней, аномальных данных, закономерностях и причинно-следственных связях. Матричное представление данных оказалось наиболее часто используемой визуализацией, помогавшей испытуемым отвечать на вопросы. Меньше всего использовалась визуализация RadViz (рис. 5).

Результаты демонстрируют, что представление данных в виде линейной диаграммы (графика) чаще использовалось испытуемыми с опытом эксплуатации киберфизических систем. Результат может быть обусловлен тем, что участники-операторы холодильного оборудования взаимодействуют именно с данным видом

визуализации в своей профессиональной деятельности, а значит он является более привычным для них.

Матричное представление является лидером по количеству просмотров испытуемыми из обеих групп. Визуализация RadViz практически не использовалась испытуемыми, так вызывала у них затруднения в интерпретации еще на этапе знакомства с описанием визуализаций.



Рис. 5. Частота использования визуализаций испытуемыми

По общим субъективным оценкам испытуемых линейные диаграммы наиболее понятным образом визуализируют данные, а наименее понятной визуализацией является RadViz (рис. 6).

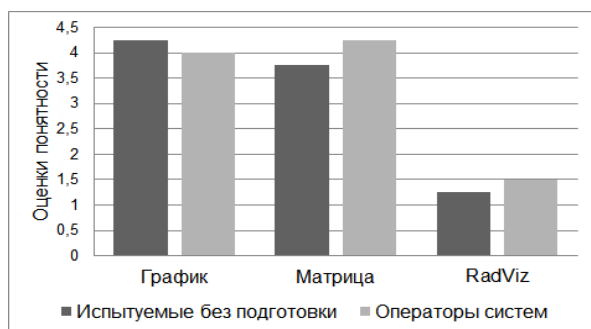


Рис. 6. Субъективные оценки понятности визуализаций по пятибалльной шкале

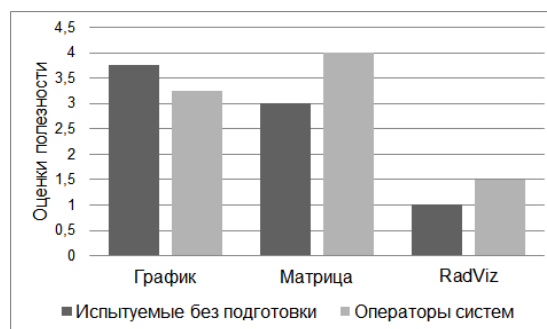


Рис. 7. Субъективные оценки полезности визуализаций по пятибалльной шкале

Испытуемые без подготовки в эксплуатации киберфизических систем оценили линейную диаграмму (график) как более понятную визуализацию, чем матричное представление данных. Испытуемые-операторы дали противоположные оценки этим двум видам визуализаций. Можно предположить, что согласно предыдущему тезису о более привычном представлении данных для операторов в виде графиков, графики, используемые в данном эксперименте сильно отличались от привычных операторам, следовательно не могли дать достаточной информации для выполнения заданий. Визуализация RadViz получила низкие оценки по понятности в обеих группах испытуемых, однако оказалась более понятна для операторов.

В целом испытуемые оценили матрицы и линейные диаграммы как наиболее полезные визуализации для решения задач, а наименее полезной визуализацией оказалась визуализация RadViz (рис. 7).

Линейные диаграммы (графики) показали наиболее полезными для испытуемых без опыта эксплуатации киберфизических систем. Операторы оценили матричное представление данных как значительно более полезное в решении задач. Визуализацию RadViz данные испытуемые оценили выше, чем испытуемые без опыта. Предположительно, причина этого кроется в большем понимании принципов работы данной визуализации, однако представление RadViz в данном эксперименте оказалось недостаточно понятным для того, чтобы она могла конкурировать в понятности и полезности с табличным представлением и линейными графиками.

### **Обсуждение результатов**

В начале исследования была выдвинута гипотеза о том, что визуализация RadViz является наиболее информативной при быстром анализе для получения общего представления о поведении данных и возможных отклонениях. В ходе эксперимента она практически не использовалась испытуемыми в процессе поиска ответов на задания. Результаты эксперимента позволяют предположить, что испытуемые обеих групп столкнулись с трудностями в интерпретации данной визуализации по причине недостаточной проработки. Субъекты утверждали, что их смущает большое количество осей и недостаточный размер представленной информации. Только один из испытуемых указал на потенциальные выгоды от использования RadViz в анализе данных за короткий промежуток времени. Можно сделать вывод о том, что RadViz требует более тщательной проработки в своем визуальном представлении (увеличение шрифта и регистрируемых точек), а также более длительного и продуманного обучения респондентов прочтению этой визуализации.

Матричное представление данных чаще всего использовалось для ответа на вопросы испытуемыми обеих групп. Операторы киберфизических систем оценили ее как наиболее понятную и наиболее полезную визуализацию. Испытуемыми не были озвучены комментарии в отношении представления этой визуализации, что подтверждает тот факт, что она является достаточно унифицированной и информативной для ответа на поставленные в данном эксперименте вопросы.

Представление данных в виде линейной диаграммы (графика) является более понятным и полезным для испытуемых, не являющихся операторами киберфизических систем. Преимуществом данной визуализации является ее высокая детализированность, что может быть полезно при анализе данных испытуемыми без операторского опыта. Испытуемые с опытом слежения за графиками не оценили данную визуализацию как самую понятную и полезную, что является интересным результатом эксперимента. Предположительно причина кроется в недостаточно ясном графическом представлении данной визуализации. Испытуемые указали на нехватку вертикальных линий для обозначения отрезков времени, недостаточный размер шрифта подписей осей, недостаточно четкое представление о взаиморасположении точек регистрируемых данных.

Стоит отметить, что визуализация в виде линейной диаграммы (графика) являлась наиболее переработанной экспериментаторами по результатам пробного исследования, которое предшествовало пилотному эксперименту, описанному в данной статье. Описанные здесь данные говорят о необходимости дальнейшей доработки данной визуализации и ее повторного испытания.

Основная сложность заключается в том, что требования, касающиеся доработки визуализаций RadViz и линейных диаграмм должны соотноситься с техническими возможностями размерности и представленности в интерфейсе. Так, линейная

диаграмма является наиболее крупной и детализированной визуализацией, что обуславливает некоторые технические сложности в ее репрезентации. Выходом из ситуации может являться переосмысление и доработка деталей и визуализаций в целом с сохранением их основного функционала.

### Выводы

Анализ результатов эксперимента позволил выделить 3 типа техник визуализации:

1. "Быстрые, но поверхностные" – техники визуализации, которые обеспечивают быстрые представления о поведении системы, но лишены деталей.

2. "Медленные, но детализированные" - техники визуализации, которые дают очень подробные представления о поведении системы, но требуют слишком много ресурсов.

3. "Промежуточные" методы визуализации - техники визуализации, которые требуют больше ресурсов, чем "быстрые, но поверхностные", и меньше ресурсов, чем "медленные, но детализированные". Их преимущество заключается в том, что они способны проиллюстрировать как общие закономерности поведения системы, так и детали изменений данных.

Таким образом, описанный эксперимент дает представление о преимуществах и недостатках трех видов визуализаций (линейная диаграмма, матрица и RadViz) в контексте решения задач, направленных на анализ поведения киберфизической системы типа ОВиК (таблица).

Дальнейшие исследования эффективности визуализаций данных, полученных от киберфизических систем типа ОВиК могут включать более тщательный анализ ответов испытуемых по степени их правильности и проработанности гипотез. Также имеется необходимость в увеличении количества испытуемых для проведения количественного исследования, включающего статистический анализ данных.

Таблица

### Оценка эффективности визуализаций для анализа поведения систем ОВиК

Визуализация	Преимущества	Недостатки	Ситуации использования
Линейная диаграмма	Наличие подробной информации от датчиков (время, значения показателей)	Требует много места для размещения в интерфейсе	При необходимости выдвижения детализированных гипотез о поведении системы и ее компонентов
Матрица	Комплексное отражение отдельных параметров и состояния системы в целом	Не выявлено в ходе пилотного эксперимента	Унифицированный формат, дающий комплексное представление о поведении системы
RadViz	Общее представление о работе системы как исправного или отклоняющегося от нормы	Ограниченные возможности для идентификации деталей и объяснения причинно-следственных связей, неспособность обеспечить высокую ситуационную осведомленность	При необходимости быстрого обнаружения подозрительной активности

Предполагаемые модели проведения дальнейших экспериментов следующие:

1. Сравнение используемых в данном исследовании визуализаций с традиционными моделями, например, линейными схемами, при решении аналитических задач.
2. Сравнение эффективности различных наборов визуализаций: все три визуализации, две визуализации, только 1 визуализация при решении одной и той же смоделированной задачи.
3. Сравнение эффективности техник визуализации в одной и той же группе, используя методы слежения за глазами (eye tracking).

### Литература

1. Беляков С.Л., Белякова М.Л., Савельева М.Н. Адаптивная к изменению структуры базы данных визуализация пространственных данных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. № 1. С. 25–32.
2. Гусев К.Ю., Жильцов Д.В., Бурковский В.Л., Гусев П.Ю. Проблематика контроля и управления параметрами микроклимата в микроэлектронной промышленности // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 2 (25). С. 265–274.
3. Романова И.К. Современные методы визуализации многомерных данных: анализ, классификация, реализация, приложения в технических системах // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. № 3. С. 133–167.
4. Krause J., Perer A., Bertini E. Using visual analytics to interpret predictive machine learning models // Proc. of the 2016 ICML Workshop on Human Interpretability in Machine Learning (WHI 2016). New York, USA. 2016. P. 106–110.
5. Novikova E., Bestuzhev M., Shorov A. The Visualization-Driven Approach to the Analysis of the HVAC Data // Intelligent Distributed Computing XIII. Studies in Computational Intelligence – 2019. V. 868. P. 547–552.



**Братчиков Степан Артемьевич**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем управления

и робототехники,

студент группы № R42472

направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика

и электротехника,

e-mail: Loross90@gmail.com

УДК 621.3.078

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОСТОЙКОСТИ В АСИНХРОННОМ ПРИВОДЕ ПРИ FOC И DTC УПРАВЛЕНИИ**

**С.А. Братчиков**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Усольцев<sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

В работе рассмотрено влияние температуры окружающей среды на параметры переходных процессов в асинхронном приводе с FOC и DTC управлением при прямом пуске, сбросе скорости, и набросе момента. Данное влияние объясняется отклонением параметров двигателя от номинальных значений при изменении температуры обмоток статора и ротора. Представлены математическая модель двигателя, на основе которой строятся системы управления, а также сами замкнутые системы управления, обеспечивающие работу привода.

### **Ключевые слова**

*Field Oriented Control, Direct Torque Control*, температура окружающей среды, асинхронный электропривод.

Современные системы электропривода в настоящее время все чаще используют в качестве электромеханического преобразователя асинхронные двигатели переменного тока. В числе их преимуществ надежность, простота конструкции и эксплуатации, высокие удельные механические характеристики относительно других типов электромеханических преобразователей и возможность выдерживать сравнительно большие токовые нагрузки. Однако управление асинхронным приводом – сложная, нелинейная задача, обусловленная нелинейностью механических характеристик двигателя. Поэтому необходимо применять специфические законы управления для качественного регулирования привода на основе асинхронных машин. Наиболее популярные методы управления: *Field Oriented Control (FOC)* и *Direct Torque Control (DTC)* [1].

Параметры окружающей среды оказывают значительное влияние на характеристики двигателя. Одним из основных факторов, вызывающих значительное изменение характеристик мотора служит температура обмоток статора и ротора. Кроме температуры окружающей среды, которая может варьироваться в широких пределах,

особенно если привод предназначен для бортовых систем, можно отметить еще тепловые потери, всегда присутствующие при работе двигателя и также вызывающие изменение сопротивления обмоток двигателя. Сопротивление обмоток непосредственно влияет на механические характеристики двигателя, вызывая изменение опрокидывающего момента, постоянных времени ротора и статора, а также электромеханической постоянной времени. В замкнутых системах электропривода это влияние выражается в изменении времени переходных процессов и величины перерегулирования. Поэтому интерес представляет исследование влияния температуры обмоток ротора и статора на динамические характеристики асинхронного замкнутого электропривода с *FOC* и *DTC* управлением с последующим определением значимости этого влияния и определением путей его компенсации [2].

Зависимость сопротивления проводника от температуры выражается соотношением  $R = R_{20^\circ} \cdot (1 + \alpha(T - 20^\circ))$ .  $R_{20^\circ}$  – сопротивление проводника при комнатной температуре;  $T$  – текущая температура проводника;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления материала проводника.

В качестве материала обмоток статора зачастую выбирают медь, для которой температурный коэффициент сопротивления составляет  $\alpha_{Cu} = 4.05 \cdot 10^{-3} [K^{-1}]$ . В качестве материала обмотки ротора зачастую используется алюминий, для которого  $\alpha_{Al} = 4.1 \cdot 10^{-3} [K^{-1}]$ .

В качестве объекта исследования рассмотрим двигатель 5A160S2. Его паспортные данные:

- мощность – 15 кВт;
- номинальная скорость – 2920 об/мин;
- КПД – 0.9;
- кратность пускового момента – 2.2;
- кратность опрокидывающего момента – 3.1;
- коэффициент мощности – 0.89;
- номинальный ток – 28.5 А;
- номинальный момент – 49 Нм;
- кратность пускового тока – 6.8;
- напряжение питания – 220 В;
- число пар полюсов – 1.

Используя методику определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя по справочным данным [3], получены следующие параметры схемы замещения данной машины: сопротивление обмотки статора  $r_1 = 0.533 [Om]$ ; сопротивление обмотки ротора  $r_2 = 0.214 [Om]$ ; индуктивность обмотки статора и ротора  $L_1 = L_2 = 67.6 [mГн]$ ; индуктивность ветви намагничивания  $L_m = 66.3 [mГн]$ . Предполагается, что значения сопротивлений рассчитаны для температуры 20°C.

Данные значения используются в математической модели асинхронного двигателя, представленной на рис. 1.

Модель двигателя (рис. 1) используется далее в соответствующих моделях замкнутых систем управления. Схемы *FOC* и *DTC* управления представлены, соответственно, на рис. 2 и рис. 3.

На рис. 2 и рис. 3 модель асинхронного двигателя (рис. 1) представлена блоком «Motor».

Для исследования изменения длительности переходного процесса и величины перерегулирования в замкнутых системах управления непосредственно изменяются



параметры сопротивления обмоток в блоке «Motor». Остальные параметры систем управления при исследовании не изменяются.

В результате моделирования получены графики зависимости времени прямого пуска асинхронного привода от температуры для FOC и DTC управления (рис. 4).

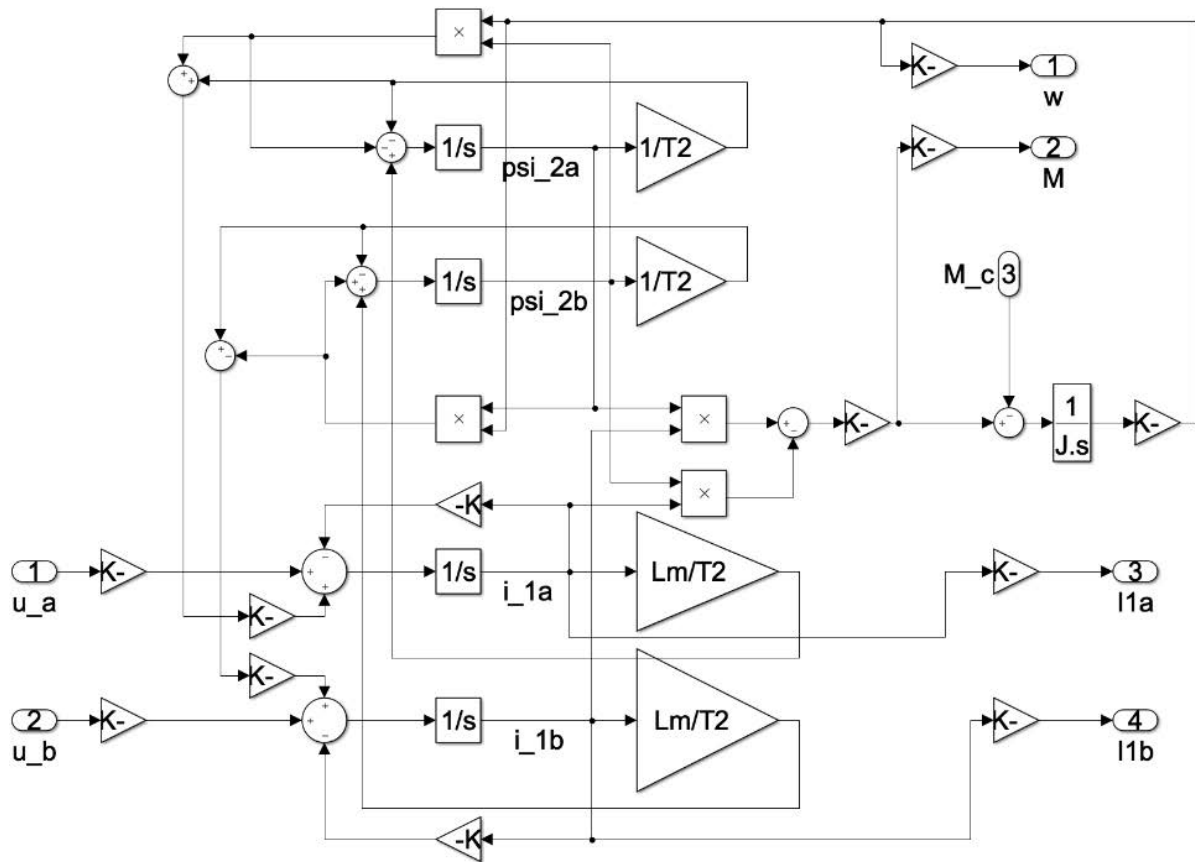


Рис. 1. Математическая модель асинхронного двигателя в среде Matlab/Simulink

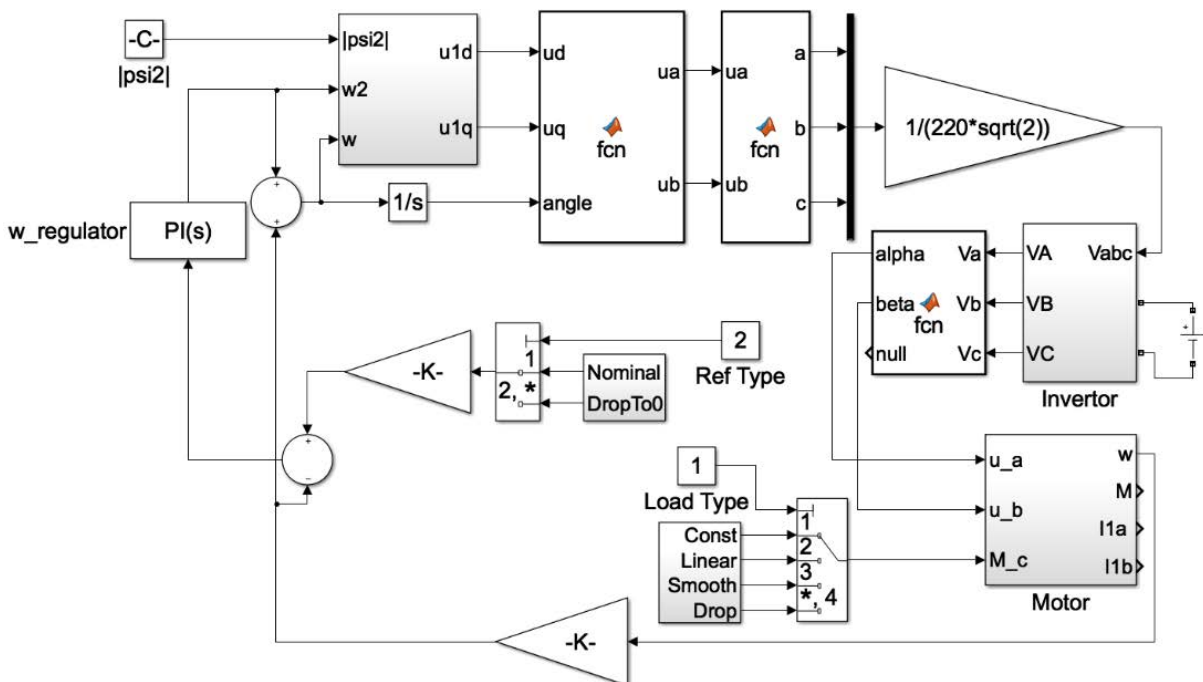


Рис. 2. Схема привода с FOC управлением

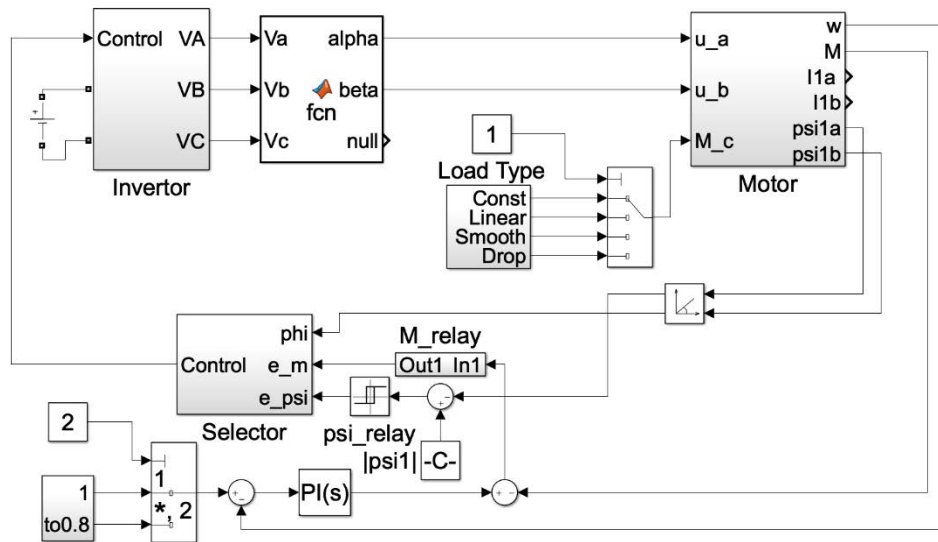


Рис. 3. Схема привода с DTC управлением

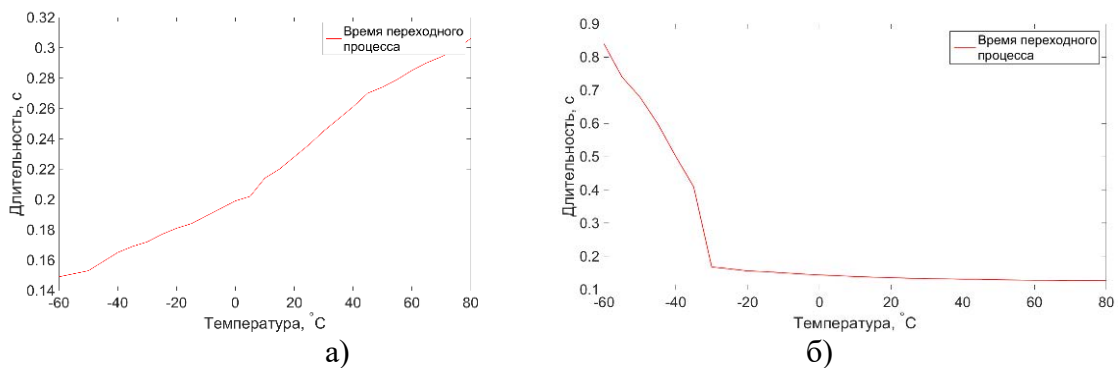


Рис. 4. Зависимость переходного процесса при прямом пуске от температуры при FOC управлении (а) и DTC управлении (б)

Из рис. 4 видно, что при температуре около  $-20^{\circ}\text{C}$  при *DTC* управлении существует значительный скачок, вызванный изменением характера переходного процесса с колебательного на апериодический. Иными словами, скорость при температурах выше  $-20^{\circ}\text{C}$ , достигнув однажды предела  $\pm 5\%$ , не выходит за границы «коридора», плавно выходя в нём на заданное значение. Также можно отметить диапазон изменения времени переходного процесса: для FOC управления он составляет от 0,152 с до 0,304 с, а для DTC управления от 0,13 с до 0,83 с. Заметно, что FOC управление обладает меньшим относительным разбросом времени переходного процесса, чем DTC управление. В то же время, подобные изменения длительности переходного процесса значительны и должны учитываться при проектировании систем управления.

В процессе работы электропривод может испытывать резкие перепады нагрузок и задания по скорости. Поэтому представляет интерес поведение машины в этих переходных режимах в зависимости от температуры. Пусть в первом случае на машину в номинальном режиме работы подается скачкообразное изменение момента с одного до двух номинальных значений. Во втором случае при номинальной нагрузке моделируется сброс заданной скорости от 1 до 0.8 номинальных значений. Результаты моделирования привода при разных температурах при набросе момента и сбросе скорости представлены на рис. 5 и рис. 6 для систем с *FOC* и *DTC* управлением, соответственно.

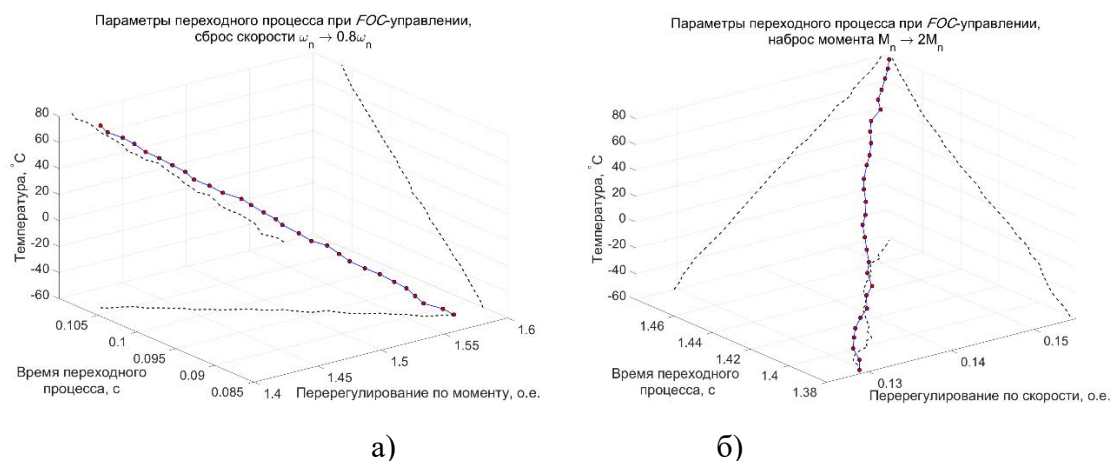


Рис. 5. Зависимость времени переходного процесса и выброса момента при сбросе скорости (а) и зависимости времени переходного процесса и выброса скорости при набросе момента (б) при FOC управлении

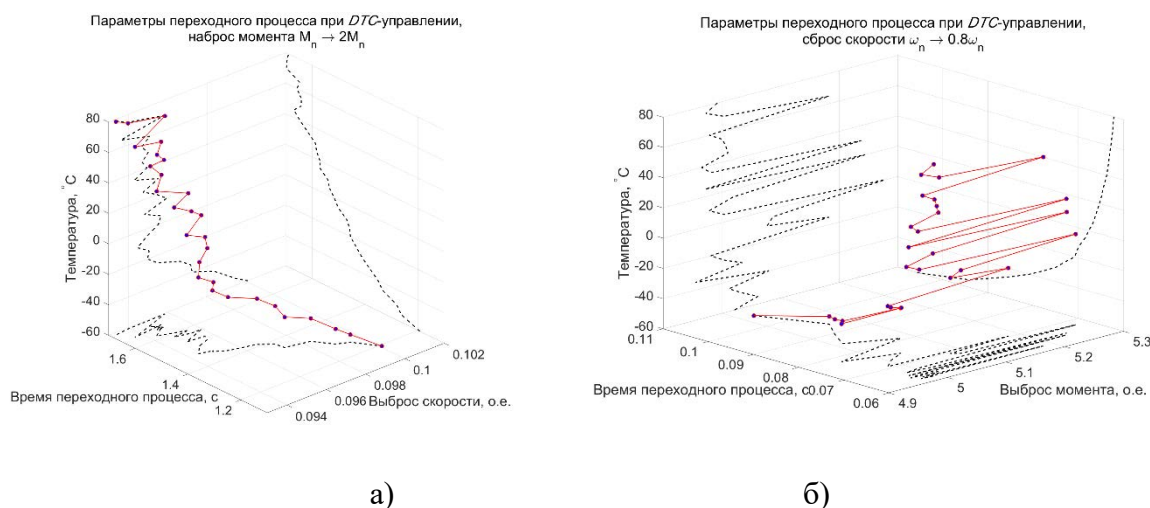


Рис. 6. Зависимость времени переходного процесса и выброса момента при сбросе скорости (а) и зависимости времени переходного процесса и выброса скорости при набросе момента (б) при DTC управлении

Из рис. 5 видно, что с изменением температуры в диапазоне от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  время переходного процесса при FOC управлении увеличивается как в случае сброса скорости, так и в случае наброса момента. В случае сброса скорости оно изменяется от 87 мс до 108 мс. В случае наброса момента оно изменяется от 1.38 с до 1.47 с.

Также из рис. 5 видно, что с увеличением температуры уменьшается перерегулирование («выброс») момента при сбросе скорости и увеличивается «выброс» скорости при набросе момента. Это обусловлено увеличением времени протекания переходных процессов. При набросе момента нагрузки с увеличением температуры момент, развиваемый двигателем, медленнее достигает нового значения. За счет этого динамический момент, определяемый разностью момента на валу машины и момента нагрузки, становится больше и дольше сохраняет свое ненулевое значение. Это обуславливает больший «выброс» скорости при высоких температурах. В то же время при сбросе скорости на больших температурах, момент медленнее реагирует на сигнал обратной связи, определяемый разностью сигнала задания скорости и сигнала текущей скорости. За счет этого изменения момента происходят медленнее и «выброс» момента уменьшается.

Из рис. 6 видно, что с изменением температуры в диапазоне от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  время переходного процесса при *DTC* управлении при сбросе скорости уменьшается. Это объясняется более быстрым нарастанием тока статора, и как следствие момента за счет уменьшения электрической постоянной времени. В то же время при набросе момента время переходного процесса в системе с *DTC* управлением с увеличением температуры в том же диапазоне значительно увеличивается. Однако следует отметить, что «выброс» скорости в данном случае уменьшается, что свидетельствует о более скором нарастании момента при высоких температурах, обусловленном уменьшением электрической постоянной времени. Так как время переходного процесса в данном случае измеряется как время возврата скорости в пятипроцентную зону от значения выброса, а «выброс» с увеличением температуры уменьшается, системе необходимо больше времени, чтобы пересечь меньшую по сравнению с более низкими температурами границу зоны определения времени переходного процесса. Так как это значение очень мало по сравнению с номинальным значением, возврат в эту зону может занимать долгое время, во многом определяемое пределами петли гистерезиса момента и потока.

Из полученных результатов исследования влияния температуры обмоток на характеристики переходных процессов при *DTC* и *FOC* управлении видно, что температура оказывает значительное влияние на длительность переходных процессов. Возможным решением, способным обеспечить уменьшение влияния температуры при *FOC* управлении, является изменение параметров блока развязки координат, формирующего напряжение статора, в зависимости от температуры. Другим способом, способным компенсировать изменение длительности переходного процесса, является использование адаптивных ПИД регуляторов в системах *FOC* и *DTC* управления.

### Литература

1. Бичай В.Г., Пиза Д.М., Потапенко Е.Е., Потапенко Е.М. Состояние, тенденции и проблемы в области методов управления асинхронными двигателями // Радиоэлектроника, інформатика, управління. 2001. №1 (5).
2. Усольцев А.А. Современный асинхронный электропривод оптико-механических комплексов/Учебное пособие. СПб. СПбГУ ИТМО. 2011. 164 с.
3. Усольцев А.А., Определение параметров схемы замещения АД по справочным данным // Электронный ресурс, [http://ets.ifmo.ru/usolzev/wopros/op\\_ad.pdf](http://ets.ifmo.ru/usolzev/wopros/op_ad.pdf), режим доступа своб.



**Бухалов Алексей Дмитриевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы №7761,  
направление подготовки: 05.02.05 – Роботы,  
мехатроника и робототехнические системы,  
e-mail: buhalov.alexei@yandex.ru

УДК 004.514

## **ПРОГРАМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ОТСЛЕЖИВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЗГЛЯДА ЧЕЛОВЕКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО В МЕДИАИНДУСТРИИ**

**А.Д. Бухалов**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Я. Марусина<sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

Работа выполнена в рамках темы НИР №13 «Методы расчёта и проектирования систем технического зрения, входящих в состав роботов».

### **Аннотация**

Данная работа посвящена исследованию и компьютерной разработке одного из методов окулографии. При выполнении работы были решены следующие задачи: создано программное приложение с графическим интерфейсом с целью обеспечить возможность пользователю взглядом выбирать фокусное расстояние на фотографии; протестировано разработанное программное приложение; произведена оценка качества нахождения положения глаза и скорости обработки изображения.

### **Ключевые слова**

Окулография, компьютерное зрение, машинное обучение.

С увеличением скорости производительности современных персональных устройств растёт и количество информации, которую необходимо принимать, обрабатывать и передавать. Персональное устройство способно на высоких скоростях обрабатывать внешние и внутренние сигналы, но пользователь не может работать с той же скоростью, что и его персональное устройство. В частности, поэтому появляется необходимость обрабатывать информацию, поступающую не только от тактильных или голосовых источников пользователя, но и от его глаз. Такая технология называется окулография (oculus (лат.) – глаз, γράφω (греч.) – пишу), или айтрекинг (англ. Eye tracking).

Технология окулографии находит своё применение в областях психологии, медицины, рекламы, безопасности жизнедеятельности. Например, когда водитель едет долго по длинной трассе, он утомляется и начинает засыпать, а прибор, отслеживая его глаза, увидит, что они закрыты и сгенерирует громкий звук, чтобы разбудить водителя. Также можно отследить, обратил ли водитель внимание на знаки, и если его взгляд не был зафиксирован на минувшем дорожном знаке, то система может его об этом предупредить и голосовой системой оповестить его об этом.

В медиаиндустрии технологии айтрекинга также находят своё широкое применение. При создании анимированных персонажей захват движения актёра осуществляется технологией Motion Capture, при которой датчики захватывают перемещения актёра, а система айтрекинга – положение глаз [1].

В видеоиграх и в играх, основанных на технологиях виртуальной реальности, также необходимо использовать данную технологию для большего погружения и взаимодействия с игрой. И, например, в очень «весомых» играх с применением технологий виртуальной и дополненной реальности (VR, AR), которые требуют обработки большого количества информации, можно уменьшать детализацию предметов, на которые у человека взгляд не сфокусирован [2], тем самым сокращая вычислительные мощности.

При фото и видеосъёмке оператору часто приходится менять фокус и освещённость от сцены к сцене. Ручная настройка света и фокуса может занять некоторое время – кадр может быть потерян, а автоматическая система наводки на резкость сфокусирует объектив либо на самый ближний предмет, находящийся в кадре, либо на самый большой, либо на предмет, находящийся в заранее выбранной зоне, смена которой так же занимает время. Также часто смена зоны фокуса может осуществляться касанием, которое может сбивать положение камеры. В этих случаях можно использовать айтрекинговые системы, позволяющие изменять освещение и фокус в зависимости от того, на что смотрит оператор.

И ещё одна сфера применения, которой и посвящена данная работа. Часто при просмотре какого-либо контента (фильм, игра или фотография), зрителю интересно рассмотреть не только тот предмет, который режиссёр или разработчик поместил в фокус, но и другой. Например, зритель может захотеть рассмотреть интерьер помещения, в котором происходит действие, или пейзаж. Вне фокуса рассмотреть их не получится и полноценного погружения в атмосферу не будет. Для того, чтобы при просмотре иметь возможность выбора фокуса, необходимо снимать кадр заранее, одновременно фокусируя камеру на разные объекты в пространстве, например с помощью плёночных камер и объективов [3], и с помощью технологий окулографии дать пользователю возможность самому выбрать резко изображаемый предмет.

Программная реализация методов окулографии в последнем из перечисленных случаев и есть задача данной работы. Для её выполнения необходимо: исследовать алгоритмы нахождения положения глаз; вывести алгоритм обнаружения координат глаз, обходящийся без дополнительных периферийных устройств; создать программное приложение с графическим интерфейсом с целью обеспечить возможность пользователю взглядом выбирать фокусное расстояние на фотографии; обеспечить возможность калибровки системы под разное освещение; оценить качество нахождения положения глаза и скорости обработки изображения.

### **Метод решения поставленных задач**

Для выполнения поставленной задачи был выбран язык программирования Python, с библиотеками OpenCV и dlib.

Предварительно был создан медиаконтент. В нашем случае были сделаны снимки одного и того же пространства, но с различными фокусными расстояниями так, чтобы на разных снимках объекты были помещены в границу резко изображаемого пространства. Пример проиллюстрирован на рис. 1.а и 1.б.

Затем через методы библиотеки OpenCV принимаем видео-поток с веб-камеры и записываем все изображения в массив.

Далее с помощью методов библиотеки dlib находим ключевые точки лица, такие, как показано на рис. 2. Нахождение ключевых точек производится с помощью

метода гистограммы направленных градиентов [4]. То есть из функции изображения находим градиенты и с помощью заранее обученной нейросети определяем, является ли точка границей части лица. На выходе получаем массив из точек, каждой из которых соответствует граница какой-либо части лица.



а

б

Рис. 1. Снимки одного пространства: с первым фокусным расстоянием (а); со вторым фокусным расстоянием (б)

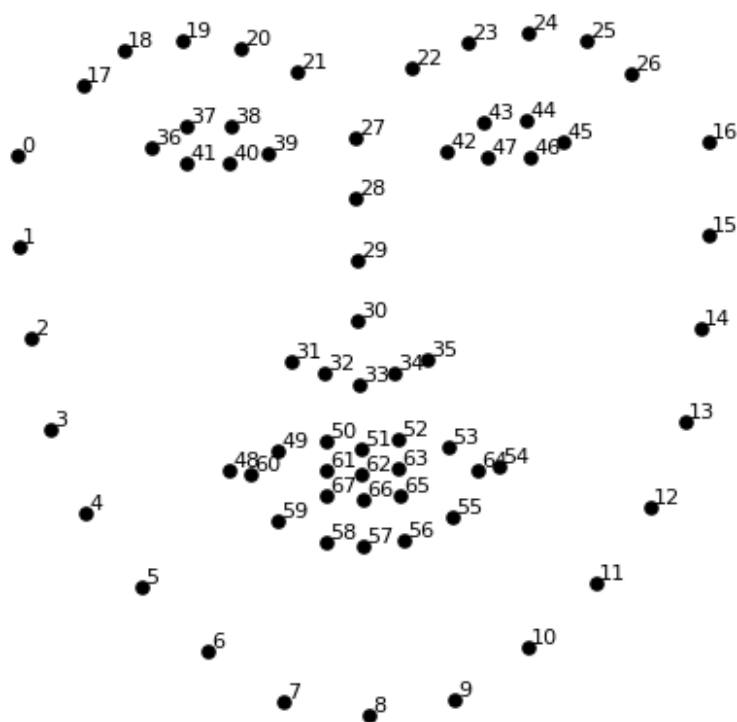


Рис. 2. Схема ключевых точек лица

Определившись с точками положения обоих глаз, обрезаем изображение на два меньших, где будут присутствовать только глаза пользователя [5].

Выделив положение глазного яблока, проводим бинаризацию, то есть разделение пикселей на черные и белые. Порог бинаризации, то есть граница, по которой пиксели будут разделены на черные и белые, выставляется в зависимости от освещенности лица пользователя и может быть скорректирована по изменению освещения во время работы программы.

Далее основной этап в нахождении положения глаз – разделение на две половинчатых зоны. Делим бинарное изображение глазного яблока пополам на левую и

правую части и на верхнюю и нижнюю, как показано на рис. 3. После чего вычисляем количество белых пикселей в каждой из зон.

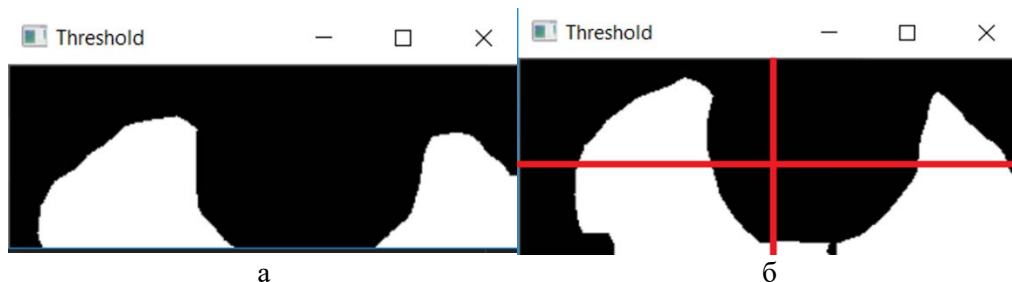


Рис. 3. Снимки бинаризованного глаза: до деления на зоны(а); после (б)

Если человек смотрит влево, то в левой части будет больше черных пикселей, а в правой – меньше. Когда человек смотрит вверх, то снизу будет больше белых пикселей чем сверху. Пересчитав количество белых точек, можно усреднить значения с соответствующими значениями другого глаза.

Зная количество пикселей для каждого положения глаза сопоставляем их с конкретными точками на экране, то есть проводим калибровку. Далее, с помощью стандартных методов OpenCV выделяем зоны резко изображаемых предметов и сопоставляем их с направлением взгляда пользователя. Таким образом, когда пользователь будет смотреть на какую-либо часть изображения, резкость будет переключаться именно на тот объект, на который он смотрит.

### Оценка точности и скорости выполнения разработанной программы

Допустимый угол поворота головы по-горизонтали составляет примерно 50 градусов. Дальше этого угла становится практически невозможно найти оба глаза с помощью метода направленных градиентов. Этот и последующие параметры установлены аппаратными ограничениями среднего персонального устройства и помещения. Допустимое рабочее расстояние (от монитора до пользователя) от 16 до 90 сантиметров. Освещённость лица 48-250 люкс. Скорость обработки изображения от 14 до 33 кадров в секунду в зависимости от освещения и угла поворота головы. Точность верного сопоставления точки на экране и найденной точки направления взгляда на расстоянии 40 см – 5 градусов.

### Вывод

Было создано программное обеспечение с помощью которого без дополнительных периферийных устройств можно отслеживать в реальном времени положение глаз и менять медиаконтент в зависимости от направления взгляда, а именно переключаться на отображение сфокусированного предмета. Скорость и точность предложенной методики позволяет применять его в повседневных целях.

### Литература

1. Synchronizing eye tracking and optical motion capture: How to bring them together. [Электронный ресурс] URL: [https://www.researchgate.net/publication/327160819\\_Synchronizing\\_eye\\_tracking\\_and\\_optical\\_motion\\_capture\\_How\\_to\\_bring\\_them\\_together](https://www.researchgate.net/publication/327160819_Synchronizing_eye_tracking_and_optical_motion_capture_How_to_bring_them_together) (дата обращения 03.03.2020).
2. Обзор Tobii Eye Tracker 4С. [Электронный ресурс] URL: <https://kanobu.ru/articles/obzor-tobii-eye-tracker-4c-371400/> (Дата обращения 04.06.2019).
3. Lab: Light Fields and Camera. [Электронный ресурс] URL: Arrays [http://cs.brown.edu/courses/cs129/labs/lab\\_lightfieldlab/](http://cs.brown.edu/courses/cs129/labs/lab_lightfieldlab/) (Дата обращения 03.03.2020).



4. Гистограмма направленных градиентов. [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0\\_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85\\_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2) (Дата обращения 04.03.2020).
5. Нейронные сети. [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/post/312450/> (Дата обращения 04.03.2020).



**Смолин Артём Александрович**  
Год рождения: 1977  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.ф.н., доцент,  
e-mail: smolin@corp.ifmo.ru



**Томберг Владимир**  
Год рождения: 1968  
Таллинский Университет,  
School of Digital Technologies,  
к.ф.н., доцент,  
e-mail: vtomberg@tlu.ee



**Габдуллазянова Зарина Рустемовна**  
Год рождения: 1995  
Университет ИТМО,  
факультет программной  
инженерии и компьютерных технологий,  
студент группы № Р42721,  
направление подготовки: 09.04.02 – Дизайн  
человеко-компьютерных систем,  
e-mail: zarina.gabdullazanova@gmail.com

УДК 004.582

## **ФРЕЙМВОРК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ДИСЛЕКСИЕЙ**

**З.Р. Габдуллазянова**

**Научный руководитель – к.т.ф., доцент А.А. Смолин**

**Консультант – к.т.н., доцент В. Томберг**

### **Аннотация**

В работе произведен обзор научных статей и гайдлайнов по дислексии, принципов универсального дизайна и эвристик Якоба Нильсона. В ходе работы с литературой были выявлены общие черты разных источников и было принято решение наложить друг на друга имеющиеся знания о дислексиках и гайдлайнов по дизайну в матрицу для создания фреймворка проектирования интерфейсов для людей с дислексией. В статье описана теория, которая легла в основу матрицы, приведена сама матрица и описан дальнейший эксперимент.

### **Ключевые слова**

Дислексия, гайдлайн, принципы, фреймворк, исследование, чтение, дислексики.

В 2009 году в докладе сэра Джима Роуза «Выявление и обучение детей и молодежи с дислексией и трудностями грамотности» было дано следующее определение дислексии [1]:

- дислексия – это трудность в обучении, которая в первую очередь влияет на навыки, необходимые для точного и быстрого чтения и правописания слов;
- характерными признаками дислексии являются трудности в фонологической осведомленности, словесной памяти и скорости словесной обработки;
- дислексия встречается во всем диапазоне интеллектуальных способностей;
- сопутствующие трудности могут проявляться в аспектах языка, координации движений, умственного расчета, концентрации и личной организации, но сами по себе они не являются признаками дислексии;
- дислексия – это разница в обучении, которая, в первую очередь, влияет на навыки чтения и письма. Однако, это влияет не только на эти способности. Дислексия больше связана с обработкой информации.

Опираясь на эту статистику и важность информации в современном мире, встает вопрос как стоит организовать процесс поиска и обработки информации достаточно доступным для людей с дислексией, и как эта доступность повлияет на обычных пользователей. На практике, невозможно сделать продукт удобным для всех пользователей. Однако, делая продукт доступным для людей с дислексией, возможно охватить большую часть аудитории и решить проблему не только дислексиков, но и обычных пользователей.

Универсальные принципы дизайна [2] являются основой для начала этапа проектирования, и начало проектирования интерфейсов для людей с дислексией здесь не стало исключением. Некоторые из универсальных принципов так же пересекаются с эвристиками Якоба Нильсона [4] и гайдлайном от Британской Ассоциации дислексии [5], что говорит только о том, что они могут быть использованы при создании фреймворка по дислексии.

Несмотря на то, что в стандарт WCAG [3] является лишь стандартом де-факто, т.е. означающее нечто действительное, но не закрепленное законом, и практически не содержит специально прописанных рекомендаций касаясь дислексиков, и все эти рекомендации касались навигации, цветов, представления текста, написания, при детальном рассмотрении WCAG 2.1 и гайдлайна для создания благоприятного рабочего пространства для людей с дислексией от Британской Ассоциации Дислексии. Такие совпадения дают возможность использования всех перечисленных ранее принципов при дальнейшей разработке фреймворка по дислексии.

На основе всей перечисленной теории будет разработан фреймворк, который может быть применен в разные области и обеспечить веб доступность для людей с дислексией, но и для обычных пользователей.

После анализа нескольких источников, таких как принципы универсального дизайна [2], стандарт WCAG 2.1 [3], юзабилити эвристик Якоба Нильсона [4] и гайдлайн от Британской ассоциации дислексии [5], была составлена матрица. Целью этой матрицы является выявление общих характеристик и принципов из разных теорий. Места с наибольшим количеством совпадений и пересечений войдут в будущий фреймворк. Матрица представлена в таблице.

**Матрица**

	Universal design principles [2]	WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) [3]	J.Nielson Heuristic [4]	Dyslexia friendly style guide [5]
Гибкость в использовании	2	Повышение веб-доступности для людей с ограниченными возможностями делает продукт удобным в использовании и для остальных людей, соответственно, увеличивает целевую аудиторию продукта	Необходимость достижения цели разными путями. Актуально и в контексте дислексии, т.к. все дислексиики обладают индивидуальным набором особенностей, так и в контексте обычных людей, т.к. каждый пользователь имеет свой пользовательский опыт по достижению поставленной цели.	Принятие передового опыта для читателей с дислексией имеет то преимущество, что все письменное общение становится проще для всех.
Восприимчивость информации	4	Восприимчивость информации напрямую зависит от четко выстроенной иерархии. Стандарт WCAG 2.1 содержит в себе принципы (Principles), положения (Guidelines), критерии выполнения (Success Criteria) и достаточные и рекомендательные методики (Sufficient and Advisory Techniques) которые улучшают восприимчивость информации.		Гайдлайн от Британской ассоциации дислексии создан для обеспечения благоприятного рабочего пространства для людей с дислексией. Это руководство по стилю содержит принципы, облегчающие чтение для дислексиков.
Допустимость ошибки пользователя	5	Стандарт WCAG 2.1 направлен на сокращение возникновения ошибок пользователя	Принцип УД «Допустимость ошибки пользователя» как и эвристика Нильсона «Предотвращение ошибок» описывают о возможных ошибках пользователя и необходимости создания отмены или изменения совершенного действия.	

продолжение таблицы

	Universal design principles [2]	WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) [3]	J.Nielson Heuristic [4]	Dyslexia friendly style guide [5]
Межстрочный интервал	Наличие межстрочного интервала улучшает воспринимаемость информации и помогает выстроить визуальную иерархию.	1.4.12		В разделах гайдлайна «Шрифты для чтения» и «Заголовки и структура» прописано правило межстрочного интервала.
Удобочитаемость (редкие слова, аббревиатура, произношение)	Принципах гибкости и воспринимаемости информации описывается о необходимости подстроиться под нужды пользователя для того, чтобы сделать информацию понятной для восприятия	Положение 3.1	Желательно выстроить систему так, чтобы не требовалось обращение к документации и предоставление справки. При возникновении необходимости обращения к документации любая такая информация должна легко просматриваться, ориентироваться на задачи пользователя, перечислять конкретные шаги, которые необходимо выполнить, и не быть слишком большой.	Каждый пункт гайдлайна Британской ассоциации дислексии направлен на повышение уровня удобочитаемости
Помощь при вводе	Принцип предотвращения ошибок направлен на сокращение или предотвращение возникновения ошибок при вводе данных.	Положение 3.3	Помощь при вводе данных можешь осуществляться с помощью поддержки отмены и повтора введенной информации. Необходимо предоставить пользователям возможность подтверждения прежде, чем они совершат действие или предоставить помощь и ссылку на документацию.	

продолжение таблицы

	Universal design principles [2]	WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) [3]	J.Nielson Heuristic [4]	Dyslexia friendly style guide [5]
Избирательность	Имеет общие черты с принципом гибкости. Например, цвет текста и фона могут быть выбраны под индивидуальные нужды пользователя.	Положение 1.4	Необходимость внедрения возможности настраивать частые действия, такие как выбор цвета фона и текста, увеличение меж буквенного и межсимвольного интервала	Положение 1.4 содержит в себе много критериев выполнения, часть которых так же прописана в гайдлайне, например: Строки не должны быть слишком длинными: от 60 до 70 символов; Выровнять текст по левому краю без выравнивания по ширине; Увеличенный межстрочный интервал

Следующим этапом работы является планирование и проведение эксперимента на людях с и без дислексии. Планируется проведение А/В тестирования, где респондентам будет представлен текст письма одного из известных почтовых сервисов. Это письмо необходимо будет прочитать и ответить на него. Вторая страница будет содержать в себе такой же текст письма, но страница будет сверстана с учетом разработанного фреймворка. К обеим страницам будет подключен счетчик времени, т.е. респондентам необходимо будет ознакомиться с содержанием страницы за отведенное количество времени.

Экспериментальная гипотеза:

Применение разработанного фреймворка облегчает чтение текста у дислексиков и не дислексиков.

Данные (показатели) нужно измерять для проверки гипотезы:

- время затраченное чтение текста
- количество ошибок при прохождении теста

Виды шкал измерений:

- количественные (время чтения);
- дихотомические (правильный/неправильный ответ).

Тема разработки фреймворка проектирования интерфейса для дислексиков в всегда является актуальной, потому что то, что могут использовать дислексики применимо и к остальным людям. В ходе работы была изучены научные статьи, гайдлайны по теме и была составлена матрица, которая ляжет в основу будущего фреймворка. Следующим этапом планируется проведение основного эксперимента с участием дислексиков и без дислексии, принять к сведению полученные результаты и использовать их на практике.

## Литература

1. Identifying and Teaching Children and Young People with Dyslexia and Literacy Difficulties [Электронный ресурс] URL: <http://www.thedyslexia->

- spldtrust.org.uk/media/downloads/inline/the-rose-report.1294933674.pdf. Дата обр. 15.12.2019.
2. The principles of Universal design by North Carolina State University [Электронный ресурс] URL: [https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about\\_ud/udprinciplestext.html](https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciplestext.html). Дата обр. 15.12.2019.
  3. Web Content Accessibility Guideline (WCAG) Overview [Электронный ресурс] URL: <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>. Дата обр. 15.12.2019.
  4. 10 Usability Heuristics for User Interface Design [Электронный ресурс] URL: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Дата обр. 15.12.2019.
  5. Creating a dyslexia friendly workplace Design [Электронный ресурс] URL: <https://www.bdadyslexia.org.uk/advice/employers/creating-a-dyslexia-friendly-workplace/dyslexia-friendly-style-guide>. Дата обр. 15.12.2019.



**Галчина Анна Сергеевна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы R3430,  
направление подготовки: 24.03.02 – Системы  
управления движением и навигация,  
e-mail: [angalchina@gmail.com](mailto:angalchina@gmail.com)



**Драницына Елена Викторовна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.н., доцент (практ.),  
e-mail: [dranitsyna\\_ev@mail.ru](mailto:dranitsyna_ev@mail.ru)

УДК 555.32

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕДАЧИ АСТРОНОМИЧЕСКОГО АЗИМУТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ КОМПЛЕКСОМ**

**А.С. Галчина**

**Научный руководитель – к.н., доцент практики Е.В. Драницына**

### **Аннотация**

В работе рассматривается возможность применения оптических энкодеров в автоматизированном оптико-электронном комплексе, предназначенном для определения азимута опорного направления, задаваемого наземным ориентиром. Описываются разновидности и особенности работы оптических энкодеров, а также проводится анализ составляющих погрешности оптического энкодера, влияющих на точность определения угла поворота при определении астрономического азимута наземного ориентира.

### **Ключевые слова**

Инкрементный оптический энкодер, абсолютный оптический энкодер, фотоприемное устройство, астрономический азимут, автоматизированный оптико-электронный комплекс, составляющие погрешности оптического энкодера.

### **Введение**

Автоматизированный оптико-электронный комплекс (далее – АК) реализует астрономический метод наблюдения для определения астрономического азимута опорного направления, задаваемого наземным ориентиром. Азимут направления на



наземный ориентир  $A$ , определенный астрономическим методом, складывается из двух составляющих (рис. 1):

$$A = Az + \alpha \quad (1),$$

где  $Az$  – астрономический азимут визирной оси АК при наблюдении звезд, определенный астрономическим методом;

$\alpha$  – горизонтальный угол поворота визирной оси АК при переходе от наблюдения звезд к наблюдению наземного ориентира.

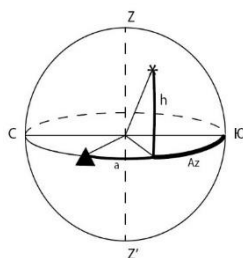


Рис. 1. Определение астрономического азимута наземного ориентира

Погрешность определения астрономического азимута наземного ориентира  $\Delta A$  также можно представить в виде двух составляющих:

$$\Delta A = \Delta Az + \Delta \alpha, \quad (2),$$

где  $\Delta Az$  – погрешность определения астрономического азимута визирной оси при наблюдении звезд;

$\Delta \alpha$  – погрешность определения горизонтального угла поворота при переходе от наблюдения звезд к наблюдению наземного ориентира.

Угол  $\alpha$  может принимать значения в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , поэтому нельзя использовать автоколлимационный метод измерения угла, а для его определения целесообразно использовать оптический энкодер.

Погрешность  $\Delta Az$  зависит от множества факторов (параметры оптической системы АК, параметры атмосферы, характеристики видимых звезд). Погрешность  $\Delta \alpha$  также во многом зависит от параметров оптической системы АК и качества видимости наземного ориентира, однако немаловажную роль играют точностные характеристики используемого оптического энкодера, исследованию которых и посвящена данная работа.

### Оптический энкодер

В общем случае оптический энкодер представляет собой датчик угловых перемещений, состоящий из нескольких основных узлов (рис. 2) [1].



Рис. 2. Устройство оптического энкодера

1 – вал энкодера; 2 – кодовый диск; 3 – источник света с электронной платой;  
4 – фотоприемное устройство; 5 – электронная плата обработки

Оптический энкодер состоит из подвижных (вал энкодера 1, кодовый диск 2) и неподвижных (источник света 3, фотоприемное устройство 4, плата обработки 5) частей. Вал энкодера 1 жестко связан с кодовым диском 2. На нем закодирована информация, которая необходима для определения углового положения плоскости диска относительно фотоприемного устройства 4 (ФПУ). Вал энкодера конструктивно связывается с вращающейся частью АК. Тогда поворот визирной трубы АК в горизонтальной плоскости вызывает угловые перемещения вала энкодера 1 и, соответственно, кодового диска 2, относительно неподвижных частей энкодера. Когда свет проходит через кодовый диск от источника света 3, на ФПУ 4 формируется изображение, содержащее информацию о положении (или изменении положения) кодового диска.

### Разновидности оптических энкодеров

Различают несколько видов оптических энкодеров: относительный (инкрементный), абсолютный и комбинированный (рис. 3). Относительные энкодеры показывают изменение угла поворота вала относительно его начального положения в момент подачи электропитания. На кодовом диске относительного энкодера нанесена последовательность черных полос одинаковой толщины с равными промежутками между ними. Черные полосы прерывают световой поток, а промежутки - пропускают, создавая таким образом на ФПУ соответствующее изображение черных и белых полос. При смещении изображений черных и белых полос энкодер формирует периодические сигналы, при этом количество периодов пропорционально углу поворота вала.

Абсолютные энкодеры отличаются особым принципом кодировки информации на диске [2], благодаря чему каждому положению вала соответствует уникальный код. Благодаря этому абсолютный энкодер показывает угол поворота вала относительно «нулевого» положения, при этом «ноль» шкалы энкодера не меняет своего положения при снятии и повторной подаче электропитания. Для кодировки информации на диске используется код Грея или псевдслучайная неповторяющаяся бинарная последовательность [3].

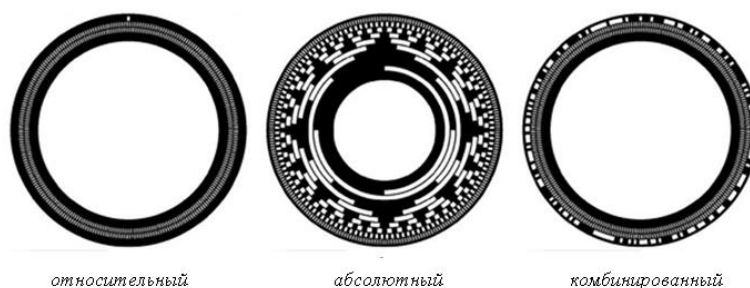


Рис. 3. Виды кодовых дисков

В АК целесообразно использовать абсолютный энкодер, что позволяет избежать потери информации о положении визирного устройства АК при несанкционированном снятии электропитания в процессе его работы.

Наиболее точными оптическими энкодерами на сегодняшний день являются инкрементные оптические датчики ЛИР-4200 (ОАО «СКБ ИС», Россия) и RON-905 (ф. «Heidenhain», Германия), точность которых составляет  $\pm 0,2''$  [4].

Об абсолютных оптических энкодерах, сопоставимых по точности с указанными выше инкрементными энкодерами, в открытых источниках не сообщается, поэтому актуальной является задача разработки абсолютного оптического энкодера с точностью не хуже  $\pm 0,4''$ .

### **Составляющие погрешности оптических энкодеров и способы их устранения**

Погрешность определения астрономического азимута  $A$  напрямую зависит от погрешности определения угла  $\alpha$ . Это следует из выражения (1).

Выделяют несколько главных составляющих погрешности, которые возникают при определении угла  $\alpha$  [1]:

- погрешность установки составных частей энкодера (например, перекося кодового диска относительно плоскости ФПУ);
- погрешность градуировки шкалы кодового диска;
- погрешность считывания и обработки данных.

Чтобы свести к минимуму погрешности установки составных частей, существует возможность использования несколько ФПУ, которые можно установить на противоположные концы кодового диска. В таком случае совместная обработка данных с разных ФПУ может компенсировать перекося шкалы.

Погрешность градуировки шкалы имеет составляющую, называемую разностью между фактическим и предполагаемым положением ее штрихов и может быть полностью или частично компенсирована за счёт калибровки с использованием высокоточного угломера.

Погрешность считывания и обработки данных зависит от выбранного типа ФПУ и метода обработки информации. Погрешность может быть минимизирована путем подбора оптимального ФПУ, имеющего подходящие характеристики для обеспечения заданной точности определения угла поворота.

### ***Составляющие погрешности оптических энкодеров и способы их устранения***

Как следует из выражения (2), погрешность определения астрономического азимута  $\Delta A$  зависит от погрешности определения угла  $\Delta\alpha$ , которая, в свою очередь, во многом определяется точностями характеристиками оптического энкодера.

Можно выделить несколько основных составляющих погрешности оптического энкодера, влияющих на погрешность определения угла  $\Delta\alpha$  [1]:

- погрешность установки составных частей энкодера (например, перекося кодового диска относительно плоскости ФПУ);
- погрешность градуировки шкалы кодового диска;
- погрешность считывания и обработки данных.

Для минимизации погрешности установки составных частей энкодера используют несколько ФПУ, установленных на диаметрально противоположных концах кодового диска, что при совместной обработке данных с разных ФПУ позволяет компенсировать перекося шкалы кодового диска относительно неподвижной части энкодера, на которой установлены ФПУ.

Погрешность градуировки шкалы характеризуется разностью между фактическим и предполагаемым положением ее штрихов и может быть полностью или частично компенсирована при калибровке с использованием высокоточного угломера.

Погрешность считывания и обработки данных зависит от разрешающей способности и типа выбранного ФПУ, а также метода обработки получаемой информации. Так, например, при использовании ПЗС-линеек в качестве ФПУ и при достаточно большом (более 10 пикселей) размере изображений видимых полос кодового диска в плоскости ФПУ возможно добиться определения координат центров изображений видимых полос с точностью, превышающей размер пикселя. Это позволит существенно увеличить разрешающую способность оптического энкодера и повысить точность определения угла поворота вала.

### **Заключение**

Рассмотрены принцип действия оптического энкодера, его устройство и основные виды. Проанализированы основные составляющие погрешности оптического энкодера, влияющие на точность определения угла поворота при определении астрономического азимута наземного ориентира, и предложены меры по минимизации этих погрешностей.

### **Литература**

1. Техническое издание отдела преобразователей линейных и угловых перемещений. URL: <http://servotechnica.ru/files/doc/documents/file-933.pdf> (дата обращения: 14.11.2019).
2. Энкодеры и измерительные системы. URL: <http://servotechnica.ru/catalog/type/index.pl?id=118> (дата обращения 14.11.2019).
3. Тарков В.А. Экономичный высокоточный датчик абсолютного углового положения // Интерэкспо Гео-Сибирь Том 5 №2. Новосибирск. Издательство СГУГиТ. 2016. с. 88-92.
4. Бохман Е.Д., Иванов П.А., Ларичев Р.А., Николаев М.С., Павлов П.А., Филатов Ю.В., Беркович С.Б., Котов Н.И. Автоматизированная углоизмерительная система для передачи направлений // Гироскопия и навигация. 2019. №2. С. 95-105.



**Гатамли Рустам Азер оглы**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,

магистрант, группа № Р42701,

направление подготовки: 09.04.02 – Мультимедиа-технологии

в искусстве театра, кино и телевидения,

e-mail: ZrustamZ@gmail.com



**Сизиков Валерий Сергеевич**

Год рождения: 1939

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,

д.т.н., профессор,

e-mail: sizikov2000@mail.ru

УДК 517.44, 621.397.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧАХ  
ОБРАБОТКИ (ВОССТАНОВЛЕНИЯ) ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Р.А. Гатамли**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор В.С. Сизиков**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

Доклад посвящен анализу проблем параллелизации преобразований Фурье, а также исследованию и разработке нового эффективного метода вычисления алгоритмов обработки и восстановления изображений.

**Ключевые слова**

Искажения изображений (смазывание, дефокусирование), функция рассеяния точки, параметры искажения, Фурье-спектр, интегральные уравнения, MatLab.

**Введение**

*Преобразование Фурье* (ПФ) является математической операцией, широко используемой во многих областях. Например, в медицинской визуализации оно используется для многих применений, таких как фильтрация изображений, реконструкция изображений и анализ изображений. Это важный инструмент обработки изображений, который используется для разложения изображения на составляющие. Выходные данные преобразования представляют изображение в частотной области, в то время как входное изображение является эквивалентом пространственной области. Обработка изображений на основе ПФ достигла узкого места, где дальнейшее улучшение скорости с алгоритмической точки зрения затруднено. Но некоторые приложения, работающие в режиме реального времени, требуют более быстрого

преобразования Фурье, чем то, что доступно в настоящее время. ПФ используется для преобразования речи, аудио, изображений и сжатия видео. Для задач, основанных на динамических вычислениях и больших объемах данных, алгоритм ПФ на основе графического процессора (GPU) может стать экономически эффективным решением. Потому что графический процессор может обрабатывать большие объемы данных параллельно при работе в режиме одной инструкции с несколькими данными (SIMD).

### Математическая формулировка задачи восстановления изображений

Функция, выраженная в преобразовании Фурье, может быть полностью реконструирована (восстановлена) обратным процессом [1]. Это важное свойство преобразования Фурье позволяет работать в “частотной области”, а затем возвращаться в пространственную область без потери какой-либо информации.

Преобразование Фурье  $F(u)$  единственной переменной  $u$  (частоты Фурье) от непрерывной функции  $f(x)$  определяется выражением:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j2\pi ux} dx, \quad (1)$$

где  $j = \sqrt{-1}$ . И наоборот, учитывая  $F(u)$ , мы можем получить  $f(x)$  с помощью обратного преобразования Фурье:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{j2\pi ux} du. \quad (2)$$

Эти два выражения составляют пару преобразования Фурье, которая указывает на упомянутый ранее факт, что исходная функция может быть восстановлена без потери информации [2]. Используя преобразование Фурье, изображения в пространственной области могут быть преобразованы в частотную область. Оказавшись в частотной области, изображения могут быть преобразованы обратно в пространственную область с обратным преобразованием Фурье.

Поскольку цифровые изображения моделируются с помощью дискретных функций, нас больше интересует *дискретное преобразование Фурье* (ДПФ). Одномерность дискретного преобразования Фурье задается выражением:

$$F_i = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{j2\pi ik/N}, \quad i = \overline{0, N-1}. \quad (3)$$

Аналогично, учитывая  $F_i$ , мы можем получить исходную дискретную функцию  $f_k$  в виде обратного ДПФ:

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} F_i e^{-j2\pi ik/N}, \quad k = \overline{0, N-1}. \quad (4)$$

Дискретное преобразование Фурье и его обратное преобразование являются основой для частотной обработки изображений [3]. Дискретное преобразование Фурье является операцией суммирования. Количество слагаемых в суммировании совпадает с количеством точек выборки. Дискретное преобразование Фурье часто оценивается для каждой выборки данных и может рассматриваться как выделение определенных

частотных компонентов из сигнала.

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) представляет собой алгоритм для вычисления комплексного дискретного преобразования Фурье. Действительное (обычное) ДПФ преобразует сигнал  $N$ -точечной временной области в два сигнала точечной частотной области. Два сигнала в частотной области называются действительной и мнимой частями, которые содержат амплитуды косинусных и синусоидальных волн соответственно.

У БПФ есть еще одно преимущество, кроме скорости. БПФ вычисляется более точно, поскольку меньшее число вычислений приводит к меньшей ошибке округления. Это можно продемонстрировать, взяв БПФ произвольного сигнала, а затем запустив частотный спектр через обратное ПФ. Это восстанавливает исходный сигнал во временной области, за исключением добавления округления шума из расчетов.

### Практические результаты

Теоретический анализ производительности на основе данных из различных источников дает понять, что среднее ускорение GPU по сравнению с CPU в 3,1 раза, что на 310% быстрее, чем CPU [4]. Минимальное ускорение, достигаемое GPU по сравнению с CPU, составляет 2,5 раза, тогда как максимальное 3,2.

Пространственное разрешение изображения  $512 \times 512$  (рис. 1). Реконструкция на основе как CPU, так и GPU выполнялась по данным из источника 100 раз для измерения времени выполнения.

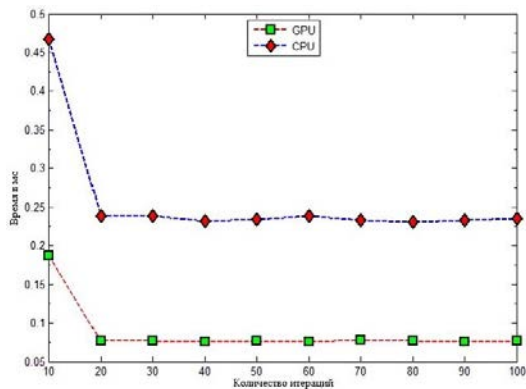


Рис. 1. Lena,  $512 \times 512$  ч/б. Восстановление производилось с применением алгоритма Люси–Ричардсона

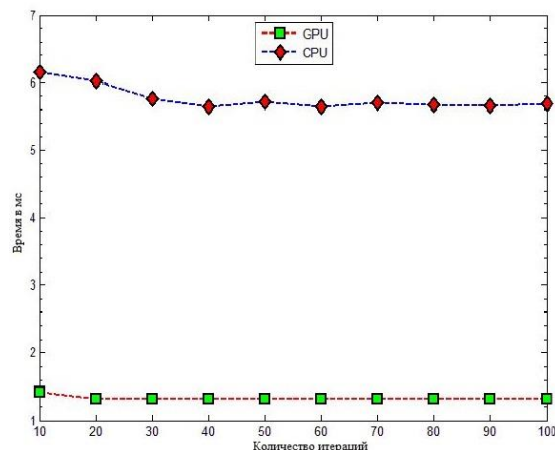
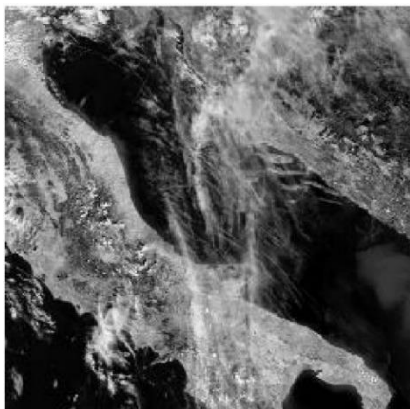


Рис. 2. Earth map,  $2048 \times 2048$  ч/б. Восстановление производилось с применением алгоритма Люси–Ричардсона

Пространственное разрешение изображения  $1024 \times 1024$  (Рис. 2). Моделирование ситуации показывает среднее ускорение GPU по сравнению с CPU в 4,1 раза, что на 410,00% выше, чем CPU. Минимальное ускорение, достигаемое GPU против CPU, составляет 4,05 раза, тогда как максимальное 4,128.

### Заключение

Была проделана работа, заключающаяся в исследовании возможностей параллельных вычислений при восстановлении изображений. Выбор пал на деконволюцию Люси-Ричардсона. Большинство алгоритмов деконволюции являются линейными – «прямыми». Как только соответствующий фильтр построен, решение задачи восстановления исходит однократным применением этого фильтра. Эта простота реализации в соответствии со скромными требованиями к вычислительным ресурсам сделали линейные алгоритмы основными инструментами восстановления изображений на многие годы.

Но в последние десятилетия с ростом вычислительной возможности машин становятся популярны нелинейные итерационные алгоритмы, так как они часто приводят к более лучшим результатам в сравнении с традиционными линейными методами. Основными нерешенными проблемами нелинейных алгоритмов является:

а) недостаточная предсказуемость их поведения – так как они итерационные, то результат зависит от метода максимального правдоподобия;

б) использование значительных вычислительных ресурсов.

Недостаточная предсказуемость поведения как недостаток теряет свою актуальность, так как нелинейные алгоритмы по удобству использования (количеству входных данных) превосходят линейные алгоритмы.

А вот второй недостаток и будет рассмотрен как основная проблема реализации данных алгоритмов.

Для задач, основанных на динамических вычислениях и больших объемах данных, алгоритм ПФ на основе графического процессора (GPU) может стать экономически эффективным решением [5]. Быстрые прямые и обратные преобразования Фурье являются основой многих алгоритмов восстановления. Выбор в реализации пал на деконволюцию Люси–Ричардсона, она является нелинейным и итерационным алгоритмом, требовательным к ресурсам, но дающим более лучший результат при минимальных входных данных. Соответственно так как средняя итерационность алгоритма приравнивается к 100, то общее время восстановления изображения  $2048 \times 2048$  доходит до 10 минут. Следовательно, чем большим количеством обрабатывающих логических единиц мы располагаем, тем эффективнее наш алгоритм будет выполняться.

Сам алгоритм Люси–Ричардсона вычисляется по методу максимального правдоподобия, в котором изображение моделируется в виде статистик Пуассона. Максимизация функции правдоподобия модели приводит к уравнению, которое выполняется при условии сходимости последующих итераций.

Данный алгоритм является итерационным, так как нелинейность происходит из-за деления на в правой части уравнения. Алгоритм Люси–Ричардсона имеет простой синтаксис, где функция требовательна только к числу итераций и ФРТ.

### Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М. Техносфера. 2006. 1072 с.
2. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Киев: Наук. Думка. 1986. 544 с.



3. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений. Учебник для вузов. СПб. Политехника. 2001. 240 с.
4. CUDA C Programming Guide. –NVIDIA. 2015. 261 p.
5. Govindaraju N.K., Lloyd B., Dotsenko Y., Smith B., Manferdelli J. High performance discrete Fourier transforms on graphics processors. SC '08: Proceedings of the 2008 ACM/IEEE conference on Supercomputing. 2008. 12 p.



**Голованов Андрей Андреевич**

Год рождения: 1998  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности  
информационных технологий,  
студент группы № N3451,  
направление подготовки: 10.03.01. – Информационная  
безопасность,  
e-mail: agolovanov2403@gmail.com



**Беззатеев Сергей Валентинович**

Год рождения: 1957  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности  
информационных технологий,  
д.т.н., профессор,  
e-mail: bsv@aanet.ru

УДК 004.056:342.843.32

## **ПРОТОКОЛЫ АНОНИМНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ**

**А.А. Голованов**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор С.В. Беззатеев**

### **Аннотация**

Работа посвящена методам анонимного электронного голосования. Переход от традиционного голосования к электронному призван решить многие существующие проблемы голосования. Проанализированы проблемы при организации голосования. Сформулированы принципы протоколов анонимного голосования. Проведён обзор протокола Фудзиока-Окамото-Охта, протокола голосования на основе отслеживаемой кольцевой подписи и децентрализованного протокола голосования на основе схемы Шамира. Проведено сравнение данных протоколов по соответствию сформулированным принципам. Сделан вывод о необходимости использования дополнительных средств или разработке более совершенного протокола.

### **Ключевые слова**

Электронное голосование, протоколы голосования, анонимность, верифицируемость, криптографические протоколы, слепая подпись Чаума, отслеживаемая кольцевая подпись, схема разделения секрета Шамира.

Голосование – способ принятия коллективного решения группой людей, при котором общее мнение формулируется через подсчёт голосов членов группы.

По открытости волеизъявления голосование может быть открытым или тайным (анонимным). Открытое голосование подразумевает связь между голосом и личностью голосующего, иначе говоря, всегда известно какое решение приняло каждое лицо. В свою очередь, тайное (анонимное) голосование подразумевает разделение голоса и личности голосующего – только сам проголосовавший знает о своём решении.

По использованию в голосовании электронных средств голосование может быть традиционным или электронным. В электронном голосовании электронные средства используются для формирования электронного бюллетеня, разделения голоса и личности голосующего, подсчёта голосов, публикации результатов и прочих целей.

Голосование может различаться по количеству вариантов решения: от выбора между «за» и «против» до выбора между большим количеством кандидатов; по количеству возможных голосов: голосующий может проголосовать единожды или несколько раз; по степени доступности: на участках, удалённое; по количеству избирателей.

В Российской Федерации по Федеральному закону от 12.06.2002 N 67-ФЗ голосование на выборах и референдуме является тайным. Это гарантирует исключение контроля за волеизъявлением гражданина. Несоблюдение анонимности голосования может привести к подтасовке результатов, манипулированием электоратом и пр. Сложность разработки протокола анонимного электронного голосования связана с частичным конфликтом требований, предъявляемых к процессу голосования.

Целью данной работы является определение недостатков существующих протоколов электронного голосования.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- провести анализ проблем, стоящих перед организацией анонимного голосования;
- сформулировать принципы, которым должны соответствовать протоколы тайного голосования;
- провести обзор нескольких существующих протоколов голосования и оценить их соответствие данным принципам.

Перед организацией тайного голосования встают следующие проблемы:

1. Давление на электорат – какой-либо контроль за волеизъявлением голосующего со стороны заинтересованной стороны: административное давление, покупка голосов.
2. Нарушение тайны голосования – меры, позволяющие связать личность голосующего и его решение.
3. Искажение результатов – меры, изменяющие результаты голосования, такие как включение в подсчёт поддельных бюллетеней или намеренное изменение результатов при подсчёте голосов.
4. Проблемы верификации результатов – проблемы при доказательстве, что голосование прошло корректно.
5. Низкая скорость подсчёта голосов, ошибки в подсчётах вследствие человеческого фактора, проблемы доступности для избирателей и высокие затраты на проведение – данный круг проблем призван решить переход от традиционного голосования к электронному.

Исходя из описанных проблем, мы сформулировали принципы, в соответствии с которыми должны работать протоколы тайного электронного голосования:

1. Анонимность – ни на одном из этапов протокола не восстанавливается связь между личностью голосующего и его решением. Как упоминалось выше, анонимность исключает давление на электорат.
2. Верифицируемость – это возможность верифицировать голосование, то есть доказать, что оно прошло корректно. Данный принцип исключает искажение результатов. Принцип верифицируемости состоит из:
  - а. Индивидуальной верифицируемости – возможности голосующему проверить, что его голос учтён и учтён верно. Исключает вмешательство организатора голосования.

б. Всеобщей верифицируемости – возможности общественности проверить, что результаты голосования согласованы с отданными голосами, другими словами, не произошло вмешательства и искажения результатов.

с. Верифицируемости легитимности – возможности организатору проверить, что проголосовали только лица, имеющие право голосовать, и проголосовали не более одного раза (либо другое разрешённое количество раз, определённое правилами голосования).

При проведении открытых голосований верификация является тривиальной проблемой. Одновременное соблюдение принципов анонимности и верифицируемости – уже сложная задача, которую предлагается решать с помощью различных криптографических механизмов, таких как: слепая подпись Чаума, отслеживаемая кольцевая подпись, схема разделения секрета Шамира. На основе этих механизмов реализованы определённые протоколы голосования. Большое количество протоколов анонимного голосования свидетельствует об отсутствии протокола, соответствующего всем необходимым требованиям анонимного голосования.

Протокол Фудзюка-Окамото-Охта основан на слепой подписи Чаума [1].

В данном протоколе участвуют следующие стороны: агентство  $A$  и счётчик  $C$ , выполняющие административную роль, и сам избиратель  $V$ . Подразумевается, что избирателей много. Используются следующие криптографические функции. Функции  $\text{blind}$  и  $\text{sign}$  – функции ослепления и подписи соответственно. Данные операции являются коммутативными:

$$\text{blind}(\text{sign}(m)) \equiv \text{sign}(\text{blind}(m)). \quad (1)$$

Также ослепление обладает обратной операцией  $\text{blind}^{-1}$ :

$$\text{blind}^{-1}(\text{blind}(m)) \equiv m. \quad (2)$$

Это позволяет  $V$  получить подпись сообщения от лица  $A$ , не раскрывая его содержимое. Также используется функция симметричного шифрования  $\text{encr}$  с соответствующей функцией дешифрования  $\text{decr}$ .

Этап 1. Каждый  $V$  формирует бюллетень  $B$  – некоторое сообщение, формулирующее волеизъявление  $V$ , а также публикует открытый ключ для подписи.  $A$  создаёт список легитимных избирателей, устанавливая в соответствие их идентификаторы  $ID$  и открытые ключи, а также публикует свой открытый ключ для подписи.

Этап 2.  $C$  помощью секретного ключа  $k$  избиратель  $V$  зашифровывает  $B$ :  $x = \text{encr}(B, k)$ , ослепляет  $x$ :  $e = \text{blind}(x)$ , подписывает его своим закрытым ключом:  $s = \text{sign}_V(e)$  и отправляет  $A$  кортеж  $\langle ID, e, s \rangle$ .  $A$  аутентифицирует  $V$  по полученному кортежу, подписывает ослеплённый бюллетень:  $d = \text{sign}_A(e)$ , и отправляет  $d$  обратно.  $V$  получает слепую подпись и снимает с него ослепление:  $y = \text{blind}^{-1}(d)$ . По (1) и (2)  $y \equiv \text{sign}_A(x)$ , а значит  $V$  получил от  $A$  подпись зашифрованного  $B$ , что является доказательством легитимности данного  $V$ .

Этап 3.  $V$  отправляет  $C$  кортеж  $\langle x, y \rangle$  по анонимному каналу. По полученному кортежу  $C$  убеждается в легитимности  $V$ .

Этап 4. После получения всех  $\langle x, y \rangle$  С составляет из них пронумерованный список и публикует. V убеждается, что его значение есть в этом списке и по анонимному каналу отправляет С ключ  $k$  в связке с номером значения в списке.

Этап 5. Получив все ключи  $k$ , С расшифровывает все  $B$ :  $B = \text{decr}(x, k)$ , и публикует новый список, содержащий  $\langle x, y, k, B \rangle$  всех избирателей. Также счётчик проводит подсчёт  $B$  и публикует результаты голосования.

За счёт разделения административных задач между А и С протокол соблюдает анонимность с верифицируемостью легитимности. При этом допускается, что А и С не сговариваются, иначе у них есть возможность связать голос и личность избирателя, а также добавить поддельные бюллетени от лица несуществующих или не участвующих избирателей – нарушение всеобщей верифицируемости. Также для соблюдения анонимности необходимо организовывать анонимный канал на этапах 4 и 5. За счёт открытой публикации всех бюллетеней соблюдается индивидуальная верифицируемость. Недостатком протокола отмечается интерактивность – избиратель участвует в протоколе на нескольких этапах.

Разработчики отслеживаемой кольцевой подписи предлагают использовать её для протокола анонимного голосования для BBS [2]. Кольцом называется определённый круг из  $N$  лиц. Каждый участник кольца ассоциирован с открытым ключом  $P$  и соответствующим ему закрытым ключом  $S$  согласно какой-либо инфраструктуре открытых ключей. Кольцевая подпись  $\text{RS}\left(m, \{P_j\}_{j=1}^M, S_i\right)$  доказывает, что источник данного сообщения  $m$  входит в кольцо, не раскрывая личности подписавшего [3]. Отслеживаемая кольцевая подпись  $\text{TRS}\left(m, \{P_j\}_{j=1}^M, S_i, L_i\right)$  является модификацией кольцевой подписи, которая обладает алгоритмом, позволяющим обнаружить факт повторной подписи одним и тем же лицом. Отличительной особенностью отслеживаемой кольцевой подписи является метка  $L$ , вычисляемая, например, из уникального кода, который выдаётся каждому избирателю.

Стороны, участвующие в предлагаемом протоколе: кольцо избирателей  $\{V_j\}_{j=1}^M$ , агентство А, счётчик С. В роли счётчика может выступать любое лицо, в том числе из кольца избирателей или агентство.

Этап 1. А публикует список публичных ключей легитимных избирателей  $\{P_j\}_{j=1}^M$ .

Этап 2.  $V_i$  формирует бюллетень  $B_i$ , формирует кольцевую подпись:

$$y_i = \text{TRS}\left(B_i, \{P_j\}_{j=1}^M, S_i, L_i\right).$$

$V_i$  через анонимный канал публикует свой голос  $\langle B_i, y_i \rangle$ .

Этап 3. С проверяет легитимность всех опубликованных голосов  $\langle B_i, y_i \rangle$  и подсчитывает результат.

Для соблюдения анонимности этому протоколу, так же как и предыдущему, необходима организация анонимного канала. Отслеживаемая кольцевая подпись реализует верифицируемость легитимности, при условии, что метку  $L$  невозможно подделать – для этого необходим дополнительный механизм. Всеобщая и индивидуальная верифицируемость соблюдаются за счёт публикации всех голосов и

известности о круге избирателей. Возможный недостаток данного протокола – непригодность для большого круга избирателей из-за вычислительной сложности кольцевой подписи.

Децентрализованный протокол голосования основан на схеме разделения секрета Шамира [4]. Схема Шамира позволяет разделить некоторый секрет  $m$  на множество долей  $\{s_j\}_{j=1}^N$ , и восстановить  $m$  на этом множестве, используя интерполяцию Лагранжа [5].

Так, имея полином  $f(x)$  степени  $t-1$  со свободным членом  $m$ , функция разделения секрета будет возвращать множество из  $N$  долей:

$$SSS_f(m) = \{s_j\}_{j=1}^N, \text{ где } s_j = \langle j, f(j) \rangle.$$

Схему Шамира отличают два свойства:

- 1) Наличие порога  $t$ , позволяющего восстановить секрет на  $t$  из  $N$  долей.
- 2) Гомоморфность. Обозначив  $SSS_f(a) + SSS_g(b) \equiv \{\langle j, f(j) + g(j) \rangle\}_{j=1}^N$ ,

гомоморфность схемы Шамира выражается так:

$$SSS_f(a) + SSS_g(b) \equiv SSS_{f+g}(a+b). \quad (3)$$

Гомоморфность позволяет создавать протоколы конфиденциального вычисления, в том числе децентрализованный протокол голосования. В протоколе участвуют множества избирателей  $\{V_i\}_{i=1}^M$  и счётчиков  $\{C_j\}_{j=1}^N$ .

Этап 1. Определяются легитимные избиратели. Каждому  $C$  ставится в соответствие уникальное число  $j$ . Определяется и публикуется пороговое число  $t$ .

Этап 2. Каждый  $V_i$  составляет бюллетень  $B_i$ , представляющий из себя число 0 или 1, соответственно голос «против» или «за». Тогда сумма всех  $B_i$  означает количество голосов «за» и определяет результат  $R$  голосования:

$$R = \sum_{i=1}^M B_i. \quad (4)$$

$V_i$  генерирует полином  $f_i(x)$  степени  $t-1$  со свободным членом  $B_i$  и держит его в тайне. Затем  $V_i$  вычисляет множество долей:

$$SSS_{f_i}(B_i) = \{s_{i,j}\}_{j=1}^N.$$

$V_i$  отправляет  $s_{i,j}$  счётчику  $C_j$  по защищённому каналу.

Этап 3. Каждый  $C_j$  получает  $\{s_{i,j}\}_{i=1}^M$ .  $C_j$  вычисляет их сумму  $S_j$ :

$$S_j = \sum_{i=1}^M s_{i,j}.$$

$S_j$  публикуется. По (3) и (4)  $\{S_j\}_{j=1}^N$  является множеством долей секрета  $R$  по полиному  $\sum_{i=1}^M f_i(x)$ . На основе опубликованных долей восстанавливается результат голосования  $R$ .

В данном протоколе разделение голоса и личности избирателя производится на 2-м этапе, но при этом сам голос разделяется на доли и не восстанавливается никогда. За счёт этого реализуется полная анонимность, но невозможно соблюдение индивидуальной верифицируемости. Также мы допускаем, что избиратель честен и действует по заданному алгоритму, соответственно протокол требует дополнительных средств ограничения избирателей, а также метод их аутентификации. Учитывая, что счётчиками могут быть лица, заинтересованные в разных результатах, возможно подобрать такое  $t$ , чтобы счётчики не могли договориться как повлиять на результаты или нарушить целостность долей. Недостатком данного протокола является возможность всего 2-х вариантов голоса.

Сравнение протоколов по соответствию сформулированным нами принципам отражено в таблице.

Таблица

### Сравнение протоколов электронного голосования

Принцип	Протокол Фуэджиока-Окамото-Охта	Протокол на основе TRS	Децентрализованный протокол
Анонимность	при наличии анонимного канала; при допущении о честности А и С	при наличии анонимного канала	да
Индивидуальная верифицируемость	да	да	нет
Всеобщая верифицируемость	при допущении о честности А и С	да	да
Верифицируемость легитимности	да	при использовании неподделяемых меток	при использовании методов аутентификации; при допущении о честности избирателей

Выводы:

1. Каждый криптографический протокол обладает как преимуществами, так и недостатками, которые необходимо учитывать в каждом конкретном случае.
2. Принципы протоколов анонимного голосования, не реализуемые применяемым протоколом, необходимо реализовать дополнительными механизмами.
3. Существует необходимость разработки протокола электронного голосования, удовлетворяющего всем принципам протоколов анонимного голосования.

### Литература

1. Fujioka A., Okamoto T., Ohta K. A practical secret voting scheme for large scale elections // ASIACRYPT '92: Proceedings of the Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques: Advances in Cryptology. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 1992. P. 244–251.

2. Fujisaki E., Suzuki K. Traceable Ring Signature // PKC'07: Proceedings of the 10th international conference on Practice and theory in public-key cryptography. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. P. 181–200.
3. Rivest R.L., Shamir A., Tauman Y. How to Leak a Secret // ASIACRYPT '01: Proceedings of the 7th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security: Advances in Cryptology. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. P. 552–565.
4. Bogdanov A., Uteshev A., Khvatov V. Error Detection in the Decentralized Voting Protocol // Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019. – Springer, 2019. P. 485–494.
5. Shamir A. How to share a secret // Communications of the ACM. 1979. №11. P. 612–613.





**Голубева Виктория Андреевна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет ПИиКТ,

студент группы № Р42601

направление подготовки: 09.04.02 – Информационные  
системы и технологии,

e-mail: golubeva.v.a.96@gmail.com



**Шуклин Дмитрий Анатольевич**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии

и компьютерной техники,

доцент, к.пед.н.

e-mail: shuklin@itmo.ru

УДК 004.51

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦВЕТА И ФОРМЫ В ДИЗАЙНЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

**В.А. Голубева**

**Научный руководитель – к.пед.н., доцент Д.А. Шуклин**

### **Аннотация**

В работе выделены основные принципы использования цвета и формы в контексте удобства пользования мобильным приложением, а также с точки зрения эмоционального восприятия мобильного приложения пользователем. Кроме того, составлена таблица соотношения основных эмоциональных состояний с цветом или формой, способствующими их достижению, учитывающая гендерные особенности цветовых предпочтений.

### **Ключевые слова**

Психология цвета, психология формы, интерфейс, мобильные приложения, дизайн интерфейсов.

Разработка любого интерфейса должна основываться на принципах UX дизайна, иными словами, логика взаимодействия с интерфейсом должна быть ясна для пользователя. Грамотно выполненный интерфейс легок в восприятии, достаточно предсказуем, удобен в использовании и позволяет быстро выполнить требуемые задачи.

Одним из аспектов, которые необходимо учитывать при создании интерфейсов, является особенности внимания пользователя. С физиологической точки зрения, человеческий мозг, согласно значимым для индивида стимулам, непроизвольно выделяет из окружающей среды отдельные объекты и впоследствии подвергает их дальнейшему анализу. В контексте проектирования интерфейса мобильного

приложения, это говорит о том, что внимание пользователя ограничено, и, следовательно, им необходимо управлять для оптимизации пользовательского опыта.

Одним из основных элементов, позволяющих управлять вниманием пользователя и логически структурировать интерфейс, является использование цвета и формы.

Так, например, если на экране в определенный момент находится несколько рабочих областей, внимание пользователя в первую очередь будет обращено к наиболее контрастной и светлой области, затем, к контрастной темной, и только в последнюю очередь – к области неконтрастного цвета [3].

Таким образом, корректируя уровни контрастности цветов можно сообщить пользователю какие элементы интерфейса являются первичными – то есть, требующими внимания в первую очередь, а какие – вторичные. К первичным, как правило, могут быть отнесены такие элементы как текущее поле ввода, кнопки сохранения, навигации и многие другие интерактивные элементы интерфейса, а ко вторичным – вспомогательные комментарии, дополнительные настройки и различные не интерактивные элементы [1]. На данном примере можно увидеть, что правильный подбор цветов в интерфейсе способствует интуитивной навигации пользователя и удобству использования приложения.

Помимо управления вниманием, цвет также может быть использован в целях обращения мышления пользователя к стереотипам восприятия благодаря сопутствующим значениям цветов. Символизм цвета сформирован культурными и национальными особенностями восприятия цвета, а также индивидуальным опытом отдельного пользователя. Таким образом, разрабатывая тот или иной интерфейс, необходимо учитывать вид деятельности, накопленный опыт, образовательный уровень и т.д., аудитории, для которой предназначен его продукт.

Несмотря на важность дифференцированного подхода, можно выделить несколько стереотипов восприятия, характерных для среднестатистического пользователя мобильных и веб-интерфейсов, такие как:

- зеленый цвет – подтверждение действий, корректность заполнения и т.д.;
- красный цвет – отмена действий, сигнализация ошибок процесса и т.д.

Стоит отметить, что использование перечисленных значений цвета значительно упрощает восприятие интерфейса пользователем, однако не всегда универсально применимо к каждому конкретному случаю. Необходимо учитывать остальные цвета палитры интерфейса и их сочетаемость между собой.

Формы, как и цвет, могут нести определенную информацию об элементах интерфейса, включая текущее состояние объекта, результат взаимодействия с пользователем или другие изменения. Используя принцип последовательности в разработке интерфейса, можно добиться формирования у пользователя определенных стереотипов восприятия, к примеру, округлые формы означают интерактивные элементы интерфейса, а формы с углами – не интерактивные. При использовании данного способа форма должна использоваться в одном и том же состоянии в аналогичных видах взаимодействия, так, чтобы при каждой встрече определенная форма означала один и тот же результат.

Отметим, что некоторые формы изначально имеют некий символизм или несут посыл к определенному действию. Использование таких форм в отрыве от этого символизма скорее может вызвать у пользователя диссонанс восприятия и затруднить процесс использования интерфейса. К примеру, формы содержащие в себе элементы стрелок, как правило, ассоциируются с переходом к предыдущему или последующему шагу, в зависимости от направления стрелки. Соответственно, кнопка, перенаправляющая пользователя к предыдущему шагу, не может быть выполнена в форме стрелки, указывающей вперед (вправо), и наоборот.

Помимо непосредственно удобства использования, для некоторых интерфейсов крайне важна эстетическая составляющая и впечатление, которое она производит на пользователя. В первую очередь это касается интерфейсов, связанных с мобильными играми, социальными сетями и т.д. при создании которых, разработчикам необходимо вызвать у пользователя ту или иную эмоцию. Однако, внимание к эмоциональной составляющей в общем смысле может быть полезно и при разработке интерфейсов в любой отрасли, улучшая впечатления от пользовательского опыта и повышая лояльность к приложению и продукту в целом.

Аналогично стереотипам восприятия, эмоциональное восприятие тех или иных форм и цветов, используемых в интерфейсе, в значительной степени коррелирует с особенностями пользователя. Помимо уже упомянутых культурных и национальных особенностей, на эмоциональное восприятие также влияет психология цвета и формы. Под данным термином имеется в виду физиологическая реакция организма человека, которая может определяться такими параметрами как гендер пользователя, возраст и др. Продолжая данный подход можно с определённой долей уверенности утверждать, что использование тех или иных цветов и форм в приложении может влиять на ряд аспектов физиологического состояния пользователя, таких как аппетит, нервное напряжение и т.д. [4].

Используя имеющуюся информацию из научных источников, можно составить примерный перечень цветов и их эмоционального воздействия на человека. В полученный список необходимо внести уточнения, касающихся гендерных визуальных предпочтений [2]. В законченном виде полученная таблица может быть использовано как краткое пособие по выбору цвета для интерфейса в зависимости от требуемого результата (таб. 1).

Таблица 1

### Основные эмоции и стимулирующие их цвета

		Эмоции	Цвета	Гендерные предпочтения	
				Женщины	Мужчины
Позитивные эмоции	Активные	Волнение	Красно-оранжевый	=	=
		Восторг	Оранжевый	--	-
		Счастье	Желтый	=	=
	Пассивные	Удовольствие	Желто-зеленый	=	=
		Спокойствие	Зеленый	+	+
		Сонливость	Сине-зеленый	=	=
Негативные	Активные	Раздражение	Лиловый	=	=
		Страх	Красный	=	=
	Пассивные	Усталость	Темно-голубой	=	=
		Печаль	Синий	++	++
		Несчастье	Фиолетовый	++	-
Нейтральные		Гармония	Черный / серый / белый	=	+

Отметим, что несмотря на разные степень предпочтительности тех или иных цветов у разных гендеров («++» – наиболее предпочитаемые, «+» – предпочитаемые, «=» - нейтральные, «-» – не предпочитаемые, «--» – наименее предпочитаемые), данная характеристика не может указывать на полное исключение наименее предпочитаемых цветов в пользу наиболее предпочитаемых. В угоду достижения того или иного эмоционального отклика от аудитории, использование наименее предпочитаемых цветов может быть вполне оправдано. Стоит, однако учитывать тот факт, что в

подобных случаях необходимо быть особенно внимательным при выборе уровня насыщенности и подборе дополнительных цветов, а также учитывать возможность неприятия полученного дизайна особо чувствительной к цвету категорией лиц.

Аналогичным образом может быть составлена таблица соответствия между основными формами и их эмоциональным влиянием на пользователя (таб. 2). Несмотря на существование большого количества разнообразных форм, в таблице ниже рассмотрены только самые основные из них. Это связано с тем, что человеческому сознанию намного легче воспринимать и реагировать на простые формы, такие как круг, треугольник, квадрат и переходные формы между ними.

Таблица 2

### Эмоции и стимулирующие их формы

Эмоции	Формы
Устойчивость, стабильность, прочность	Квадрат
Устойчивое движение	Трапеция
Стремление, активность, сила	Треугольник
Динамика и безопасность	Сферический треугольник
Совершенство, завершенность, гармония	Круг
Надежность и комфорт	Скругленный квадрат

Говоря об общих закономерностях восприятия формы, стоит отметить, что закругленные, плавные линии подсознательно ассоциируются с безопасностью, а острые углы и ломаные линии воспринимаются как проявление агрессии и вызывают тревожные состояния. Из этого следует, что, применение в интерфейсе форм, обладающих углами, таких как квадрат, треугольник и др., в некоторых случаях может быть целесообразно скругление их углов, используя переходные формы между той или иной фигурой и кругом. Это позволит добиться необходимого эффекта от формы, не вызывая при этом состояния тревожности у пользователя, благодаря сочетанию основных свойств фигуры и успокаивающего воздействия круга.

Предполагается, что цвет и форма способны подкреплять эмоциональное влияние друг друга, усиливая тем самым общее впечатление [5]. Так, успокаивающий эффект от использования синих или зеленых оттенков может быть усилен их сочетанием с округлыми формами. Отсюда же следует, что использование цвета и формы противоположных в своем психоэмоциональном воздействии, нежелательно сочетать между собой, чтобы не спровоцировать диссонанс восприятия у пользователя интерфейса.

Основными результатами данной работы можно считать следующие:

- выделены основные принципы использования цвета и формы в контексте удобства пользования мобильным приложением: подкрепление логики интерфейса подобранным сочетанием цвета и контрастности; последовательность применения цвета или формы, несущих ту или иную смысловую нагрузку; внимание к существующим стереотипам восприятия, а также их возможным различиям в зависимости от бэкграунда пользователя;
- выделены основные принципы использования цвета и формы с точки зрения эмоционального восприятия мобильным приложением: внимание к гендерным цветовым предпочтениям; предпочтительность использования в интерфейсе максимально простых и понятных геометрических форм; обдуманное сочетание цветов и форм между собой исходя из их эмоциональной составляющей;

– составлена таблица соотношения основных эмоциональных состояний с цветом или формой, способствующими их достижению, учитывающая гендерные особенности цветовых предпочтений.

### Литература

1. iOS Human Interface Guidelines [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/overview/themes/> (дата обращения: 16.01.2020).
2. Joe Hallock, Colour assignment [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.joehallock.com/edu/COM498/index.html/> (дата обращения: 4.12.2018).
3. Material Design Guidelines [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://material.io/> (дата обращения: 16.01.2020).
4. Wright A. The Colour Affects System of Colour Psychology [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.colour-affects.co.uk/research/> (дата обращения: 4.12.2018).
5. Иттен И. Искусство цвета / Иттен И. пер. с немец. 2-е изд.; предисловие Л. Монаховой. М. Издатель Д. Аронов. 2001. 96 с.



**Демашов Данил Сергеевич**  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
студент группы № Р42622,  
направление подготовки: 09.04.02 – Веб-технологии,  
e-mail: d.danil.s.96@gmail.com



**Государев Илья Борисович**  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.пед.н., доцент,  
e-mail: goss@itmo.ru

УДК 004.03

## **ПРОБЛЕМЫ СТРОГОЙ ТИПИЗАЦИИ КОДА СЕРВЕРНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФРЕЙМВОРКОВ НА ПЛАТФОРМЕ NODE.JS**

**Д.С. Демашов**

**Научный руководитель – к.пед.н., доцент И.Б. Государев**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «ФУНД Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

Расширение возможностей использования языка Javascript и платформы Node.js привели к формированию крупных проектов, в которые вовлечены большие команды. Без статической типизации поддержка таких систем является крайне затруднительной. Однако внедрение данного вида типизации предоставляет не только некоторые преимущества, но и приносит существенные проблемы, которые рассмотрены и проанализированы в данном исследовании.

### **Ключевые слова**

Статическая типизация, серверные приложения, Javascript, Node.js, Typescript, Flow.

На текущий момент развития платформы Node.js и экосистемы языка Javascript в целом сообщество разработчиков пришло к заключению, что введение статической типизации и объектно-ориентированного подхода необходимо ввиду причин, которые будут рассмотрены далее в статье. Однако существует только небольшой набор исследований, которые раскрывают особенности использования данной парадигмы программирования и в большей мере сосредоточены на представлении инструментов как таковых [1]. Ввиду этого данное исследование направлено на поиск и анализ проблем внедрения статической строгой типизации при создании серверных

приложений на платформе Node.js. Основным подходом исследования является построение идентичных по функциональности приложений на различных технологиях с целью определения возможных преимуществ и недостатков каждого из подходов.

В исследовании ставятся следующие задачи:

- определить особенности различных видов типизации языков в общем виде;
- обозначить проблемы статической серверной типизации платформы Node.js;
- привести преимущества и недостатки использования статической типизации при разработке веб-систем.

Прежде чем рассмотреть преимущества, недостатки и реализацию статической типизации Javascript (далее JS) при разработке приложений на платформе Node.js, необходимо определить общие виды типизации и их особенности. Вид типизированного языка может быть определен исходя из следующих трех категорий типизации: статическая или динамическая; сильная или слабая, которая также известна как строгая или нестрогая; явная или неявная [2]. Ниже следует краткое пояснение особенностей каждой из групп.

Основное отличие статической и динамической типизаций в том, что для первой характерно определение и установка типов всех переменных и аргументов функций на этапе компиляции, тогда как при динамической типы определяются во время исполнения кода программы. Из этого следуют такие преимущества статической типизации, как: единственная проверка типов, которая происходит на шаге компиляции, что позволяет отловить все ошибки связанные с типами до исполнения кода; немного более высокая скорость исполнения в сравнении с динамической типизацией; поддержка при разработке на основе сравнения типов. Также можно выявить преимущества динамической типизации, а именно: нативное создание универсальных коллекций, которые могут хранить различные типы данных; простота создания шаблонных функций, так как это могут быть любые функции.

Языки с сильной типизацией не позволяют объединять в выражениях переменные различных типов, а также не выполняют неявные преобразования. При этом языки со слабой типизацией самостоятельно выполняют неявные преобразования, несмотря на то, может произойти потеря точности или неоднозначное преобразование. Таким образом, можно определить следующие преимущества сильно типизированных языков: надежность, которая проявляется в появлении исключения или ошибки компиляции вместо неявного или неправильного поведения; определенность, появляющаяся в связи с тем, что известны участки кода с преобразованиями типов, ошибки в которых могут быть быстро детектированы. С другой стороны, существуют следующие преимущества слабой типизации: удобство использования выражений с несколькими типами, к примеру, целыми и вещественными числами, а также строками; абстрагирование разработчика от проблем типизации и большая сосредоточенность на решении задачи; более краткая и однородная запись определения переменных в сравнении с сильно-типизированными языками.

Различие явной и неявной типизации следует из названия – языки с явной типизацией требуют явное определение типов переменных и аргументов функций в коде, тогда как при неявной типизации это производится движком, компилирующим или интерпретирующим программу. Могут быть выделены следующие преимущества явной типизации: наличие сигнатуры, определяющей типы аргументов функций, позволяющих быстрее выявлять ее назначение. Преимущества неявной типизации состоят в сокращении записи переменных и аргументов функций, так как указание типов не требуется; при изменении типа переменной или аргумента не требуется создание отдельного метода или шаблонной функции.

Язык JS, который исполняется на платформе Node.js, а также в браузере, является языком с динамической слабой неявной типизацией. Это имеет свои

преимущества, как это было описано выше. Однако с развитием веб-технологий, усложнением клиентских приложений, над которыми могут работать одновременно сотни разработчиков, появлением крупных клиентских фреймворков, которые используют компонентный подход, вписывающийся в парадигму объектно-ориентированного программирования, появилась проблема внедрения статических типов и синтаксически удобного объектного подхода в JS. Вследствие этого получили широкое распространение инструменты внедрения статической типизации в JS, а именно Flow и Typescript (далее TS) [3, 4]. Также требуется упомянуть, что под статической типизацией далее будет подразумеваться статическая строгая явная типизация.

Инструмент Flow является статическим анализатором кода, который проверяет введенные типы на основе аннотаций и тегов, проставленных разработчиком. Это позволяет минимально влиять на структуру JS кода. Язык TS является надмножеством языка, которое компилируется в JS. Таким образом, язык TS в большей степени влияет на изменение кодовой базы проекта, внося значительные изменения в способ разработки приложений. Далее будут рассматриваться проблемы использования статической типизации на TS, а не на Flow, так как:

1. TS имеет больший и более поддерживаемый набор определений типов для библиотек и фреймворков.
2. Flow имеет менее точную документацию относительно TS.
3. Мало документированная работа с модулями у Flow, в отличие от TS, что немаловажно для серверных приложений.
4. TS закрепился в сообществе разработчиков как основной инструмент перехода от динамической типизации к статической в серверном JS.
5. Согласно статистике менеджера пакетов платформы Node.js на момент написания статьи недельное количество скачиваний корневого модуля Flow составляло 600 тысяч, тогда как TS – 10 миллионов.

Тем не менее, необходимо отметить, что последующие проблемы использования статической типизации в серверных проектах на Node.js справедливы и для Flow.

Несмотря на то, что статические типы имеют большое количество положительных аспектов, включение их в Node.js приложения сопряжено с появлением некоторых затруднений, замедляющих и усложняющих разработку.

Первая проблема появляется на начальном этапе, а именно при инициализации проекта. В клиентской разработке на JS несколько лет назад стал стандартом шаг по транспиляции кода в формы, которые могут исполняться браузерами, а также возможно устаревшим браузерами, так как требуется поддержка широкого круга клиентов [5]. Однако на серверной стороне, где код выполняется на заранее известной платформе, любые дополнительные манипуляции с кодом, даже статическая проверка, являются избыточными, так как все фреймворки поддерживаются последними версиями Node.js, а также изменяются согласно нововведениям.

Однако внесение в проект статической типизации заставляет разработчика подключать дополнительные зависимости, писать конфигурационные файлы, а также настраивать автоматизацию проверки типов при изменениях перед запуском приложения, что сказывается на скорости разработки, особенно на начальных этапах. Также в случаях с небольшими проектами и микросервисами, которые являются крупной долей использования Node.js, данная проблема может являться решающим фактором отказа от статической типизации в пользу динамической.

При этом, учитывая тот факт, что увеличивается время развертывания и запуска проекта, существует потенциальная возможность по дальнейшему ускорению разработки, которая отражается в снижении времени на отладку ошибок, появляющихся при неверном использовании типов из собственных модулей.



Использование чистого JS позволяет выявлять данные ошибки только на этапе выполнения, TS в свою очередь представляет информацию о таких ошибках на стадии компиляции. Также стоит учесть и то, что ошибки типов могут возникнуть не только при передаче данных через модули, но и при декларативном подходе, который поддерживает JS. Более того, внедрение TS ведет и к потенциальному снижению количества юнит тестов для типов, необходимых для проверки граничных случаев, приводящих к ошибкам.

Следующей выявленной в ходе сравнения проектов на JS и TS проблемой является увеличение кодовой базы второго языка относительно первого. Для иллюстрации данного утверждения требуется рассмотреть небольшой пример. На рис. 1а представлен код небольшого серверного приложения на JS, отвечающего на корневой запрос необработанным текстом. При этом на рис. 1б показан код такого же приложения, но с использованием статической типизации TS. Как видно из примеров, при начальном введении статической типизации, код небольшой функции или приложения может возрасти на десятки процентов, при этом также снижается читаемость кода в связи с появлением крупных конструкций вокруг незначительных действий. Более того, если придерживаться ООП подхода, который навязывается использованием TS, простое приложение превращается в громоздкую систему.

<pre>const express = require("express"); const app = express();  app.get("/", (req, res) =&gt; {   res.send("Hello world"); });  module.exports = app;</pre>	<pre>import { express, Request, Response } from "express"; const app = express();  app.get("/", (req: Request, res: Response) =&gt; {   res.send("Hello world!"); });  export default app;</pre>
а	б

Рис. 1. Серверное приложение: на JS (а), на TS (б)

Однако могут быть и контраргументы к данной проблеме, которые также требуют иллюстрации. На рис. 2 представлен код JS, в котором требуется проверить соответствие полученных данных и типов, что является прикладной задачей валидации в серверных приложениях. При нативном подходе необходимо использование условных конструкций ветвления, чтобы удостовериться в переданном типе. В противопоставление данному подходу на рис. 3 показан схожий пример определения функции на TS. Как видно из примера, TS позволяет полностью избавиться от ветвления в случаи проверок типов. Дополнительно к данному преимуществу может быть прибавлена и тривиальная документируемость кода, которая достигается только JSDoc документацией у JS, что так же представлено на рис. 2.

Последней, но не менее важной проблемой является импорт типов и подключение зависимостей. Ввиду того, что для функционирования TS требуется подключения файлов для определения типов каждой из зависимостей, общее их количество растет пропорционально количеству требующихся зависимостей, что негативно сказывается на размерах конфигурационных файлов, их читаемости, а также в появлении требования по сохранению согласованности версий подключенной зависимости и ее файлов с типами. Также существенным является то, что отличительной особенностью серверной разработки на JS является использование большого количества библиотек с открытым исходным кодом, и, несмотря на то, что существует обширная база с файлами типов для большого количества таких библиотек, проекты на TS находятся в зависимом положении от данных баз.

```
/**
 * @param {CheckObject} check
 * @param {ItObject} it
 * @param {string} now
 */
function checkArgs(check, it, now) {
  if (check && me && now) {
    if (check instanceof CheckObject) {
      //...
    } else {
      //...
    }
    if (it) { } //...
  }
}
```

Рис. 2. Определение функции на JS

```
function checkArgs(check: CheckObject, it: ItObject, now: string): string {
  return 'No problems';
}
```

Рис. 3. Определение функции на JS

Исходя из выявленных проблем и их контраргументов, могут быть сделаны представленные ниже выводы относительно внедрения статической строгой типизации.

Недостатками введения статической типизации в проекты на платформе Node.js являются:

1. Повышение времени разработки, а также подготовки и запуска приложений.

Следствием использования любых инструментов статической типизации является увеличенная кодовая база в сравнении с динамической типизацией.

Переход от статической типизации к динамической в случае с Flow является тривиальным. Однако переход от TS к JS приводит к существенной реорганизации проекта, которая влечет за собой фундаментальные изменения в разработке.

Вместе с тем могут быть определены следующие преимущества данного подхода:

1. Быстрый поиск ошибок, связанных с типами.
2. Валидация входных параметров функций.
3. Ведение простой, но консистентной документации.

Исходя из проведенного исследования, предлагаются следующие случаи для внедрения статической типизации в проекты на JS:

1. Разрабатывается крупный комплексный проект и вовлечено большое количество разработчиков.

2. Проект имеет высокую модульность.

3. Библиотека или фреймворк предлагает TS. В последнее время появляются фреймворки, которые написаны на TS и предлагают его как основной язык использования, в то время как JS остается как дополнительный язык. В этом случае лучшим решением будет использовать TS, так как разработчики фреймворка могли использовать особенности данного языка с целью упрощения создания приложений.

В число последующих исследований входит изучение влияния перехода к статической типизации на отзывчивость и пропускную способность серверных приложений на платформе Node.js.

### Литература

1. Fenton S. Running TypeScript on a Server // Pro TypeScript. Apress, Berkeley, CA, 2018. P. 195–216.
2. Pierce B.C. Types and programming languages. MIT press. 2002.
3. Документация Flow [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://flow.org/en/docs/> (дата обращения: 15.01.2020).
4. Документация Typescript [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.typescriptlang.org/docs/home.html> (дата обращения: 18.01.2020).
5. Документация Babel [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://babeljs.io/docs/en/> (дата обращения: 23.01.2020).



**Денисов Алексей Константинович**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
аспирант,  
направление подготовки: 09.06.01 – Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: zeanfa@gmail.com



**Быковский Сергей Вячеславович**

Год рождения: 1989  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: bsv.serg@gmail.com

УДК 004.032.26

## **МЕТОД ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИТЕРАТИВНОГО ВАРПИНГА В ЗАДАЧАХ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА**

**А.К. Денисов**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент С.В. Быковский**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

В работе предлагается подход к обучению нейронной сети, используемой для решения задачи восстановления оптического потока, который включает в себя изменение набора данных в процессе обучения (итеративный варпинг). Итеративный варпинг может быть использован для упрощения задачи, решению которой сеть обучается на каждом этапе. Таким образом, данный подход может сократить время обучения, так как процесс обучения сходится быстрее.

### **Ключевые слова**

Компьютерное зрение, оценка движения, оптический поток, нейронная сеть, итеративный варпинг.

### **Обзор литературы по тематике алгоритмов вычисления оптического потока**

Оценка движения является важной частью алгоритмов компьютерного зрения. Результатом оценки движения является поле оптического потока, которое показывает относительное движение между наблюдателем и сценой. Оптический поток используется в робототехнике для обнаружения объектов, отслеживания перемещения и навигации, обнаружения движения и визуальной одометрии [1]. Текущий прогресс в глубоком обучении позволил более эффективно решать задачу оценки движения. В этой работе представлен новый метод глубокого обучения без учителя с итеративным

варпингом для задач оценки движения.

Когда возникла необходимость отслеживать движение на сериях изображений, было предложено много алгоритмов, например, таких как фундаментальные методы итеративной регистрации изображений [2], фреймворк, основанный на регуляризации [3], параметрические алгоритмы и алгоритмы вычисления оптического потока на основе патчей с использованием варпинга или методы комбинаторной оптимизации на основе марковских случайных полей. Но с изобретением сверточных нейронных сетей (CNN) и доступностью мощных GPU алгоритмы вычисления оптического потока обрели второе дыхание. Нейронные сети позволили объединить все сильные стороны методов и значительно увеличили производительность в реальном времени. Теперь, с появлением таких датасетов, как KITTI, Sintel или FlyingChairs, многие работы были посвящены задаче вычисления оптического потока и достигли значительных успехов в решении данной проблемы.

Например, в работе [4] использовано обучение с учителем для получения оптического потока между двумя входными кадрами, где данные сначала сжимаются в первой части, а затем восстанавливаются во второй части сети. Эта сеть была обучена на большом синтезированном наборе данных и требует аннотированных данных.

В работе [5] был представлен подход к обучению без учителя сверточной нейронной сети для вычисления оптического потока между двумя изображениями. В данной работе целевая функция содержит два члена: фотометрический и член для оценки гладкости. Основное отличие представленной работы от данной состоит в использовании варпинга для получения новых входных данных. Мы предполагаем, что этот метод значительно улучшит производительность и скорость сходимости.

В ряде работ используется сеть с LSTM и обучение без учителя для решения задачи вычисления оптического потока. Представленная работа также использует подход с обучением без учителя, но наша сеть является сетью прямого распространения и намного проще для понимания.

Также используются методы на основе выборок, предназначенные для предсказания категории. Они предлагают методы, которые используют многомасштабную сверточную сеть, обученную с помощью первоначальных пикселей, для вычисления плотных векторов признаков, которые кодируют области нескольких размеров с центром в каждом пикселе. Этот метод устраняет необходимость в заранее разработанных признаках и обеспечивает мощное представление, которое захватывает текстуру, форму и контекстную информацию. Однако данные подходы являются достаточно вычислительно сложными

Методы оценки движения продолжают развиваться, и каждый год появляется множество конкурентных методов и наборов данных, улучшающих существующие результаты.

### **Предлагаемый метод обучения сверточной нейронной сети для вычисления оптического потока**

#### **Базовый метод**

В работе предлагается подход к обучению нейронной сети, который включает в себя изменение набора данных в процессе обучения. В качестве основы для экспериментов мы используем метод, описанный в статье [5]. Этот метод использует обучение без учителя нейронной сети, предложенной в [4]. Используемая целевая функция содержит два члена: отвечающий за точность полученного оптического потока (фотометрический) и за его гладкость. Фотометрическая составляющая в обучении с учителем обычно рассчитывается как L<sub>1</sub>-ошибка между полученным потоком и истинным. Если истинное поле оптического потока отсутствует, фотометрическую составляющую можно вычислить как разность между первым входным изображением и

вторым изображением, к которому был применен варпинг. Варинг – это процесс применения поля потока к входному изображению. Например, если у нас есть поле потока, в котором каждый пиксель выражает перемещение каждого пикселя из первого изображения в соответствии с его положением во втором изображении, то, если мы применим это поле потока к первому изображению и если этот поток является идеальным, то мы получим второе изображение.

Выражение для вычисления целевой функции:

$$L(u, v; I(x, y, t), I(x, y, t + 1)) = l_{photometric}(u, v; I(x, y, t), I(x, y, t + 1)) + \lambda l_{smoothness}(u, v),$$

где  $I(x, y, t), I(x, y, t + 1)$  это идущие друг за другом во времени изображения,  $u, v \in \mathbb{R}^{H \times W}$  это горизонтальная и вертикальная составляющие вычисляемого оптического потока, соответственно, а  $\lambda$  это параметр регуляризации, используемый для взвешенной оценки влияния гладкости оптического потока [5].

### Предлагаемый метод

Основной смысл нашей гипотезы описан далее. Во время обычного процесса обучения нейронной сети весовые коэффициенты корректируются итеративным способом. Поскольку сеть работает лучше и лучше, результат улучшается, и ошибка уменьшается. В случае оптического потока это можно выразить, как последовательное приближение первого изображения из пары при применении к нему поля оптического потока ко второму изображению. Проблема в том, что датасет остается неизменным в процессе обучения. Это означает, что на каждой итерации сеть учится решать одну и ту же задачу.

Вместо этого предлагается изменять набор данных в процессе обучения. Это можно сделать, применив варпинг к первому изображению из каждой пары. Пара изображений на входе сети и задача, которую сеть должна учиться решать на каждой итерации, показаны на рис. 1.

Штриховой квадрат изображает объект в первом кадре, а сплошной квадрат - тот же объект в следующем кадре. Стрелка отображает задачу, которую нейронная сеть должна изучать на каждой итерации. Итерации идут от первой  $t_0$  до последней  $t_f$ . Последней итерацией, показанной на рис. 1, является  $t_{f-1}$ . При  $t_f$  объекты на обоих изображениях должны находиться в одинаковых позициях, как и квадраты.

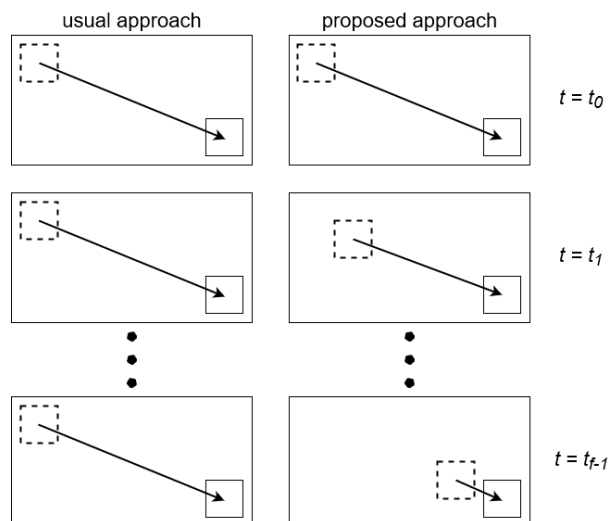


Рис. 1. Задача, решению которой нейронная сеть обучается на каждой итерации

Видно, что длина вектора, который представляет задачу, решаемую сетью, уменьшается на каждой итерации. Предполагается, что это улучшение может повысить точность работы сети и сократить время обучения.

### Результаты

Рис. 2 показывает, как изображение после варпинга и оптический поток изменяются во время обучения. Используемые изображения взяты из датасета KITTI2012. Поле оптического потока становится более плотным, а объекты приближаются к своим позициям на следующем кадре.

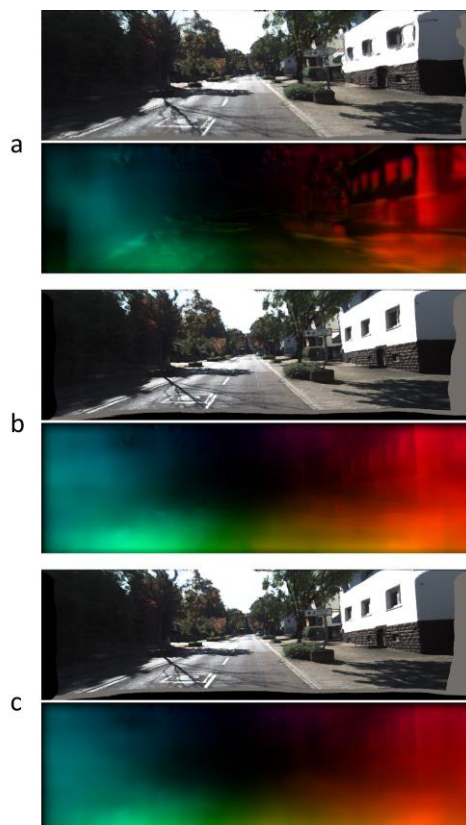


Рис. 2. Визуализация процесса обучения: а) после 10000 итераций, б) после 50000 итераций, с) после 100000 итераций

Процесс обучения показан на рис. 3. После определенного количества итераций датасет изменяется и обучение продолжается.

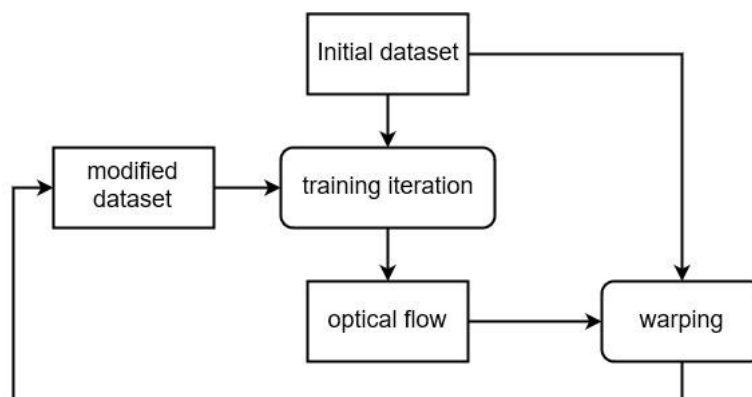


Рис. 3. Процесс обучения в предлагаемом методе

Одним из вопросов является то, каким образом веса должны изменяться в таком случае. Существует несколько способов. Первый, который сейчас используется, – это сохранение весов после изменения набора данных. В этом случае в конце обучения мы получаем окончательные веса для будущего использования. Другой способ – инициализировать веса каждый раз, когда изменяется датасет. Затем наступает задача агрегирования весов. Поскольку невозможно хранить большое количество наборов, их необходимо изменять в процессе обучения. Ниже перечислены возможные способы:

- начальная инициализация, затем на каждой итерации используются веса с предыдущей итерации;
- инициализация на каждой итерации, агрегация большого массива весов;
- инициализация на каждой итерации, плюс на вход сети подается оптический поток – результат работы сети предыдущей итерации;
- использование Байесовского подхода, представление весов как распределений, уточнение этих распределений после каждой итерации.

На текущем этапе работы был использован первый способ агрегации весов. Проведенное тестирование показывает, что он не является актуальным, так как получаемый в конце обучения набор весов демонстрирует неудовлетворительные результаты по качеству получаемого поля оптического потока.

### **Заключение**

Таким образом, данная работа направлена на внедрение нового метода обучения нейронной сети. Этот метод может сократить время обучения, так как процесс обучения сходится быстрее. Итеративный варпинг может быть использован для упрощения задачи, решению которой сеть обучается на каждом этапе. Используемый способ агрегации весов не дает удовлетворительных результатов, поэтому были перечислены возможные способы, которые предполагается проверить в ходе дальнейшей работы.

### **Литература**

1. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. London: Springer-Verlag, 2011. 812 p.
2. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application in stereo vision // Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-81). 1981. P. 674–679.
3. Horn B.K.P., Schunck B.G. Determining optical flow // Artificial Intelligence. 1981. V. 17. P. 185–203.
4. Dosovitskiy A., Fischer P., Ilg E., Hausser P., Hazirbas C., Golkov V., van der Smagt P., Cremers D., and Brox T. FlowNet: Learning optical flow with convolutional networks // Proceedings of ICCV. 2015. P. 2758–2766.
5. Yu J.J., Harley A.W., Derpanis K.G. Back to Basics: Unsupervised Learning of Optical Flow via Brightness Constancy and Motion Smoothness // ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science. 2016. V. 9915. P. 3–10.





**Добрынин Вячеслав Юрьевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления  
и робототехники,  
студент группы №R41051с  
направление подготовки: 15.04.04 – Автоматизация  
технологических процессов и производств,  
e-mail: [w.v.dobr@gmail.com](mailto:w.v.dobr@gmail.com)



**Сисюков Артем Николаевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления  
и робототехники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: [artem.bz@gmail.com](mailto:artem.bz@gmail.com)

УДК 004.04

## **ПРИМЕНЕНИЕ УСКОРЕНИЯ НА GPGPU ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**В.Ю. Добрынин**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Н. Сисюков**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Исследование и применение методик обработки промышленных данных».

### **Аннотация**

В работе рассмотрен набор библиотек RAPIDS от компании NVIDIA, позволяющий ускорять процесс анализа и обработки данных, в том числе промышленных, за счет выполнения вычислений на графических процессорах. Проведен эксперимент, показывающий преимущество данной технологии перед классическими решениями. Эксперимент проводился с применением стенда на базе процессоров NVIDIA GP102.

### **Ключевые слова**

Промышленные данные, обработка данных, RAPIDS, графические процессоры, ускорение на GPU.

Современная промышленность характеризуется использованием высокотехнологичного оборудования и передового программного обеспечения (ПО). Оборудование снабжено большим количеством датчиков, которые собирают различного рода информацию, а ПО работает с данными, а также генерирует их. Вся информация хранится на серверах. В связи с этим, встает задача анализа и обработки данных с целью построения систем оповещения, принятия решений и рекомендательных систем. Также требуется ускорение указанных процессов для увеличения эффективности предлагаемых решений и для получения возможности

работы с большим объемом данных в режиме реального времени. Подход использования графических ускорителей для анализа данных в реальном времени представлен в работе [1].

Компания NVIDIA разработала и предложила набор библиотек RAPIDS, который дает возможность выполнять аналитику и обработку данных исключительно на графических процессорах (graphics processing unit, GPU). Данный подход позволяет ускорять этапы подготовки данных и машинного обучения за счет представления информации в колоночном виде на основе технологии Apache Arrow [2]. Технологии NVIDIA делают возможным объединение нескольких GPU в кластер, что дает значительные преимущества, такие как более высокая скорость обработки, экономия на аппаратной части и на операционных расходах (узел из нескольких GPU ведет себя гораздо более эффективно, чем классический сервер, с точки зрения энергопотребления и тепловыделения).

RAPIDS разработана на основе обширного опыта работы с аппаратным обеспечением и областью науки о данных [3]. Данная технология использует инструмент NVIDIA CUDA для низкоуровневого взаимодействия с аппаратными средствами, что дает возможность выполнять параллельные вычисления, и, с другой стороны, использует язык программирования Python, как интерфейс. На рисунке в общем виде представлено то, как связаны между собой Python, CUDA и GPU для организации эффективной обработки данных и удобства использования.

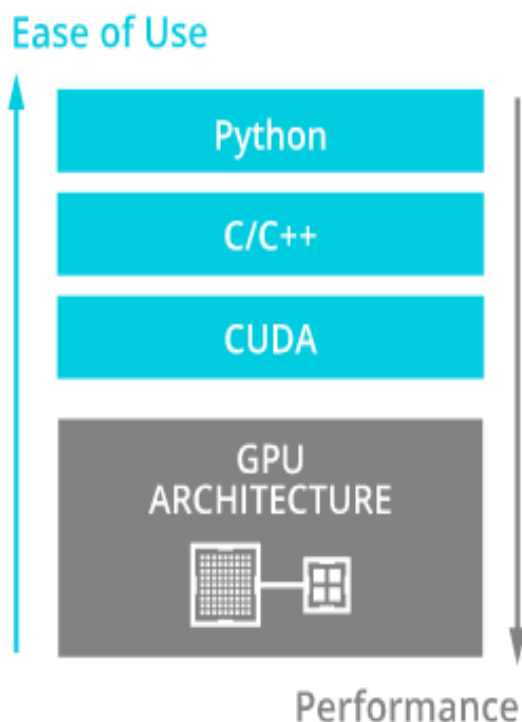


Рисунок. Упрощенное представление взаимосвязи Python, CUDA и GPU

В состав набора RAPIDS входят такие библиотеки, как cuGraph, cuIO, cuDF и cuML. Каждая из этих библиотек имеет свой аналог в классических Python-библиотеках, а, следовательно, имеет практически идентичный синтаксис, чтобы обеспечить пользователю максимально простой и незаметный переход на данную технологию. Преимущество этих библиотек в том, что они позволяют работать с графическими процессорами, а также в них добавлены новые и более быстрые методы работы с данными.

В таб. 1 представлено краткое описание каждой из библиотек.

### Описание библиотек, входящий в набор RAPIDS

Библиотека	Описание
cuGraph	Библиотека для графовой аналитики.
cuIO	Библиотека для загрузки данных.
cuDF	Библиотека для работы с DataFrame.
cuML	Библиотека машинного обучения.

Проведем эксперимент, в котором выполним одинаковую операцию с использованием инструментов из набора RAPIDS и из классической Python-библиотеки, затем сравним результаты. Будем применять к каждому элементу массива определенную функцию, например, умножение на 2.

Для реализации данного эксперимента был реализован скрипт. В качестве команды проверки была использована `assert()`, которая проверяет правильность вычислений. По окончании выполнения каждого эксперимента, не выбрасывалось исключение `AssertionError`, а значит результат верный.

В таб. 2 представлены времена выполнения для одной операции, которая выполнялась с помощью разных инструментов.

Таблица 2

### Результаты эксперимента

Длина массива	Время выполнения, pandas	Время выполнения, cuDF	Отношение времен выполнения ( $\text{time}_{\text{pandas}} / \text{time}_{\text{cuDF}}$ )
1e6	0,2422	0,2179	1,1115x
1e7	2,5570	0,2231	11,4612x
1e8	61,8858	0,2956	209,3566x

Из результатов видно, что использование библиотек набора RAPIDS позволяет значительно ускорить процесс выполнения математических операций при работе с большим объемом данных.

В ходе работы была рассмотрена технология для ускорения обработки и анализа данных на графических ускорителях. Рассмотренный эксперимент подтвердил эффективность использования ускорения на GPGPU для простых вычислительных операций, что должно обеспечить существенный прирост при использовании методов машинного обучения. Эксперимент проводился с использованием стенда на основе трех графических ускорителей 1080Ti.

В дальнейшей работе планируется применение статических и вероятностных методов обработки данных технологического назначения с ускорением на GPU.

### Литература

1. Sisyukov A.N., Yulmetova O.S., Kuznecov V.A., «GPU accelerated industrial data analysis in private cloud environment» // Proceedings of the 2019 IEEE Conference. 2019. P. 348–352.
2. Ускорение анализа данных на GPU с RAPIDS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://info.nvidia.com/accelerate-gpu-data-analysis-with-rapids-reg-page.html> (дата обращения: 20.12.2019).
3. Open GPU Data Science | RAPIDS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rapids.ai/> (дата обращения: 08.01.2020).



**Евстафьев Олег Александрович**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
аспирант,  
направление подготовки: 09.06.01 – Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: oaevstafev@itmo.ru



**Шаветов Сергей Васильевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н.,  
e-mail: s.shavetov@itmo.ru

УДК 656.13

**СЛЕЖЕНИЕ ЗА ПОВЕДЕНИЕМ ВОДИТЕЛЯ В ADAS  
С СИСТЕМОЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ**  
**О.А. Евстафьев, С.В. Шаветов**  
**Научный руководитель – к.т.н. С.В. Шаветов**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

Работа посвящена созданию ненавязчивой системы слежения за поведением водителя. Данная система может быть реализована для систем помощи водителю – advanced driver assistance systems (ADAS). Задача состоит в объединение ранних подходов, и позволяющая по определенным параметрам оценивать возраст, психологическое и физическое состояние водителя автомобиля. В результате представлена система ненавязчивого воздействия на водителя транспортного средства на основе его возраста и испытываемых эмоций во время вождения. Синтезированный алгоритм может быть использован для анализа поведения водителя во время управления транспортным средством. Данная система может быть использована для создания полноценной ADAS.

**Ключевые слова**

ADAS, обнаружение объекта Виолы-Джонса, компьютерное зрение, отслеживание цели, обнаружение движущегося объекта, машинное обучение, интеллектуальные автономные транспортные средства.

**Введение**

Настоящая статья посвящена одному из новых и перспективных направлений, которое объединяет технический и технологический комплекс систем, относящихся к

безопасности дорожного движения – системам помощи водителю ADAS (advanced driver-assistance systems). В целом система помощи водителю предназначена для того, чтобы снизить количество жертв и для предотвращения ДТП на дорогах. Чтобы работать непрерывно, ADAS должен уметь воспринимать объекты, знаки, дорожное покрытие и движущиеся предметы, а также принимать решения о том, следует ли предупреждать или принимать последующие меры в ненавязчивом уведомлении водителя [1]. В данной статье рассматривается один из вариантов реализации ADAS на основе технического зрения, предназначенный для распознавания задаваемых элементов внутри видео изображений в реальном времени, а также записей или фотографий. Алгоритмы ADAS могут включать в себя обнаружение пешеходов, обнаружение и отслеживание ТС, распознавание дорожных знаков, обнаружение полосы движения, распознавание номерных знаков, обнаружение препятствий и систему мониторинга водителя [2]. Существует множество алгоритмов для обнаружения, локализации и распознавания объектов из видеопотока в режиме реального времени. Каждый алгоритм имеет свои преимущества и недостатки, однако наиболее популярным на сегодняшний день является алгоритм Виолы-Джонса [3], поскольку этот алгоритм гарантирует высокую точность обнаружения и скорость детектирования, а также широко используется в различных системах автоматизации для процессов обнаружения и идентификации. Для своевременного предотвращения ДТП необходимо не просто обнаружить лицо, но и возраст человека за рулем, с целью недопущения несовершеннолетних лиц к управлению ТС, оценить положение глаз водителя, а также оценить эмоцию, т. е. распознать находится ли водитель в стрессовом состоянии и сохраняет ли он внимание на дороге.

В данной работе была разработана система, объединяющая ранние подходы и позволяющая по определенным параметрам, такими как: возраст, положение головы и эмоции оценивать психологическое и физическое состояние водителя и, в случае негативных оценок, подавать предупреждающий сигнал водителю.

### **Описание реализации алгоритма**

Первый шаг алгоритма – “обнаружить” лицо из видеопотока в режиме реального времени. В данной работе это осуществляется путем использования алгоритма Виолы-Джонса, предназначенного для быстрой идентификации объектов на изображении. Алгоритм можно разбить на ключевые составные части:

1. Признаки Хаара, предназначенные для поиска идентифицируемого объекта.
2. Интегральное представление изображения, необходимое для повышения скорости подсчета признаков Хаара.
3. Адаптивное ускорение (AdaBoost), отсеивающее малоинформативные признаки и создающее сильные классификаторы из множества слабых.

Признак Хаара — это скаляр, который вычисляется через разность сумм пикселей между черной областью и белой. В поставленной задаче по обнаружению лиц признаки задаются через следующие данные внутри изображения: форма, размер и положение.

Чтобы избежать негативного влияния на работу алгоритма разного уровня освещенности, необходимо нормализовать изображение или, иными словами, изображение должно обладать нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Другим, не менее важным условием процедуры Виолы-Джонса, является представление изображения в полутоновом формате, а соотношение его сторон должно быть единичным.

Для оптимизации работы алгоритма Виолы-Джонса применяются интегральное представление изображений [4]. Данный прием широко распространен в других методах, например, в вейвлет-преобразованиях, детекторе SURF (Speeded Up Robust

Features) и др. Интегральное представление предназначено для быстрого расчета суммарной яркости произвольного прямоугольника внутри изображения за один и тот же промежуток времени в независимости от вида прямоугольника в признаках. Поскольку для вычисления одного признака необходимо каждый раз вычислять сумму каждой из областей, то используется интегральное представление изображения. Также применяется подход сканирующего окна (scanning window), который анализирует изображение, после чего применяется классификатор к каждой позиции сканирующего окна. Процесс обучения и выбора более существенных признаков автономен и не нуждается во вмешательстве извне, вследствие чего такая система имеет высокую скорость обработки. Данный подход для поиска и обнаружения лиц также способствует распознаванию характерных черт и выражений лица.

AdaBoost – это один из основных методов машинного обучения [4], реализованный путем создания высокоточных правил предсказания с помощью комбинации относительно слабых неточных правил. Одна из главных целей адаптивного ускорения – построение сильного классификатора с помощью слабых. Слабым классификатором в данной работе является использование признаков Хаара, а сильным – объединение слабых классификаторов, наилучшим образом определяющих лицо на изображении. Полученный сильный классификатор из большого набора слабых с большей вероятностью определяет лица, не используя все признаки, что существенно сокращает время вычислений. Такой процесс образует так называемый, *каскад классификаторов* – это дерево принятия решений, которое зависит от отклонения «необъектных» областей, в которых есть значения целевой функции и условия перехода (к примеру, если на лице есть улыбка), которые определяют по какому из ребер проходить.

Для обучения выбранного каскада сначала определяется количество этапов применительно к изображению из обучающего набора. Затем вводится показатель уровня ошибок для всех этапов через переменные *detection (обнаружение)* и *false positive rates (ложноположительные обнаружения)*. После чего добавляются признаки для увеличения показателя *detection* и уменьшения *false positive rates* до заданных уровней. В результате получим натренированные классификаторы для каждой черты лица, сопоставимой с определенной эмоцией. Обучение классификаторов занимает определенное продолжительное время, но сам процесс обнаружения лица выполняется за малый срок.

### Результаты работы

Алгоритм Виолы-Джонса реализован в среде Matlab с использованием библиотек и инструментов, аналогичных популярной открытой библиотеке OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*), таких как Image Processing Toolbox, Image Acquisition Toolbox, Computer Vision Toolbox, Deep Learning Toolbox. Реализация осуществлялась с использованием технических характеристик ноутбука, т. е. вычислительная мощность, камера и динамик.

На основе алгоритма Виолы-Джонса, включающего себя применение признаков Хаара и метода машинного обучения AdaBoost, происходит оценка возраста водителя с целью недопущения несовершеннолетних лиц к управлению автотранспортом. Алгоритм работает и распознает черты лица под небольшим углом, а при угле наклона более 30 градусов процент обнаружений резко падает. Благодаря этой особенности алгоритм определяет положение головы и предупреждает водителя в случае длительного отсутствия обнаружения. Затем происходит оценка возраста и распознавание эмоций водителя таких, как: «злость», «отвращение», «страх», «счастье», «грусть», «удивление», «нейтральная». Помимо состояния алгоритм также оценивает время, которое данная эмоция испытывается водителем и в случае, если

водитель испытывает негативные эмоции на протяжении длительного времени, система подаст предупреждающий звуковой сигнал.

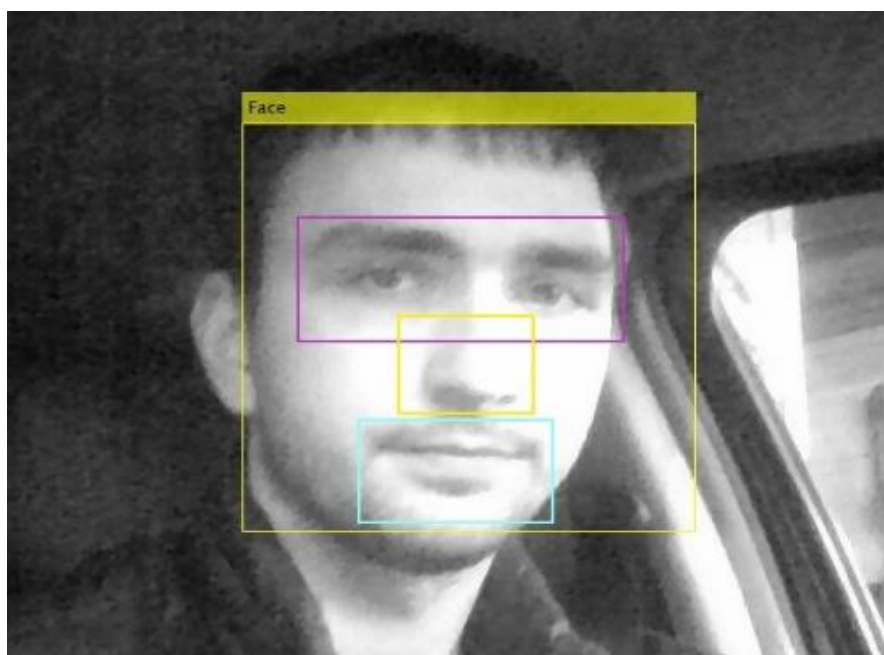


Рис. 1. Алгоритм распознавания лиц

Как показано на рис. 1, собственные особенности лица обнаруживаются путем применения собственных классификаторов и выделяются границами bbox (от англ. Bounded Box). Следовательно, из этого фиксируется собственная характеристика глаз, носа и рта для выполнения задачи отслеживания лица. Всякий раз, когда лицо будет в движении, рамка bbox будет выделять черты лица в режиме реального времени при использовании потокового видео.

Краткие результаты работы алгоритма по оценке эмоций водителя представлен в таблице, стоит отметить, что в данном случае анализ производительности выполнен при нормальном освещении и без окклюзий.

Таблица

#### Анализ производительности для разных эмоций

Эмоция	Точность, %	Время, с
Злость	93	0.675
Отвращение	90	0.704
Страх	88	0.597
Счастье	95	0.485
Нейтральная	98	0.422
Грусть	89	0.603
Удивление	94	0.535

Было выявлено, что в условиях недостаточного освещения и большого слияния с фоном искомым объектов, а также мешающего зашумления и помех на изображении, модуль работает медленнее, чем с нормальными изображениями, наравне со стандартным алгоритмом Виолы-Джонса. В условиях плохой видимости объекта (смешение с фоном) модуль справляется с распознаванием лучше за счет

использования предложенного механизма предварительной обработки изображения. На рис. 2, представлен результат работы всего алгоритма определения эмоций и возраста в автомобиле, где А – удивление, В – нейтральный, С – грусть, D – злость.



Рис. 2. Результаты работы алгоритма

При анализе работы разработанного алгоритма было выявлено, что при использовании водителем очков падает достоверность определения эмоций. Данная проблема для очков с прозрачными линзами может быть решена с помощью модификации [5], однако для очков с темными линзами вопрос остается открытым.

В результате работы была разработана ненавязчивая система контроля за состоянием водителя, которая может быть использована в системах ADAS. В дальнейшем планируется улучшение работы алгоритма с помощью использования обучающей нейросети, что, предположительно, должно привести к увеличению скорости работы алгоритма и улучшить работу уже реализованных функций.

### Литература

1. Meiyuan Zhao, Advanced Driver Assistant System - Threats, Requirements, Security Solutions // Intel Technical white paper. 2015.P. 1-36.
2. Sowmya Shree B. V. and Karthikeyan A. Computer Vision based Advanced Driver Assistance System Algorithms with Optimization Techniques-A Review // Proc. 2nd Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2018, Iccca. 2018. P. 821–829.
3. Mohsen Abdul Hossen A., Abd Alsaheb Oglia R., Mahmood Ali M. Face Detection by Using OpenCV's Viola-Jones Algorithm based on coding eyes// Iraqi J. Sci. 2017. T. 58. № 2A. P. 735–745.
4. Candra Kirana K., Wibawanto S., Wahyu Herwanto H. Facial Emotion Recognition Based on Viola-Jones Algorithm in the Learning Environment // Proceedings – 2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication: Creative Technology for Human Life, iSemantic 2018. 2018. P. 406–410.
5. Li W.C., Ou W.L., Fan C.P., Huang C.H., & Shie Y.S. Near-infrared-ray and side-view video based drowsy driver detection system: Whether or not wearing glasses // 2016 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, APCCAS 2016. 2017. Vol. 2. P. 429–432.





**Завитаев Александр Сергеевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R3430,  
направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления  
движением и навигация,  
Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
e-mail: zav.al98@mail.ru



**Тихонов Даниил Алексеевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R41302,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления  
движением и навигация,  
e-mail: tikhonov.daniil@mail.ru



**Воронов Александр Сергеевич**  
Концерн «ЦНИИ Электроприбор»,  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н.,  
e-mail: al.s.voronov@yandex.ru

УДК 681.78

## **АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОРПУСА ОСПВ-И** **А.С. Завитаев, А.С. Воронов, Д.А. Тихонов**

### **Аннотация**

В работе рассматриваются варианты повышения собственной частоты корпуса прибора оптической системы посадки вертолёта. Изменение частоты достигнуто за счет увеличения жесткости корпуса прибора. С целью проверки предложенных решений проведен конечно-элементный анализ.

### **Ключевые слова**

Оптическая система посадки, резонансная частота, конечно-элементный анализ, анализ на собственные частоты, ProEngineer.

Оптическая система посадки вертолета (ОСПВ) – система, предназначенная для выдачи непрерывной визуальной информации при посадке вертолетов на палубы судов различного назначения, например научно-исследовательских судах «Академик Крылов» и «Иван Крузенштерн» [1].

В настоящее время ведутся работы по созданию опытного образца ОСПВ, учитывая уже имеющиеся аналоги [2, 3]. В ходе разработки проведены испытания на вибростенде, в результате которых обнаружена резонансная частота 60 Гц,

локализованная в корпусе прибора. В связи с требованиями Российского Морского регистра судоходства наличие резонанса на данной частоте недопустимо [4].

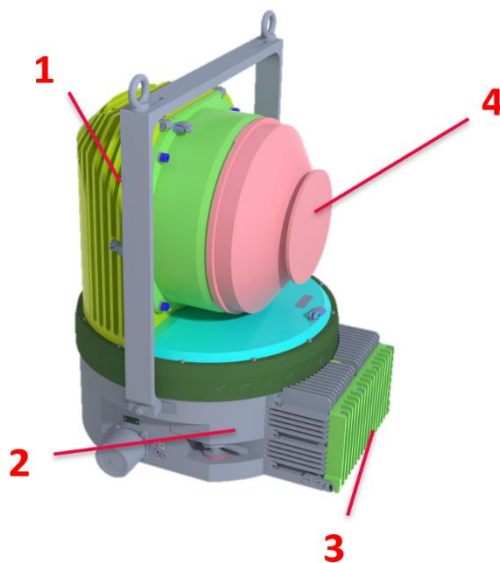


Рис. 1. Принципиальная схема

Основными элементами прибора ОСПВ являются:

1. Радиатор, служащий для отвода тепла и защиты от попадания влаги на огни.
2. Корпус, используемый для установки приводов и системы контроля температуры и влажности внутри прибора.
3. Блок с платами, предназначенный для установки электронных средств контроля системы.
4. Колпак, защищающий главную линзу прибора при транспортировке (рис. 1.)

Целью данной работы является повышение собственной частоты корпуса прибора выше 60 Гц с сохранением его массогабаритных характеристик. Не допускается превышения массы выше 1,6 кг.

Для проведения анализа на собственные частоты в САПР системе ProEngineer построена упрощенная модель корпуса. Из нее исключены фаски, скругления, крепежные элементы, так как их удаление не снижает точность расчетов.

Полученная в результате моделирования первая резонансная частота составила 63 Гц. Отличие от результатов испытаний составляет 5%, что позволяет говорить об адекватности модели.

Рассмотрено несколько способов повышения собственной частоты, в частности применение различных материалов (таких как алюминиевый сплав АМг6 ГОСТ 4784-97, нержавеющая сталь 14Х17Н2 ГОСТ 5632-72, титановый сплав ВТ20 ГОСТ 19807-91), а так же внесение конструктивных изменений (рис. а, в). Результаты анализа приведены в таблице. Конструктивные изменения выделены красным цветом на рис. 2б-2г.

Из таблица следует, что дополнительные ребра жесткости дают наибольший выигрыш по собственной частоте – 16 Гц (21%), что позволяет достигнуть требуемой цели. Масса корпуса при применении этого решения увеличивается до 1,5 кг при условии применения алюминия, из чего следует, что требование по сохранению массогабаритных характеристик выполнено. Между тем использование стали и титана не представляется возможным, так как там эти требования не выполняются.

**Конструктивные решения**

Конструктивные изменения	Материал/масса	Собственная частота, Гц	Рис. №
Без конструктивных изменений	Алюминиевый сплав/ 1.4 кг	63	2а
	Нержавеющая сталь/ 4 кг	121	
	Титановый сплав/ 2.3 кг	93	
Удлинение области крепления	Алюминиевый сплав/ 1.4 кг	68	2б
	Нержавеющая сталь/ 4.1 кг	131	
	Титановый сплав/ 2.4 кг	101	
Добавление "ободка"	Алюминиевый сплав/ 1.4 кг	65	2в
	Нержавеющая сталь/ 4.1 кг	124	
	Титановый сплав/ 2.4 кг	96	
Дополнительные ребра жесткости	Алюминиевый сплав/ 1.5 кг	79	2г
	Нержавеющая сталь/ 4.3 кг	152	
	Титановый сплав/ 2.5 кг	117	

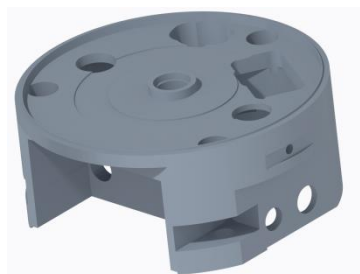


Рис. 2а. Без изменений

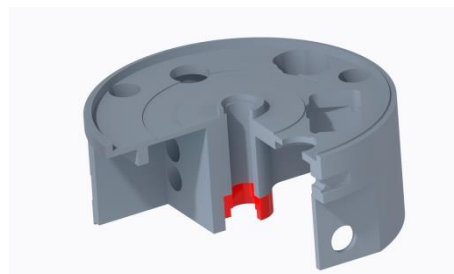


Рис. 2б. Удлинение области крепления

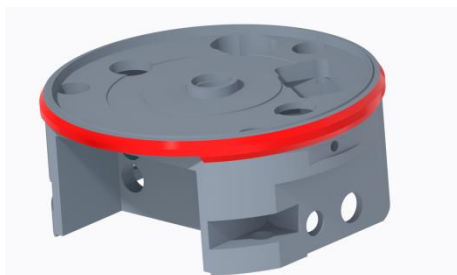


Рис. 2в. Добавление "ободка"

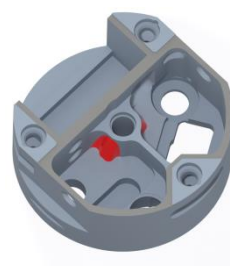


Рис. 2г. Дополнительные ребра жесткости

В результате работы построена конечно-элементная модель корпуса ОСПВ. Установлено, что использование дополнительных ребер жесткости является

наилучшим вариантом, который дает выигрыш в собственной частоте на 16 Гц (21 %).  
Дальнейшая работа будет направлена на облегчение элементов прибора

### Литература

1. Академик Крылов (судно) [Электронный ресурс] // Wikipedia Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Океанографические\\_исследовательские\\_суда\\_проекта\\_852#«Академик\\_Крылов»](https://ru.wikipedia.org/wiki/Океанографические_исследовательские_суда_проекта_852#«Академик_Крылов») (дата обращения: 22.02.2020).
2. Safecopter System: Helicopter Visual Landing Aid System / Silas Ariane Group. France: Orleans Cedex. 2018.
3. Lighting System Helipads/Heliports / Calzoni General. – Italy: Bologna, Milano 2018.
4. Руководство по освидетельствованию систем управления безопасностью на соответствие требованиям Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ) и судов на соответствие требованиям Международного кодекса по охране судов и портовых средств (МК ОСПС) // Российский морской регистр судоходства. 2018. №2-080101-012. С.26.



**Зименко Ксения Владимировна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R42771,  
направление подготовки: 12.04.01 – Системы  
и технологии цифрового производства,  
e-mail: zksenia@yahoo.com

УДК 67.05

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ К.В. Зименко**

**Научный руководитель – к.т.н, доцент М.Я. Афанасьев**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

Приведено описание предлагаемого алгоритма контроля скорости исполнительного устройства оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Упомянуты требования к разработке, а также преимущества разработанного программного модуля при проведении высокоскоростной обработки.

### **Ключевые слова**

Числовое программное управление, алгоритм, траектория инструмента, контроль скорости, управляющая программа, упреждающий просмотр кадров.

Чтобы обеспечить движение исполнительного устройства при высокопроизводительной обработке на установке с числовым программным управлением (ЧПУ), оборудование должно успешно работать на скоростях, достигающих до 40 м/мин с ускорением, достигающим 2g [1]. Для повышения точности в таких условиях необходимо сочетание высокоточной многоосевой интерполяции, улучшенное позиционирование и сервоуправление скоростью. При этом алгоритмы контроля скорости инструмента также оказывают существенное влияние на эффективность обработки, качество полученных изделий и долговечность режущего инструмента. Таким образом, наличие эффективного алгоритма контроля скорости, подходящего для высокоскоростной обработки необходимо для повышения производительности оборудования с ЧПУ.

В рамках настоящего исследования был разработан алгоритм контроля скорости инструмента для повышения точности обработки, а также соответствующий программный модуль. Были определены следующие требования к разрабатываемому алгоритму:

– учет второй и третьей производной от перемещения: допустимого ускорения и рывка;

– учет последующих кадров для оптимизации скоростей на границе участков. Так как данный алгоритм требователен к вычислительным ресурсам при большом числе участков предпросмотра, требуется возможность менять количество анализируемых кадров;

– учет максимальной линейной и радиальной ошибки траектории, длины участка, осевой скорости<sup>4</sup>

– форма профиля разгона/торможения – S-образная, минимизирующая толчки и вибрации.

Разрабатываемый в рамках выполняемого задания метод контроля скорости состоит из двух алгоритмов:

1. Упреждающий просмотр кадров для определения граничных скоростей между участками.

2. Построение профиля скорости на участке с учетом определенных ранее граничных скоростей.

Во избежание ограничений, которые накладывает алгоритм линейного разгона и торможения, в работе рассматривается применение S-образного профиля скорости. Он гарантирует непрерывное изменение ускорения при управлении значением рывка.

### **Построение профиля скорости на участке**

Расчет скоростей на данном участке траектории производится по следующему алгоритму.

Вначале производится предварительный расчет длины пути инструмента при разгоне и при торможении на основе начальной и конечной скорости разгона/торможения  $V_1$  и  $V_2$ , длина участка на данном этапе пока не учитывается. Здесь проверяется наличие участка с постоянным ускорением. Данный этап расчета является вспомогательным, и необходим для дальнейших расчетов.

Далее рассчитывается максимально достижимая скорость  $V_m$  на участке. Проверяется, сможет ли инструмент разогнаться до заданной подачи  $F$ , и если нет, то какая скорость достижима при учете длины участка  $L$ , начальной и конечной скоростей участка  $V_s$  и  $V_e$  соответственно. Для расчета использован алгоритм дихотомии. Так как длина разгона и торможения является монотонно возрастающей функцией от максимальной скорости, то применение этого метода целесообразно [1].

Суть алгоритма заключается в следующем. Необходимо определить максимальную скорость  $V_m$  на интервале  $[V_l, V_h]$ , где  $V_l = \max(V_s, V_e)$ ,  $V_h = F$  с погрешностью  $E_{\max}$ , которая является максимально допустимой линейной ошибкой траектории. Потенциальная искомая скорость  $V_m$  определяется как среднее между  $V_l$  и  $V_h$ . Далее рассчитывается перемещение инструмента  $L_{ad}$  за разгон от  $V_l$  до  $V_m$  и торможение от  $V_m$  до  $V_l$ . Далее, если  $|L_{ad}-L| < E_{\max}$ , то максимальная скорость найдена. В противном случае проверяются следующие условия:

- если  $L_{ad} > L$ , то искомая скорость лежит в интервале  $[V_l, V_m]$ ;
- если  $L_{ad} < L$ , то искомая скорость в интервале  $[V_m, V_h]$ .

Продолжая процесс половинного деления в выбранных подынтервалах, можно дойти до сколь угодно малого отрезка, содержащего искомую скорость.

Завершающим этапом данного алгоритма является построение профиля скорости на основе полученных данных. Если стартовая скорость меньше максимальной, то имеется участок с разгоном, рассчитываются значения ускорения и скорости для каждого периода интерполяции  $T$ . Если нет, то профиль участка начинается с постоянной скорости. Далее если конечная скорость меньше максимальной, то имеется участок торможения. Если оставшаяся длина пути больше, чем длина пути при торможении, то рассчитывается часть профиля с постоянной

скоростью  $V_m$ . В противном случае идет расчет профиля скорости при торможении. В заключении идет расчет скоростей при торможении от  $V_m$  до  $V_e$ .

На рис. 1 представлен пример построения профиля скорости при следующих входных данных:  $p = [[0, 0], [10, 10], [10, 9]]$ ;  $F = [50, 80]$  мм/с;  $A_m = 500$  мм/с<sup>2</sup>;  $J_m = 5000$  мм/с<sup>3</sup>;  $T = 0,01$  с;  $E_{max} = 0,01$  мм, где  $P$  – траектория инструмента,  $A_m$  и  $J_m$  – максимальное ускорение и рывок, соответственно.

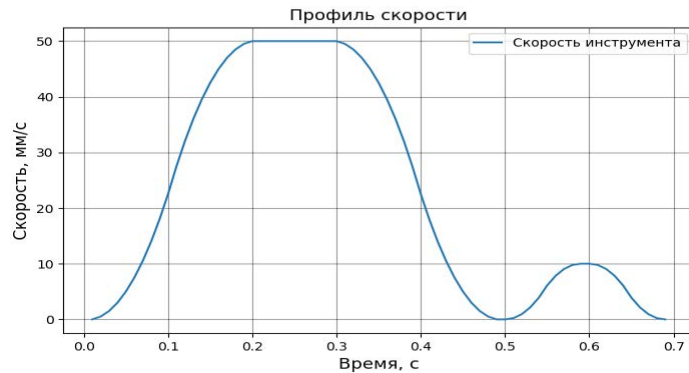


Рис. 1. Профиль скорости с нулевыми граничными скоростями

Очевидно, что для применения данного метода требуется расчет конечной и начальной скоростей участков. Если задать граничные скорости равными 0, между участками будут иметься лишние торможения и разгоны, и средняя скорость обработки снизится, что видно на рис. 1. Для расчета оптимальных значений граничных скоростей необходим алгоритм упреждающего просмотра кадров управляющей программы (УП), который анализирует данные последующих участков траектории, а также учитывает возможные ограничения.

### Упреждающий просмотр кадров

Пусть  $V_{si}$  и  $V_{ei}$  – начальная и конечная скорости  $i$ -ого участка  $l(i)$ . Чтобы обеспечить плавный переход подачи инструмента на границе между участками, конечная скорость сегмента  $l(i)$  должна быть равна начальной скорости сегмента  $l(i+1)$ . Алгоритм упреждающего просмотра заключается в нахождении конечных скоростей  $V_{ei}$  между участками траектории на основе ограничений на осевую скорость, ошибку радиуса окружности (при движении по дуге), а также ограничения на длину участка.

В качестве решения предлагается итеративный алгоритм для нахождения оптимальной переходной скорости в рамках заданного числа последующих сегментов. Так как по результату выполнения будут получены начальная и конечная скорости текущего участка, то алгоритм построения профиля скорости может быть применен в неизменном виде после алгоритма упреждающего просмотра.

Так, при расчете учитывается допустимая осевая скорость, которая является параметром ЧПУ системы, а также ошибка радиуса окружности, которая рассчитывается по формуле (1), где  $R$  – радиус окружности [2].

$$e_R = \frac{F^2 T^2}{8R}. \quad (1)$$

Переходная скорость также ограничена длиной сегмента. Пусть за время движения по участку траектории  $l(i)$  инструмент разгоняется от скорости  $V_{ei-1}$  до  $V_{ei}$ , которая может быть меньше подачи из-за ограничения длиной сегмента. Тогда реальную конечную скорость возможно рассчитать на основе длины сегмента, стартовой  $V_{ei-1}$  и целевой скорости  $V_{ei}$ . Применяется алгоритм дихотомии аналогично

расчету максимально достижимой скорости на участке. Аналогичный расчет применяется, если инструмент на участке  $l(i)$  тормозит от  $V_{ei}$  до  $V_{ei+1}$ .

Однако в таком случае переходная скорость  $V_{ei}$  ограничена не только длиной текущего, но и последующих участков. Ограничение следующими  $N$  участками может быть найдено при итеративном вычислении, начиная от последнего из  $N$  участков, приравняв его конечную скорость к 0.

Очевидно, что тогда требуется расчет  $N-i$  числа раз для получения значения переходной скорости, что может серьезно замедлить расчеты. Для повышения эффективности число участков  $N$  задается не всегда равным числу участков всей траектории.

Был разработан алгоритм для поиска оптимальной конечной скорости с учетом заданного числа кадров предпросмотра. Пусть анализируются сегменты в диапазоне от  $i$  до  $i+N-1$ , переходная скорость предыдущего сегмента  $V_{ei-1}$  известна. Тогда процедура упреждающего просмотра кадров будет состоять из следующих шагов:

1. Определение граничной скорости с учетом начальной скорости и длины участка.
2. Определение граничной скорости с учетом кадров от  $i+N-1$  до  $i$ . На каждой итерации значение скорости сравнивается с полученной на предыдущей итерации и выбирается наименьшее.
3. Сравнение полученных граничных скоростей с максимально допустимой максимальной скоростью. Выбор наименьшего из вариантов.

В результате расчета по данному алгоритму полученная оптимальная переходная скорость равна реальной граничной скорости. Получив ее, можно начинать построение профиля скорости на участке. Входными данными будут: начальная скорость  $V_{ei-1}$ , конечная скорость  $V_{ei}$ , длина участка  $l_i$ , максимальное ускорение  $A_m$  и рывок  $J_m$ , а также период интерполяции  $T$ .

На рис. 2 приведен результат работы модуля со следующими входными данными:  $P = [[0, 0], [10, 10], [10, 9.5], [13, 10], [14, 13], [16, 15]]$ ;  $F = [50, 80, 60, 50, 45]$  мм/с;  $A_m = 500$  мм/с<sup>2</sup>;  $J_m = 5000$  мм/с<sup>3</sup>;  $T = 0,004$  с;  $E_{max} = 0,001$  мм;  $N = 3$ .

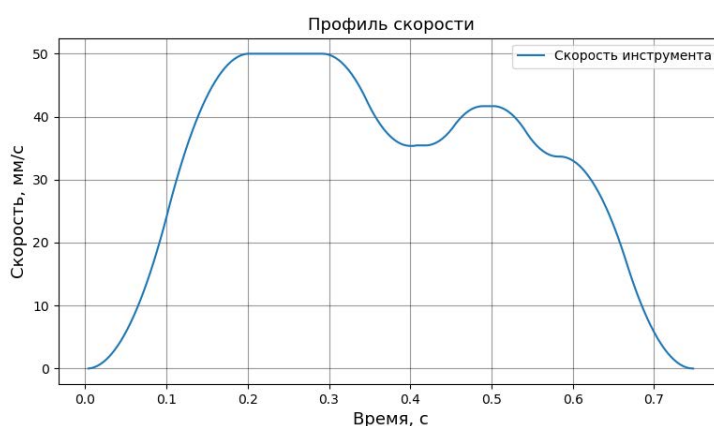


Рис. 2. Профиль скорости инструмента

При реализации упреждающего просмотра кадров встает вопрос определения оптимального числа участков. Очевидно, что чем больше участков будет проверено, тем ближе граничная скорость будет к максимально возможной [3]. Компании-поставщики оборудования с ЧПУ предлагают возможность просматривать до 200-300 кадров вперед. Однако способ выбора числа кадров в конкретной ситуации неизвестен. В общем случае, число участков ограничивается условием проведения расчетов в



реальном времени. В открытых реализациях число кадров на предпросмотре обычно фиксировано и не превышает нескольких десятков.

Были проведены симуляции для выявления зависимости между временем обработки и числом кадров на предпросмотре, на которых видно, что при увеличении числа кадров время обработки уменьшается до определенного предела [4]. При 5 и более кадрах время обработки уменьшается незначительно или остается неизменным. А так как при этом время вычисления продолжает расти, в большинстве случаев нет необходимости в дальнейшем увеличении числа кадров. Однако целесообразно предоставлять возможность изменить число кадров на предпросмотре пользователю, что реализовано в предлагаемом модуле контроля скорости.

В результате выполнения работы получены алгоритмы контроля скорости рабочего органа оборудования с ЧПУ. Полученный модуль обеспечивает генерацию плавного профиля скорости, минимизируя излишние разгоны/торможения исполнительного устройства и значения вибрации, что позволяет получить качественную поверхность при обработке. Были удовлетворены все поставленные требования. На основе описанных алгоритмов разработан программный модуль, рассчитывающий значения скорости и ускорения для каждого периода интерполяции траектории движения инструмента, а также определена оптимальное число кадров при упреждающем просмотре. Применение полученного модуля возможно для любого типа траектории (движение по прямой, дуге, кривой). Получена реализация, приближающаяся по эффективности к проприетарным коммерческим решениям.

### Литература

1. Wang L., Cao J. A look-ahead and adaptive speed control algorithm for high-speed CNC equipment // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. V. 63. P. 705–717.
2. Li H., Lin W.. Motion profile planning for reduced jerk and vibration residuals // SIMTech technical reports. 2007. V. 8. P. 31–37.
3. Jun H. Xiao L.J., Wang Y.H., Wu Z.Y. An optimal feedrate model and solution algorithm for a high-speed machine of small line blocks with look-ahead // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2006. V. 28. P. 930–935.
4. Lee C. Generation of velocity profiles with speed limit of each axis for high-speed machining using look-ahead buffer // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2010. V. 11(2). P. 201–208.

**Кадыков Виктор Юрьевич**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,  
аспирант,

направление подготовки: 05.13.19 – Методы и системы  
защиты информации, информационная безопасность,  
e-mail: pflyers@rambler.ru

**Левина Алла Борисовна**

Год рождения: 1980

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,  
к.ф.-м.н., доцент,

e-mail: alla\_levina@mail.ru

УДК 004.056.55

**ОБОБЩЕННЫЕ ГОМОМОРФНЫЕ ОПЕРАЦИИ  
НАД ШИФРТЕКСТОМ В СИСТЕМАХ ШИФРОВАНИЯ  
НА ОСНОВЕ РЕШЕТОК ИДЕАЛОВ**

**В.Ю. Кадыков**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент А.Б. Левина**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

В 2009 году на основе решеток идеалов была получена система полностью гомоморфного шифрования, что актуализировало обширную область исследования в этом направлении. В работе рассматривается применение решеток идеалов для получения гомоморфных операций над шифртекстом, что может служить методом дополнения гомоморфными операциями в существующих современных системах шифрования.

**Ключевые слова**

Гомоморфное шифрование, решетки идеалов.

Впервые возможность гомоморфного шифрования была представлена в 1978 г. в работе [1]. С тех пор многие системы шифрования обнаруживали у себя гомоморфные свойства. Обширный класс таких систем представлен системами, основанными на свойствах решеток идеалов. Наиболее полное описание гомоморфных свойств решеток идеалов было недавно представлено в 2009 г. в работе [2], где упоминается также возможность получения полностью гомоморфного шифрования на их основе. Многие современные системы шифрования, будучи разработанными лишь для симметричного шифрования, например, NTRU, могут быть дополнены гомоморфными операциями, что делает разработку метода дополнения актуальным направлением для исследования.

В работе представлен анализ систем шифрования на основе некоторого элемента, описывающего базовую структуру примитива решеток идеалов. Преимуществом данного метода является возможность отдельного анализа как

стойкости системы, так и для ее гомоморфной составляющей.

Рассмотрим объединение нескольких идеалов на основе групповых операций. Введем понятие **базового элемента**, который представляет собой продукт объединения (операция  $\oplus$ ) двух идеалов:

$$I = J \oplus K \quad (1)$$

Формирование шифртекста с помощью идеалов основано на предположении о возможности выделения одного из них в дальнейшем, где в качестве одного из способов выделения выступает применение основной теоремы о делении с остатком. Для некоторого числа  $i$  выполняется соотношение:

$$i = jq + k \quad (2)$$

В указанном способе существует два варианта выделения **значащей части**; в первом случае ею выступает делитель, во втором случае – остаток от деления. Символично это описывается с помощью операции взятия по модулю:

$$\begin{aligned} j &= i \bmod q \\ k &= (i - i \bmod q)/q = \lfloor i/q \rfloor \end{aligned} \quad (3)$$

Несмотря на то, что формулы (1) и (2) не устанавливают точного соответствия между базовым элементом и способом взятия значащей части, воспользовавшись свойствами пространства решеток можно вывести следующее. Соотношение (2) задает идеалы как кольца с двумя групповыми операциями. Используя одинаковые строчные/прописные буквы, мы можем отобразить, что элемент  $jq$  принадлежит идеалу  $J$ , а элемент  $k$  принадлежит идеалу  $K$ . В этом случае базовый элемент представляет собой линейную комбинацию идеалов, определяя свою векторную природу. В пространстве решеток векторный базис линейной комбинации представим в виде набора целых чисел. Поэтому каждый идеал может быть сопоставлен с одним из базовых векторов [3]. Продукт объединения двух идеалов выражается через групповые операции над идеалами, поэтому, принимая во внимание то, что в общем случае базовые вектора могут иметь произвольные координаты  $j = (j_1, k_1)$ ,  $k = (j_2, k_2)$ , продукт применения групповой операции над ними будет иметь вид:

$$jq \oplus k = aq + b, \quad (4)$$

где коэффициенты  $a = f(j, q)$  и  $b = f(j, q)$  зависят от композиции групповых операций при объединении идеалов. Выражение (4) изоморфно линейной комбинации базисных векторов с координатами  $(A, 0)$ ,  $(0, B)$ . Поэтому будем предполагать, что значение идеала  $J$  определяется лишь значением  $j$ , а значение идеала  $K$  определяется лишь значением  $k$ . При этом введем понятие **характеристики базового элемента**, значение которого выражает  $q$  в измененной форме записи для (2):

$$I = J \oplus K; jq \in J, k \in K: i = jq + k \in I;$$

Рассмотрим теперь содержание базового элемента. Во-первых, базовый элемент может выражать значащую часть. Принимая во внимание характер операций (3), который заключается в отбрасывании информации, можно допустить, что значащая часть выражается лишь одним из идеалов  $J$  или  $K$ . Для получения стойкости необходима вероятностная система шифрования, так как детерминированная система или система с оператором эквивалентности обладает лишь полиномиальной стойкостью в отношении длины ключа [4]. Исходя из этого, стойкость  $s$  может быть выражена как отношение мощностей множеств до (ниже обозначено со звездочкой) и после (обозначение без звездочки) введения ключевой информации. При этом независимо от конкретного содержания  $J$  и  $K$ , ключевую информацию содержит лишь характеристика базового элемента:

$$s_J = \frac{|I|}{|J^*|} = q; s_K = \frac{|K|}{|K^*|} = 1; \quad (5)$$

И общая стойкость может быть выражена, как:

$$s = \frac{|I|}{|I^*|} = s_J s_K = q \quad (6)$$

Так как операция, объединяющая два базовых элемента, не выражена строго, существует возможность свести ее к гомоморфной операции над идеалами. Несмотря на то, что два класса идеалов в векторном представлении могут дать от двух до четырех элементов координат, с учетом свойств решеток идеалов при объединении базовых элементов (по аналогии с рассуждениями выше) получим линейную комбинацию вида:

$$I = I_1 \oplus I_2 = A \oplus B \oplus C; i \in I: i = aq_1 + bq_2 + c, \quad (7)$$

где переменные  $a, b, c$  определяются композицией групповых операций при объединении базовых элементов, а  $q_1$  и  $q_2$ , соответственно, характеристики базовых элементов  $I_1, I_2$ . При этом каждый элемент линейной комбинации (7) может содержать как значащую часть, так и вероятностную составляющую. Обозначив, соответственно, множества до и после введения ключевой информации получим похожее с (5), (6) соотношение:

$$s = s_A s_B s_C = \frac{|A|}{|A^*|} \frac{|B|}{|B^*|} \frac{|C|}{|C^*|} = q_1 q_2$$

Обобщая построение (7) на неограниченное количество идеалов приходим к следующему выводу.

**Лемма 1.** Если шифртекст сформирован в пространстве решеток с помощью базовых элементов (1) в виде линейной комбинации идеалов, то верхняя граница его стойкости определяется как произведение характеристик базовых элементов, из которых сформирован шифртекст.

Для получения гомоморфного шифрования обычно подразумевают возможность выполнения некоторых операций над шифртекстом, результат которых гомоморфен алгебраическим операциям с открытым текстом. Так как на идеалах заданы групповые операции, то под этим подразумевается выражение гомоморфных алгебраических операций через групповые.

При использовании базовых элементов на идеалах, групповые операции над ними также представляют идеалы. Поэтому операции над шифртекстом не нарушают его структуру, сохраняя возможность расшифрования. Корректность расшифрования выполняется, пока значащая часть не выйдет за пределы множества, размер которого выражается характеристиками базовых элементов, что обосновано характером пространства решеток.

Этот эффект можно описать как накопление шума после каждой операции. Для полностью гомоморфного шифрования необходим способ контроля шума, как, например, операция перешифровки [5]. Из-за наличия вероятностной составляющей, шифртекст никогда не принимает все множество своих значений, поэтому получение уменьшенного шума с помощью только операций модульной арифметики на этом множестве затруднено. Для обозначения этого множества введем обозначение **множества редуцированного шифртекста**.

Лемма 2. Множество редуцированного шифртекста является продуктом гомоморфного шифрования с вероятностной составляющей.

Для того, чтобы показать место редуцированного шифртекста в структуре системы гомоморфного шифрования ниже приведен рисунок со схемой формирования шифртекста.

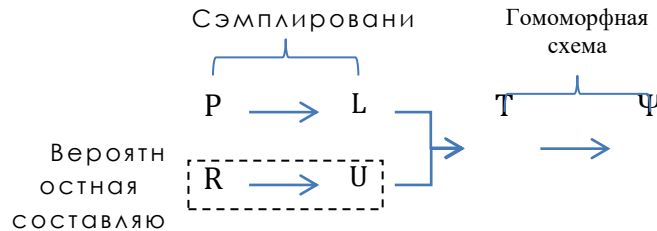


Рисунок. Схема преобразования множеств при формировании шифртекста

Процесс формирования шифртекста можно объяснить с помощью карты отображений (рисунок). Для класса систем на решетках идеалов шифртекст  $\Psi$  формируется за счет открытого текста  $L$  и «шумовой» составляющей  $U$ . В связи с наличием свойства гомоморфности и принадлежности к классу вероятностной системы шифртекст находится в множестве редуцированного шифртекста  $T$ . Наконец, для открытого текста и «шумовой» составляющей производится преобразование (сэмплирование) над выборкой сообщений  $P$  и случайных значений  $R$ , соответственно.

Подводя итоги, можно выделить следующие свойства для систем шифрования на решетках идеалов:

1. Шифртекст состоит из базовых элементов и имеет вид:

$$I = I_1 \oplus I_2 \oplus \dots,$$

где  $I_1, I_2, \dots$  - базовые элементы,  $\oplus$  – операция объединения, представляющая собой композицию групповых операций.

2. Верхняя граница стойкости определяется произведением характеристик базовых элементов:

$$S = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots$$

3. Групповые операции над шифртекстом сохраняют структуру шифртекста, делая возможным гомоморфные операции.

4. После каждой групповой операции над шифртекстами происходит увеличение шумовой составляющей.

### Литература

1. Rivest R.L. et al. On data banks and privacy homomorphisms //Foundations of secure computation. 1978. Т. 4. №. 11. С. 169-180.
2. Gentry C., Boneh D. A fully homomorphic encryption scheme. Stanford: Stanford university. 2009. Т. 20. №. 9. С. 1-209.
3. Hoffstein J. et al. An introduction to mathematical cryptography. New York: Springer, 2008. Т. 1.
4. Boneh D., Lipton R.J. Algorithms for black-box fields and their application to cryptography //Annual International Cryptology Conference. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1996. С. 283-297.
5. Van Dijk M. et al. Fully homomorphic encryption over the integers //Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques. – Springer, Berlin, Heidelberg. 2010. С. 24-43.



**Калинкина Мария Евгеньевна**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
аспирант,  
направление подготовки: 09.06.01– Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: mariia\_kalinkina@mail.ru



**Гришенцев Алексей Юрьевич**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
д.т.н., доцент,  
e-mail: Grishentsev@yandex.ru



**Коробейников Анатолий Григорьевич**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
д.т.н., профессор,  
СПбФ ИЗМИРАН,  
e-mail: Korobeynikov\_A\_G@mail.ru



**Пирожникова Ольга Игоревна**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
к.т.н., ординарный доцент,  
e-mail: cheezecake@mail.ru



**Ткалич Вера Леонидовна**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
д.т.н., профессор,  
e-mail: Vera\_Leonidovna\_Tkalich@mail.ru

УДК 534.1:539.3

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕМБРАННОГО УПРУГОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ТОЧЕЧНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

**М.Е. Калинкина, А.Ю. Гришенцев,  
А.Г. Коробейников, О.И. Пирожникова, В.Л. Ткалич  
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Л. Ткалич**

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках договора №. 05.605.21.0189.

### **Аннотация**

В данной работе, с целью обучения на конкретном примере учащихся, рассмотрена подготовка и компьютерное моделирование процесса влияния сосредоточенного механического воздействия в заданной точке нагружаемого упругого тела. Математической моделью объекта служит неоднородное двумерное волновое уравнение с однородными начальными и граничными условиями. Сосредоточенное воздействие задается при помощи внешней функции содержащую дельта-функцию Дирака. Моделирование проводилось при помощи Maple. Результаты моделирования представлены в графическом виде.

### **Ключевые слова**

Волновое уравнение, дельта-функция Дирака, сила нагружения, принцип Дюамеля, однородная мембрана, компьютерное моделирование, Maple.

### **Введение**

В процессе обучения применения обобщенных функций при решении различных задач у учащихся достаточно часто возникают сложности с пониманием предмета [1, 2]. Поэтому рассмотрение примеров с применением обобщенных функций, в частности дельта-функций Дирака, позволяет убирать такое недопонимание, что несомненно идет на пользу обучающимся [2]. В данной работе рассмотрена подготовка и компьютерное моделирование процесса влияния сосредоточенного механического воздействия в заданной точке нагружаемого упругого тела. Математическая модель такого объекта исследования, содержит дельта-функцию Дирака.

Анализ стационарных и нестационарных колебаний элементов упругих тел, таких как мембраны, формально представляет из-себя решения прямой задачи математической физики, а именно нахождение решений двумерного волнового уравнения [3].

Большой вклад в исследовании стационарных и нестационарных колебаний круглых и прямоугольных мембранных элементов внесён отечественными учеными – Тимошенко, Попов, Андреева и другие [4-6]. Они исследовали решения как прямых, так и обратных задач колебаний мембран при различных режимах нагружения.

В данной работе в качестве объекта исследования выбрана прямоугольная однородная пластина-полоса с закрепленными границами и имеющая пренебрежимо малую жесткость на изгиб [6, 7]. В качестве внешней силы будем брать сосредоточенное воздействие в конкретной точке [8]. Инструментарием для моделирования будет служить система компьютерной алгебры Maple, при помощи которой можно решать задачи из различных предметных областей [12-13].



### Построение аналитического решения

Задачу математического моделирования колебаний однородной мембраны под воздействием внешней известной силы можно ставить и решать посредством разных методов [8, 14]. В данной работе рассматривается следующая постановка.

Рассмотрим идеализированную, имеющую пренебрежимо малую жесткость на изгиб, однородную пластину-полосу в виде прямоугольника со сторонами размером  $l_x \times l_y$  ( $l_x$  – длина по оси  $Ox$ ,  $l_y$  – длина по оси  $Oy$ ) с зажатыми краями. Пусть заданный момент времени  $t_0$  на точку с координатами  $(x_0, y_0)$  воздействует сила интенсивностью  $F$ . Идеализация состоит в концентрации основных свойств мембраны в одном параметре – скорости распространения упругих волн с отсутствием учета их затухания. Требуется определить изменения поверхности мембраны на заданном промежутке времени. Математическая модель объекта в такой постановке представляет из себя неоднородное двумерное волновое уравнение с однородными начальными и граничными условиями.

Дадим формальную постановку задачи. Для этого рассмотрим прямоугольную мембрану, ограниченную прямыми  $x = 0, x = l_x$  и  $y = 0, y = l_y$  (рис. 1).

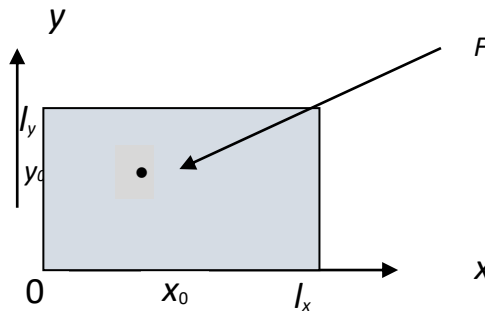


Рис. 1. Схематическое представление прямоугольной мембраны-полосы под действием сосредоточенной нагрузки

Обозначим через  $D$  область  $D = \{(x, y) | 0 \leq x \leq l_x, 0 \leq y \leq l_y\}$ . То есть область  $D$  является плоской областью с границей, которая представляет из себя самонепересекающийся контур. Задача о нестационарных колебаниях мембранного элемента полосы под влиянием сосредоточенного воздействия  $F$  в некоторой точке нагружаемого упругого тела сводится к решению двумерного волнового уравнения:

$$\frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial t^2} - v_{wave}^2 \left( \frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial y^2} \right) = F(x, y, t) \quad (1)$$

при нулевых начальных и граничных условиях:

$$\begin{cases} u(x, y, t)|_{t=0} = 0 \\ u(0, y, t) = u(l_x, y, t) = u(x, 0, t) = u(x, l_y, t) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $(x, y) \in D, t \in 0, \infty$ ;

$u(x, y, t)$  – вертикальное перемещение точек в мембранном элементе-полосе;

$v_{wave}$  – скорость деформационной волны;

$F(x, y, t)$  – внешняя нагрузка, сосредоточенная в точке с координатами  $(x_0, y_0)$ . При данной постановке задачи это можно записать следующим образом:

$$F(x, y, t) = F_0 \cdot \delta(x - x_0, y - y_0, t) = F_0 \cdot \delta(x - x_0) \cdot \delta(y - y_0) \cdot \delta(t - t_0),$$

где  $F_0$  – константа.

Для решения (1) с условиями (2) воспользуемся принципом Дюамеля [15]. Согласно этому принципу, решение неоднородной системы с однородными начальными условиями эквивалентно решению однородной системы с неоднородными начальными условиями. Но именно решение такой системы было получено и исследовано авторами в [16]. Это решение имеет следующий вид:

$$u(x, y, t) = \frac{4F_0}{l_x l_y} \sum_{k_x=1}^{\infty} \sum_{k_y=1}^{\infty} \frac{\sin(\omega_{k_x, k_y} t)}{\omega_{k_x, k_y}} \cdot \sin(\lambda_{k_x} x_0) \sin(\lambda_{k_x} x) \sin(\eta_{k_y} y_0) \sin(\eta_{k_y} y), \quad (3)$$

где  $\omega_{k_x, k_y} = \pi v_{wave} \sqrt{\frac{k_x^2}{l_x^2} + \frac{k_y^2}{l_y^2}}$  – собственная частота колебаний мембраны;

$$\lambda_{k_x} = \frac{\pi k_x}{l_x}, \quad \eta_{k_y} = \frac{\pi k_y}{l_y}.$$

### Результаты моделирования

Компьютерное моделирование было произведено при помощи Maple в мультикластерной системе [9-11], [17-19]. Моделирование динамики состояния поверхности мембраны проведено при следующих исходных данных: скорость распространения деформационной волны  $v_{wave} = 300 \frac{M}{c}$ , длина мембраны по оси  $x$ :  $l_x = 0,5$  мм, по оси  $y$ :  $l_y = 0,6$  мм,  $F_0 = 2$  н,  $(x_0, y_0) = (0,2; 0,34)$  мм.

На рис. 2 представлены состояния поверхности мембраны в момент времени  $t$ , равном: 0; 0,00001; 0,00002; 0,00004; 1,1; 10 с. По оси  $z$  представлены отклонения точек поверхности мембраны от нулевого положения.

### Заключение

В данной работе на конкретном примере рассмотрена подготовка и компьютерное моделирование процесса влияния сосредоточенного механического воздействия в заданной точке нагружаемого упругого тела. В качестве упругого тела выбрана идеализированная прямоугольная однородная пластина-полоса с закрепленными краями и имеющая пренебрежимо малую жесткость на изгиб. Математическая модель объекта представляет из себя однородное двумерное волновое уравнение с неоднородными начальными и однородными граничными условиями. Представлен вывод аналитического решения данной математической модели, представляющую прямую задачу математической физики о расчете влияния сосредоточенного воздействия в заданной точке нагружаемого упругого тела. На базе этого решения представлены в графическом виде результаты моделирования и проанализировано динамическое поведение поверхности мембраны. Необходимо отметить, что отсутствие в процессе моделирования необходимости поиска решения двумерного волнового уравнения, позволяет очень быстро получать результаты. Вследствие этого анализ динамического состояния поверхности мембраны обучающиеся могут проводить за небольшое время.

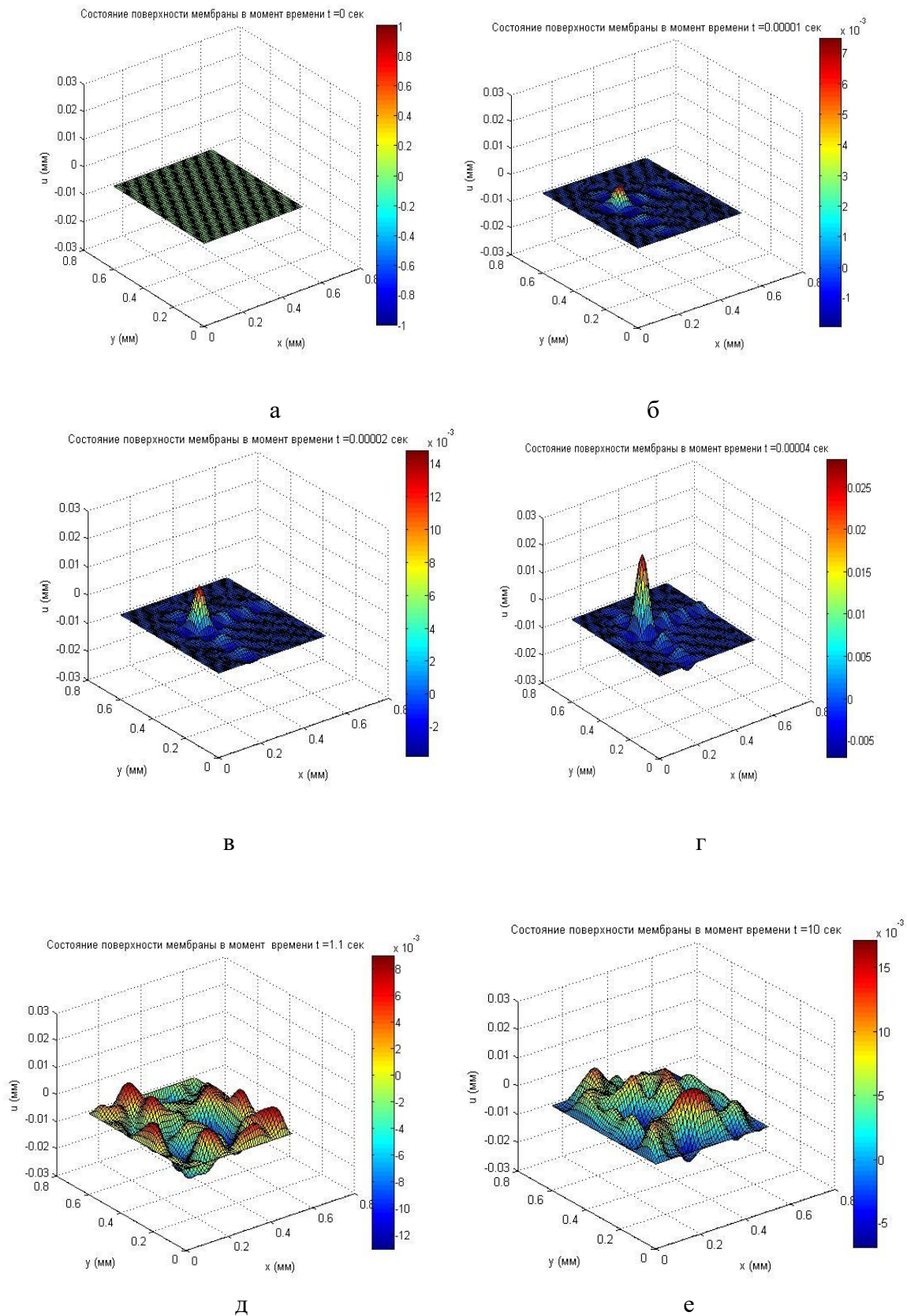


Рис. 2. а–е. Состояние поверхности мембраны в момент времени  $t$ , равном: 0 с (а); 0,00001 с (б); 0,00002 с (в); 0,00004 с (г); 1,1 с (д); 10 с (е)

### Литература

1. Боговский М.Е. Уравнения математической физики. Учебное пособие. Москва. МФТИ. 2019. 106 с.
2. Биджиев Р.Х., Шумилова Е.Ю. Дельта-функция Дирака: элементы теории обобщенных функций//Университетская наука. 2019. № 2 (8). С. 124-127.
3. Троенко С.Ю., Повалев П.П. Разработка методов демпфирования колебаний с помощью точечных стационарных демпферов. Часть 2. Колебания плоской мембраны//Системный администратор. 2018. № 7-8 (188-189). С. 110-115.
4. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле/Пер. с англ. Л. Г. Корнейчука; Под ред. Э. И. Григолюка. М.:Машиностроение. 1985. 472 с.
5. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов. М. Машиностроение. 1981. 455 с.
6. Лукин А.В., Попов И.А., Скубов Д.Ю. Нелинейная динамика и устойчивость элементов микросистемной техники//Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 6. С. 1107–1115.
7. Bouchaala A., Nayfeh A.H., Jaber N., Younis M.I. Mass and position determination in MEMS mass sensors: a theoretical and an experimental investigation//Journal of Micromechanics and Microengineering. 2016. V. 26. P. 105009.
8. Veniamin D. Kubenko, Igor V. Yanchevskiy. Active damping of nonstationary vibrations of a rectangular plate under impulse loading//Journal of Vibration and Control, July 2013, 19(10). pp. 1514-1523.
9. Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю. Разработка и исследование многомерных математических моделей с использованием систем компьютерной алгебры. СПб: НИУ ИТМО, 2014. 100 с.
10. Калинкина М.Е., Коробейников А.Г., Коновалов Н.Ю., Пирожникова О.И., Ткалич В.Л., Шмаков Н. А. Влияние электростатических воздействий и температурного фактора на деформирование чувствительного элемента микромеханических приборов // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 1. С. 78-80.
11. Коробейников А.Г. Проектирование и исследование математических моделей в средах MATLAB и Maple. СПб. СПбГУ ИТМО. 2012. 160 с.
12. Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. Алгоритм поиска, некоторые свойства и применение матриц с комплексными значениями элементов для стеганографии и синтеза широкополосных сигналов//Журнал радиоэлектроники. 2016. № 5. С. 9
13. Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г., Величко Е.Н., Непомнящая Э.К., Розов С.В. Синтез бинарных матриц для формирования сигналов широкополосной связи//Радиотехника. 2015. № 9. С. 51-58.
14. Лабковская Р.Я., Козлов А.С., Пирожникова О.И., Коробейников А.Г. Моделирование динамики чувствительных элементов герконов систем управления//Кибернетика и программирование. 2014. Т. 5. С. 70.
15. Шаньков. В.В. Волновые уравнения и уравнения теплопроводности: В67 учебно-методическое пособие / сост. Шаньков В.В. М. МФТИ. 2017. 44 с.
16. Калинкина М.Е., Коробейников А.Г., Лабковская Р.Я., Пирожникова О.И., Ткалич В.Л., Шмаков Н.А. Анализ параметров интегральных датчиков давления с термостабильным чувствительным элементом // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 1. С. 81-83.
17. Коробейников А.Г., Калинкина М.Е., Ткалич В.Л., Пирожникова О.И., Гришенцев А.Ю. Моделирование состояния поверхности мембраны при точечном воздействии//Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 1. № 1. С. 155–161. doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-155-161.

18. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Своевременность обслуживания в многоуровневых кластерных системах с поэтапным уничтожением просроченных запросов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 2(164). С. 28–35.
19. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Многоэтапное обслуживание запросов, критичных к задержкам ожидания, в многоуровневых системах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 5(111). С. 872–878.



**Ким Полина Сергеевна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы №R3430,  
направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления  
движением и навигация,  
e-mail: polinochka1406@mail.ru



**Воронов Александр Сергеевич**  
Концерн «ЦНИИ Электроприбор»,  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н.,  
e-mail: al.s.voronov@yandex.ru

УДК 681.2-2

## **ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕТАЛИ ПРИБОРОВ НАВИГАЦИИ П.С. Ким, А.С. Воронов**

### **Аннотация**

В работе проведена топологическая оптимизация корпуса навигационного прибора по критерию минимизации его массы при условии сохранения прочности. Приведено сравнение характеристик детали до топологической оптимизации и после нее. Показана эффективность применения такой оптимизации для уменьшения массы.

### **Ключевые слова**

Топологическая оптимизация, навигационные приборы, метод конечных элементов, системы автоматизированного проектирования, аддитивные технологии.

Существуют различные системы автоматизированного проектирования, позволяющие создавать трёхмерные модели и производить расчёт их характеристик методом конечных элементов. У подавляющего большинства таких программ оптимизация конструкции заключается в подборе оптимального значения конструктивных параметров (толщины стенки, диаметра отверстия и др.). Однако, неизменность принципиальной конструктивной идеи, заложенной пользователем, является существенным недостатком такого подхода к оптимизации.

Альтернативным способом подбора желаемых параметров является топологическая оптимизация (ТО). В ходе её выполнения находится наилучшее распределение материала в пределах заданной цели и системы ограничений. Следует отметить, что значительное большинство конструкций, полученных в результате такой оптимизации, возможно воспроизвести только с помощью аддитивных технологий [1, 2].

Целью работы являлась ТО детали прибора для минимизации его массы при сохранении габаритных размеров и прочности конструкции. В качестве примера рассмотрен стальной корпус навигационного прибора, герметично закрытый крышкой и подверженный нагрузке 10 МПа, эквивалентной погружению на глубину около 1000 м. Основные размеры корпуса обозначены на рис. 1. Создание модели прибора, ее расчёт и топологическая оптимизация проводились в программе Creo с использованием модулей Simulate и Topology Optimization.

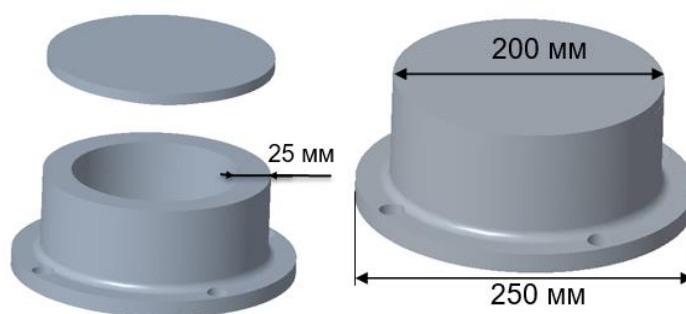


Рис. 1. Модель корпуса прибора и её основные размеры

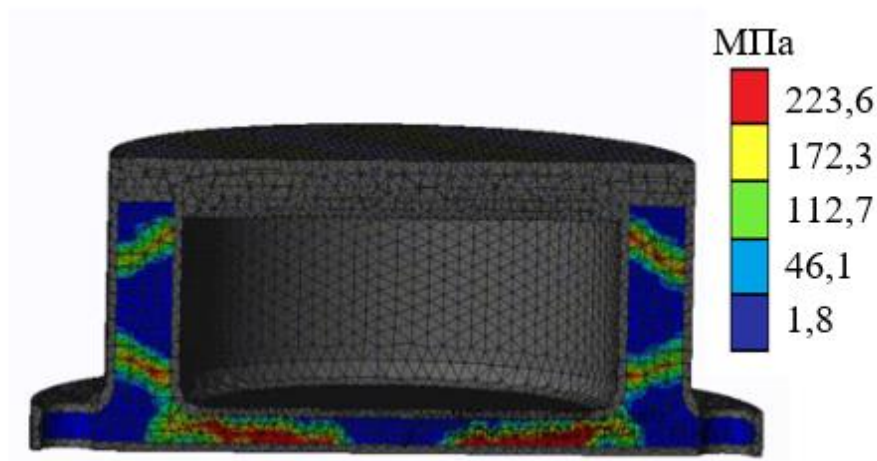


Рис. 2. Изоповерхности напряжения

После расчёта неоптимизированной модели корпус имел следующие характеристики: масса 17,5 кг, максимальное напряжение 223,6 МПа, коэффициент запаса прочности 3,7 ( $\sigma_T = 830$  МПа). На рис. 2 показано распределение напряжений в объеме корпуса.

Подготовка ТО заключается в последовательном выполнении следующих шагов [3]:

1. Создание анализа, содержащего требуемые нагрузки, ограничения и граничные условия.
2. Выбор оптимизируемой области топологии: основание корпуса. Объём, полученный вращением фигуры, изображённой на рис. 3, остался нетронутым, что обеспечило герметичность конструкции и сохранение её габаритных размеров.
3. Определение физических характеристик оптимизации, например, уменьшение массы или увеличение собственной частоты.

4. Выбор конструктивного ограничения.
5. Создание сетки модели.

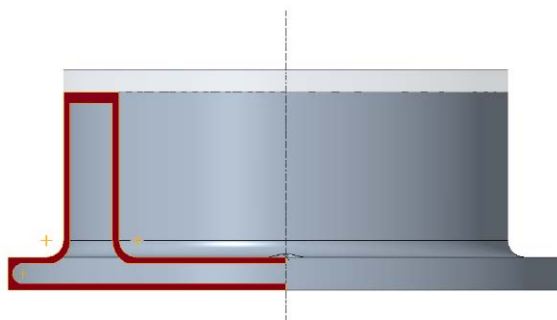


Рис. 3. Сечение объёма, исключённого из оптимизации

В результате работы алгоритма ТО из геометрии были исключены области, несущие незначительные нагрузки. В оптимизированной модели структура внутри стенок имеет рёбра жёсткости, как показано на рис. 4.

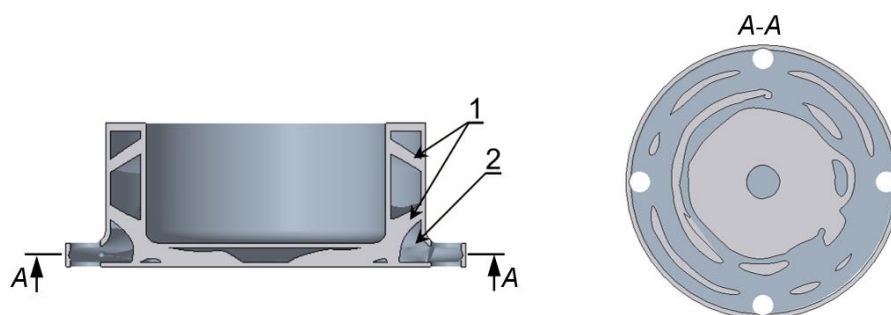


Рис. 4. Сечения модели; 1 – рёбра жёсткости, 2 – воздушные полости

Сравнительная характеристика параметров модели до и после ТО представлена в таблице. После оптимизации масса прибора уменьшилась на 6 кг, что составляет около 35 % от начального значения. Максимальное напряжение незначительно увеличилось, из-за чего коэффициент запаса прочности уменьшился до 3, что допустимо в соответствии с [4]. Введённый параметр N, равный отношению коэффициента запаса прочности к массе конструкции, позволяет качественно оценивать модель. Из таблицы видно, что этот параметр увеличился на 24 % после ТО.

Таблица

**Параметры модели до и после ТО**

Параметры	До ТО	После ТО
Масса, кг	17,5	11,5
Максимальное напряжение, МПа	223,6	276,2
Коэффициент запаса прочности	3,7	3
Параметр N, кг <sup>-1</sup>	0,21	0,26

В результате выполнения ТО корпуса навигационного прибора масса уменьшена до 11,5 кг (на 35 %) при условии сохранения габаритных размеров и обеспечении прочности. В дальнейшем планируется проверка эффективности ТО в случае расчёта на



собственные частоты модели и теплового, а также сравнение экономических затрат на изготовление корпусов.

### Литература

1. Кишов Е.А., Комаров В.А. Топологическая оптимизация силовых конструкций методом выпуклой линеаризации // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 1. С. 1–2.
2. Steven Hale. Topology optimization: what is it for? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ansys.soften.com.ua/about-ansys/blog/362-topological-optimization-what-is-it-for.html> (дата обращения: 16.02.2020).
3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://support.ptc.com/help/creo/creo\\_pma/russian/index.html#page/simulate%2Ftopology\\_optimization%2FAbout\\_Setting\\_Up\\_the\\_Optimization.html%23](https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/russian/index.html#page/simulate%2Ftopology_optimization%2FAbout_Setting_Up_the_Optimization.html%23) (дата обращения: 6.02.2020).
4. ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Общие требования. Введён 01.08.2018. М. Стандартиформ. 2019.



**Климова Елизавета Николаевна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы №R3430,  
направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления  
движением и навигация,  
e-mail: elizaveta55555@mail.ru



**Драницына Елена Викторовна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: dranitsyna\_ev@mail.ru

УДК 555.32

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА КУРСА МНОГОАНТЕННОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ**

**Е.Н. Климова**

**Научный руководитель – к.т.н. Е.В. Драницына**

### **Аннотация**

В данной работе описана модель влияния расположения видимых навигационных спутников на эффективность определения курса двухантенной спутниковой навигационной системой, интегрированной с инерциальной навигационной системой. Интеграция осуществляется с использованием обобщенного фильтра Калмана, использующего измерения первой разности фаз при условии, что разрешена неоднозначность фазовых измерений. Определены параметры положения навигационных спутников, при которых достигается наилучшая наблюдаемость по курсу.

**Ключевые слова.** Задача ориентации, мультиантенная спутниковая навигационная система, инерциальная навигационная система, измерения первой разности фаз, наблюдаемость.

### **Введение**

Еще несколько десятилетий назад человек, идущий по лесу, запросто мог потерять ориентацию на местности и попасть в беду. Появление в широком доступе приемников сигналов GPS и инерциально-навигационных систем (ИНС) на микроэлектромеханических датчиках в корне изменило ситуацию. Любой смартфон в считанные секунды показывает координаты местоположения пользователя на поверхности земли и направление движения.

Пространственную ориентацию объекта можно определить с использованием ИНС, достоинствами которой являются автономность и помехозащищенность, однако ее ошибки имеют нарастающий во времени характер. Спутниковые навигационные системы (СНС) при наличии двух и более разнесенных антенн также позволяют определить ориентацию. Их точность во времени постоянна, однако они становятся бесполезными при наличии помех или пропадании сигнала. Наиболее удачным решением является комплексирование таких систем с использованием фильтра Калмана [1, 2].

На сегодняшний день существует несколько глобальных и региональных СНС, таких как GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и др. При работе по созвездию GPS/ГЛОНАСС в условиях хорошей видимости одновременно наблюдается от 10 до 18 навигационных спутников (НС), в то время как для определения ориентации минимальное созвездие должно состоять из трех НС [3]. Для определения ориентации мультиантенной СНС необходимо решить систему нелинейных уравнений, что требует значительных затрат вычислительной мощности. И при избыточности измерений встает вопрос: сигналы всех ли НС будут одинаково эффективны для решения задачи ориентации? Точность определения ориентации будет зависеть от геометрии выбранного созвездия. Поэтому появляется необходимость выбора созвездия, наиболее подходящего для решения поставленных задач.

Предлагаемая статья посвящена оценке влияния расположения видимых НС на эффективность определения угла курса двухантенной СНС, интегрированной с ИНС. Интеграция осуществляется с использованием обобщенного фильтра Калмана, использующего измерения первой разности фаз. Особенностью данной работы является выработка требований к выбору измерений видимых НС с целью оптимизации вычислительных затрат.

### Интерферометрический принцип решения задачи ориентации

На рис. 1 изображены: вектор антенной базы  $\vec{B}$ , образованный двумя антеннами ( $\vec{b}$  – соответствующий ему орт);  $\vec{s}^i$  – орт, задающий направление на  $i$ -тый НС;  $L_i \Delta \phi_i$  – первая разность фаз  $i$ -того НС в единицах длины;  $\beta_i$  – угол между антенной базой и направлением на  $i$ -тый НС.

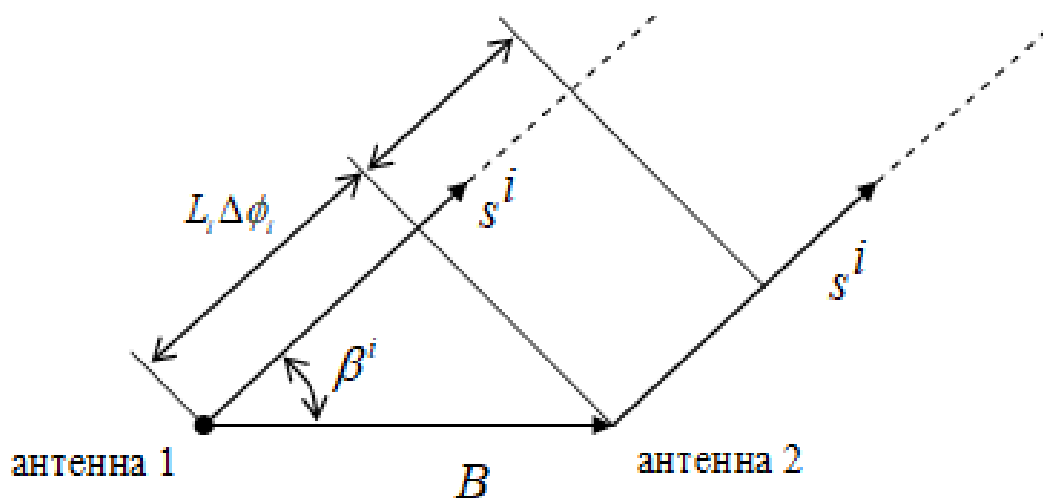


Рис. 1. Интерферометрический принцип решения задачи ориентации в СНС

В единицах длины значение первой разности фаз несет в себе информацию, необходимую для определения ориентации и определяется по формуле [4, 5]:

$$L_i \Delta \varphi_i = |\vec{B}| \cos(\beta_i).$$

С другой стороны,  $\cos(\beta_i)$  определяется как скалярное произведение ортов антенной базы и направлений на спутник:

$$\cos(\beta_i) = (s_n^i)^T b_n = (s_n^i)^T C_b^n b_s,$$

где  $s_n^i = (s_E^i \ s_N^i \ s_U^i)^T$  – орт, задающий направление на  $i$ -ый НС, в осях географического трехгранника и соответствующие ему компоненты;  $b_n = (b_E \ b_N \ b_U)^T$  – орт антенной базы в осях географического трехгранника и соответствующие ему компоненты;  $b_s = (b_{X_S} \ b_{Y_S} \ b_{Z_S})^T$  – орт антенной базы в осях подвижной системы координат;  $C_b^n$  – матрица направляющих косинусов, характеризующая переход от вращающейся с антенной базой системы координат к географической. Матрица несет в себе информацию об углах курса, крена и тангажа ( $K, \psi, \theta$ ).

Таким образом, первая разность фаз (и ее приращение) может быть рассчитана по формуле:

$$L_i \Delta \varphi_i = |\vec{B}| (s_n^i)^T C_b^n b_b. \quad (1)$$

### Разностные измерения

Цель работы заключается в исследовании влияния положения спутников на эффективность определения угла курса.

Рассмотрим линеаризованные разностные измерения первой разности фаз с использованием обобщенного фильтра Калмана [6], которые формируются как разность сформированной по данным ИНС по формуле 1 и измеренной спутниковой аппаратурой первой разности фаз.

$$\tilde{z}_i^{b1} \cong [b_N \cdot s_E^i - b_E \cdot s_N^i] \alpha + [b_H \cdot s_N^i - b_N \cdot s_H^i] \beta + [b_E \cdot s_H^i - b_H \cdot s_E^i] \gamma + \Delta C f_i + v_{zi}, \quad (2)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – погрешности построения географического сопровождающего трехгранника – основные составляющие погрешностей определения углов курса, тангажа и крена;  $\Delta C f_i$  – погрешности, обусловленные остаточной неоднозначностью первых разностей фазовых измерений для НС;  $v_{zi}$  – шумы измерений, включающие, в основном, шумы приемной аппаратуры СНС в измерении фазы несущей, включая погрешности из-за многолучёвости, и флуктуационные погрешности ориентации вектора антенной базы  $\vec{b}$  относительно осей инерциального измерительного модуля (например, из-за влияния вибраций основания).

На формуле 2, приведенной выше, выражение перед углом  $\alpha$  характеризует наблюдаемость по погрешности курса. Видно, что она зависит от положения базы с разнесенными спутниковыми приемниками и направления на спутник, взаимное расположение векторов приведено на рис. 2.

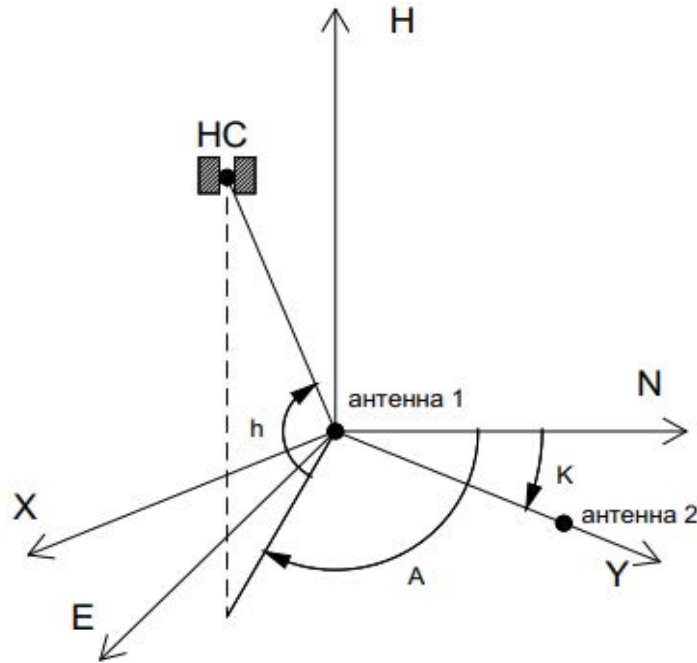


Рис. 2. Положение вектора антенной базы и направления на НС в разных системах координат

### Положение антенной базы и вектора направления на спутник

Антенную базу располагаем вдоль оси  $Y$  прибора, ее ориентация в географических осях будет задаваться углами курса, крена и тангажа. Ориентация направления на спутники – углами высоты и азимута.

Соответствующие матрицы направляющих косинусов, используемые для расчета проекций векторов, представлены ниже формулами 3 и 4.

$$C_b^n = \begin{bmatrix} \cos(K) * \cos(\theta) + \sin(K) * \sin(\varphi) * \sin(\theta) & \sin(K) * \cos(\varphi) & \cos(K) * \sin(\theta) - \sin(K) * \sin(\varphi) * \cos(\theta) \\ -\sin(K) * \cos(\theta) + \cos(K) * \sin(\varphi) * \sin(\theta) & \cos(K) * \cos(\varphi) & -\sin(K) * \sin(\theta) - \cos(K) * \sin(\varphi) * \cos(\theta) \\ -\cos(\varphi) * \sin(\theta) & \sin(\varphi) & \cos(\varphi) * \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (3)$$

где  $C_b^n$  – матрица перехода из связанной с объектом системы координат в географический трехгранник,  $K$  – угол курса,  $\varphi$  – угол крена и  $\theta$  – угол тангажа.

$$C_o^n = \begin{bmatrix} \cos(A) & \sin(A) * \cos(h) & -\sin(A) * \sin(h) \\ -\sin(A) & \cos(A) * \cos(h) & -\cos(A) * \sin(h) \\ 0 & \sin(h) & \cos(h) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $C_o^n$  – матрица перехода из географического трехгранника в систему координат, связанную с направлением на НС;  $h$  – угол высоты;  $A$  – угол азимута.

$$\vec{b}_n = C_b^n \cdot \vec{b}_s = \begin{bmatrix} \sin(K) * \cos(\varphi) \\ \cos(K) * \cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) \end{bmatrix}, \quad \vec{s}_n^i = C_o^n \cdot \vec{s}_s^i = \begin{bmatrix} \sin(A) * \cos(h) \\ \cos(A) * \cos(h) \\ \sin(h) \end{bmatrix}$$

где  $\vec{b}_s = [0 \ 1 \ 0]^T$  – орт антенной базы в системе координат, связанной с объектом, а  $\vec{s}_s^i = [0 \ 1 \ 0]^T$  – орт направления на спутник.

В результате вычисления была получена формула 5, отвечающая за наблюдаемость угла курса. Чем больше значение этого выражения по модулю, тем выше наблюдаемость.

$$b_N \cdot s_E^i - b_E \cdot s_N^i = \cos(\phi) * \cos(h) * \sin(A - K). \quad (5)$$

Для упрощения моделирования полученной зависимости было сделано еще одно допущение:  $\cos(\phi) = 1$ .

### Результаты моделирования

Для оценки эффективности положения НС на точность определения угла курса многоантенной спутниковой системой была написана программа в пакете прикладных программ MATLAB. В программе в зависимости от положения НС, задаваемого углами высоты и азимута, а также угла курса антенной базы, рассчитывалось значение выражения (4).

В результате моделирования был получен график, представленный на рис. 3. Из данного графика можно сделать вывод, что для увеличения наблюдаемости по курсу необходимо выбирать навигационные спутники, направление на которые лежит как можно ниже к плоскости горизонта и как можно ближе к нормали базы.

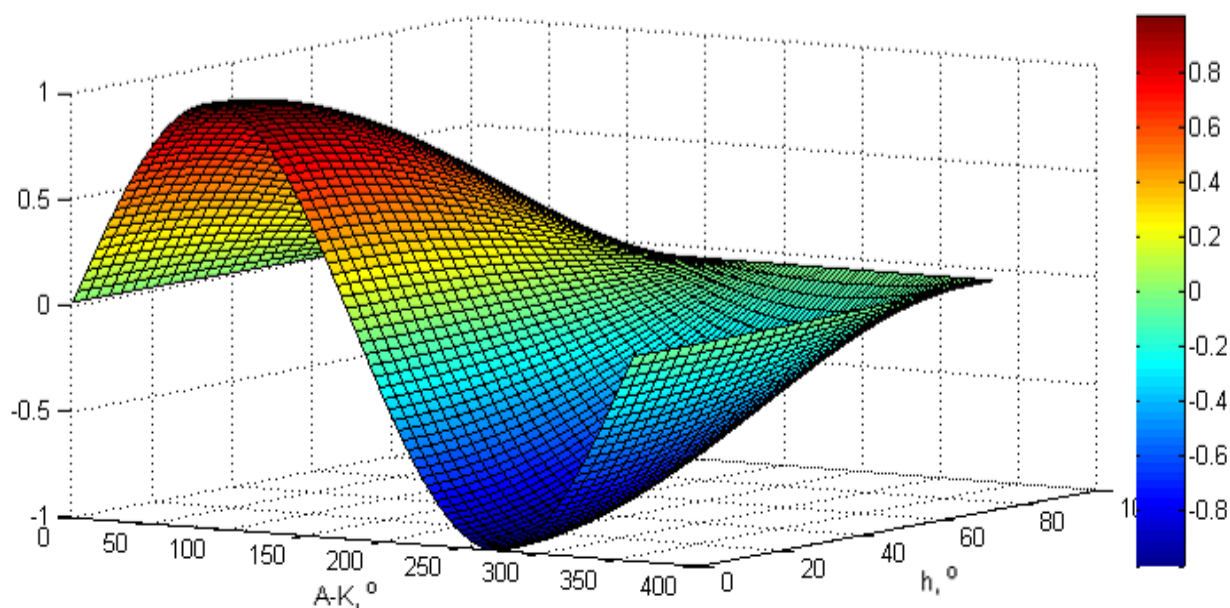


Рис. 3. Наблюдаемость погрешности по курсу

### Заключение

Рассмотрена модель влияния расположения спутников на эффективность определения угла курса спутниковой навигационной системой, интегрированной с инерциальной навигационной системой. Интеграция осуществляется с использованием обобщенного фильтра Калмана, использующего измерения первой разности фаз. Определены параметры положения навигационных спутников, при которых достигается наилучшая наблюдаемость по курсу. Так, для увеличения эффективности необходимо выбирать навигационные спутники, направление на которые лежит как можно ниже к плоскости горизонта и как можно ближе к нормали базы.

Планируется апробирование полученных результатов на реальных данных.

### Литература

1. Ташков С.А., Булочников Д.Ю., Шатовкин Р.Р. Исследование существующих подходов к комплексированию информационных датчиков навигационных систем беспилотных летательных аппаратов // Научный журнал NovaInfo.ru. № 91. 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://novainfo.ru/article/15811> (дата обращения: 18.02.2020).
2. Джепе А., Козлов А.В., Никулин А.А. Задача определения ориентации спутника при помощи разнесенных спутниковых антенн и датчиков угловой скорости // Известия РАН. Теория и системы управления. 2015. № 4. С. 155–159.
3. Тяпкин В.Н., Гарин Е.Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: Монография. Красноярск: Сиб.федер.ун-т. 2012. 260 с.
4. Grewal M.S., Weill L.R., Andrews A.P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration: Second Edition. John Wiley & Sons, 2007. 416 p.
5. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. Петрова А.И., Харисова В.Н. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. Радиотехника. 2010. 800 с.
6. Емельянцева Г.И., Степанов А.П. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации / Под ред. Пешехонова В.Г. СПб. ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон». 2016. 394 с.



**Коничева Анастасия Борисовна**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

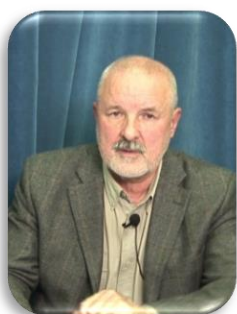
факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R3445,

направление подготовки: 13.03.02 – Электроэнергетика

и электротехника,

e-mail: anastasia.konicheva@gmail.com



**Усольцев Александр Анатольевич**

Год рождения: 1946

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

доцент,

e-mail: uaa@ets.ifmo.ru

УДК 621.313

**АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИНХРОННЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С УЧЕТОМ  
ЗАТРАТ НА ИХ ПРОИЗВОДСТВО**

**А.Б. Коничева**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Усольцев**

Работа выполнена в рамках НИР-ФУНД №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

В работе рассматриваются показатели энергоэффективности короткозамкнутого асинхронного двигателя и синхронного двигателя на постоянных магнитах с учетом энергозатрат на их производство, а также анализируются и приводятся пути компенсации этих затрат в процессе эксплуатации данных электрических машин. Кроме этого, рассмотрены тенденции развития мирового потребления электроэнергии.

**Ключевые слова**

Энергозатраты, энергоэффективность, асинхронный двигатель, синхронный двигатель на постоянных магнитах, компенсация.

Мировое потребление и, соответственно, производство электроэнергии растет с каждым годом. Разрабатываются все новые способы улучшения энергоэффективности электромеханических преобразователей энергии, прежде всего электрических двигателей. Но высокий КПД не всегда соответствует большей энергоэффективности, т.к. энергозатраты на производство электрических машин не всегда компенсируются в процессе их эксплуатации. Рассмотрим этот вопрос, сравнив показатели энергоэффективности короткозамкнутого асинхронного двигателя (АД) и синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ).



Основным преимуществом электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами является более высокий КПД в статическом режиме, обусловленный отсутствием потерь энергии в обмотке ротора и в его сердечнике, а также малым реактивным током статора, связанным с наличием у ротора собственного магнитного поля [1].

Если сравнивать конструкции электродвигателей, то единственным отличием СДПМ от асинхронного короткозамкнутого двигателя является наличие постоянных магнитов на роторе. В большинстве случаев постоянные магниты изготавливаются на основе редкоземельного самария и кобальта. Технология добычи редкоземельных металлов заключается в следующем: извлекая руду с помощью специальной техники, получают от 100 до 500 г/т редкоземельных металлов, из которых примерно 50 г/т приходится на кобальт, содержание в руде самария оценивается примерно в 5...25 г/т.

Следующий этап изготовления постоянных магнитов – обработка извлеченных самария и кобальта. В качестве примера технологического процесса рассмотрим методику компании Philips [2]:

1. Размол полученного сплава до частиц порядка 1-10 мкм производится в вибромельницах. Отмечается, что эту процедуру лучше производить в жидких средах, а не в сухих. Это связано с тем, что магнитные свойства сильно ослабевают на воздухе из-за окисления, а при жидком помоле доступ кислорода ограничен.

2. Далее при обработке в ванне химического никелирования на каждой частице осаждается тонкий слой никеля, служащий для защиты от окисления.

3. Затем частицы помещаются в матрицу, ориентируются и подпрессовываются в магнитном поле напряженностью более 3000 кА/м. Вибрирование матрицы увеличивает остаточную намагниченность на 8 %.

4. После этого заготовка извлекается из матрицы, заклеивается в резиновый контейнер для защиты от попадания жидкости и помещается в камеру для гидростатического прессования, где подвергается сжатию давлением 2000 МПа.

5. После покрытия заготовки фольгой, смоченной ртутью, снова происходит сжатие под небольшим давлением в масле в течение 10 ч.

6. Затем образец вторично помещается в камеру высокого давления, где подвергается гидростатическому обжатию давлением 2000 МПа с одновременным приложением одноосного напряжения сжатия до 3500 МПа.

Из приведенного описания видно, что такая технология отличается большой сложностью и каждый из перечисленных этапов требует больших затрат электроэнергии.

Возвращаясь к вопросу выбора двигателя, обратим внимание на таб. 1 [3], в которой показаны потери для короткозамкнутого асинхронного двигателя и для СДПМ одинаковой мощности. У СДПМ потери мощность меньше, чем у асинхронного двигателя на 1,2 кВт.

Определим, сколько энергии будет сэкономлено синхронным двигателем на постоянных магнитах за время эксплуатации. Из данных таб. 2 [3] следует, что срок службы таких двигателей составляет 1000, 100000 и 200000 часов в зависимости от многих параметров, в первую очередь, таких как мощность и качество изготовления. Следует заметить, что указанные сроки службы не согласуются со сроками службы подшипников, приведённые в той же таблице, но мы можем использовать их для качественной оценки, т. к. нам неизвестны и многие другие величины.

Нетрудно посчитать, что снижение потерь для малого срока службы двигателя составит 1200 кВтч, а для типичного соответствует 120 МВтч.

В рассматриваемом СДПМ масса магнитов составляет 4,2 кг, где 1,4 кг приходится на самарий и 2,8 кг на кобальт. Энергозатраты на процесс извлечения этих металлов из сырья и последующую обработку оценить трудно, но мы можем оценить

энергозатраты на транспортировку руды до обогатительного комбината, расположенного, например, на расстоянии 10 км.

Таблица 1

**Потери энергии и КПД в синхронном двигателе с постоянными магнитами  
 и в асинхронном короткозамкнутым двигателе мощностью 50 кВт**

Потери	Синхронный двигатель на постоянных магнитах	Короткозамкнутый асинхронный двигатель
<u>Потери в обмотках</u>		
Обмотка статора	820 Вт	} 1198 Вт
Обмотка ротора	-	
Успокоительная обмотка	90 Вт	-
Потери из-за поверхностного эффекта в обмотке статора	30 Вт	} 710 Вт
Потери из-за поверхностного эффекта в обмотке ротора	-	
<u>Потери в сердечнике</u>	845 Вт	773 Вт
<u>Потери при вращении</u>		
Из-за трения в подшипниках	295 Вт	} 580 Вт
Из-за сопротивления воздуха	70 Вт	
Общие потери двигателя	2575 Вт	3783 Вт
Общие потери инвертора	537 Вт	1700 Вт
Общие потери привода	3112 Вт	5483 Вт
<u>КПД</u>		
Двигателя	95,1 %	93,0 %
Электрохимической системы привода	94,1 %	90,1%

Таблица 2

**Срок службы электрических машин и элементов их конструкций**

Электрические машины и элементы их конструкций	Коэффициент формы $\beta$			Средняя наработка до отказа, ч		
	Малый срок службы	Средний срок службы	Большой срок службы	Малый срок службы	Средний срок службы	Большой срок службы
Электродвигатели переменного тока	0.5	1.2	3.0	1000	100,000	200,000
Электродвигатели постоянного тока	0.5	1.2	3.0	100	50,000	100,000
Трансформаторы	0.5	1.1	3.0	14,000	200,000	420,000
Электромагнитные клапаны	0.5	1.1	3.0	50,000	75,000	1,000,000
Магнитные муфты	0.8	1.0	1.6	100,000	150,000	333,000
Шариковый подшипник	0.7	1.3	3.5	14,000	40,000	250,000
Роликовый подшипник	0.7	1.3	3.5	9000	50,000	125,000
Подшипник скольжения	0.7	1.0	3.0	10,000	50,000	143,000

продолжение таблицы

Электрические машины и элементы их конструкций	Коэффициент формы $\beta$			Средняя наработка до отказа, ч		
	Малый срок службы	Средний срок службы	Большой срок службы	Малый срок службы	Средний срок службы	Большой срок службы
Соединительные муфты	0.8	2.0	6.0	25,000	75,000	333,000
Зубчатые передачи	0.5	2.0	6.0	33,000	75,000	500,000
Центробежные насосы	0.5	1.2	3.0	1000	35,000	125,000

По нормативному расходу топлива (1 кг ДТ = 10 кВтч) они суммарно составляют 1344 кВтч, где 1120 кВтч на транспортировку 280 т руды для самария, а 224 кВтч на транспортировку 56 т руды для кобальта.

Если вернуться к полной технологии изготовления постоянных магнитов, описанной выше, то нетрудно заметить, что суммарные энергозатраты значительно превосходят выполненную нами оценку затрат на транспортировку сырья.

Следует учесть также, что в энергозатраты необходимо включить износ оборудования, т.е. ту часть энергии, затраченной на изготовления экскаваторов, автомобилей, мельниц и др., которая соответствует времени их эксплуатации в процессе изготовления постоянных магнитов.

С учетом того, что энергозатраты только на транспортировку превышают экономию энергии при эксплуатации двигателей с малым сроком службы можно предположить, что полный энергетический баланс покажет невозможность компенсации энергозатрат и для двигателей со значительно большим сроком.

Обращаясь к процессу производства электроэнергии, являющейся основным или даже единственным источником энергии в современных технологических процессах, отметим, что более 90% её производится в результате сжигания углеводородов (угля, газа и нефти). КПД этого производства не превышает 40%. Значит энергозатраты для технологий, связанных с потреблением электроэнергии, примерно в 2,5 раза больше тех, которые приводятся без учёта эффективности производства энергии.

Необходимо также учитывать и тот факт, что горнопромышленный комплекс – один из крупнейших источников разрушения земель и загрязнения окружающей среды. Кроме того, нефть и уголь – основные виды топлива для производства электроэнергии в мире в целом. Хорошо известно, что добыча и переработка этих ископаемых – большая угроза для экологии. Мировое производство электроэнергии постоянно увеличивается практически за счёт углеводородного сырья, а значит, рассмотренная нами ситуация, когда технические решения по повышению энергоэффективности изделий не окупают затрат энергии на их реализацию, будет только усугубляться.

В данной работе сделана попытка анализа рационального использования энергетических ресурсов при выборе конкретного типа двигателя, в частности синхронного двигателя с постоянными магнитами. Для этого проведено сравнение энергоэффективности СДПМ и короткозамкнутого АД одинаковой мощности. Под энергоэффективностью понимается возможность возврата в процессе эксплуатации двигателя энергии, затраченной на реализацию технического решения, повышающего его КПД. Показано, что энергозатраты на производство магнитов для СДПМ превышают экономию энергии при эксплуатации, несмотря на более высокое значение КПД по сравнению с АД. Решением этой проблемы является увеличение срока службы изделия, а также унификация узлов двигателей для их замены в случае появления новых энергоэффективных конструкций или технологий.

### Литература

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. М.:Энергоатомиздат, 1986. 360 с.
2. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы. / Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Изд. 3-е., перераб. и доп. М. Высшая школа. 1976. 352 с.
3. Gieras J. Permanent magnet motor technology. Design and applications. CRC Press, London/New York. 2010. 603 p.



**Косенков Денис Дмитриевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы №41471,  
направление подготовки: 13.04.02 – Электроинженерия  
e-mail: wdenkosw@yandex.ru



**Усольцев Александр Анатольевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н., доцент

УДК 621.313

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРЬ В СТАЛИ ОТ ШИРИНЫ ПАЗА В АКСИАЛЬНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЕ**

**Д.Д. Косенков, А.А. Усольцев**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Усольцев**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

В работе рассматриваются зависимости распределения магнитного потока в сердечнике статора от ширины пазы и соотношения внешнего и внутреннего радиусов сердечника аксиальной синхронной электрической машины с возбуждением постоянными магнитами, а также потери, связанные с этим распределением.

### **Ключевые слова**

Аксиальная синхронная машина, возбуждение постоянными магнитами, потери, потери в стали, форма пазы статора.

Аксиальная синхронная машина с возбуждением постоянными магнитами является привлекательной альтернативой цилиндрическим радиальным машинам, благодаря её компактной и легко расширяемой конструкции. Эти машины находят применение в электромобилях, насосах, центрифугах, вентиляторах, роботах и промышленных инструментах. В последнее время они также широко используются в сервоприводах [1]. Аксиальные машины, известные также как дисковые, могут быть спроектированы как одно- или двусторонние, так и мультидисковые – многосекционные, что позволяет увеличить мощность за счет увеличения длины, а не радиуса машины, так как максимально допустимый радиус ограничивается прочностью подшипников, жесткостью вала и диска.

При наличии паза в аксиальной машине магнитный поток пазового деления замыкается через меньшую площадь стали сердечника, что увеличивает магнитную индукцию (рис. 1). При этом относительная площадь сердечника уменьшается по мере смещения к оси вращения и возникает неравномерность распределения индукции вдоль радиуса, усиливающаяся с увеличением ширины паза. Более широкий паз позволяет уменьшить магнитный поток рассеяния обмотки, что во многих случаях является необходимым для получения оптимальных характеристик двигателя. Кроме того, относительная ширина паза увеличивается с увеличением числа полюсов машины, а т.к. потери в стали пропорциональны второй степени магнитной индукции [2], то важно знать, до какой степени можно увеличивать паз, не создавая избыточных потерь.

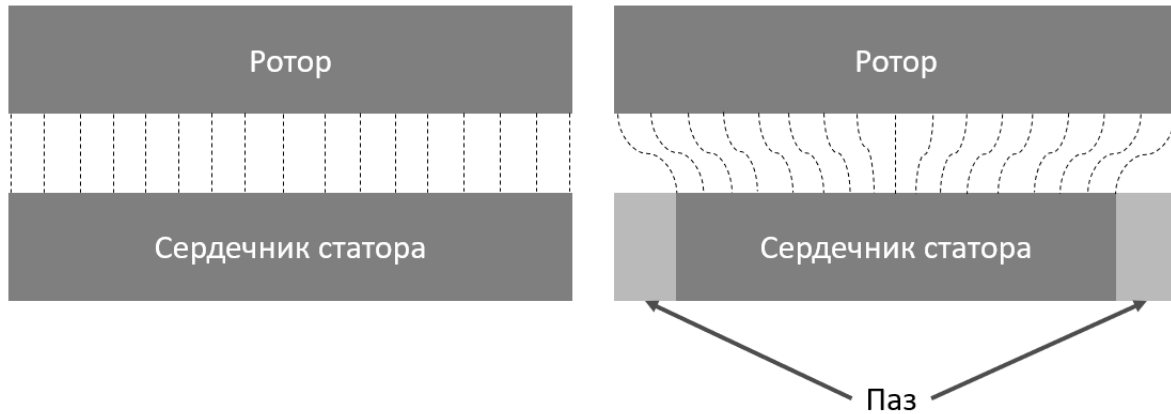


Рис. 1. Модель пазового деления

На рис. 2 а) показан чертёж пазового деления статора аксиальной синхронной машины. Сечение сердечника, через которое замыкается однородный магнитный поток полюса, соответствует сектору кольца  $MNPQ$ . Пусть внешний радиус имеет значение  $R_{ext}$ , а внутренний –  $R_{in}$ , а дуга, соответствующая пазовому делению на некотором расстоянии (радиусе)  $r$  от оси вращения –  $ab = 2\alpha r$ . Изменение ширины паза  $l_s$  можно описать смещением центрального угла  $2\alpha$  на расстояние  $0 \leq h \leq R_{in}$ , тогда полюсная дуга сердечника будет –  $cd = 2\beta r$ .

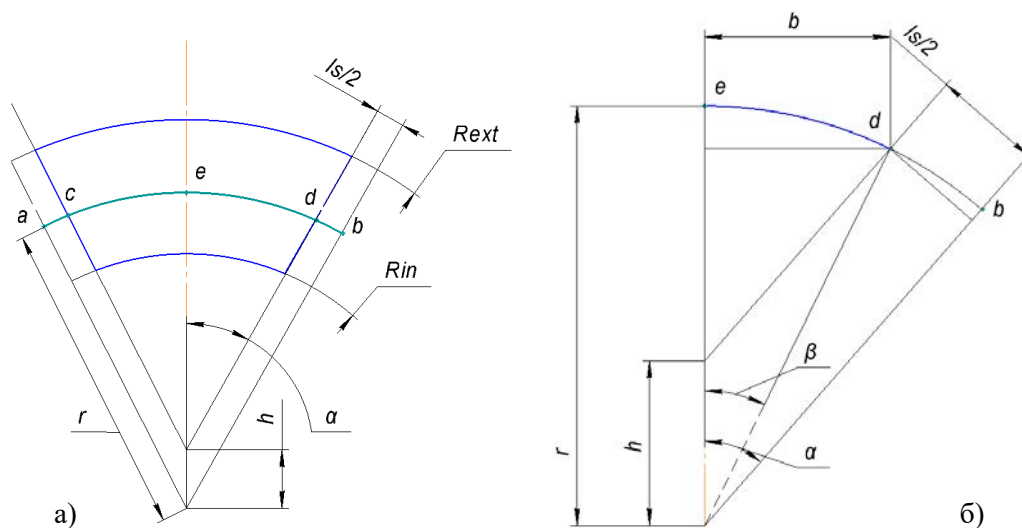


Рис. 2. Модель пазового деления аксиальной синхронной машины

Для определения зависимости магнитной индукции от ширины паза и радиуса потребовалось провести построения и выразить эквивалентный центральный угол  $2\beta$ , также отсекающий от окружности дугу  $cd$ . Построения отражены на рис. 2 б).

Сначала выразим  $l_s$  через  $r$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$l_s = 2r \sin(\alpha - \beta)$$

Отсюда можно получить уравнение  $\beta$  через заданные величины  $l_s$ ,  $r$  и  $\alpha$ :

$$\beta = \alpha - \arcsin\left(\frac{l_s}{2r}\right) \quad (1)$$

Выразив все необходимые величины, можно вычислить зависимость магнитной индукции от ширины паза и точки радиуса.

Элементарную площадь сектора при отсутствии и наличии паза можно вычислить по следующим выражениям:

$$dS = \frac{\alpha}{2} ((r + dr)^2 - r^2)$$

$$dS = \frac{\beta}{2} ((r + dr)^2 - r^2)$$

Далее, подставив  $\beta$  из (1), можно выразить относительную элементарную площадь и индукцию:

$$dS_{rel} = \frac{\beta}{\alpha}; B = \frac{\Phi}{S} \Rightarrow dB_{rel} \sim \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha}{\alpha - \arcsin\left(\frac{l_s}{2r}\right)} \quad (2)$$

Используя (2), выразим/вычислим потери в стали с учетом их зависимости от второй степени магнитной индукции:

$$dP_{Fe_{rel}} \sim dB_{rel}^2 = \left(\frac{\alpha}{\alpha - \arcsin\left(\frac{l_s}{2r}\right)}\right)^2$$

$$P_{Fe_{rel}} = \int_{R_{in}}^{R_{ext}} \left(\frac{\alpha}{\alpha - \arcsin\left(\frac{l_s}{2r}\right)}\right)^2 dr dl_s \quad (3)$$

Теоретически известно, что максимальный электромагнитный момент в аксиальной синхронной машине развивается при соотношении внутреннего радиуса статора к внешнему  $k_d = \frac{1}{\sqrt{3}}$  (рис. 3) [3]. Моделирование проводилось для данного значения, а также для большего –  $\frac{1}{3}$  и меньшего –  $\frac{1}{1.2}$ . В качестве базовых величин в расчётах принят внешний радиус  $R_{ext}$  и магнитная индукция при отсутствии паза  $B = 1$ .

### Результаты моделирования

Результат моделирования для  $k_d = \frac{1}{\sqrt{3}}$  представлен на рис. 4.

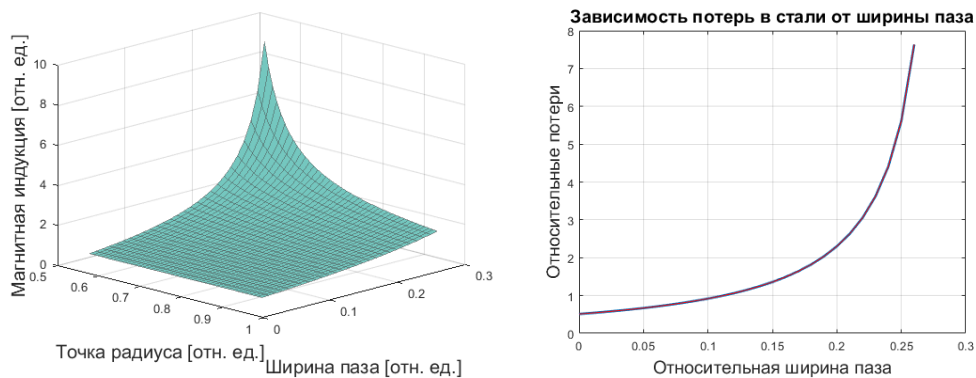


Рис. 4. Зависимость магнитной индукции и потерь от ширины паза и точки радиуса при  $k_d = \frac{1}{\sqrt{3}}$

Результат моделирования для  $k_d = \frac{1}{1.2}$  представлен на рис. 5.

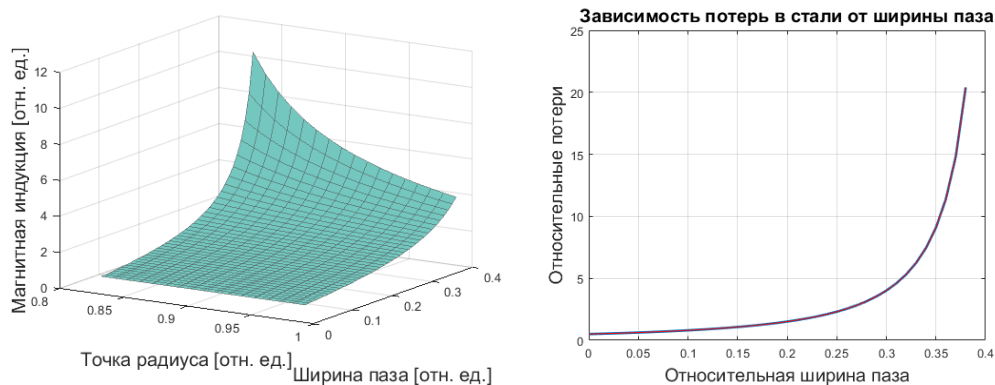


Рис. 5. Зависимость магнитной индукции и потерь от ширины паза при  $k_d = \frac{1}{1.2}$

Результат моделирования для  $k_d = \frac{1}{3}$  представлен на рисунке 6.

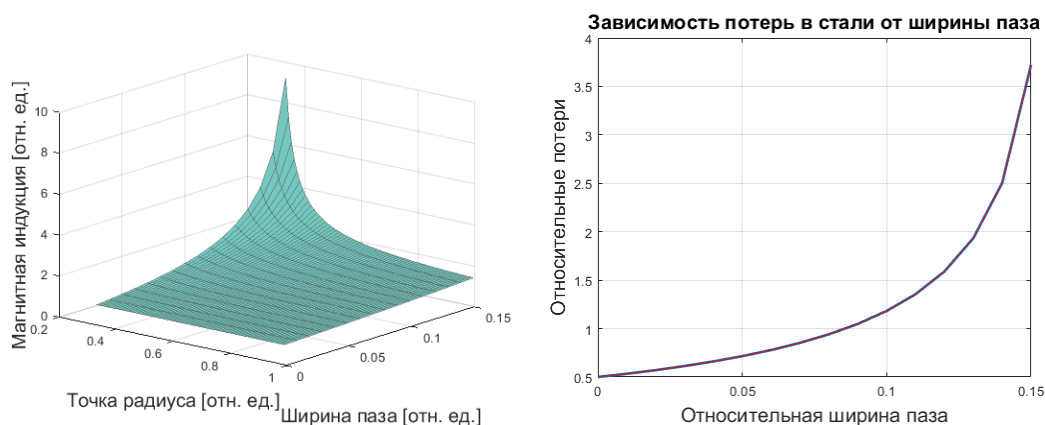


Рис. 6. Зависимость магнитной индукции и потерь от ширины паза при  $k_d = \frac{1}{3}$



### Зависимость скорости роста потерь в стали от увеличения ширины паза

Как можно увидеть по графику, зависимость потерь в стали от ширины паза близка к экспоненциальной и зависит от  $k_d$ . Рассчитав показатели функций зависимости в 25 точках в диапазоне  $k_d$  от 0.2 до 0.9, получаем следующую функцию, отраженную на рис. 7.

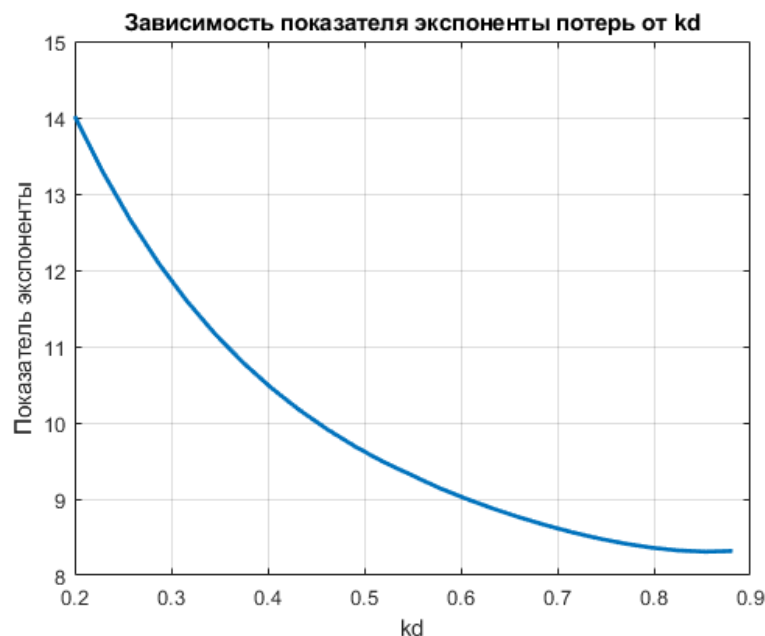


Рис. 7. Зависимость показателя экспоненты функции относительных потерь от  $k_d$

### Результаты

Результаты исследования показали, что в аксиальных двигателях электромагнитная индукция неравномерно распределяется по радиусу сердечника, что в целом согласуется с данными [4]. При этом величина индукции на внешнем и внутреннем радиусе сердечника может многократно отличаться, что приводит к значительному насыщению внутреннего края и, как следствие, к существенному увеличению потерь в стали.

Степень неравномерности распределения зависит от ширины пазов и соотношения радиусов сердечника и может быть минимизирована в процессе проектирования двигателя. Полученные результаты носят оценочный характер и должны уточняться моделированием магнитного поля методом конечных элементов.

### Литература

- 1 Kenjo T, Nagamori S. Permanent Magnet and Brushless d.c. Motors. Oxford: Clarendon Press. 1985.
- 2 А.А. Усольцев Электрические машины. Учебное пособие - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО. 2013. 416 с.
- 3 Afonin A, Gieras JF, Szymczak P. Permanent magnet brushless motors with innovative excitation systems (invited paper). Int Conf on Unconventional Electromechanical and Electr Systems UEES'04. –Alushta, Ukraine, 2004, pp. 27–38.
- 4 Gieras J. Permanent magnet motor technology. Design and applications.– London/New York, CRC Press. 2010. 603 p.

**Котосов Сергей Владимирович**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии,  
и компьютерной техники,  
студент группы №Р42552,  
направление подготовки: 09.04.01 – Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: rimineiro24@gmail.com

УДК 004.8

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – ВОЗМОЖНОСТИ И ТRENДЫ  
ПРИМЕНЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ**

**С.В. Котосов**

**Научный руководитель – к.п.н., доцент Е.Ю. Авксентьева<sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование применения методов искусственного интеллекта в образовательном процессе».

**Аннотация**

В этой статье описаны некоторые способы использования искусственного интеллекта (ИИ) в обучении. Был проведен анализ существующих исследований и решений, и на основе полученных результатов был предложен метод внедрения ИИ в качестве помощника чат-бота на основе машинного обучения.

**Ключевые слова**

Искусственный интеллект, машинное обучение, чат-бот, обработка естественного языка, образование.

В настоящее время различные элементы искусственного интеллекта (ИИ) активно внедряются на разных платформах и сервисах, в том числе и образовательных. Это связано с развитием таких технологий в сфере ИИ, как машинное обучение, глубокое обучение, нейронные сети и многие другие. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью улучшать и развивать процесс обучения с помощью внедрения передовых развивающихся технологий, таких как ИИ, чтобы улучшить качество получаемых знаний. Использование различных элементов ИИ в образовании позволит меньше задействовать преподавателей, и в тоже время помочь им автоматизировать процессы сбора, обработки и анализа информации.

В процессе выполнения работы был проведен обзор существующих решений и исследований в области применения методов ИИ в образовании.

Согласно [1], можно выделить следующую классификацию образовательных систем, которые используют машинное обучение:

1. Оценка учеников.

Подобные системы, основанные на машинном обучении, могут оценивать студентов, при этом оценки не зависят от человеческого фактора (честное оценивание). Примером подобной системы может являться [2] – инструмент для автоматической оценки эссе.

2. Увеличение количества студентов.

Основная идея таких систем заключается в том, что анализируя результаты студентов, можно выявить тех, кто показывает не самые лучшие результаты и «находится в группе риска», после чего сигнализировать преподавателю. Таким образом, на эту группу будет обращено больше внимания, что поможет им стать более успешными в обучении.

### 3. Прогнозирование успеваемости учащихся.

Эти системы показывают, насколько основным преимуществом машинного обучения является его способность прогнозировать успеваемость учащихся. Примером подобной системы может быть [3], которая отслеживает текущую успеваемость и достоверно прогнозирует их средний балл диплома.

Машинное обучение – это лишь одна из областей ИИ, поэтому применение его в обучении не ограничивается на этом. Другим примером могут являться системы-наставники, главная идея которых «моделирование знаний и мотивации студентов, а также адаптация заданий к их индивидуальным потребностям» [4]. Такие системы получают ответы студентов и реагируют на них обратной связью, помогая прийти к верному ответу. Можно сказать, что подобные системы – это «система-репетитор» с использованием ИИ.

Пример – AutoTutor – интеллектуальная система обучения, которая ведет разговор с пользователем на естественном языке [5].

Другой стороной применения ИИ в образовании могут быть роботы с ИИ. Несмотря на то, что это звучит не совсем реалистично, но подобные примеры уже есть, такие как Ozobot и Root Robotics. Подобные роботы нацелены на учеников школ и используются для обучения математики, программирования и робототехники.

По итогу, стоит отметить, что способов применения методов ИИ в образовательном процессе достаточно много, и разработка помощника для студента в виде чат-бота с ИИ звучит актуально и необходимо.

Среди аналогов можно выделить систему Knewton – специальную платформу адаптивного обучения, которая дает советы студентам, основываясь на их собственном стиле обучения, и предлагает материалы индивидуально для каждого.

Будущее образования все чаще связывается с развитием и внедрением в учебный процесс технологий искусственного интеллекта. Семейство продуктов, применяющих ИИ и большие данные, получило наименование AIED (системы искусственного интеллекта в сфере образования — англ.). Программные комплексы AIED по-разному используют новые технологии обработки данных.

В системах MOOC искусственный интеллект проверяет контрольные работы и эссе слушателей, прогнозирует успеваемость. Примерами являются Coursera, edX, OpenEdu.

Тем не менее, при обзоре литературы, идея использования чат-бота с ИИ в образовании не находит должного внимания. Подобная технология не является научной новинкой и используется уже давно, самые известные – голосовые помощники Siri, Cortana и не так давно появившийся Google Assistant. Следует отметить, что подобная система задумывается не как репетитор, а как помощник в обучении студента. Студент общается с системой, используя естественный язык, система распознает слова с использованием обработки естественного языка (NLP) и, по запросу, дает пользователю материалы, курсы и лекции, которые необходимы для самообучения.

Другой функцией такого помощника может быть сбор и анализ информации для учителя о том, какие ученики испытывают трудности в усвоении материала, какие занимаются усерднее, какие темы наиболее сложны для студентов.

В сравнении с классическим усвоением материала, использование данного чат-бота ведет к ряду преимуществ:

1. Общение происходит на естественном языке, что более приятно для пользователя, в сравнении с обычной диалоговой системой.

2. Преподаватели становятся более свободными, а студенты развивают навыки в самообразовании.

3. Благодаря сбору и анализу информации о студентах и их успеваемости, преподаватели получают более полную картину образовательного процесса, что особенно важно для больших групп студентов.

Следует отметить, что существуют и недостатки данного метода применения ИИ в образовании:

1. Не заменяет преподавателя полностью, является лишь вспомогательным инструментом в обучении студента.

2. Возможное непринятие студентами данной системы и отказ в использовании. В таком случае, качество образовательного процесса останется на прежнем уровне.

Подводя итоги, можно сказать, что введение элементов ИИ в образовательный процесс, несомненно играет очень важную роль, что подтверждается многими актуальными исследованиями и уже внедренными решениями в этой области. Использование различных образовательных систем, систем массовых онлайн курсов, на которых используются элементы ИИ, должно улучшить качество образования, упростить преподавателю сбор и анализ информации о студентах и их успеваемости. Использование помощника чат-бота в обучении улучшит навыки студентов в самообучении, но только в том случае, если данная технология будет использована студентами.

### Литература

1. Kucak D., Juricic, V., Dambic, G.: Machine learning in education - a survey of current research trends // 29 th Annals of DAAAM & Proceedings. 2018. P. 406–410.
2. Persing I., Ng V.: Modeling argument strength in student essays // ACL-IJCNLP 2015 - 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing of the Asian Federation of Natural Language Processing, Proceedings of the Conference. 2015. V.1, P. 543–552.
3. Xu J., Moon K.H., Van Der Schaar M. A Machine Learning Approach for Tracking and Predicting Student Performance in Degree Programs // IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing. 2017. V. 11. №5. P. 742–753.
4. Ma W. Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis // Journal of Educational Psychology. V. 106. №4. P. 901–918.
5. Al Emran, M., Shaalan, K.: A survey of intelligent language tutoring systems // 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI. 2014. P. 393–399.



**Кулагина Екатерина Сергеевна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N42505,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: rina.kulagina96@yandex.ru



**Воробьева Алиса Андреевна**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: alice\_w@mail.ru

УДК 004.023

**ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ОБЪЕКТОВ  
КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ТРЕБОВАНИЯМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА**

**Е.С. Кулагина**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Воробьева**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

В работе предложен подход к оценке соответствия объектов критической информационной инфраструктуры требованиям законодательства, на основе которого в дальнейшем может быть сформирована методика оценки объектов критической информационной инфраструктуры требованиям законодательства. Статья содержит описание формального математического аппарата оценки и примерный перечень показателей по одному из направлений оценивания.

**Ключевые слова**

Критическая информационная инфраструктура, объекты КИИ, требования законодательства, оценка соответствия, организация защиты КИИ.

Критическая информационная инфраструктура (КИИ) РФ представляет собой совокупность всех принадлежащих российским организациям и органам государственной власти объектов КИИ и обеспечивающих их взаимодействие сетей электросвязи [1]. Вопрос защиты КИИ стал особо актуальным в связи с учащением атак на объекты КИИ и принятием в 2016 году новой Доктрины информационной безопасности РФ. За 2017-2019 годы был разработан и принят ряд нормативно-правовых актов, описывающих требования к организации безопасности КИИ и мерам защиты объектов КИИ, регламентирована деятельность органов-регуляторов (ФСТЭК России и ФСБ России). За несоблюдение требований законодательства в области

безопасности КИИ установлена административная и уголовная ответственность. Вне зависимости от степени проработанности нормативно-правового аппарата организациям-субъектам КИИ необходимо регулярно проводить аудит ИБ объектов КИИ в целях обеспечения безопасности КИИ и подготовки к проверкам уполномоченных органов-регуляторов. Ввиду новизны нормативно-правовой базы методический аппарат оценки отсутствует: нет единой, конкретной методики оценки соответствия объектов КИИ требованиям законодательства не для служебного пользования на некоммерческой основе.

Количественно-качественная оценка соответствия объекта КИИ требованиям законодательства может быть получена на основе анализа требований законодательства с применением математического аппарата оценивания, необходимого для получения точной, достоверной и объективной оценки. У организаций-субъектов КИИ есть потребность в методике, которая может использоваться для самостоятельного аудита ИБ объектов КИИ экспертно-документальным методом. На основании результатов проверки аудитор должен иметь возможность сделать вывод о полноте и достаточности выполнения требований к организации безопасности КИИ, а руководство организации — принять решение о необходимости применения дополнительных мер и средств по обеспечению защиты объекта КИИ.

Предлагаемый подход к оценке заключается в разделении процедуры оценивания на два направления: «Организация защиты КИИ» и «Меры защиты». По первому направлению должна быть проведена оценка соответствия общим требованиям к организации защиты КИИ, по второму — требованиям к мерам защиты. Наряду с требованиями, установленными новой законодательной базой, необходимо также учитывать требования к организационным и техническим мерам защиты объектов КИИ в зависимости от конкретного типа объекта КИИ и области функционирования организации-субъекта КИИ. Эти требования изложены в нормативно-правовых актах, напрямую не касающиеся защиты КИИ. В настоящей статье оценка по направлению «Меры защиты» подробнее не рассматривается.

Направление «Организация защиты КИИ» должно содержать оценку соответствия требованиям следующих нормативно-правовых актов:

1. Федеральный закон РФ от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (187-ФЗ).

2. Постановление Правительства РФ от 08.02.2018 № 127 «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений» (ПП № 127).

3. Приказ ФСТЭК России от 22.12.2017 № 236 (ред. от 21.03.2019) «Об утверждении формы направления сведений о результатах присвоения объекту критической информационной инфраструктуры одной из категорий значимости либо об отсутствии необходимости присвоения ему одной из таких категорий» (№ 236).

4. Приказ ФСБ России от 19.06.2019 № 282 «Об утверждении Порядка информирования ФСБ России о компьютерных инцидентах, реагирования на них, принятия мер по ликвидации последствий компьютерных атак, проведенных в отношении значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (№ 282).

5. Приказ ФСБ РФ от 24.07.2018 № 367 «Об утверждении Перечня информации, представляемой в государственную систему обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации и Порядка представления информации в государственную систему обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий

компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации» (№ 367).

6. Приказ ФСБ РФ от 10.07.2014 № 378 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств криптографической защиты информации, необходимых для выполнения установленных Правительством Российской Федерации требований к защите персональных данных для каждого из уровней защищенности» (№ 368).

7. Приказ ФСТЭК России от 21.12.2017 № 235 «Об утверждении требований к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования» (№ 235).

8. Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (№ 239).

Аппарат оценки сформирован на основе подхода, изложенного в отраслевом Стандарте Банка России СТО БР ИББС-1.2-2014 [2]. В соответствии с ним для каждого направления оценки выделяются групповые показатели, детализирующие оценки текущего уровня соответствия объекта КИИ требованиям законодательства. Оценка группового показателя (ГП) формируется из входящей в его состав совокупности частных показателей (ЧП), которые содержат критерии достижения соответствия, и вычисляется из отношения суммы частных показателей, входящих в групповой показатель, к общему количеству критериев частных показателей ( $n_{ЧП}$ ):

$$ГП = \frac{\sum_1^n ЧП}{n_{ЧП}}.$$

Для оценки достижения соответствия частному показателю рекомендуется использовать следующую шкалу оценки: «не соответствует» – 0, «частично соответствует» – 0.5, «полностью соответствует» – 1. В случае, если частный показатель для оцениваемого объекта КИИ не является обязательным (к примеру, оценивается выполнение компенсирующих мер защиты), предусмотрены ответы «не соответствует» – 0 и «соответствует» – 1.

Для нормирования оценок по групповым показателям, повышения точности и достоверности степени соответствия предусматривается дополнительная характеристика – коэффициент важности (КВ). Оценивающий эксперт должен ответить на вопрос: «Является ли групповой показатель критически важным для оцениваемого объекта КИИ?». Для перевода эвристических оценок в баллы предусмотрена следующая шкала: «нет» – 0.25, «скорее нет, чем да» – 0.5, «скорее да, чем нет» – 0.75, «да» – 1. Нормированный ГП ( $ГП_{норм}$ ) вычисляется следующим образом:

$$ГП_{норм} = КВ \cdot ГП.$$

Отношение суммы нормированных оценок к их количеству является итоговой оценкой по направлению ( $N_m$ ), выраженной в процентах:

$$N_m = \frac{\sum_1^n ГП_{норм}}{n_{ГП}} \cdot 100\%.$$

Результатом оценивания являются две качественно-количественные оценки, представляющие собой процент соответствия объекта КИИ требованиям законодательства по каждому из направлений оценки. Предложено ввести 5 уровней соответствия в зависимости от полученной оценки соответствия: ниже 20% – критически низкий, от 20% (включительно) до 30% – низкий, от 30% (включительно) до 50% – ниже среднего, от 50% (включительно) до 70% – средний, от 70% (включительно) до 90% – выше среднего, от 90% до 100% включительно – высокий.

В таблице приведен примерный перечень групповых показателей по направлению оценки «Организация защиты КИИ», конкретизирующий их перечень частных показателей и ссылка на нормативно-правовые акты с соответствующими требованиями законодательства.

Таблица

**Групповые показатели по направлению оценки «Организация защиты КИИ»**

№	Групповой показатель	Частные показатели	Нормативно-правовые акты
1	Категорирование объектов КИИ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определена принадлежность организации к субъектам КИИ.</li> <li>2. Создана комиссия по категорированию объектов КИИ.</li> <li>3. Разработан перечень процессов деятельности организации и выявлены критические процессы.</li> <li>4. Разработан перечень объектов КИИ, подлежащих категорированию.</li> <li>5. Разработан перечень угроз безопасности для объектов КИИ.</li> <li>6. Оформлен акт категорирования объектов КИИ</li> </ol>	187-ФЗ, ПП № 127, № 236
2	Взаимодействие с ФСБ России	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Организовано взаимодействие с ФСБ России.</li> <li>2. Создан центр ГосСОПКА.</li> <li>3. Происходит реагирование на инциденты</li> </ol>	187-ФЗ, № 282, № 367, № 368
3	Создание системы безопасности значимых объектов КИИ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработан и утвержден руководителем организации приказ (распоряжения) о создании системы безопасности значимых объектов КИИ.</li> <li>2. Установлены требования к обеспечению безопасности значимых объектов КИИ.</li> <li>3. Разработана организационно-распорядительная документация о правилах и процедурах обеспечения безопасности значимого объекта КИИ.</li> <li>4. Введена в действие система безопасности значимых объектов КИИ</li> </ol>	187-ФЗ, № 235, № 239
4	Обеспечение безопасности значимого объекта КИИ в ходе его эксплуатации	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Осуществляется планирование мероприятий по обеспечению безопасности значимого объекта КИИ.</li> <li>2. Обеспечиваются действия в нештатных ситуациях.</li> <li>3. Осуществляется контроль за обеспечением уровня безопасности значимого объекта КИИ</li> </ol>	№ 239



продолжение таблицы

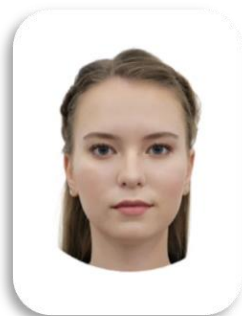
№	Групповой показатель	Частные показатели	Нормативно-правовые акты
5	Обеспечение безопасности значимого объекта КИИ при выводе его из эксплуатации	1. Сформированы акты архивирования информации. 2. Сформированы акты уничтожения носителей информации	№ 239

Аналогичная работа будет проведена для направления «Меры защиты».

Таким образом, путем анализа требований законодательства, введения формального математического аппарата оценки и формирования пространства показателей по одному из направлений был описан подход к оценке соответствия объектов КИИ требованиям законодательства, на основе которого в дальнейшем будет сформирована методика оценки соответствия объектов КИИ требованиям законодательства.

### Литература

1. Безопасность объектов критической информационной инфраструктуры организации. Общие рекомендации. Пособие, подготовленное членами Ассоциации руководителей служб информационной безопасности [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://aciso.ru/files/news/rosobie\\_po\\_kii.pdf](http://aciso.ru/files/news/rosobie_po_kii.pdf) (дата обращения: 03.02.2020).
2. Стандарт Банка России СТО БР ИББС-1.2-2014 «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Методика оценки соответствия информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации требованиям СТО БР ИББС-1.0-2014».



**Кулькова Анастасия Маратовна**  
Университет ИТМО,  
факультет информационных технологий  
и программирования,  
студент группы №Р42721  
направление подготовки: 09.04.02 – Информационные  
системы и технологии,  
e-mail: a.kulkova97@gmail.com



**Рущенко Нина Геннадиевна**  
Университет ИТМО,  
факультет информационных технологий  
и программирования,  
к.т.н.,  
e-mail: ruschenko@mail.ru

УДК 004.582

## **РЕЗУЛЬТАТЫ А/В-ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМ**

**А.М. Кулькова**

**Научный руководитель – к.т.н. Н.Г. Рущенко**

### **Аннотация**

В данной статье рассматривается организация обратной связи в корпоративных порталах. С помощью А/В-тестирования показано, какой вариант отображения целевой кнопки обеспечивает наибольшую скорость взаимодействия сотрудников с системой в условиях поставленной задачи. Такие решения позволяют офисным работникам получать наиболее эффективное взаимодействие с корпоративной системой ежедневно.

### **Ключевые слова**

Корпоративные порталы, юзабилити, обратная связь, скорость взаимодействия.

Теоретические изыскания многих ученых доказали, что человек работает не только ради денег. Для людей понятие «вознаграждение за труд» является более широким, чем выплата заработной платы в полном объеме и вовремя. Но и качественная организация работы [1]. Исследованиям систем управления, мотивации и стимулирования труда посвящены труды и научные разработки наших соотечественников: А.Г. Аганбегяна, Н.А. Волгиной, И.А. Баткаевой, Ю.Г. Одегова и других. Из зарубежных нам наиболее известны: А. Маслоу, К. Альфред, Ф. Герцберг и другие [2].

Цель исследования в данной статье: определить, в каком виде кнопка обратной связи наиболее эффективно выполняет свою функцию. Кнопка располагается на корпоративном портале и является одной из целевых для каждого сотрудника, чтобы почувствовать себя услышанным.

Задача пользователя – как можно быстрее найти и кликнуть на кнопку, которая, по его мнению, приведет его к возможности оставить обратную связь.

Гипотеза исследования: в одной из версий портала пользователь будет тратить меньше времени на поиск кнопки обратной связи.

Выборка в пилотном эксперименте составила 16 пользователей, 8 из которых попали на страницу, где кнопка обратной связи расположена в боковом меню, подписана текстом, аналогично другим пунктам. Другие 8 попали на страницу, где кнопка обратной связи находится в правом нижнем углу страницы, отличается ярким цветом, довольно большим размером. Макеты страниц представлены на рисунке.

Измеряем время для каждого пользователя от момента попадания на страницу до целевого клика. Запись времени в phpMyAdmin ведется в миллисекундах, реализовано на языке php.

Данные, полученные в пилотном эксперименте вынесены в таб. 1.

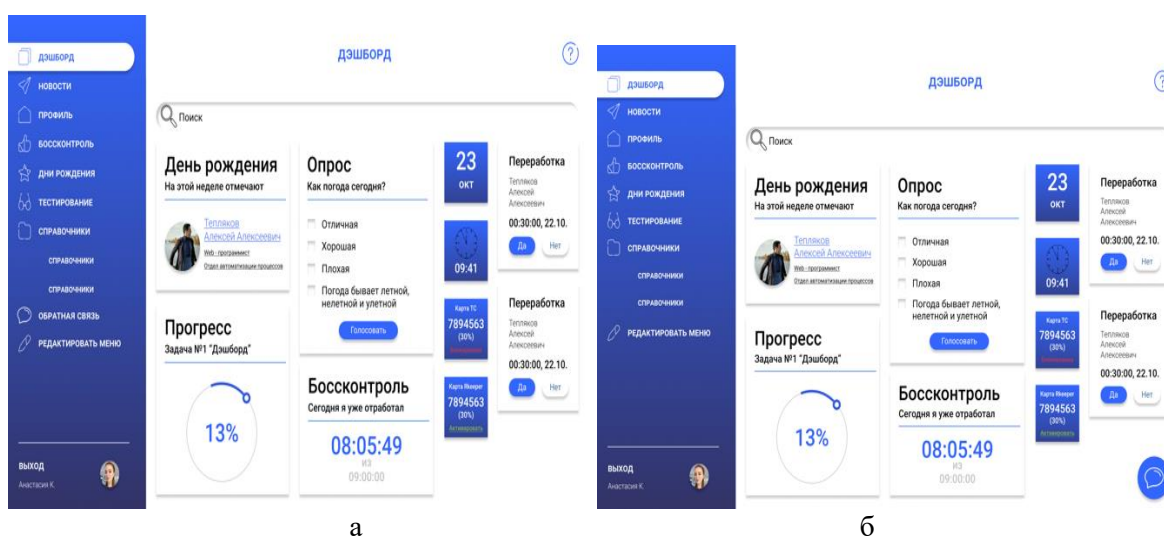


Рисунок. Страница портала с кнопкой обратной связи: в меню (а); в правом нижнем углу страницы (б)

Таблица 1

### Данные пилотного эксперимента

Время до клика на странице а, мс	Время до клика на странице б, мс
2497	20923
5673	20210
18011	21637
25392	17489
9684	41836
14053	35145
4475	11595
8168	14877

Статистическую значимость полученных данных оцениваем с помощью U-критерия Манна-Уитни. Коэффициент  $U=10$  при выборках  $n=8$  и  $m=8$ . По таблице коэффициентов определяем [3, 4], что  $p=0,01$ . Увеличиваем в 2 раза т.к. проверка двусторонняя.  $p=0,02$ , что близко к 1%. Результат статистически значим. В основном эксперименте увеличим выборку в два раза.

Выборка основного эксперимента составила 34 пользователя.

Данные, полученные в результате эксперимента, вынесены в таб. 2.

**Данные основного эксперимента**

Время до клика на странице а, мс	Время до клика на странице б, мс
2497	20923
5673	20210
18011	21637
25392	17489
9684	41836
14053	35145
4475	11595
8168	14877
5267	41600
3477	24797
6584	14810
8527	16473
8657	53990
8766	25627
16067	19639
10022	35669
7600	29672

Аналогично пилотному эксперименту количественный анализ проводим с помощью U-критерия Манна-Уитни,  $U = 19$  для выборки  $n=17$ ,  $m=17$ .  $z = -4,305$ , что соответствует уровню значимости 0,00167%. Результат статистически значим.

По результатам проведенных пилотного и основного экспериментов подтверждена гипотеза, озвученная в начале исследования. В первой версии портала (расположение в боковом меню, подписано текстом) пользователи тратят меньше времени на поиск обратной связи.

Данные результаты можно использовать не только в корпоративных порталах, но и при проектировании интернет-магазинов и других веб-ресурсов. Возможно, разработчикам стоит задуматься и не размещать важное целевое действие в правом нижнем углу экрана т.к. время поиска в этом случае увеличивается. А наоборот – все действия пользователя размещать в единую навигацию.

**Литература**

1. Самоукина Н. Эффективная мотивация персонала при минимальных затратах: сб. практ. инструментов. М. 2011. С. 24-26.
2. Аверин А.Н. Управление персоналом/ учеб. пособие. М.: 2010. С. 64-67.
3. Henry Berthold Mann, Donald Ransom Whitney: On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other // Ann. Math. Statist. Vol. 18, No. 1 (1947). pp. 50-60.
4. ГОСТ Р ИСО 9241-161-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 161. Элементы графического пользовательского интерфейса. введ. 2017-12-01. Москва. Стандартинформ. 2016. 54 с.



**Лихтенберг Анкель Мари**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
студент группы N41515с,  
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность  
e-mail: bel.kavalini@yandex.ru



**Любавина Полина Юрьевна**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
студент группы N41515с,  
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная  
безопасность,  
e-mail: liubavina.polina@yandex.ru



**Шишко Александр Владимирович**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
студент группы N41515с,  
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность  
e-mail: shishko-sasha@yandex.ru



**Давыдов Вадим Валерьевич**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
аспирант,  
направление подготовки: 10.06.01 – Информационная  
безопасность,  
e-mail: vadimdavydov@outlook.com

УДК 004.021

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В IOT:  
ОБЗОР И ИНТЕГРАЦИЯ**

**А.М. Лихтенберг, П.Ю. Любавина, А.В. Шишко, В.В. Давыдов**  
**Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.В. Волошина**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### Аннотация

В работе проведён анализ современных исследовательских тенденций использования подходов и методов, связанных с технологией Блокчейн, для обеспечения безопасности данных в Интернете вещей, что обусловлено такими возможностями технологии, как неизменяемость, прозрачность, аудит, шифрование данных и эксплуатационная устойчивость, которые могут помочь удовлетворить ключевые требования безопасности в Интернете вещей.

### Ключевые слова

Децентрализованные сети, Интернет вещей, технология Блокчейн, информационная безопасность, целостность информации.

В наше время бурное развитие информационных технологий привело к всеобщей миниатюризации вычислительных устройств, что позволило использовать и применять интеллектуальные системы небольших размеров с достаточно низким энергопотреблением.

Такие системы получили возможность подключения к сети Интернет, а также возможность коммуникации с всевозможными внешними системами. Данные возможности, с одной стороны, создают огромный технологический задел для развития технологий сбора данных, мониторинга и контроля, но с другой стороны, такие системы представляют из себя полноценный узел сети с некоторыми уязвимостями, такими как подмена или искажение передаваемых данных. Все эти факторы приводят нас к тому, что мы имеем применение новой технологии без достаточного внимания разработчиков к вопросу безопасности [1]. Рассмотрим возможные решения проблемы целостности данных в сетях Интернета вещей с использованием технологии Блокчейн.

Интернет вещей (англ. internet of things, IoT) — концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, так как исключает необходимость участия человека в части действий и операций [2]. Проблемы безопасности в Интернете вещей связаны с возможностью неправомерного доступа к устройствам сети, который, в свою очередь, может привести к физическому и моральному ущербу человека, проникновению в его частную жизнь, нелегальному использованию его данных и прочим нарушениям [3]. Одним из возможных решений некоторых проблем целостности информационной безопасности исследователи считают Блокчейн. На рис. 1 представлена схема экосистемы Интернета вещей.

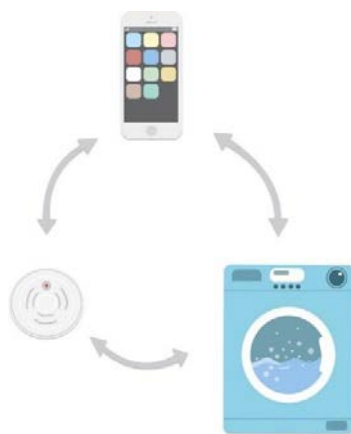


Рис. 1. Экосистема Интернета вещей

Блокчейн – это технология распределенного децентрализованного обмена данных с обеспечением полной целостности данных между всеми участниками обмена. В его основе лежит цепочка блоков, каждый из которых связан с предыдущим. Каждый новый блок содержит данные, необходимые для функционирования сети, и информацию для синхронизации между узлами сети [4]. На рис. 2 представлена конструкция части цепи блоков. Блок состоит из различных частей: Nonce – случайное сгенерированное одноразовое слово; TS – временная метка, которая содержит дату и время создания блока; Root – это предыдущая цепочка блоков, представленная в виде дерева Меркла; PR\_H – хэш предыдущего блока; DATA – контейнер данных, которые необходимо передать.

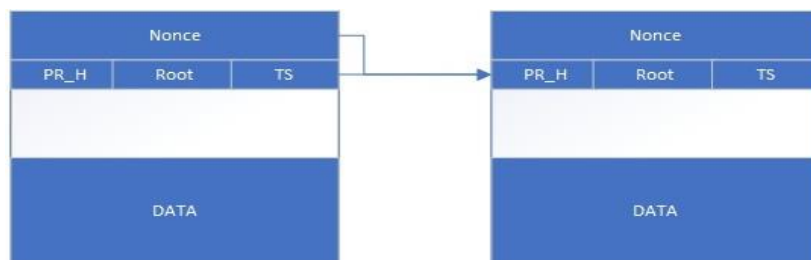


Рис. 2. Конструкция части цепи блоков

Во время передачи данных создаётся контейнер с данными, затем, с помощью алгоритма генерации, формируется блок с одноразовым числом и временной меткой. Такое число генерируется случайным образом, но, так как другие поля блока статичны, именно оно многократно изменяется для повторного хеширования с целью подбора нужного значения. На следующем этапе выбирается последний блок в цепочке Меркла и вычисляется хэш от предыдущего блока, который помещается в поле PR\_H. На последнем этапе вычисляется хэш текущего блока и публикуется в сети Блокчейн. К такому хэшу предъявляются специфические требования, и для того, чтобы его получить, необходимо затратить определённое количество времени, последовательно изменяя значение Nonce, хешируя блок и проверяя полученное значение на соответствие заявленным требованиям. Требования к значению хэш разнятся от системы к системе и постоянно изменяются. К примеру, в качестве ограничения может быть задано какое-то конкретное значение определённых бит в последовательности или ограничение на количество нулей. От заданных требований к хэш-значению зависит сложность подбора, и в существующих системах они достаточно «строгие», что сильно затрудняет возможность подбора значения злоумышленником.

В случае, если злоумышленник захочет изменить блок так, чтобы скомпрометировать данные, все участники сети смогут определить компрометацию данных, так как изменение одного блока приведёт к изменению всех последующих блоков и полной проверке всей цепочки каждым из участников сети. Для реализации данной системы каждый узел распределённой сети обязан иметь одинаковый набор данных, а при добавлении нового блока в сеть производить верификацию нового блока и расчет новой цепочки. Таким образом, каждый узел данной сети обладает достаточным набором данных для верификации блоков с других узлов и самостоятельному формированию дальнейшей цепочки блоков. Попытки применить технологию Блокчейн для решения проблемы целостности данных в сетях Интернета вещей предпринимались неоднократно, однако широкого применения данный подход не приобрел в связи с высокими требованиями Блокчейн к ресурсам. Рассмотрим данный аспект подробнее:

1. Вычислительные ресурсы. При формировании и верификации блока цепи требуется выполнение сложных криптографических и математических операций. Для скромных ресурсов узла Интернета вещей данные операции могут быть чрезвычайно сложными или неэффективными по времени. Стоит учесть, что для устройств с батарейным питанием данные вычисления могут привести к сильному расходу заряда и нецелесообразности применения.

2. Память. Для формирования нового блока в цепи каждому узлу необходимо иметь все предыдущие блоки в цепочке, что является энергозатратным для оперативной памяти устройства.

3. Постоянное соединение с сетью. Для верификации новых блоков, появившихся в цепи, требуется нахождение хотя бы двух других узлов в сети для независимой оценки.

Если выполнять вышеуказанные требования, каждый узел в сети должен иметь возможность создать новый блок в цепочке. В маленькой системе из нескольких устройств это лишь загрузит каждое из них: к примеру, датчику затопления, реагирующему только на воду, а до этого отключенному, совершенно не нужны такие возможности, достаточно использования одноразовой подписи. Однако в крупных системах, где участие человека минимизировано, а неизменность информации крайне важна, Блокчейн является одним из решений проблемы целостности информации. Рассмотрим применение технологии Блокчейн на примере большой сети умных устройств в концепции «умный город», грузовых перевозок и крупномасштабного производства.

Умный город. «Умный город» – это городская экосистема, в которой используются цифровые технологии, чтобы обеспечивать гражданам наиболее благоприятные условия для проживания, учитывая такие аспекты как мобильность, общественная безопасность и здоровье [5]. В данной системе имеется большое количество узлов, взаимодействующих друг с другом, элементы особенно необходимые для функционирования города, например светофоры, требующие периодического осмотра специалистами. Ошибка или недобросовестное выполнение техосмотра может привести к серьёзным последствиям, поэтому отслеживание факта исполнения работ и указание на определённого исполнителя является одной из важных задач общественной безопасности умного города. Запись необходимой информации в цепь блоков, проиллюстрированной на рис. 3, поможет быстро найти необходимые данные.

Грузовые перевозки. Современная концепция грузовых перевозок включает в себя обязательное отслеживание качества доставки товара и соблюдения определенных условий транспортировки, например, доставка товара в определенном температурном режиме. Вся информация об условиях, в которых перевозили товар, может быть записана и защищена от изменений с помощью технологии Блокчейн, что проиллюстрировано на рис. 4. Таким образом, недобросовестный исполнитель не сможет нарушить целостность информации без факта обнаружения.

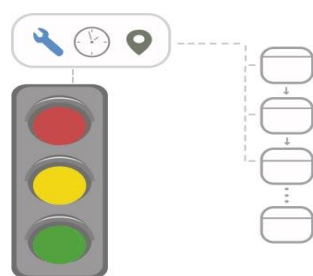


Рис. 3. Схема светофора в концепции умного города





Рис. 4. Схема современных методов транспортировки товаров

Производство полного цикла/крупное производство. Многие производственные процессы автоматизированы, в связи с чем отслеживание их состояния важно как для производителя, так и для потребителя: если вы покупаете молоко, вы можете быть уверены в достоверности всех этапов его изготовления от даты розлива до размещения на полке магазина. Основные этапы производства и внесения информации в цепь блоков показаны на рис. 5.

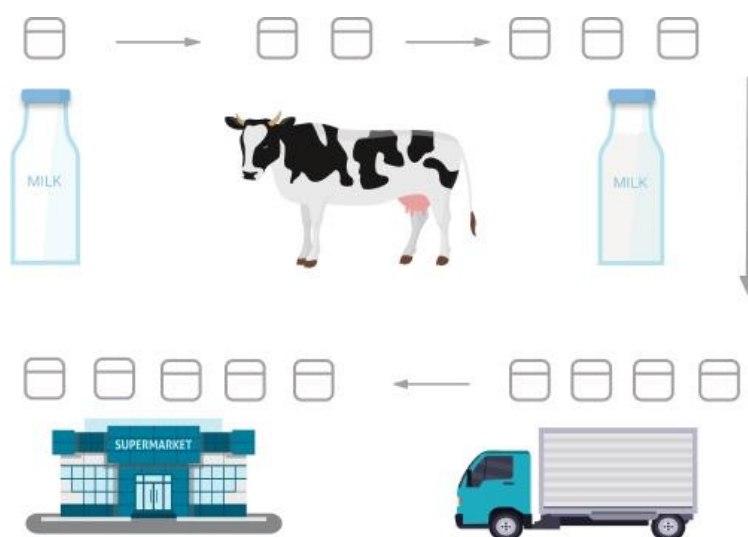


Рис. 5. Схема современного производства молочной продукции

Многие исследователи в попытках объединить две технологии предлагают иной вариант объединения данных технологий, где для широкого сбора данных используются технологии Интернета вещей, а после сбора данных их обработкой занимается центральный или удаленный узел. Этот узел, используя собственную вычислительную мощность или передавая данные другому узлу или облаку, генерирует блоки и затем собирает их в цепочку. С одной стороны, это решение, которое с минимальными сложностями решает проблему внедрения Блокчейна в Интернет вещей и даже реализовано в коммерческих проектах, но при этом нарушаются принципы обеих технологий. В таком случае Интернет вещей – это не децентрализованная, а централизованная сеть, построенная вокруг одного узла или шлюза, что также важно и для Блокчейна, где одним из наиболее значимых факторов является децентрализация сети.

В данной работе были проанализированы современные направления исследований по использованию технологии Блокчейн в контексте Интернета вещей. В

соответствии с тенденциями существует несколько способов объединить Интернет вещей и Блокчейн, но использование технологии Блокчейн в Интернете вещей для небольших сетей, таких как «Умный дом», является избыточным, и предпочтительной остаётся классическая криптография. В больших системах, подобных концепции «умный город», например, логистическим компаниям или производственным предприятиям, эта технология может улучшить аспекты контроля и безопасности данных. В случае объединения данных технологий люди получают решение, которое может обеспечить безопасные экономические и социальные изменения, исключая человеческий фактор из части действий и операций.

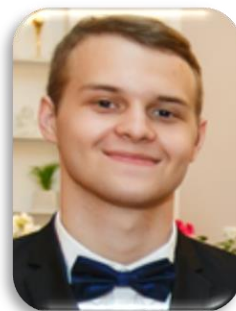
### Литература

1. Top 10 Biggest IoT Security Issues. IntellectSoft, <https://www.intellectsoft.net/blog/biggest-iot-security-issues/>. Last accessed 05 Feb 2020.
2. Panarello A., Tapas N., Merlino G., Longo F., Puliafito A. Blockchain and IoT Integration: A Systematic Survey. *Sensors* 2018. 18. 2575.
3. OWASP, Top 10 Internet of Things, <https://www.owasp.org/images/1/1c/OWASPIoT-Top-10-2018-final.pdf>. Last accessed 03 Feb 2020.
4. Christensson P. (2018, April 13). Blockchain Definition, <https://techterms.com/definition/blockchain>. Last accessed 09 Feb 2020.
5. SMART CITIES – WHAT’S IN IT FOR CITIZENS? Juniper Research, <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/03/smart-citieswhats-in-it-for-citizens.pdf>. Last accessed 12 Feb 2020.



**Елисеев Даниил Павлович**

Год рождения: 1987  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
старший научный сотрудник,  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: eliseev.dp@gmail.com



**Конаков Роман Дмитриевич**

Год рождения: 1994  
Университет ИТМО, факультет систем  
управления и робототехники,  
студент группы № R3430  
направление подготовки: 23.03.02 – Системы  
управления движением и навигация,  
e-mail: konakovrd@yandex.ru



**Малашенков Константин Сергеевич**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R41301,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы  
управления движением и навигация,  
e-mail: malash.kostya@gmail.com

УДК 531.383

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ  
ДЛЯ ПРИБОРОВ НАВИГАЦИИ**

**Д.П. Елисеев, Р.Д. Конаков, К.С. Малашенков**  
**Научный руководитель – к.т.н. Д.П. Елисеев**

**Аннотация**

Рассмотрены особенности применения вибрационной защиты для приборов навигации. Предложено использование аддитивных технологий для проектирования амортизирующих элементов нетрадиционной формы для перспективных приборов навигации.

**Ключевые слова**

Приборы навигации, аддитивные технологии, вибрационная защита, гироскопы, 3D печать.

**Введение**

Гироскопы используются для измерения угловой скорости вращения относительно невращающейся инерциальной системы координат. На сегодняшний день точность некоторых гироскопов доходит до  $10^{-5}$  °/ч [1]. Такая точность достигается, в том числе, за счет правильно выбранной системы амортизации для защиты

навигационных приборов от различного рода вибраций (двигатели самолетов, морских волн, неровностей дорог и т.д.). Обычные амортизаторы не подходят для гашения вибраций на таких системах, в силу повышенных технических требований к ним, в результате чего, с учетом развития аддитивных технологий на сегодняшний день, представляется актуальной задача использования 3D печати для изготовления амортизирующих систем нетрадиционной формы для перспективных навигационных приборов.

### Классификация внешних воздействий

Развитие ракетной, морской и авиационной техники способствует к значительным изменениям различных эксплуатационных характеристик навигационных приборов. Повысились скорости маневрирования и полета, увеличились мощности двигателей, усложнились факторы различных видов воздействия, в том числе механического. Основной причиной возникновения механических напряжений в деталях и узлах навигационных приборов являются вибрация и удар. Такие воздействия могут привести как к уменьшению точности прибора, так и к нарушению механической целостности. В таб. 1 [2] для различных областей применения объектов приведены западные требования к вибрационным и ударным воздействиям, которые аналогичны требованиям существующих отечественных стандартов. Ударное воздействие определяется как правило, амплитудой и длительностью ударного импульса, в то время как вибрационное воздействие помимо амплитуды ускорения определяется еще и диапазоном частот для этого ускорения [3].

Таблица 1

### Требования к механическим воздействиям

Удары			Вибрации		
Область применения		Амплитуда удара, g	Область применения		Диапазон частот, Гц
Повседневное применение					
Действие силы тяжести	Свободное падение	1	Автотранспорт	Обычная дорога	0-400
	Падение с высоты 1 м	2000		Машина скорой помощи	2-500
	Падение с высоты 25 м	7000		Автопоезд	1-1000
Автомобилестроение	Акселерометры подушки безопасности	50	Производство	Требования для автомобильных датчиков	100-2000
	Датчик удара	1000		Поворотные машины (моторы)	<1000
	Общее требование для применения	<3000	Виброиспытания	Вибростол	10 - 20000
Тяжелые внешние воздействия					
Нефте-газодобыча		20000	Космический корабль	На орбите	0,1 - 3
				Во время запуска	20 - 20000
Военное	Орудийный огонь	23000	Военное	Самолет в полете	100 - 2000
	Во время запуска снаряда	10000 - 100000		Ракеты	0 - 50000
	Во время полета снаряда	0,5 - 20			

### Требования к амортизации

Гироскоп – устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на которое оно установлено, относительно инерциальной системы отсчета. Из-за своей сложной конструкции и высоких требований к геометрической стабильности большинство навигационных приборов, в том числе гироскопы, имеют повышенную чувствительность к механическим воздействиям. Основным средством защиты таких приборов от вибрации и удара является амортизация.

Амортизация – система упругих опор, на которые устанавливается объект с целью защиты его от внешних динамических воздействий. Главной задачей амортизатора является передача прибору ослабленных, в значительной мере, колебаний основной конструкции, возникающих при внешних вибрациях и ударах. Для гироскопических систем ключевым параметром после механического воздействия или во время него является сохранение с заданной точностью углового положения чувствительного элемента. Однако это требование не обеспечивается при установке указанных систем на несколько классических амортизаторов вследствие того, что жесткость последних неодинаковая. К примеру, перемещение системы на 5мм во время вибрации платформы 500x500 мм дало бы угол наклона чуть меньше 1°. Пример показан на рисунке. Очевидно, что приведенное значение на несколько порядков выше значения точности большинства прецизионных гироскопов.

### Собственная частота амортизаторов 10-15 Гц

$$\delta = a/\omega^2$$

$$a = 2g, \omega = 10 \text{ Гц} \rightarrow \delta = 5 \text{ мм}$$

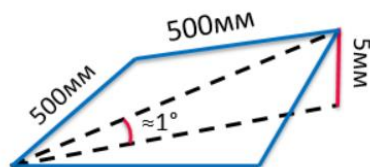


Рисунок. Пример вибрации платформы гиросприбора

Таким образом, обеспечение требований к сохранению с заданной точностью углового положения чувствительного элемента при воздействии вибраций и ударов возможно при проектировании специальных амортизирующих устройств. Основной особенностью последних является обеспечение жесткости угловых перемещений амортизируемого прибора в несколько раз выше жесткости поступательных. Приведенное требование является нетривиальной задачей вибрационной защиты для приборов навигации, однозначного решения которой не существует.

### Аддитивные технологии при проектировании амортизации

3D печать позволяет быстро изготавливать детали любой формы из любых материалов, в том числе и металлов. Таким образом, аддитивные технологии могут использоваться при проектировании специальных амортизирующих устройств для малогабаритных объектов. К таким объектам из состава приборов навигации следует причислить два класса: гироскопические чувствительные элементы (например, микромеханических гироскопов) и оптические системы. К последним относятся как оптические датчики углов, так и ПЗС-матрицы (прибор с зарядовой связью), используемые в астровизирах и оптронных мачтах.

Для прогнозирования свойств амортизирующих устройств необходимо использовать программные системы конечно-элементного анализа. Они широко используются для решения задач механики деформируемого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики. Однако для использования таких программ необходимо знать характеристики материалов: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, а также добротность материала. Для материалов, используемых в 3D печати такие характеристики либо не известны, либо редко указываются в рекламных брошюрах производителя. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона был получен на основе экспериментальных данных работы [4].

Таблица 2

### Достигнутые результаты

Марка материала	Маркировка	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона
12X18H9T	ST	217,35	0,44
	ST(t)	213,05	0,39
07X18H12M	V	181,9	0,34
	V(t)	180,2	0,31
	H	176,25	0,32
	H(t)	175,95	0,41

### Заключение

Аддитивные технологии имеют отличную перспективу внедрения в навигационную отрасль. Возможно быстро изготавливать детали сложной геометрии, при этом значительно увеличив коэффициент использования материала. Аддитивные технологии могут использоваться при проектировании специальных амортизирующих устройств для малогабаритных объектов, таких как гироскопические чувствительные элементы (например, микромеханических гироскопов) и оптические системы (оптические датчики углов и ПЗС-матрицы). Для прогнозирования свойств амортизирующих устройств необходимо использовать программные системы конечно-элементного анализа и знать такие характеристики материалов как модуль Юнга, коэффициент Пуассона, а также добротность материала.

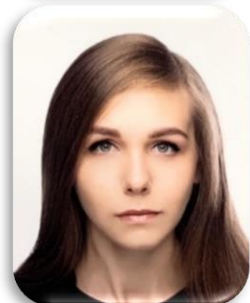
### Литература

1. Buchman S. et al. The Gravity Probe B gyroscope // *Classical and Quantum Gravity*. 2015. Vol. 32. № 22. P. 224004.
2. Sang Won Yoon, *Vibration isolation and shock protection for MEMS*, Ph. D. dissertation, Dept. Elect. Eng. Comput. Sci., Univ. Michigan, Ann Arbor, MI. 2009.
3. Елисеев Д.П. Обзор средств защиты инерциальных чувствительных элементов от инерционных воздействий // *Материалы XIV конференции молодых ученых «Навигация и управление движением»*. 2012. С.464-470.
4. Малашенков К.С., Елисеев Д.П. Результаты испытаний на растяжение металлических изделий, полученных аддитивным способом // В сборнике: *Навигация и управление движением* Материалы XXI конференции молодых ученых. ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Международная общественная организация «Академия навигации и управления движением, Научный редактор: Степанов О.А.; под общей редакцией Пешехонова В.Г., 2019. С. 356-358.



**Мальцев Михаил Игоревич**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет ПИиКТ,  
студент группы №Р42601,  
направление подготовки: 09.04.02 – Компьютерная  
графика и веб-дизайн,  
e-mail: mishamltsv1@gmail.com



**Попова Дарья Андреевна**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО, факультет ПИиКТ,  
студент группы №Р42601  
направление подготовки: 09.04.02 – Компьютерная  
графика и веб-дизайн,  
e-mail: popova.daria.and@gmail.com



**Готская Ирина Борисовна**

Год рождения: 1957  
Университет ИТМО,  
факультет ПИиКТ,  
д.п.н, профессор,  
e-mail: iringot@yandex.ru

УДК 004.514

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ  
UI/UX ДИЗАЙНА ДЛЯ VR ИГР**

**М.И. Мальцев, Д.А. Попова**

**Научный руководитель – д.пед.н., профессор И.Б. Готская**

**Аннотация**

Статья посвящена изучению особенностей создания интерфейсов для виртуальной реальности. Описаны технические особенности, в связи с которыми у пользователя формируется новый, уникальный опыт взаимодействия с интерфейсами. Описаны особенности восприятия пользователем виртуальной реальности. Описаны ограничения, накладываемые на интерфейсы в виртуальной реальности, основанные на восприятии пользователя. Описаны возможности, которые предоставляет виртуальная реальность для UI/UX дизайна в отличие от других областей дизайна. Описаны тенденции развития и текущие достижения в рамках создания новых устройств пользовательского ввода в виртуальной реальности, а также проблемы, возникающие в следствии появления большого количества новых устройств ввода.

**Ключевые слова**

Виртуальная реальность, информационные технологии, дизайн, UI/UX, устройства ввода, устройства вывода, особенности восприятия.

В современном мире UI/UX дизайн встречается повсеместно. Он затрагивает различные сферы деятельности человека, и в каждой из них имеет свои особенности. Современный UI/UX дизайн можно разделить на две большие группы [1]. Первая группа включает в себя создание интерфейсов на основе реально существующих элементов управления, таких как: рычаги, тумблеры, кнопки, поворотные механизмы. Эта группа направлена на создание интерфейсов аналогового ввода, например, управление автомобилем, самолетом или морским судном. Вторая группа включает в себя виртуальные элементы управления, которые применяются в различного рода информационных системах. Компьютеры, смартфоны, электронные книги, небольшие электронные устройства – все это имеет специальный интерфейс взаимодействия с пользователем, который, чаще всего, представлен в виде двумерного отображения специфичных элементов управления: кнопок, выпадающих списков, прогресс баров, скроллов и слайдеров. За каждым из этих типов стоит свой собственный UX – опыт пользователя, сформированный в течении длительного времени и имеющий некоторые особенности.

Виртуальная реальность, в свою очередь, является уникальным сочетанием этих двух групп дизайна интерфейсов. UI/UX дизайна для VR отличается от дизайна в других областях деятельности человека. Это обуславливается как технической составляющей виртуальной реальности, так и особенностями восприятия виртуальной реальности человеком.

С технической точки зрения, в виртуальной реальности используется уникальный набор устройств, необходимых для полноценного взаимодействия пользователя и виртуального мира. Они делятся на устройства ввода и устройства вывода информации. Для ввода информации пользователем используются специальные контроллеры, а также датчики, считывающие положения рук и ног пользователя в пространстве. Для вывода используется шлем виртуальной реальности, состоящий из экрана и линз, формирующих объемное изображение, а также наушники.

На данный момент идет активное развитие и улучшение подобных устройств, они становятся все более функциональными и способными получать и выводить все больше различной информации. Например, новым витком развития виртуальной реальности стало появление современного поколения игровых контроллеров Valve Index, имеющих возможность считывать не только нажатие пользователем определенных клавиш, но также и положение всех пяти пальцев руки. Такое взаимодействие позволяет расширить возможности пользовательского ввода путем добавления функционала взаимодействия не только при помощи нажатий, но также и при помощи жестов, определенных положений пальцев рук или их комбинаций. Помимо этого, существуют и прототипы экосистем виртуальной реальности, которые почти полностью отказываются от использования контроллеров в угоду трекинга пальцев рук при помощи камер, что еще больше расширяет круг возможностей создания различных интерфейсов.

Еще одной новой технологией для виртуальной реальности является трекинг глаз. Благодаря учету положения глаз пользователя появляется возможность создавать более удобные и эргономичные интерфейсы. Для взаимодействия с такими интерфейсами пользователю не нужно наводить контроллер в сторону нужного элемента управления – достаточно лишь посмотреть в его сторону и нажать кнопку на контроллере.

Таким образом, в виртуальной реальности ввод информации пользователя является аналоговым, а вывод информации цифровым, но при этом вывод имеет возможность отображения как двумерных, так и трехмерных объектов с возможностью изменения их положения в пространстве вокруг пользователя. Это расширяет



возможности комбинаций различных методов ввода вывода, что приводит к созданию уникальных сочетаний интерфейсов.

С точки зрения особенностей восприятия виртуальной реальности человеком, построение взаимодействия пользователя и виртуальной реальности через интерфейс имеет свои принципы, исходя из некоторых специфичных ощущений человека в процессе взаимодействия с виртуальным окружением. Например, согласно исследованию [2], существуют следующие особенности:

- искаженное влияние расстояния от глаз до объектов;
- иное восприятие и ощущение размеров;
- расфокусировка внимания;
- ощущения осязаемого интерфейса.

Из-за специфики устройств, которые используются для отображения виртуальной реальности, возникает особенность с поиском оптимального расстояния между глазами пользователя и конечным объектом. Размещение слишком тонких объектов не представляется возможным из-за возникновения неприятного мерцающего эффекта. В реальной жизни, обычно, большинство электронных устройств, с которыми взаимодействует пользователь, намного меньше его самого по размерам. Человеку неудобно фокусироваться на объектах ближе полуметра, а всё, что дальше 20 метров, теряет эффект глубины. Однако, в виртуальной реальности интерфейс чаще всего имеет размер равный росту пользователя либо больше него самого. На данный момент экраны и оптика современных VR-устройств лучше всего позволяют фокусироваться в диапазоне 2-10 метров. Поэтому, опытным путем выведены и сформированы зоны взаимодействия, в которых пользователю будет комфортно использовать виртуальную реальность:

- неиспользуемая зона радиусом в пол метра, в которой размещение элементов интерфейса негативно сказывается на восприятии;
- зона комфорта, в которой пользователь сможет беспрепятственно взаимодействовать с интерфейсом;
- периферийная зона, в которой элементы интерфейса находятся в скрытом и нечасто используемом пространстве;
- зона любопытства, в которой пользователь скорее всего будет искать некоторые новые элементы или дополнения.

На рис. 1 представлены зоны взаимодействия пользователя:

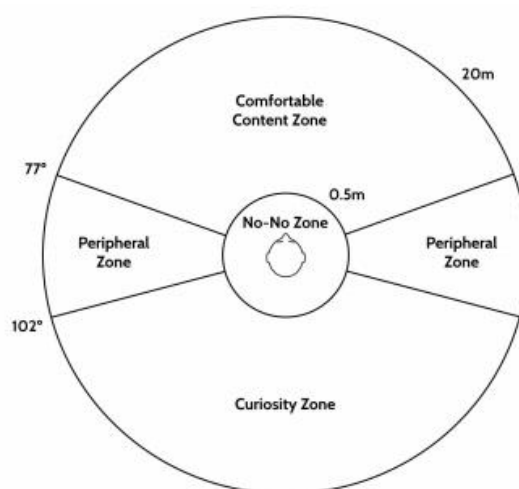


Рис. 1. Зона взаимодействия пользователя с виртуальным миром

Очень часто в виртуальной реальности происходит изменение восприятия объектов и их ощущения. Одной из причин этого является изменение размеров окружения относительно пользователя в процессе взаимодействия с ними. Детализация отдельных объектов, являющихся копией их аналогов в реальной жизни, в совокупности с изменением их размера дает уникальный эффект, при котором пользователь может чувствовать себя больше или меньше привычных размеров. Это приводит к расфокусировке внимания – пользователь не может явно сосредоточиться на отдельном объекте.

Данные особенности восприятия оказывают влияние на создание интерфейсов. Согласно исследованию [3], существуют некоторые ограничения в UI/UX дизайне для виртуальной реальности. Во-первых, нельзя прикреплять элементы интерфейса непосредственно к камере. Чаще всего предмет, который явно и неотрывно следует за пользователем, вызывает негативные ощущения. У пользователя возникает желание отвернуться или сбросить прикрепленный объект, по аналогии с грязью на стекле очков. Если необходимо создать прикрепленный интерфейс, лучше добавить интерфейсу плавное перемещение в точку куда смотрит пользователь при необходимости, нежели держать его в поле зрения постоянно. Во-вторых, нельзя резко двигать или поворачивать камеру. Камера в виртуальной реальности – это глаза пользователя. Если насильно заставлять его смотреть в нужную точку, возникнет эффект отторжения, так как нарушается погружение в виртуальную реальность. Для акцентирования внимания пользователя, согласно исследованию [4], лучше всего использовать изменение состояний объекта, таких как положение в пространстве, размер, цвет, или использовать не только визуальную, но и звуковую индикацию. В-третьих, нельзя быстро приближать интерфейс к камере пользователя. В реальной жизни, когда что-то быстро приближается к лицу человека, человек старается увернуться от встречного объекта или спрятать голову. Если этим объектом будет интерфейс, это создаст дискомфорт при последующем использовании, так как закрепит ощущения от данного объекта как потенциальную угрозу.

Помимо ограничений, существуют и некоторые рекомендации по использованию различных видов и типов интерфейсов в виртуальной реальности. Согласно исследованию [4], в виртуальной реальности можно использовать три типа интерфейсов: трехмерный, двухмерный и звуковой. Каждый из подобных типов лучше всего применим в различных ситуациях. Если необходимо получить большее погружение в виртуальный мир, то лучше всего подходит трехмерные варианты интерфейсов, так как они интуитивно понятнее и проще в использовании. Если необходимо получить быстрое взаимодействие и удобство манипуляции, то лучше всего подходит двумерный интерфейс. Если необходимо донести или передать слишком большое количество различного рода информации, то приоритетнее будет использовать звуковой ввод и вывод информации.

В совокупности, техническое разнообразие и особенности восприятия виртуальной реальности человеком дают большие возможности для UI/UX дизайна. Благодаря тому, что для взаимодействия с виртуальной реальностью используются специальные средства ввода информации – контроллеры, появляется возможность создавать комбинированные осязаемые интерфейсы. Суть подобных интерфейсов заключается в отображении изменения состояния некоторых виртуальных объектов при взаимодействии с контроллерами. В связи с тем, что данные контроллеры закрепляются на руках или ногах пользователя, создается ощущение непосредственного прикосновения реального тела с виртуальным объектом. Возможность новейших контроллеров учитывать силу нажатия и положения пальцев рук еще больше расширяет функционал взаимодействия с интерфейсом, добавляя к уже существующим действиям (нажатие, слайд, перемещение) новые возможности, например, удержание

объекта в руке при помощи пальцев или использование жестов кистей рук. На рис. 2 представлен пример комбинированного интерфейса, использующего как трехмерные модели, так и двумерные изображения, позволяющие пользователю взаимодействовать с виртуальным миром.



Рис. 2. Комбинированный интерфейс в виртуальной реальности

Таким образом, существующее и постоянно растущее многообразие способов ввода и вывода информации приводит к появлению нового пользовательского опыта. Это, в свою очередь, порождает новые, уникальные пользовательские интерфейсы. В совокупности с расширенными возможностями новых контроллеров, а также некоторых особенностей восприятия виртуальной реальности человеком появляется еще большее количество вариантов UI/UX дизайна интерфейсов. Подобные комбинации интерфейсов порождают возможность добавления и использования нового функционала, который может применяться как в различного рода технических приложениях (программы для рисования, скульптинга в виртуальной реальности) или компьютерных играх. На основе этих данных можно сделать вывод о том, что виртуальная реальность является уникальным способом реализации взаимодействия пользователя с компьютером. Она основана на воссоздании трехмерного пространства при помощи компьютерного моделирования, подразумевая отображение некоторых виртуальных трехмерных объектов пользователю, при этом сложность и структура этих объектов зависит только от производительности системы, которую использует основанная на VR реализация. Помимо этого, для создания виртуальной реальности используется не только графическое, но также и звуковое сопровождение, что позволяет добавить в интерфейс еще больше интерактивности и функциональности.

## Литература

1. Что такое UI/UX дизайн на самом деле? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/321312/>. свободный (Дата обращения: 2.02.2020).
2. Designing User Experience for Virtual Reality (VR) applications [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://uxplanet.org/designing-user-experience-for-virtual-reality-vr-applications-fc8e4faadd96>, свободный (Дата обращения: 22.02.2020).
3. What User Interface to Use for Virtual Reality? 2D, 3D or Speech-A User Study [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/328133856\\_What\\_User\\_Interface\\_to\\_Use\\_for\\_Virtual](https://www.researchgate.net/publication/328133856_What_User_Interface_to_Use_for_Virtual)

- Reality\_2D\_3D\_or\_Speech-A\_User\_Study, свободный (Дата обращения: 07.02.2020).
4. Visual Design Methods for Virtual Reality [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://aperturesciencellc.com/vr/VisualDesignMethodsforVR\\_MikeAlger.pdf](http://aperturesciencellc.com/vr/VisualDesignMethodsforVR_MikeAlger.pdf). свободный (Дата обращения: 08.02.2020).



**Мандрик Анастасия Дмитриевна**  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
студент группы № Р42721,  
направление подготовки: 09.04.02 – Информационные  
системы и технологии,  
e-mail: mandrik.anastasi@mail.ru



**Сопроненко Лариса Петровна**  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
старший преподаватель,  
e-mail: so\_lar@mail.ru



**Рущенко Нина Геннадиевна**  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.т.н., преподаватель,  
e-mail: rushchenko@mail.ru

УДК 007.05

## **ВЛИЯНИЕ ВОСПРИЯТИЯ ЦИФРОВЫХ ЦВЕТОВЫХ СХЕМ НА ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ**

**А.Д. Мандрик, Л.П. Сопроненко, Н.Г. Рущенко**  
**Научный руководитель – к.т.н. Н.Г. Рущенко**

### **Аннотация**

В статье рассматривается создание пользовательского интерфейса познавательного портала. В рамках исследования было проведено А/В-тестирование, направленное на обнаружение стратегии представления данных о цвете. Измерялось два показателя: успешность узнавания источника цветовой схемы и время на принятие решения. Рассматривалось два независимых фактора в стратегии представления данных о цвете: форма представления цветовой гаммы (набор прямоугольников или пятен) и способ заливки (градиент или локальные цвета). По результатам проведенного эксперимента на 138 респондентах не было обнаружено статистически значимых различий. Полученные в результате исследования данные применены при проектировании интерфейса познавательного портала.

### **Ключевые слова**

Цифровая цветовая схема изображения, влияние цвета на восприятие, А/В-тестирование.

Цвет вносит значительный вклад в восприятие человеком визуальной информации [1]. В пользовательском интерфейсе цвет помогает контролировать внимание пользователя, распознавать элементы интерфейса, а также используется для визуальной группировки похожих объектов [2].

Цветовая схема изображения – это взаимное расположение и соотношение цветов между собой. Наиболее целостные и гармоничные цветовые схемы пользовательских интерфейсов могут быть основаны на цветовых схемах произведений живописи. Цветовая гамма уникальна для каждого автора и имеет особенные, индивидуальные комбинации цветов [3, 4].

Именно эти возможности цвета легли в основу идеи создания познавательного портала. Такой портал направлен на познавательный процесс – восприятие искусства и общее развитие. В современном мире происходит некоторая трансформация эстетических ценностей, которая отражается и на интересе общества к выразительным средствам в изобразительном искусстве. Зачастую уделяется недостаточное внимание такой важной характеристике живописного произведения, как цветовая гамма.

В результате взаимодействия с порталом пользователь сможет узнать о свойстве цвета как маркера, позволяющего определить художника, а также расставить ключевые акценты при проектировании интерфейса. Кроме того, пользователь сможет получить знания в области истории искусств и некоторую психологическую разгрузку.

В рамках работы над проектированием интерфейса портала было необходимо выбрать стратегию представления данных о цвете, в связи с этим было принято решение провести А/В-тестирование. С его помощью можно проверить гипотезы и экспериментально оценить предпочтения посетителей. Практический смысл использования этого метода заключается в поиске и внедрении компонентов страницы, увеличивающих ее результативность [5]. Фактически использовался вариант А/В-тестирования, называемый «многовариантным тестированием» [6] – рассматривалось влияние двух факторов, таким образом, сравнивалось 4 варианта.

Цель тестирования: проверить влияние способа представления цветовой гаммы на узнавание произведения изобразительного искусства, по мотивам которого она была создана.

Тестирование было проведено в несколько шагов. На первом шаге респондентам случайным образом подается одно из четырех фоновых изображений (рис. 1), в зависимости от идентификатора пользователя.

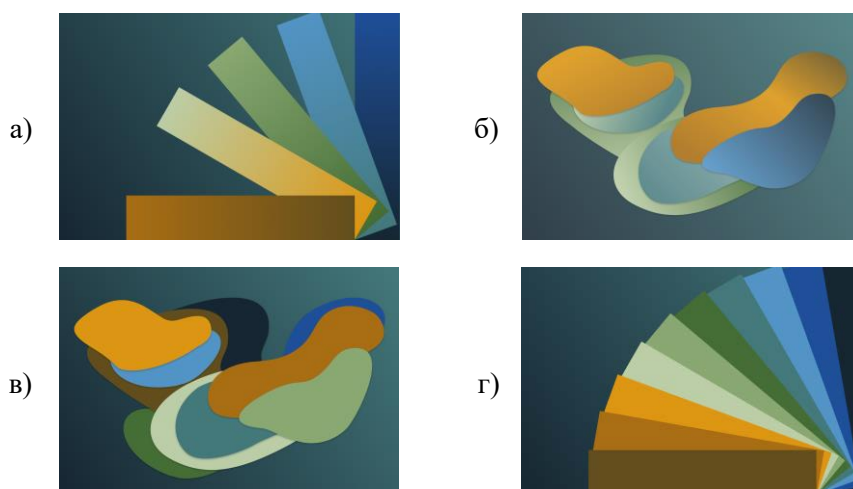


Рис. 1. Варианты фонового изображения:

- а) прямоугольники с градиентной заливкой, б) пятна с градиентной заливкой,
- в) пятна с однородной заливкой, г) прямоугольники с однородной заливкой

Респонденту необходимо ознакомиться с заданием – внимательно посмотреть на фоновое изображение (рис. 2).

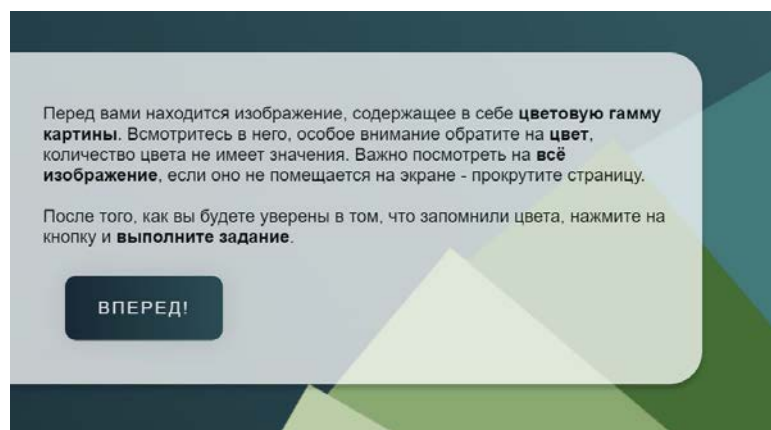


Рис. 2. Стартовое задание

После того, как респондент готов выполнить задание, ему необходимо нажать на кнопку. На странице с заданием респонденту предлагается выбрать (рис. 3) произведение изобразительного искусства, по мотивам которого была создана цветовая гамма, показанная ему на стартовой странице.

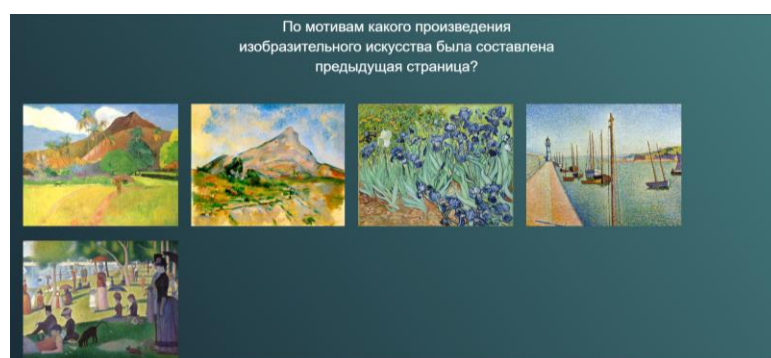


Рис. 3. Выбор верного варианта

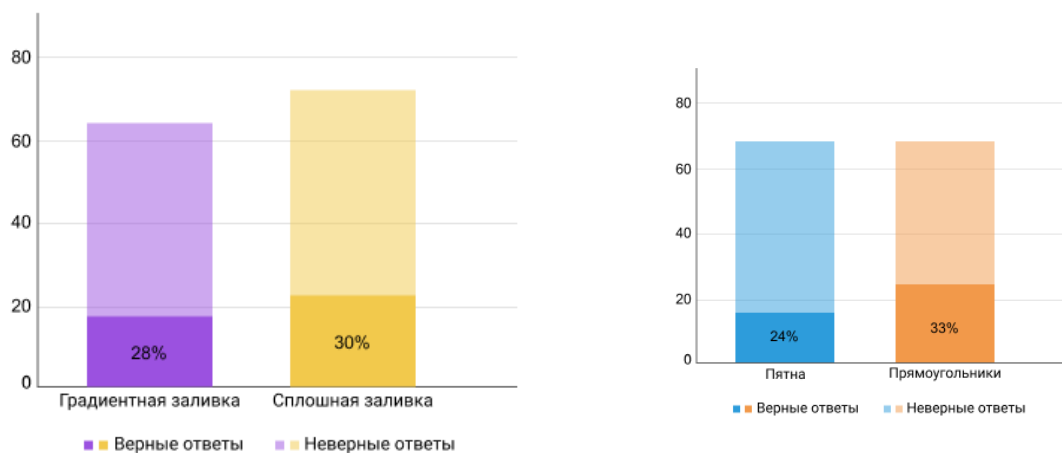
Все действия пользователя были записаны в базу данных, фрагмент записи данных представлен на рис. 4. Далее база данных была выгружена в формате .csv и импортирована в Excel для обработки собранных данных.

+ Параметры			action	dt	id_user	id
<input type="checkbox"/>	Изменить	Копировать	Удалить	home	2019-12-06 19:03:21	14 89
<input type="checkbox"/>	Изменить	Копировать	Удалить	choice	2019-12-06 19:03:30	14 90
<input type="checkbox"/>	Изменить	Копировать	Удалить	choice	2019-12-06 19:04:38	14 91
<input type="checkbox"/>	Изменить	Копировать	Удалить	choice	2019-12-06 19:04:56	14 92
<input type="checkbox"/>	Изменить	Копировать	Удалить	final1	2019-12-06 19:04:58	14 93

Рис. 4. Фрагмент базы данных

В результате пилотного эксперимента были получены данные от 13 респондентов. На основе пилотных данных было рассчитано, что для проверки гипотезы потребуется не менее 88 респондентов.

По результатам основного эксперимента были собраны данные по 186 респондентам, однако, после чистки возможных некорректных и повторяющихся записей, в базе данных остались записи о 138 респондентах, которые поделены на группы двумя способами в зависимости от стратегии представления данных о цвете: по способу заливки (рис. 5а) и по форме заливки (рис. 5б).



а) б)

Рис. 5. Распределение верных и неверных ответов:  
а) при изменении вида заливки, б) при изменении формы

Для получения корректных данных необходимо провести попарное сравнение прямоугольников с разной заливкой и пятен с разной заливкой.

Для расчетов значимости был выбран точный тест Фишера, так как он используется для сравнения двух относительных показателей, характеризующих частоту определенного признака, имеющего два значения.

Для удобства расчетов нулевая гипотеза была разбита на две составные:

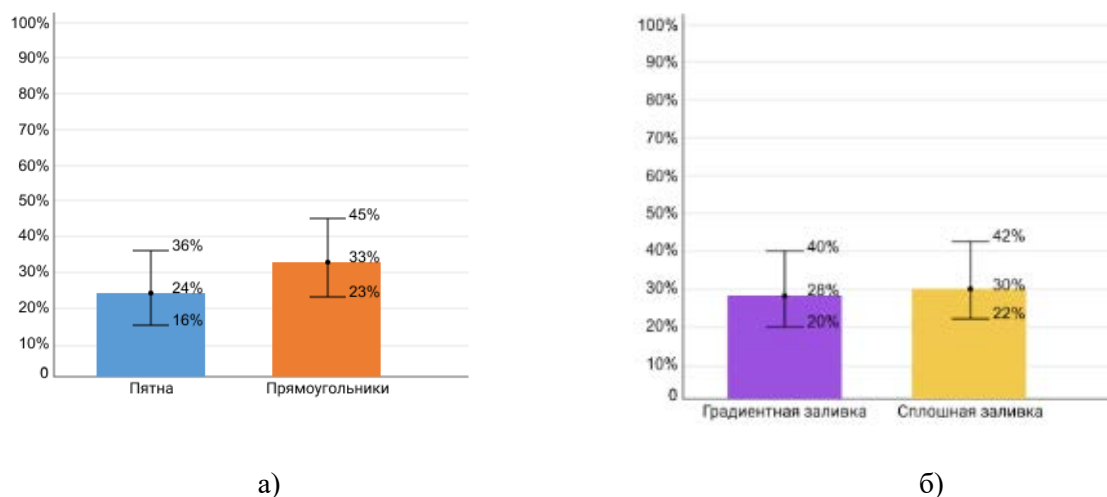
1.  $H_0$ : способ заливки формы представления цветовой гаммы не влияет на узнавание произведения изобразительного искусства, на основе которого она была создана.

2.  $H_0$ : геометрическая форма представления цветовой гаммы не влияет на узнавание произведения изобразительного искусства, на основе которого она была создана.

При сравнении способов заливки (рис. 5а) результаты оказались практически одинаковыми ( $p$ -value = 100%). Что касается второй гипотезы, респонденты, стартовые страницы которых содержали прямоугольники, дали больше правильных ответов – 23 из 69, против 17 из 69, которым были показаны цветовые схемы в виде пятен (рис. 5б), но проверка гипотез показала, что эти различия не являются статистически значимыми ( $p$ -value = 85,14%).

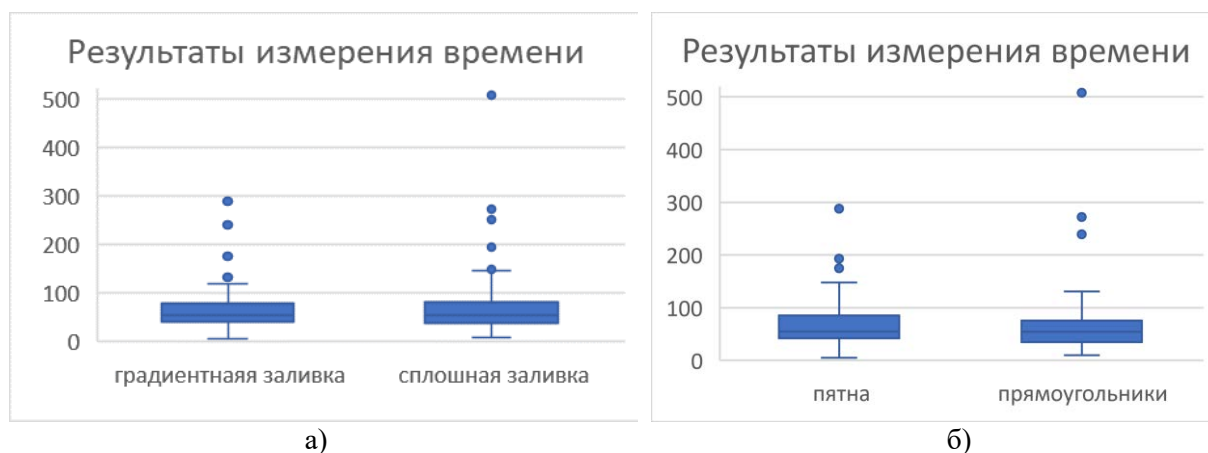
По полученным данным построены доверительные интервалы (рис. 6) по методу Уилсона на уровне доверия 95%. Их анализ позволяет сделать вывод, что если различие между влиянием формы есть, то оно, скорее всего, не превышает 21% в пользу прямоугольной формы.





а) б)  
 Рис. 6. Оценка вероятности правильного ответа:  
 а) для разных видов заливки, б) для разных форм

Также были проверены гипотезы о влиянии способа заливки и формы представления цветовой гаммы на скорость перехода к финальной странице теста (рис. 7). По результатам можно сделать вывод о том, что респонденты, которым на начальном этапе были показаны фоны с градиентной заливкой (рис. 7а), отвечали на поставленный вопрос быстрее ( $p\text{-value} = 0,26\%$  по критерию Манна-Уитни). Однако, скорость не влияла на правильность ответа.



а) б)  
 Рис. 7. Результаты измерения времени:  
 а) в зависимости от заливки, б) в зависимости от формы

Респонденты, которым на начальном этапе были показаны фоны с прямоугольной геометрической формой (рис. 7б), отвечали на поставленный вопрос быстрее, но не на статистически значимом уровне ( $p\text{-value} = 53,12\% > 5\%$ ).

По результатам проведённого исследования были сделаны выводы о том, что рассмотренные способы представления цветowych схем не оказывают значительного влияния на восприятие информации о цвете. Статистически значимые различия в этой работе были получены только для влияния способа заливки на скорость ответа респондента, однако, скорость не влияла на правильность ответа.

Таким образом, любой из четырёх рассмотренных в работе вариантов представления цветowych схем, основанных на персональных гаммах художников, можно использовать при проектировании познавательного портала.

### Литература

1. Castelhana M.S., & Henderson J.M. (2008). The influence of color on the perception of scene gist. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(3), 660–675. doi:10.1037/0096-1523.34.3.660.
2. Шишкин Р.В., Локалов В.А. Факторы влияния на восприятие цветовой структуры компьютерного изображения // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2019. Т. Том 1. С. 313-315.
3. Лысова Е.В., Сычков Ф.В. Язык цвета (Выразительные возможности и специфика восприятия) // Регионоведение. 2011. №3.
4. Полева Н.С. Цвет как язык живописи в психологии искусства Н.Н. Волкова // Культурно-историческая психология. 2007. № 2. С. 93–100.
5. Nielsen J. Putting A/B Testing in Its Place // Nielsen Norman Group URL: <https://www.nngroup.com/articles/putting-ab-testing-in-its-place/> (дата обращения: 26.02.2020).
6. Harley A. Multivariate vs. A/B Testing: Incremental vs. Radical Changes // Nielsen Norman Group URL: <https://www.nngroup.com/articles/multivariate-testing/> (дата обращения: 26.02.2020).



**Мануфричева Марина Игоревна**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии

и компьютерной техники,

студент группы № Р42722,

направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии,

e-mail: m.marina\_09@email.ru



**Рущенко Нина Геннадиевна**

Год рождения: 1972

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии

и компьютерной техники,

к.т.н., доцент,

e-mail: rushchenko@corp.ifmo.ru

УДК 004.51

**РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ  
ИЗУЧЕНИЯ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

**М.И. Мануфричева**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Г. Рущенко**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка и применение web-приложения для изучения начертательной геометрии».

**Аннотация**

Предметом исследования является разработка web-приложения как дополнительного инструмента для изучения дисциплины «Начертательная геометрия». Для лучшего освоения дисциплины необходимо развитое пространственное мышление, поэтому в работе рассматривается создание инструмента с интуитивно-понятным интерфейсом для отображения материала с использованием 3d-моделей.

**Ключевые слова**

Начертательная геометрия, пространственное мышление, web-приложение, 3d-модель, интерфейс.

Образовательная среда на сегодняшний день – это место, где применяется большинство современных информационных технологий. Вопрос о поддержке образовательного процесса при помощи инновационных технологий является достаточно актуальным за счет того, что целями, которые преследует образовательный процесс, являются улучшение качества и повышение доступности и эффективности образования.

В данной работе рассматривается вопрос о тренировке навыков пространственного мышления с помощью такого информационного средства, как обучающее приложение. Одним из преимуществ использования такого приложения является наглядность и интерактивность. Главная целевая аудитория, на которую

направлено данное исследование – студенты инженерных специальностей, которые изучают дисциплину «Начертательная геометрия». Практическая значимость работы в том, что приложение позволит учащимся, в случае незнания и непонимания, осознать как нужно выполнять задание. Некоторые исследования показали, что пространственные способности могут быть улучшены посредством специальной тренировки [1]. Данная разработка будет способствовать тренировке этих навыков, также, она может привести к повышению мотивации к обучению учащихся.

Одной из технологий, которую можно использовать для реализации приложения – это дополненная реальность. Технология дополненной реальности способна внести в привычный для человека мир больше интерактивности и наглядности. Именно благодаря этим свойствам AR нашла свое применение в образовательной среде, так как около 80% всей информации человек воспринимает визуально.

Авторы работ занимались исследованием вопроса применения технологии дополненной реальности как инструмента визуализации для повышения уровня пространственных способностей [2, 3]. Были созданы AR-книга, а также курс, в котором во время обучения и самостоятельной подготовки испытуемые (49 человек) могли просматривать трехмерные модели, чертежи которых были приведены в задании. Сравнение показателей среди контрольной и экспериментальной группы показало, что экспериментальная группа значительно улучшила свои пространственные навыки после прохождения обучения этого курса. Однако в процессе исследования наблюдались некоторые технические проблемы с реализацией данной технологии. Также к недостаткам можно отнести то, что такие курсы не являются достаточно универсальным средством, так как несут ограничение по предоставляемой информации. В работе предлагается создание средства, которое позволяет работать с 3d-моделями, где пользователь сможет настроить материал под свое индивидуальное задание.

Основные задачи, которые пользователь должен решать в рамках разрабатываемого средства:

- просматривать различные геометрические тела в объеме;
- выбирать для них определенные проекции;
- строить для них сечения плоскостью, находить кривые пересечения двух тел;
- переключаться между видами отображения рабочего поля для четкого отслеживания причинно-следственной связи.

На сегодняшний день существуют специализированные программы для компьютерного моделирования: Компас 3D, AutoCad, SolidWorks, 3ds Max и другие. Эти программы имеют большие функциональные возможности, поэтому их используют в таких профессиональных сферах как приборостроение, компьютерная графика, архитектурное проектирование. Использовать их для задач, которые были сформулированы ранее, можно, но это требует знакомства с базовыми принципами работы, которые не являются интуитивно понятными. Так как функционал профессиональных программных средств велик, и позволяет выполнять более сложные задачи, интерфейс выглядит нагруженным. Вследствие чего порог входа использования программ высокий, так как для полного понимания всех возможностей необходимо изучить документацию или посмотреть обучающие уроки.

Разработанное web-приложение, которое рассматривается в данной работе, будет являться подготовительной ступенью, на которой пользователь сможет познакомиться с функциями и принципами работы в подобных приложениях. Само web-приложение должно быть универсально и доступно, а интерфейс должен соответствовать подходам проектирования, которые применяются в вышеперечисленных программах: следует использовать такие же пиктограммы для

обозначения одинаковых действий, а также сходную реализацию взаимодействия пользователя с рабочим полем [4].

В процессе работы были созданы прототипы интерфейса, на которых было проведено количественное юзабилити-тестирование. Измеряемой метрикой являлось время, за которое респондент выполнял задание в разных версиях интерфейса. Статистически значимого результата, какой интерфейс способствует более высокой скорости работы, получено не было. Также, были собраны качественные данные об удобстве и эффективности использования приложением. Реализация осуществлялась с помощью технологии WebGL на языке JavaScript с использованием библиотеки ThreeJS.

В рамках работы было разработано средство для работы с 3d-объектами как дополнительный инструмент для изучения дисциплины «Начертательная геометрия». Для проверки гипотезы о том, что использование такого средства будет способствовать повышению навыков пространственного мышления, будет проведен эксперимент.

### Литература

1. David Uttal H., David Miller I. Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics // *Current Directions in Psychological Science*. 2013. P. 368 – 373.
2. Martin-Gutierrez J., Contero M., Alcaniz M. Augmented Reality to Training Spatial Skills // *ICTE in Regional Development*. 2015. P. 33 – 39.
3. Martin-Gutierrez J. Proposal of methodology for learning of standard mechanical elements using augmented reality // *IEEE Frontiers in Education Conference*. 2015. P. 59 – 65.
4. 10 Usability Heuristics for User Interface Design [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>, своб.



**Миленин Евгений Игоревич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии

и компьютерной техники,

аспирант группы №7102,

направление подготовки: 05.13.11 – Математическое

и программное обеспечение вычислительных машин,

комплексов и компьютерных сетей,

e-mail: monser2002@gmail.com

УДК 004.75

**СБАЛАНСИРОВАННАЯ РАБОТА УЗЛОВ  
И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ В ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ**

**Е.И. Миленин**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Богатырев<sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

Работа выполнена в рамках темы НИР №161745 «Модели и методы поддержки проектирования кластерных систем для реализации облачных вычислений».

**Аннотация**

Рассмотрены ключевые вопросы, касающиеся организации облачных технологий, дано описание основных используемых подходов к обеспечению отказоустойчивости облачных систем и рассматриваются главенствующие виды облаков, а также возможные способы организации их работы.

**Ключевые слова**

Отказоустойчивость, облачные технологии, система, вычисления, методы восстановления системы, надежность, узлы, вычислительные сети, резервирование, виртуализация.

В наше время облачные технологии и вычисления распространены повсеместно. Главная причина их распространения – возможности экономить материальные, физические и другие ресурсы. Благодаря использованию облачных технологий, появляются возможности создавать удаленные рабочие места, распределенные хранилища данных, сервисы виртуализации приложений и многое другое. Для развертывания облаков используют распределенные дата-центры, в которых реализованы технологии виртуализации. Отсюда следует, что под понятием «облако» можно подразумевать единый доступ к вычислениям со стороны разрозненных клиентов [1-7]. Существуют различные виды облаков по их реализации и использованию:

- частное облако. Реализуется на ресурсах, которые имеются в распоряжении компании. Цель существования – обслуживание нужд компании, установившей её;
- коммунальное. В таком виде подразумевается использования облака сразу несколькими компаниями. Управление осуществляется, как правило, сторонней организацией или провайдером;

- гибридное. В таком виде как правило сочетается сразу два и более облаков, но которые остаются уникальными сущностями. В них обеспечивают интеграцию данных и приложений между используемыми сервисами;
- публичное облако, как правило используется массивом группы пользователей, которые не связаны общими интересами.

Для всех видов облаков едины способы достижения отказоустойчивости. Одним из способов можно представить использование методов сохранения состояний процесса на основе контрольных точек. Благодаря этому методу, восстанавливается состояние процессов, если произошел отказ, и в то же время обмен сообщениями в процессах не прекращается для того, чтобы контролировать состояние друг друга. Формируется глобальная целостная структура, в которой отказоустойчивость функционирует за счет надежности каждого вычислительного узла.

Еще один способ, позволяющий организовать отказоустойчивую работу облачных вычислений – метод сохранения ошибок. Благодаря работе такого алгоритма осуществляется запись всех сообщений во временную память асинхронно без остановки процесса вычислений. За счет этого система восстанавливается после произошедших сбоев без избыточного синхронного сохранения сообщений в постоянной памяти. После того, как отказавший процесс восстановлен, все сообщения отправятся повторно.

Третий и основополагающий способ организации облачной инфраструктуры – это виртуализация. Именно благодаря ней можно организовать переброску функционирующих приложений с одного сервера на другой, не прекращая и не останавливая работу задействованного приложения. Узлы облака расположены в распределенных центрах обработки данных, и могут быть также в владении сторонних провайдеров. Для того, чтобы предотвратить возможную потерю принципиально важной информации, задействованы RAID-массивы, системы резервного копирования и дублирование фигурирующей на серверах информации. Но важно понимать, что такая организация хранения данных повышает риски возможной утечки конфиденциальной информации с одной из используемых копий.

В завершении хотелось бы отметить, что облачные технологии обладают рядом существенных преимуществ и значимых достоинств. Это в первую очередь высокая доступность и гарантированная отказоустойчивость. Во-вторых, возможность сэкономить на покупке дорогих устройств и оборудования за счет использования удаленных терминалов, обеспечивающих доступ к облачным хранилищам. В-третьих – универсальный и быстрый доступ к необходимым файлам, а также сохранение всех данных за счет резервного копирования. И, что можно выделить, как одно из наиболее значимых – надежность системы, ведь дата-центрами управляют специалисты, которые хорошо разбираются в этом, а провайдеры предоставляют возможность обратиться к технической поддержке на протяжении всех суток.

### Литература

1. Алиев Т.И. Основы проектирования систем. СПб. Университет ИТМО. 2015. 120 с.
2. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Резервированная передача данных через агрегированные каналы в сети реального времени. Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 9. С. 735-740.
3. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Критерии оптимальности многоустойчивых отказоустойчивых компьютерных систем. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2009. № 5(63). С. 92-98.

4. Богатырев В.А., Богатырев А.В., Голубев И.Ю., Богатырев С.В. Оптимизация распределения запросов между кластерами отказоустойчивой вычислительной системы. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 3(85). С. 77-82.
5. Богатырев В.А., Богатырев А.В. Функциональная надежность систем реального времени. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 4(86). С. 150-151.
6. Богатырев В.А., Отказоустойчивость и сохранение эффективности функционирования многомагистральных распределенных вычислительных систем. Информационные технологии. 1999. № 9. С. 44-48.
7. Алексанков С.М. Модели динамической миграции с итеративным подходом и сетевой миграции виртуальных машин. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 6. С. 198-1104.





**Михайлов Алексей Борисович**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
аспирант,  
направление подготовки: 05.11.14 – Технология  
приборостроения,  
e-mail: abmikhailov@itmo.ru



**Третьяков Сергей Дмитриевич**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: tretiakov@itmo.ru

УДК 681.51: 681.518.3

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

**А.Б. Михайлов**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент С.Д. Третьяков<sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения кибер-физических систем».

### **Аннотация**

Поставлена задача по разработке методики формирования моделей данных производственного оборудования в среде платформы промышленного интернета вещей Winnum. В рамках предлагаемой методики перечислены основные этапы интеграции имеющегося производственного оборудования в информационную среду предприятия. На основе подготовленной методики необходимо разработать модели данных оборудования Schneider Electric.

### **Ключевые слова**

Промышленный интернет вещей, умные фабрики, технология производства, Индустрия 4.0, модель данных, коннектор, шаблоны устройств, сигналы.

Возможности современных программных комплексов управления производством позволяют в режиме реального времени контролировать производственные процессы в цехах, помогать своевременно корректировать технологию производства, оптимизировать производственные ресурсы, что в результате повышает эффективность производства, снижает затраты и, следовательно,

повышает конкурентоспособность [1]. Умное производство – это основа концепции «Индустрия 4.0», а технология промышленного интернета вещей (IIoT) – ядро умного производства. Применение инструментария платформы IIoT реализует идею динамического отслеживания изделия в процессе производства, а также сбора актуальных данных в режиме реального времени, что определяет прозрачность всех этапов производства с точки зрения контроля происходящих процессов [2]. Здесь мы говорим также о возможности определения в данный момент времени положения и состояния каждого объекта в цеху: станков, оборудования, устройств [3].

Несмотря на то, что работы по исследованию и организации умных фабрик ведутся относительно недавно, общее определение рассматриваемой концепции обрело конкретные черты и, согласно ряду уже опубликованных идей, представляет собой производство, опирающееся на постоянный анализ получаемых данных с целью формирования закономерностей наиболее оптимального и экономически эффективного функционирования, основанного на принятых решениях, базирующихся на информации, предоставляемой средствами IIoT [4]. Резюмируя вышесказанное, заметим: производство с применением концепции «Индустрия 4.0» – это новый режим производства, объединяющий технологию IIoT с базовой технологией производства, способный реализовать комплексную поддержку на протяжении всего жизненного цикла продукта [5].

Глобальной целью нашего исследования в контексте текущего проекта является разработка и исследование системы мониторинга производственных процессов с применением технологии промышленного интернета вещей. В рамках этой работы необходимо подготовить единую информационную среду, которая объединяла бы станки и оборудование лаборатории технологии цифрового производства Университета ИТМО, расположенные частично на факультете систем управления и робототехники – стенд Schneider Electric, частично на территории завода ПАО Техприбор – контрольно-измерительная машина и станки с ЧПУ. В качестве всеобъемлющей единой среды предлагаем платформу промышленного интернета вещей WInnum.

Платформа WInnum предназначена для удаленного мониторинга, диагностики и оптимизации режимов работы промышленного оборудования (в нашем случае станков и др. устройств на производстве) и процессов их эксплуатации. Всё это последовательно сокращает сроки, расходы и риски, связанные с поломками оборудования, непредвиденными и плановыми простоями, появлением брака, человеческим фактором и прочими проблемами, свойственными промышленному производству. Для того, чтобы сигналы, поступающие от оборудования, обрабатывались и отображались платформой, необходимо предоставить платформе данные об оборудовании, выраженные в моделях данных. Модель данных оборудования, в свою очередь, описывает составные части станка и сопоставленные с ними сигналы. К сожалению, на данный момент библиотека моделей не способна описать всё имеющееся действующее оборудование, как, например, отсутствуют модели данных для оборудования Schneider Electric. Поэтому возникла необходимость в разработке методики, позволяющей упростить и формализовать процесс создания шаблонов оборудования для платформы WInnum. Для достижения поставленной цели на текущем этапе была выделена следующая задача: подготовить методику формирования моделей данных промышленного оборудования для платформы WInnum.

Структура модели данных состоит из шаблона оборудования, шаблонов отдельных составных компонентов оборудования и шаблонов объектов данных и сигналов. Верхним уровнем модели данных является шаблон оборудования, который описывает реальное или виртуальное устройство и служит для удобства отображения объектов в интерфейсе пользователя. Шаблон объекта данных входит в шаблон

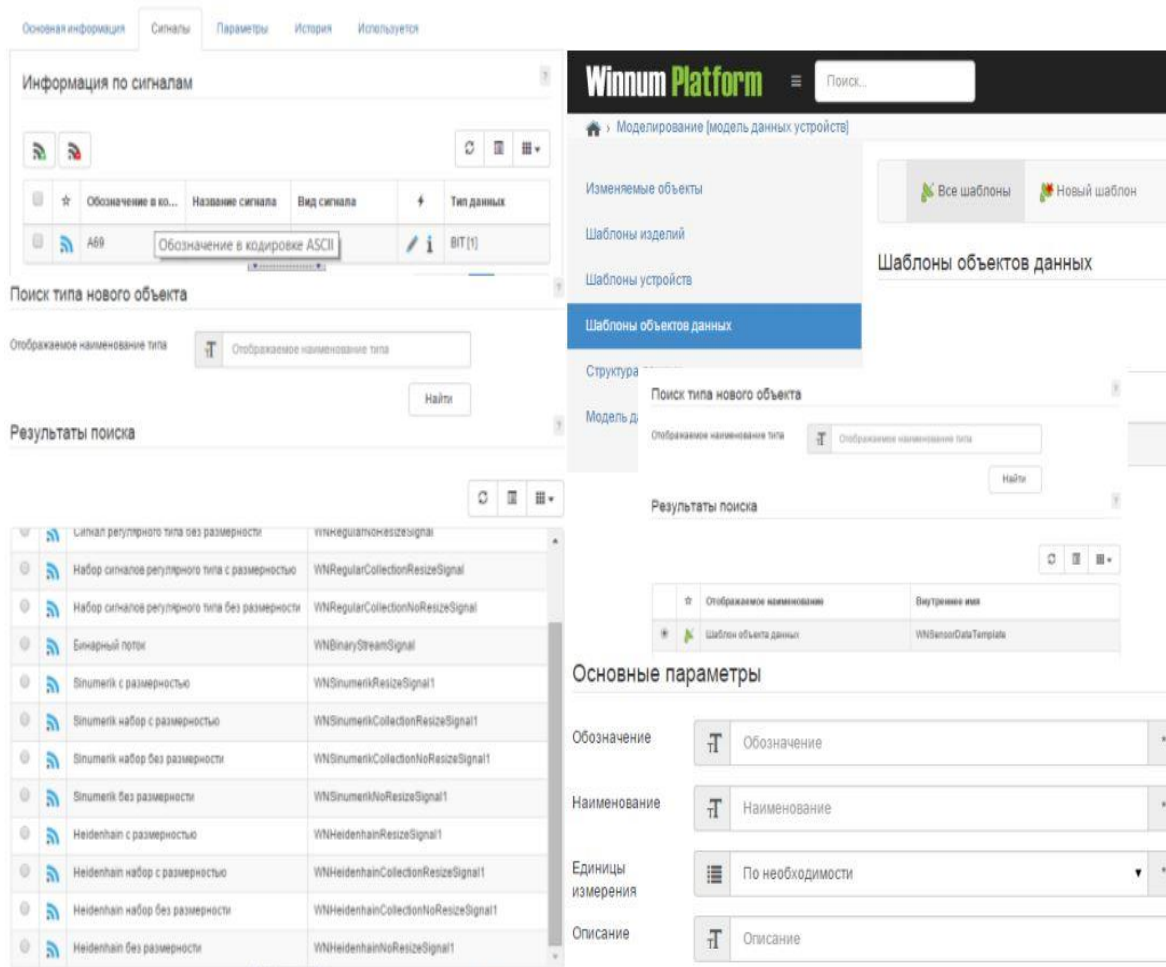
оборудования и описывает один или несколько взаимосвязанных сигналов. Сигнал связывается с шаблоном объекта данных и служит для описания физического сигнала. Создание шаблонов может выполняться в любом порядке. По окончании создания шаблонов обеспечиваем связывание шаблонов объектов данных с родительскими шаблонами оборудования. В результате формируем модель данных изделия.

В рамках разрабатываемой методики считаем необходимым выделить ключевые этапы интеграции имеющегося производственного оборудования в информационную среду предприятия:

- создание структуры модели данных оборудования (шаблона);
- разработка шаблонов устройств, объектов данных и сигналов (рис. 1а). необходимо определиться, с каким типом сигнала планируется работать в дальнейшем;
- сигналы регулярные (без размерности, с размерностью, наборы без размерности, наборы с размерностью) – используются для стандартных типов данных;
- сигналы нерегулярные (без размерности, с размерностью, наборы без размерности, наборы с размерностью) – используются для работы с памятью (с блоками данных контроллеров SINUMERIK, HEIDENHAIN);
- файлы – используются для приема и передачи бинарных потоков данных.
- создание виртуального образа оборудования – задание значения параметров (рис. 1б);
- создание шаблона оборудования, а именно – выбранной итерации шаблона оборудования;
- задание наименования оборудования;
- указание серийного номера – уникального параметра, отличающего данный экземпляр оборудования;
- описание рассматриваемого оборудования;
- задание адреса размещения, точки расположения объекта;
- указание часового пояса, в котором находится оборудование;
- определение папки размещения.
- подключение к существующему оборудованию – настройка подключения оборудования через коннектор, соответствующий данному типу устройства. подключение оборудования к облаку;
- выбор алгоритма шифрования при передаче данных;
- указание IPv4 – IPv6 изделия – IP физического изделия;
- назначение интервалы (секунды) – интервала передачи данных, полученных от изделия коннектором в облако;
- распределение имеющегося оборудования между приложениями платформы промышленного интернета вещей – указание оборудования, отслеживаемого в приложении;
- Winnum OEE – автоматический контроль и отслеживание изменений показателей OEE (Overall Equipment Effectiveness – эффективность использования оборудования);
- Winnum CNC – удалённый мониторинг и диагностика оборудования с ЧПУ;
- Winnum MSE – удалённый контроль показателей сборочного, измерительного и испытательного производственного оборудования.

Ожидаемые результаты текущей работы должны точно определить, насколько подготовленная методика применима на практике, упрощает и формализует процесс создания моделей данных промышленного оборудования. Руководствуясь подготовленной методикой, необходимо разработать и установить модели данных для оборудования стенда Schneider Electric (рис. 2): преобразователя частоты ATV 630U07M3, а также датчиков температуры и влажности, подключенных через

логический контроллер TM 251 MSE, что позволит интегрировать имеющееся оборудование в цифровую среду IIoT на базе лаборатории технологии цифрового производства.



а б  
Рис. 1. Инструментарий формирования: сигналов (а); модели данных (б)



Рис. 2. Стенд с оборудованием Schneider Electric

### Литература

1. Давыдов В. SCADA. Системы в управлении // Учебное пособие. Санкт-Петербург. 2010. с. 9-30.
2. Colombo A.W., Bangemann T., Karnouskos S., Delsing J., Stluka P., Harrison R., Jammes F., Martinez L., Jose L. Industrial Cloud – Based Cyber – Physical Systems: The IMC – AESOP Approach. Springer. 2014. 245 p.
3. Козлецов А.П., Решетников И.С. Сбор данных в MES-системах. Основные подходы. – Автоматизация производства // Рациональное управление предприятием. No 1. 2013. С. 74–76.
4. Patel P., Ali M.I., Sheth A. From raw data to smart manufacturing: AI and semantic web of things for industry 4.0 // IEEE Intell. Syst. 33 (4) (2018). pp. 79-86.
5. Интеграция данных об изделии на основе ИПИ/CALS-технологий в промышленности. М. НИЦ CALS «Прикладная логистика». 2012. 140 с.



**Новикова Евгения Сергеевна**

Год рождения: 1984

СПИИРАН,

лаборатория проблем компьютерной безопасности,  
старший научный сотрудник,

e-mail: evgeshka19@mail.ru



**Волосюк Александр Александрович**

Год рождения: 1985

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,

факультет компьютерных технологий и информатики,  
старший преподаватель,

e-mail: aavolosiuk@gmail.com



**Бестужев Михаил Павлович**

Год рождения: 1994

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,

аспирант,

направление подготовки: 05.13.01 – Системный анализ,  
управление и обработка информации,

e-mail: bestugev94@gmail.com



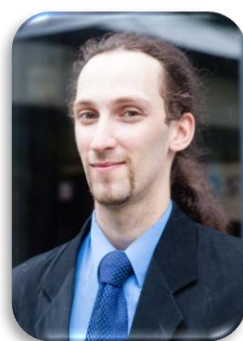
**Коннова Алёна Вадимовна**

Университет ИТМО, факультет программной  
инженерии и компьютерной техники,

магистрант группы Р42722,

направление подготовки: 09.04.02 – Информационные  
системы и технологии,

e-mail: akonnova88@gmail.com



**Лавров Алексей Валерьевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,

старший преподаватель,

направление подготовки: 05.13.18 – Математическое  
моделирование, численные методы и комплексы программ,

e-mail: lavrov@corp.ifmo.ru

УДК 004.9

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОТ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Е.С. Новикова, А.А. Волосюк, П.М. Бестужев, А.В. Коннова, А.В. Лавров**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

В работе рассмотрены различные методики графического представления данных, применяемых в системах мониторинга и управления сложными распределенными объектами. Показано, что методики, в основе которых лежит проецирование исходного многомерного пространства в двумерное, могут быть эффективны при формировании общего понимания текущего состояния системы, а при сочетании их со стандартными двумерными линейными графиками позволяют эффективно исследовать аномалии в данных.

### **Ключевые слова**

Киберфизические системы, потоки разнородных данных, визуализация многомерных данных, выявление аномалий.

Современные киберфизические системы характеризуются как сложностью структуры взаимодействующих компонент, так и сложностью генерируемых данных. Примерами киберфизических систем являются «умные» сети электроснабжения, системы управления «умным» зданием, транспортом, автоматизированные системы управления производственными процессами. Эффективное управление такими систем предполагает выполнение цикла «управление – получение данных – обработка данных – управление». Это означает, что аналитик должен иметь возможность своевременно получить данные, необходимые для принятия решения. То, насколько точно аналитик воспринимает информацию, зависит не только от того, к каким событиям он имеет доступ, но и от того, каким образом эта информация представлена на аналитических панелях систем автоматизированного управления киберфизическими системами.

Проектирование пользовательских интерфейсов таких систем требует учитывать объем и форму подачи информации пользователям, чтобы избыток информации и плохая визуализация данных не приводили к перегрузке пользователя. Для этого интерфейс должен следовать принципам ситуационного восприятия, которое состоит из трех уровней: первый уровень – восприятие новой информации, второй – осознание информации и ее оценка, третий – принятие решений [1].

Исследование современных систем управления сложными объектами показало, что наиболее распространенным подходом для графического представления данных является использование схем, отражающих функциональные объекты системы и их состояние с помощью цвета или набора иконок, показывающих данные от сенсоров в числовом виде. Примером таких систем являются мнемосхемы систем управления космическими аппаратами, планы этажей здания с указанием расположения контролируемых сенсоров, и т.п. Например, в работе [2] исследуется способ цветового обозначения уровня энергопотребления в различных помещениях «умного» здания (см. рис. 1).

В схожих подходах общее состояние объекта кодируется с помощью некоторых интегральных показателей, которые отображаются в виде специальных сложносоставных глифов, способных передать информацию, как об историческом контексте данных, так и о возможных значениях параметров, входящих в состав

интегрального. Например, в [3] предложена модель глифа, имеющего вид секторной диаграммы, вложенной в сегментированное кольцо. Сектора диаграммы обозначают значения интегрального показателя защищенности компьютерного узла и трех других показателей безопасности, на основе которых вычисляется интегральный показатель. Сегменты кольца показывают предыдущие значения соответствующих показателей (рис. 2). Авторы показали, что такая модель графического представления подходит для отображения большого числа объектов.

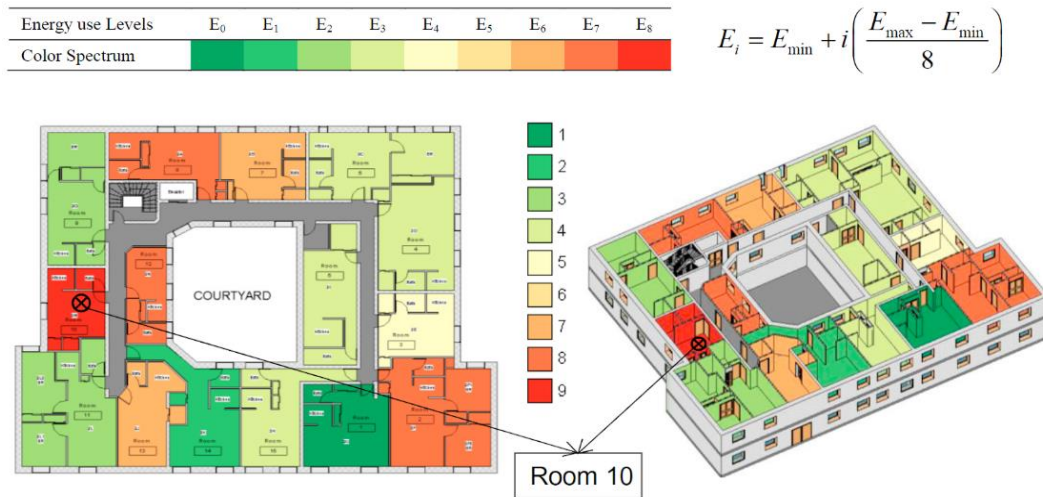


Рис. 1. Пример визуализации данных на схеме здания с помощью цвета

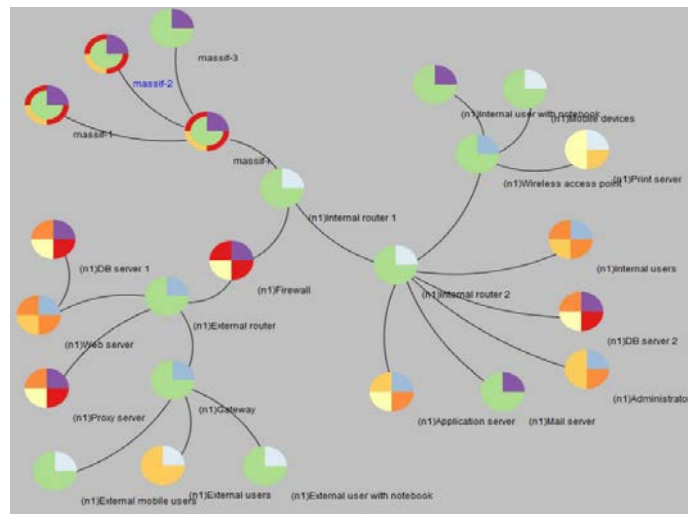


Рис. 2. Пример визуализации информации о состоянии элементов системы с помощью секторных диаграмм

Использование такого подхода поддерживает ситуационную осведомленность оператора, показывая обобщенную информацию о данных и событиях, распределенных во времени и пространстве, и давая возможность прогнозировать будущий статус контролируемой системы.

При исследовании различных аномалий, которые, если и были выявлены автоматически, но тем не менее требуют выяснения причин их появления, традиционно используются линейные графики, отражающие изменения выбранных параметров во времени. Чаще всего такой анализ выполняется вручную, является достаточно трудоемким процессом, требующим значительных когнитивных усилий со стороны



аналитика.

Авторы считают, что применение других методик, поддерживающих визуальную корреляцию выбранных параметров, может значительно повысить эффективность исследования больших наборов данных. Ключевой проблемой является выбор способа представления данных, который позволяет 1) отобразить множество различных параметров, 2) выявить связи между данными. В [4] были сформулированы два основных подхода к построению модели графического представления данных, поддерживающих их анализ:

- 1) пиксель-ориентированные подходы, в котором множество событий представляет собой последовательность пикселей;
- 2) подходы, в основе которых лежит множество различных моделей визуализации, используемых для представления данных разного типа, и формирующих графические представления для некоторых срезов времени.

Примером подхода первого типа служит подход, описанный в [5]. Авторы предложили несколько вариантов пиксель-ориентированных моделей для анализа данных об энергопотреблении системы – Recursive Pattern (Рекурсивный шаблон) и Spiral View (спираль). Рекурсивный шаблон представляет собой матрицу, ячейки которой соответствуют усредненному значению некоторого параметра; ячейки матрицы упорядочены по времени (рис. 3). Спираль также представляет собой пиксель-ориентированную методику представления данных, но пиксели расположены по спирали. Каждый виток спирали представляет собой один день (рис. 4). Авторы показывают, что пиксельный подход эффективен для отображения временных закономерностей потребления энергии. Несомненным достоинством пиксель-ориентированного подхода является возможность:

- 1) показать большие объемы данных;
- 2) сформировать легко различимые паттерны и аномалии в данных. Однако, при этом следует помнить, что, из-за небольших размеров ячеек матрицы, следует тщательно подходить к выбору цвета, поскольку ячейки разного цвета, но одного уровня насыщенности, плохо различаются человеком.

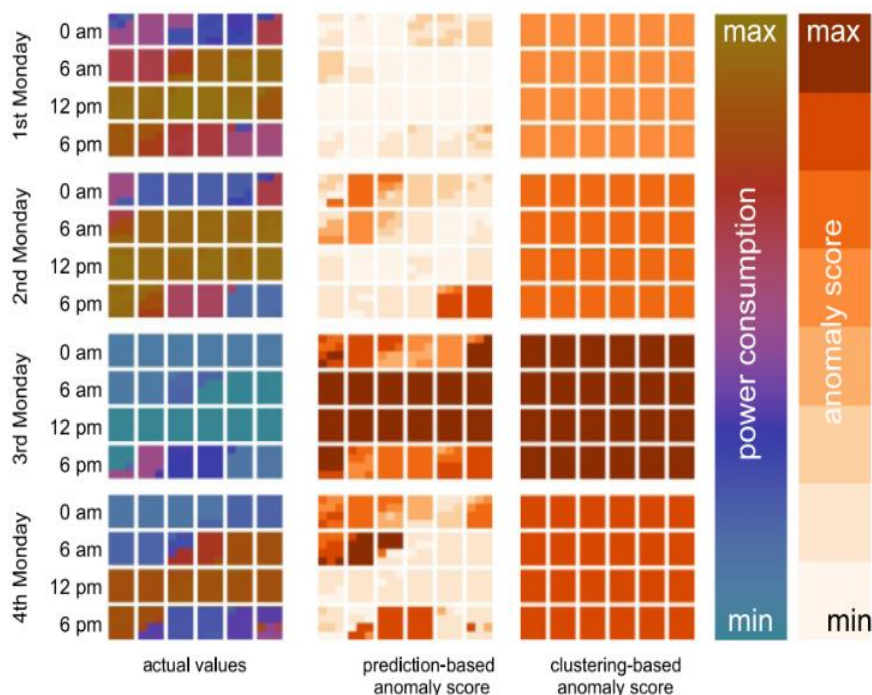


Рис. 3. Рекурсивный шаблон визуализации изменения данных во времени

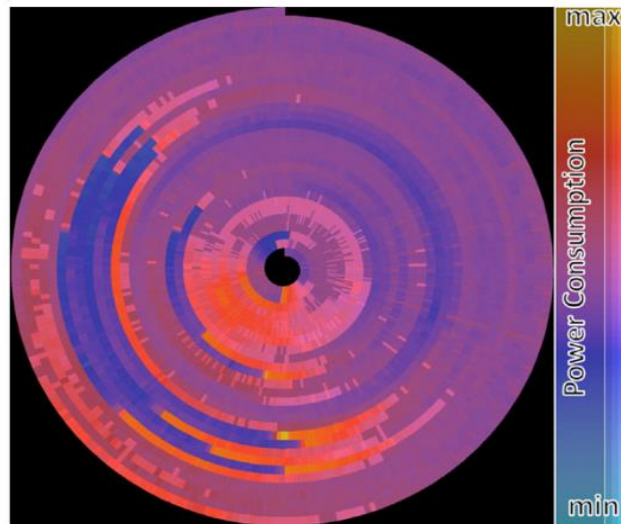


Рис. 4. Спиральная визуализация изменения данных во времени

Классическим примером подхода второго типа является работа Ф. Фишера и Д. Кайма [6]. В основе их работы лежит концепция срезов данных, которая позволяет объединять данные от разных источников в группы, если изменения в них не превышают некоторый заданный порог. В зависимости от типа данных используются различные методики визуализации, например, текстовые данные сетевых пакетов отображаются в виде облака слов, распределение IP-адресов получателей в потоке – с помощью вложенной карты деревьев, а сетевые потоки – в виде связанного графа. Предложенный подход реализован в инструменте NStreamAware, который может быть использован как для мониторинга событий от датчиков кибербезопасности, так и для анализа данных социальных сетей (рис. 5). Срезы данных оформляются в виде прокручиваемых слайдов, цвет фона которых отражает уровень подобия между срезами. Важным достоинством данной работы является возможность снизить объемы отображаемой информации путем группирования «одинаковых» данных и возможность выделить значимые изменения в потоках данных.

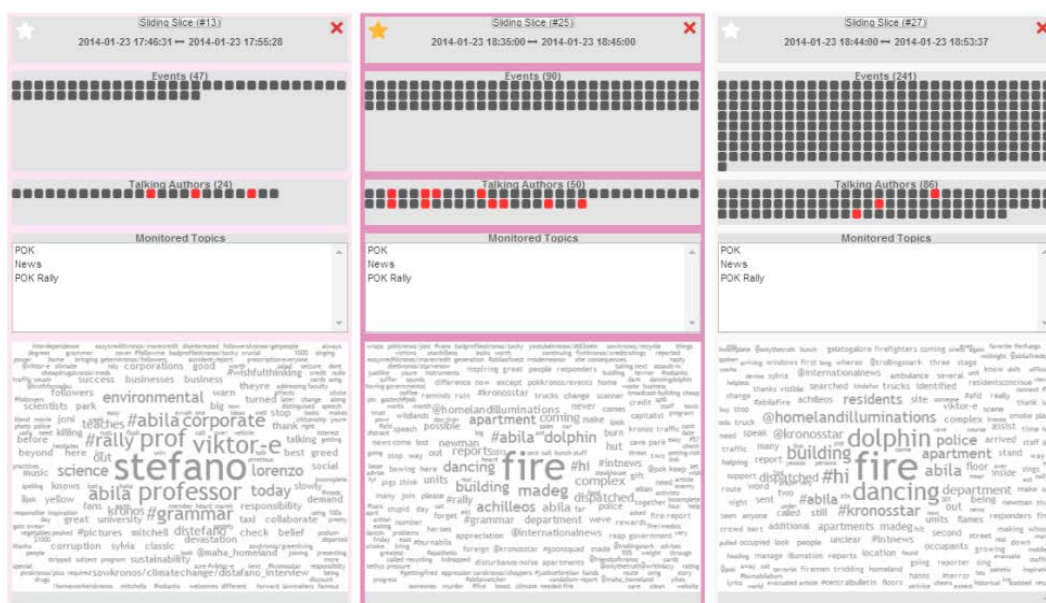


Рис. 5. Три последовательных среза данных, сформированных при анализе потоков данных, отражающих изменение темы с помощью облаков слов

В [7] предложен подход, который объединяет достоинства выше указанных работ. Ключевым элементом является способ представления многомерных данных RadViz, который осуществляет проекцию исходного многомерного пространства в двумерное. Отличительной особенностью RadViz является возможность объяснить положение многомерной точки на двумерной плоскости, что отличает эту методику от других методик снижения размерности исходных данных. Кроме того, RadViz можно рассматривать как инструмент кластеризации, который не требует предварительных знаний о количестве кластеров, однако качество кластеризации зависит от схемы расположения атрибутов анализируемых данных. RadViz-визуализация дополняется матричным представлением, которое построено с использованием концепции срезов данных. Каждый срез данных представляет собой столбец матрицы, а строки – контролируемые параметры, таким образом ячейка матрицы – это среднее значение некоторого параметра за некоторый период времени. Цвет ячейки показывает величину значения. Чем темнее ячейка, тем выше значение соответствующего параметра. Нелинейность преобразования шкалы времени компенсируется использованием связанных линейных графиков с временной шкалой, которые показывают реальные значения параметров.

В работе [7] авторы показали, что данный подход может быть эффективно использован для выявления различных аномалий в функционировании системы тепловентиляции и кондиционирования. Однако достаточных исследований по удобству предложенных методик визуализации выполнено не было.

**Целью** данной работы является исследование трех способов визуализации данных от сенсоров разного типа, чтобы понять, какие способы графического представления данных эффективны для выполнения аналитических задач. Исследование было решено разделить на два этапа: пилотный эксперимент на малой выборке респондентов для качественного сравнительного анализа способов визуализаций, и затем количественный эксперимент с контролем независимых и зависимых переменных. В данной работе приведены краткие результаты пилотного эксперимента, и составленный на их основе план основного эксперимента.

В качестве трех различных типов визуализации были выбраны 1) линейные графики с временной шкалой, 2) матричное представление в сочетании с концепцией временных срезов, 3) методика проекции многомерных данных в двумерное (RadViz).

Аналитическая задача была сформулирована так же, как и в [7] – необходимо определить типичные дни функционирования системы и выявить интервалы времени с аномалиями, описать аномалии. Тестовыми данными послужил сокращенный набор данных, предоставленных в рамках конкурса по визуальной аналитике VAST Challenge 2016. Участниками пилотного исследования стали 8 человек, четверо из которых имеют опыт эксплуатации киберфизических систем. Респонденты сначала получили информацию о способах представления данных, их особенностях, авторы также подробно представили им исследуемый сценарий, после чего участники приступили к выполнению поставленных задач. В ходе выполнения исследования фиксировались время выполнения, порядок действий испытуемых, их вопросы и ответы, и др.

Были получены следующие **результаты**. Все респонденты успешно обнаружили аномалии в двух рабочих днях. Лишь немногие обратили внимание на аномалию в третьем рабочем дне. Почти все участники выполнили задание за 40-50 минут, двое справились за 20 минут, один отвечал 107 минут. Чаще всего использовалось матричное представление данных, реже всего – RadViz, несмотря на то, что линейные графики были названы самыми понятными, а RadViz самым непонятным.

На основе полученных результатов было определено, что при проведении основного эксперимента следует отводить не менее 45 минут на выполнение заданий респондентами. Основными измеряемыми показателями эффективности при этом

будут: фактическое время на изучение способов визуализаций респондентом, фактическое время на выполнение задания, количество верно и неверно обнаруженных аномалий.

По результатам проделанной работы можно сделать **заключение**, что использование концепции среза данных в сочетании с матричным представлением является достаточно перспективным способом представления данных для исследования исторических данных. А вот вопрос применения методик снижения размерности исходных данных не имеет однозначного ответа и требует продолжения исследований, как в отношении выбора соответствующей методики, так и в отношении оценки пользовательского опыта их использования.

### Литература

1. Krajewski J. Situational Awareness – The Next Leap in Industrial Human Machine Interface Design. 2015.
2. Truong H., Francisco A., Khosrowpour A., Taylor J. E., Mohammadi N.: Method for visualizing energy use in building information models. Energy Procedia. Vol. 142, pp. 2541-2546 (2017). DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.089.
3. Kotenko I., Novikova E. Visualization of security metrics for cyber situation awareness // Proceedings - 9th International Conference on Availability, Reliability and Security, ARES 2014. 2014. P. 506–513.
4. Новикова Е.С., Котенко И.В. Открытые задачи визуального анализа в системах управления информационной безопасностью // Информационно-управляющие системы. 2019 №2, С. 57-67.
5. Janetzko H., Stoffel F., Mittelstädt S., Keim D. A. Anomaly detection for visual analytics of power consumption data // Comput. Graph. 2014.
6. Fischer F., Keim D.A. NStreamAware: Real-time visual analytics for data streams to enhance situational awareness // ACM International Conference Proceeding Series. 2014.
7. Novikova E., Bestuzhev M., Kotenko I. Anomaly Detection in the HVAC System Operation by a RadViz Based Visualization-Driven Approach // Katsikas S. et al. (eds) Computer Security. CyberICPS 2019, SECPRE 2019, SPOSE 2019, ADIoT 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11980. Springer, Cham. 2020. P. 402–218.



**Павлова Марина Владимировна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № Р41301,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления  
движением и навигации,  
e-mail: mar.pavlova2018@yandex.ru



**Юльметова Ольга Сергеевна**  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
д.т.н., доцент,  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
начальник сектора 0772,  
e-mail: olga@yulmetova.ru

УДК 62-251

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ СФЕРИЧЕСКИХ УЗЛОВ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

**М.В. Павлова**

**Научный руководитель – д.т.н., доцент О.С. Юльметова**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Исследование и разработка технологии напыления функциональных покрытий на узлы гироскопических приборов».

### **Аннотация**

Объектами для исследований в рамках настоящей работы выступают плоский образец и сферический ротор. В работе рассмотрена возможность формирования тонкопленочного хромового покрытия с целью обеспечения однородной поверхностной проводимости и выявления технологических методов и средств управления оптическими параметрами растрового рисунка. Представлена технология, позволяющая осуществлять модификацию поверхностной структуры тонкопленочного покрытия.

### **Ключевые слова**

Тонкопленочное покрытие, хром, контрастность поверхности, поверхностная проводимость, электростатический гироскоп.

В современных и перспективных гироскопических приборах особое внимание уделяется чувствительному элементу [1]. Главным узлом чувствительного элемента для электростатического гироскопа является сферический ротор. Ротор должен

соответствовать требованиям, предъявляемым к геометрии, величине дисбалансов, контрастности и равномерности оптического рисунка. Помимо этого, перспективным требованием является однородность поверхностной проводимости, т.к. при изготовлении сферического ротора на поверхности нитрида титана формируется светоконтрастный рисунок методом лазерной маркировки с образованием оксида титана [2, 3]. Следовательно, поверхность ротора будет иметь участки с разной электропроводностью. Наличие таких участков на поверхности ротора приводит к появлению тормозящих моментов при вращении ротора в электростатическом подвесе. В связи с этим, для обеспечения более однородной поверхностной проводимости и возможности управления процессом формирования оптических параметров рисунка было предложено исследовать процессы модификации поверхности ротора за счет напыления тонкопленочного покрытия хрома на финишную поверхность сферического ротора, что и является целью работы.

Для проведения экспериментально-исследовательских работ по напылению хрома предварительно на поверхности плоского образца, покрытого нитридом титана, было сформировано оптическое изображение. Режим для формирования оптического изображения представлен в таб. 1.

Таблица 1

#### Режимы маркирования исследуемых образцов

Мощность лазерного излучения, %	25
Плотность заливки, лин/мм	250
Скорость движения лазера, мм/с	85
Частота следования импульсов, кГц	99
Длительность импульсов, нс	4
Число проходов	1-4
Диаметр линзы, мм	100

Число проходов лазера для формирования оптического изображения варьировалось от 1 до 4 для того, чтобы в зависимости от структурно-фазового состава маркированной поверхности оценить влияние хромового покрытия на контрастность растрового рисунка. При первом проходе лазера был получен золотистый цвет маркированного слоя, на втором проходе - коричневый, на третьем - фиолетовый и на четвертом – синий (рис. 1). Всего на пластину было нанесено три группы меток по 4 метки в каждой группе.



Рис. 1. Плоский образец после нанесения оптического рисунка

Далее экспериментально были подобраны режимы напыления тонких пленок хрома за 4,5 и 9 минут напыления, что соответствует толщинам 20-30нм и 40-50нм (таб. 2).

В ходе исследований было выявлено, что хром при напылении на поверхность нитрида титана существенно изменяет его цветовую гамму (рис. 2). За 4,5 минуты напыления цвет нитрида титана становится более насыщенным темно-золотистым, а за 9 минут напыления - изменяется до фиолетового.

Таблица 2

Режимы напыления пленки хрома методом КИБ

Время напыления t, мин	4,5	9
Вакуум в камере $P_{\text{вак}}$ , мм рт.ст.	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Ток дуги I, А	110	110
Напряжение смещения U, В	150	150
Цвет на поверхности нитрида титана	золотистый	фиолетовый

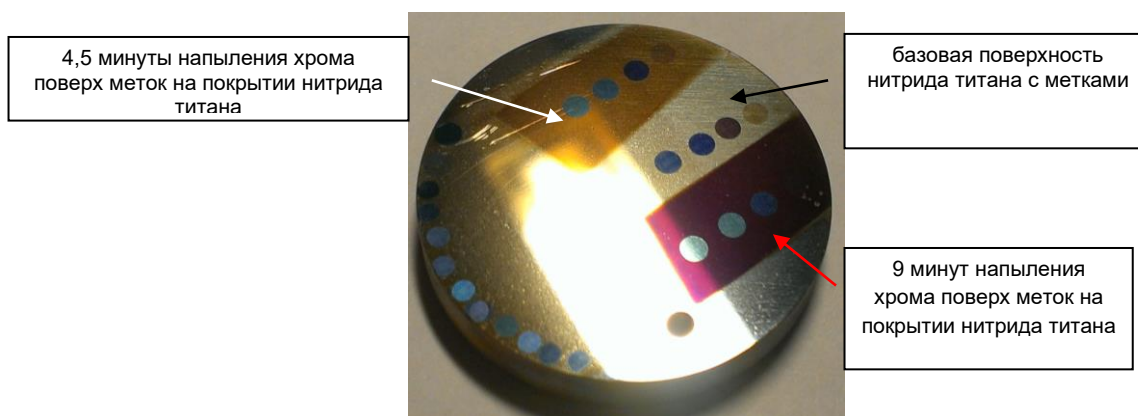


Рис. 2. Плоский образец после напыления хрома

Следующим этапом было проведение исследований на поверхности сферического ротора. Формирование оптического рисунка и нанесение пленки хрома осуществлялось по режимам, представленным в таб. 1 и таб. 2 соответственно.



Рис. 3. Локальное напыление хромового покрытия на сферический ротор: 4,5 минуты – слева, 9 минут – справа

Из рис. 3 видно, что характер изменения цветовой гаммы нитрида титана после локального напыления тонкопленочного хромового покрытия на сферическую поверхность сохранился.

Для оценки контраста полученных структур на плоской поверхности и поверхности сферического ротора были определены коэффициенты отражения базовой поверхности нитрида титана и маркированной поверхности, а также контраст растрового рисунка (таб. 3).

Таблица 3

**Результаты оценки коэффициентов отражения и контрастности**

	Вид образца	ПЛОСКИЙ ОБРАЗЕЦ		РОТОР ЭСГ	
		Коэфф. отражения	Контраст	Коэфф. отражения, В	Контраст
	Оборудование	микроскоп-спектрофотометр МСФУ-К (погрешность 20%)		стенд для оценки контрастности оптических меток ротора ЭСГ	
	Оптический параметр на длине волны 860 нм	Коэфф. отражения	Контраст	Коэфф. отражения, В	Контраст
БЕЗ ХРОМА	Базовая поверхность TiN	0.16		35	
	1 проход лазером по титану	0.12	0,14	25	0,17
	2 прохода лазером по титану	0.07	0,39	14	0,43
	3 прохода лазером по титану	0.05	0,52	9,5	0,57
	4 прохода лазером по титану	0.04	0,6	4,5	0,77
После напыления хрома 4,5 мин	Хром 4,5 мин на поверхности TiN (золотистый)	0.13		28	
	1 проход лазером по титану	0.12	0,04	25	0,06
	2 прохода лазером по титану	0.04	0,53	5	0,7
	3 прохода лазером по титану	0.03	0,625	3	0,81
	4 прохода лазером по титану	0.02	0,73	1,5	0,9
После напыления хрома 9 мин	Хром 9 мин на поверхности TiN (темно-фиолетовый)	0.11		23	
	1 проход лазером по титану	0.08	0,16	16	0,18
	2 прохода лазером по титану	0.04	0,47	5	0,64
	3 прохода лазером по титану	0.02	0,69	1,5	0,88
	4 прохода лазером по титану	0.015	0,83	1,1	0,92

Анализируя данные, представленные в таб. 3, можно сделать вывод, что напыление тонкопленочного покрытия хрома понижает значения коэффициентов отражения как базовой поверхности, так и наносимого оптического рисунка, но в



разной степени, что, в конечном счете, приводит к общему повышению коэффициента контрастности. Для наглядности можно представить совокупность линий равной контрастности для различных сочетаний коэффициентов отражения базовой поверхности и зоны оптического рисунка для плоского образца (рис. 4). В данном случае видно, что увеличение величины контраста, например, с 0,5 до 0,7 гипотетически возможно по линиям: 1-2, что соответствует увеличению как коэффициента отражения базовой поверхности  $K_b$ , так и коэффициенту отражения растра  $K_r$ , 1-3, вариант, когда уменьшаются оба коэффициента, и 1-4 в случае увеличения  $K_b$  и уменьшения  $K_r$ . Из таб. 3 следует, что представленные экспериментальные данные по изменению контраста описываются линией перехода 1-3. При этом характер перехода и получаемая контрастность зависят как от толщины хромового покрытия, так и от свойств маркированного слоя, определяемого числом проходов лазера, что обуславливает определение условий лазерного маркирования в качестве управляющего фактора при формировании оптических параметров посредством модификации поверхности ротора.

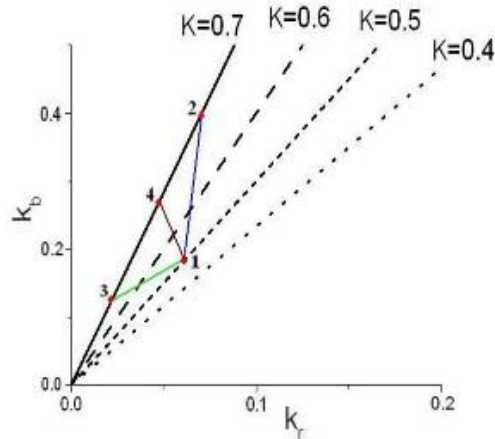


Рис. 4. Линии равного контраста

На основе данных таб. 3 также можно построить график зависимости контрастности от числа проходов лазера для различных толщин пленок хрома (рис. 5). Из рис. 5 видно, что повышение толщины покрытия приводит к значительному повышению контрастности и наибольшее увеличение контраста происходит при формировании оптического рисунка за 2 прохода лазера и нанесения пленки хрома в течение 4,5 минут.

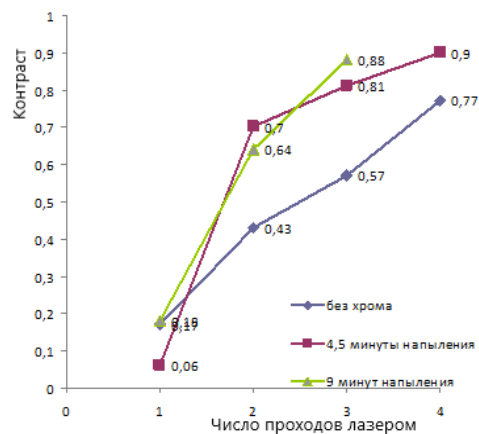


Рис. 5. Зависимость контрастности от числа проходов для разных толщин пленок хрома на сферическом роторе

Из представленных графических зависимостей (рис. 4, рис. 5) следует, что возможно техническое решение, при котором лазерное маркирование растрового рисунка осуществляется при минимальном воздействии лазерных импульсов. Это обеспечит контраст поверхности на уровне 0.1-0.2, который является недостаточным для функционирования системы съема информации со сферического узла, однако позволяет минимизировать изменение электрофизических свойств нитрида титана, что крайне важно для уменьшения тормозящих моментов при вращении ротора в электростатическом подвесе. Последующее напыление хрома толщиной сотые доли микрометра позволяет повысить контраст до требуемых значений порядка 0,4.

Таким образом, в ходе настоящего исследования разработана технология напыления хрома методом катодно-ионной бомбардировки, позволяющая получить хромовое покрытие толщиной 20-50Нм. Определены параметры процесса напыления хромового покрытия, от которых зависит характер модификации поверхностной структуры. Выявлена принципиальная возможность управления контрастом растрового рисунка и определены управляющие факторы процесса модификации поверхностной структуры, позволяющие регулировать коэффициент отражения поверхности раstra посредством нанесения покрытия хрома. Это позволяет при лазерной маркировке формировать оптический рисунок с минимальным контрастом (0,1-0,2), что минимизирует возможное искажение формы и дисбаланса ротора. Направления дальнейших работ будут посвящены контролю электрического сопротивления поверхностного слоя.

### Литература

1. Юльметова О.С. Формализация концептуальной модели процесса повышения точности электростатического гироскопа. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* №2. 2018. с. 132-138.
2. Юльметова О.С., Щербак А.Г., Буцык А.Я., Ландау Б.Е, Вейко В.П, Валетов В.А. Способ изготовления ротора электростатического гироскопа./ пат. RU 2498224; заявл. 05.06.12; опубл. 10.11.13.
3. Юльметова О.С., Щербак А.Г., Вейко В.П., Юльметова Р.Ф., Щербак С.А. Управление контрастностью растрового рисунка при лазерной маркировке: моделирование технологического процесса. *Изв. вузов. Приборостроение.* 2015. № 6(58). с. 485-491.



**Панарина Дарья Николаевна**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,  
факультет программной  
инженерии и компьютерной техники,  
студент группы № Р41191,

направление подготовки: 09.04.01 – Информатика

и вычислительная техника,

e-mail: darpanar@yandex.ru



**Балакшин Павел Валерьевич**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.т.н.,

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.93

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ВЫРАЖЕНИЙ ЛИЦА**

**Д.Н. Панарина**

**Научный руководитель – к.т.н. П.В. Балакшин**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

В работе рассматривается текущее состояние рынка систем распознавания эмоций. Приводятся основные положения теории распознавания эмоций по мимике, а также области применения рассматриваемых технологий. В результате анализа существующих коммерческих решений была выявлена актуальность проведения автоматической оценки искренности регистрируемых эмоций и поставлена задача реализации собственного приложения для оценки выражений лица человека по видео.

### **Ключевые слова**

Человеко-машинное взаимодействие, автоматическое распознавание эмоций, обработка видео, анализ мимики, ключевые точки лица, система кодирования лицевых движений.

### **Введение**

Полноценное общение между людьми невозможно без проявления и анализа эмоций. Поэтому при создании современных человеко-машинных систем актуально применение методов автоматического распознавания эмоций (таблица) [1]. По данным аналитического агентства Mordor Intelligence рынок систем распознавания эмоций за 2019 год был оценен в 17,37 миллиарда долларов. В таблице представлены прогнозы темпов роста рынка, составленные несколькими аналитическими агентствами. По оценке западных специалистов самый быстрорастущий рынок находится в Азиатско-Тихоокеанском регионе, а самый большой – в Северной Америке.

### Прогнозы темпов развития рынка систем распознавания эмоций

Аналитическое агентство	Совокупный среднегодовой темп роста (CAGR), %	Объем рынка, млрд \$	Период прогноза, годы
MarketsandMarkets	39,9	36,07	2016 – 2021
Orbis Research	32,7	57,81	2018 – 2023
Market Research Future	39	65	2017 – 2023
Mordor Intelligence	40,46	128,76	2020 – 2025

Растущий с каждым годом интерес к технологиям распознавания эмоций объясняется широким спектром возможных сфер их применения. Например, они используются в медицине при проведении психологической диагностики, в маркетинговых исследованиях для определения реакции клиентов на товары, в робототехнике для совершенствования способов взаимодействия человека с сервисными роботами [2].

Способы анализа эмоций можно условно разделить на контактный и бесконтактный. При контактном способе на человека надевают прибор, считывающий физиологические показатели, такие как пульс, электропроводность кожи и т.д. Минусом такого подхода является то, что регистрируемые показатели позволяют судить только о степени эмоционального, стрессового напряжения [3]. Бесконтактный способ предоставляет информацию о том, какие именно эмоции испытывает человек, из анализа мимики, жестов, голоса, речи. При этом основным источником информации являются визуальные проявления эмоций.

#### Базовые положения для разработки систем распознавания эмоций по мимике

Разработки систем распознавания эмоций по мимике базируются на том факте, что выражения эмоций на лице являются универсальными, а не усваиваемыми по-разному в разных культурах. Они биологически детерминированы и являются результатом эволюции человека.

В 1978 году американские психологи Пол Экман и Уоллес Фризен предложили Систему кодирования лицевых движений (англ. FACS, Facial Action Coding System), которая была обновлена в 2002 году и используется по сей день. Эта система представляет собой комплексную, основанную на анатомии, систему для описания всех визуально различимых состояний лица человека. Каждое возможное выражение лица кодируется набором активных двигательных единиц (ДЕ) и интенсивностями задействования ДЕ. Двигательные единицы представляют собой основные движения, совершаемые отдельными мышцами или группой мышц лица [4].

Также Экман ввел набор из шести базовых эмоций: удивление, радость, грусть, гнев, страх, отвращение. Их выражения складываются из определенных комбинаций двигательных единиц лица [4]. Однако существует множество вариаций в проявлении той или иной эмоции у разных людей, обусловленных как физиологическими, так и социально-психологическими особенностями. Чтобы учитывать специфику мимики человека и точнее распознавать его эмоции, необходимо наличие информации о его нейтральном, спокойном выражении лица. Примеры выражений базовых эмоций приведены на рис. 1.



Рис. 1. Примеры выражений базовых эмоций

### Разработка приложения оценки выражений лица

С развитием вычислительной техники стали появляться различные программные разработки систем для автоматического распознавания эмоций. Были рассмотрены примеры существующих коммерческих решений. Американская компания Affectiva – одна из наиболее известных компаний в этой области, специализируется на анализе реакции потребителей на товары. Стоимость SDK для распознавания эмоций от этой компании начинается от \$25 000. Разработки нидерландской компании Noldus используются, помимо маркетинга, в медицине, нейрокомпьютерных интерфейсах, интерактивных устройствах виртуальной реальности, а также в исследованиях по нейрофизиологии. Стоимость их продукта под названием FaceReader начинается от €20 000. Российская компания Neurobotics разработала программное обеспечение EmoDetect, которое позволяет определить психоэмоциональное состояние человека по видео. Стоимость разработки составляет ¥100 000.

Существующие системы, как правило, не проводят оценки искренности выказываемых человеком эмоций. Однако подобная оценка могла бы дать представление об уровне достоверности получаемой от человека информации, что особенно актуально при проведении психологической диагностики, собеседовании на работу и следственных действиях. Поэтому по итогам проведённого анализа была поставлена цель – разработка системы для автоматической оценки искренности эмоций человека по видео.

На первом этапе достижения поставленной цели необходимо было проанализировать существующие методы, разработанные психологами для оценки искренности эмоций. Значительный вклад в исследование теоретических аспектов понимания и обнаружения скрываемой информации внес Пол Экман. В результате анализа его научных работ были выделены следующие признаки неискренности, которые будут применяться в разрабатываемом приложении [5]:

- микровыражения – короткие произвольные выражения лица, появляющиеся на лице человека, пытающегося скрыть или подавить эмоцию;
- смазанные выражения – выражения лица, образующиеся, когда человек осознает появление выражения и пытается его скрыть другой эмоцией;
- ассиметричные выражения – выражения, когда одна и та же эмоция проявляется на какой-то половине лица сильнее, чем на другой;
- верные признаки эмоций – выражения, возникающие в результате работы трудно управляемых мышц лица.

В качестве входных данных программе подается видеозапись человека, полученная, например, в ходе опросной беседы. При этом видео должно соответствовать следующим требованиям:

- лицо человека занимает не менее 80% кадра;
- разрешение – 640x480 px;
- частота кадра – не менее 30 кадров в секунду.

Для анализа мимики на лице определяются ключевые точки, после чего рассчитываются двигательные единицы по системе кодирования лицевых движений. Расчет ДЕ представляет собой вычисление геометрических расстояний между ключевыми точками лица, а также количества мимических морщин в области лба, внешних уголков глаз и губ. Затем определяется проценты выраженности базовых эмоций, а также производится оценка искренности выражения. В качестве выходных данных программа предоставляет список фрагментов видео, на которых были обнаружены признаки неискренности эмоций.

В качестве языка программирования был выбран C++, для работы с видеокадрами используется библиотека OpenCV. Для разработки графического интерфейса программы применяется фреймворк Qt. На рис. 2 представлен графический интерфейс разрабатываемого приложения.

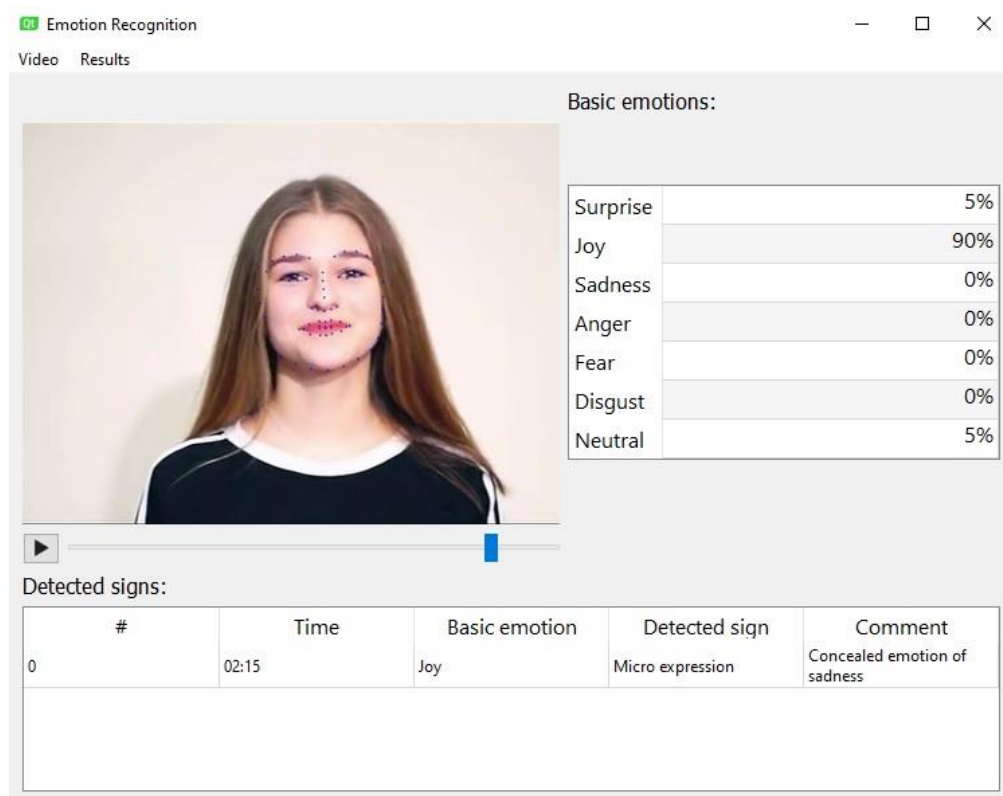


Рис. 2. Графический интерфейс разрабатываемого приложения

### Заключение

Приложение находится на стадии разработки. Необходимо проведение тестирования программы с целью оценки качества распознавания, для чего потребуются формирование базы видео. В ходе дальнейших работ планируется совершенствование алгоритма обработки видео для увеличения скорости обработки, а также расширение списка отслеживаемых признаков неискренности.

### Литература

1. Ахметшин Р.И., Кирпичников А.П., Шлеймович М.П. Распознавание эмоций человека на изображениях // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 11. С. 160–163.
2. Бобе А.С., Конышев Д.В., Воротников С.А. Система распознавания базовых эмоций на основе анализа двигательных единиц лица // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 9. 16 с.
3. Перспективные методы инструментальной психодиагностики в оценке достоверности информации / Венерина О.Г., Пучкова А.Н., Ткаченко О.Н., Соколов А.Е., Варламов А.А. // Педагогика и психология образования. 2015. №2. С. 78–84.
4. Ekman P. *Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions From Facial Expressions* / Paul Ekman, Wallace V. Friesen. Cambridge MA: Malor Books. 2003. 232 p.
5. Ekman P. *Telling Lies: Clues to Deceit in the Marketplace, Politics, and Marriage* / Paul Ekman. New York: W. W. Norton & Company. 2009. 416 p.



**Понькина Анастасия Алексеевна**  
Университет ИТМО,  
факультет технологического  
менеджмента и инноваций,  
студент группы №U 41718,  
направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,  
e-mail: anastasia.ponkina@mail.ru



**Боркова Елена Аркадьевна**  
Университет ИТМО,  
факультет технологического  
менеджмента и инноваций,  
к.э.н., доцент,  
e-mail: e.borkova@mail.ru

УДК 339.1

## **ВЛИЯНИЕ DIGITAL-ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННУЮ СФЕРУ В РОССИИ**

**А.А. Понькина**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент Е.А. Боркова**

### **Аннотация**

В статье рассматриваются новые цифровые технологии, применяемые в телекоммуникационной отрасли. Представлена структура телекоммуникационного сектора в процентном соотношении основных сегментов. На основе анализа отчетной документации и дорожных карт развития, опубликованных ПАО «Ростелеком», выявлен перечень программных мероприятий по развитию сферы ИКТ в России.

### **Ключевые слова**

Телекоммуникации, цифровые технологии, платформы развития, ИКТ.

Телекоммуникационные услуги являются основой для построения информационного общества. Уровень обеспеченности населения телекоммуникационными услугами входит в состав системы показателей качества жизни населения. Телекоммуникационные услуги позволяют обществу получать дополнительные каналы для обмена информацией.

К основным сегментам рынка телекоммуникаций можно отнести следующие компоненты [1]:

- 1) сотовая связь;
- 2) фиксированная телефония;
- 3) сеть Интернет;
- 4) платное телевидение.

Ниже приведена структура сегментов рынка телекоммуникационных услуг по объему доходов за 2019 год в России (см. рис.1) [2].



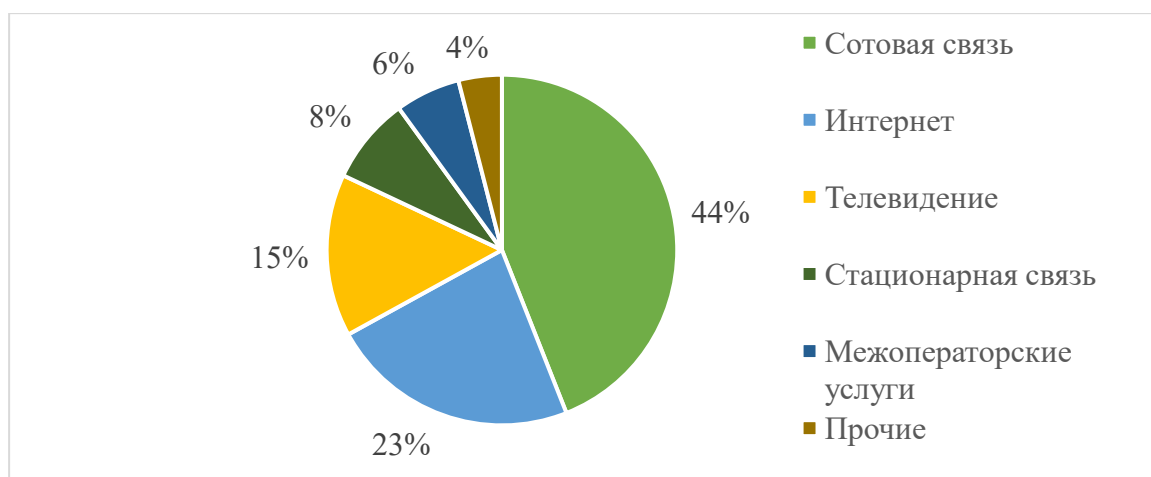


Рис. 1. Структура рынка телекоммуникаций по объему доходов за 2019 год

Таким образом, 44% объема рынка телекоммуникационных услуг составляет сотовая связь. Второе место занимает интернет – 23%, третье – телевидение, которое составило 15% объема рынка. Стационарная связь уже не пользуется такой популярностью, как это было ранее и занимает долю в 8%.

Ведущиеся разработки новых it-продуктов в телекоммуникационных компаниях сегодня связаны с аналитическими исследованиями big data, облачных сервисов, а также Интернета вещей (IoT), систем «Умный город».

Компания ПАО «Ростелеком» выделяет следующие основные направления развития в своей деятельности на основе digital-технологий (см. рис. 2) [3]:



Рис. 2. Направления деятельности ПАО «Ростелеком» по внедрению digital – технологий

Рассмотрим ключевые направления работ по каждому направлению [4]:

1. Платформа «Электронное правительство».  
– оцифровка инфраструктуры государства и создание единой облачной платформы.
2. Интерактивное телевидение.

– объединение мобильного приложения, web-портала и приложения для «Умного ТВ».

3. Образовательная платформа «Лицей».

– система информационно-библиотечных центров с индивидуальной траекторией.

4. «Национальная биометрическая платформа»

– облачная система для работы пространственными данными и данными полученными от Интернета вещей.

5. Концепция создания и развития сети 5G в России.

– Комплекс мероприятий, поддерживающих производство отечественного оборудования и ПО сетей связи 5G.

6. Платформа «Умный город».

– Достижение энергоэффективного управления ресурсами в области ЖКХ путем применения таких цифровых технологий, как «Видеонаблюдение», «Умный домофон», «Умное освещение», «Цифровой учет коммунальных ресурсов».

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что рынок телекоммуникационных услуг является крупным и динамично развивающимся. Телекоммуникации обеспечивают государство инструментом управления и сохранения национальной безопасности. Рассматриваемый рынок является значимым и перспективным сектором экономики страны, который играет важную роль в социально-экономической жизни общества [5]. Его дальнейшая трансформация на основе цифровых технологий обеспечит простоту и доступность получения необходимой информации с высокой скоростью.

### Литература

1. Боркова Е.А., Носкова П.О. Российское предпринимательство. 2019. Т. 20. № 4. С. 917-926.
2. Волкова А.А., Плотников В.А., Рукинов М.В. Цифровая экономика: сущность явления, проблемы и риски формирования и развития// Управленческое консультирование. 2019. № 4 (124). С. 38-49.
3. Российский телекоммуникационный рынок, 2018 год (Годовой отчет)// Копия ПАО «Ростелеком». М. 2018 г.
4. Яковлев И.А. Конкурентоспособность на рынке телекоммуникаций// Российское предпринимательство. 2017. № 2. С. 128.
5. Бороздина Н.А. Тенденции развития российского рынка услуг мобильной связи//Экономические науки. 2016. № 39–1. С.10.



**Попова Дарья Андреевна**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет ПИиКТ,  
студент группы № Р42601,  
направление подготовки: 09.04.02 – Компьютерная  
графика и веб-дизайн,  
e-mail: popova.daria.and@gmail.com



**Мальцев Михаил Игоревич**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет ПИиКТ,  
студент группы № Р42601,  
направление подготовки: 09.04.02 – Компьютерная  
графика и веб-дизайн,  
e-mail: mishamltsv1@gmail.com



**Готская Ирина Борисовна**

Год рождения: 1957  
Университет ИТМО,  
факультет ПИиКТ,  
д.п.н., профессор,  
e-mail: iringot@yandex.ru

УДК 004.4

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ  
(ИНСТРУМЕНТОВ) ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКОГО  
КОНТЕНТА ДЛЯ VR**

**Д.А. Попова**

**Научный руководитель – д.пед.н., профессор И.Б. Готская**

**Аннотация**

В работе обобщены и систематизированы существующие знания по теме создания графического контента для VR с целью использования полученных результатов в дальнейших исследованиях. Кроме того, выявлены общие положения о программных продуктах, предназначенных для создания 3D-моделей, выделены основные плюсы и минусы рассмотренных программ, а также проанализировано, какой из продуктов отвечает наибольшему количеству требований.

**Ключевые слова**

VR, виртуальная реальность, 3D-моделирование, компьютерная графика.

Многочисленные исследования российских и зарубежных авторов говорят о том, что индустрия VR – это пространство искусства, художественного творчества и развития креативности личности. Результаты сразу нескольких независимых

исследований указывают на неизбежные, различные по своему социальному знаку перемены, которые происходят под воздействием виртуальной реальности, в частности, того ее вида, который существует в рамках Интернет-коммуникаций.

Виртуальную реальность можно определить как искусственно созданный мир, передаваемый человеку через ощущения. Она имитирует воздействие и реакции на воздействие. Объекты виртуальной реальности имитируют поведение объектов материальной реальности для лучшего погружения пользователя, поэтому требования к этим объектам высоки. Они должны отвечать законам физики (гравитация, отражения, свойства материалов, деформация и т.д.), поэтому важным пунктом является выбор графического редактора для создания реалистичных 3D-моделей, используемых в VR-индустрии.

Несмотря на явную практическую значимость данной темы в создании компьютерной графики, она все еще практически не затрагивается отечественными авторами. Большинство существующих российских работ по моделированию так или иначе рассматривают вопрос сугубо с точки зрения создания объектов для РС. Аспект же VR-индустрии одинаково мало изучен как отечественными, так и зарубежными авторами.

Виртуальная индустрии становится все более популярной и используемой в таких сферах, как: образование, развлекательная индустрия, кино, проектирование, военная промышленность. Это связано с тем, что, согласно результатам отчета Goldman Sachs [1], рынок потенциальных потребителей проектов виртуальной реальности растет и имеет высокий потенциал развития к 2025 году (см. рисунок).

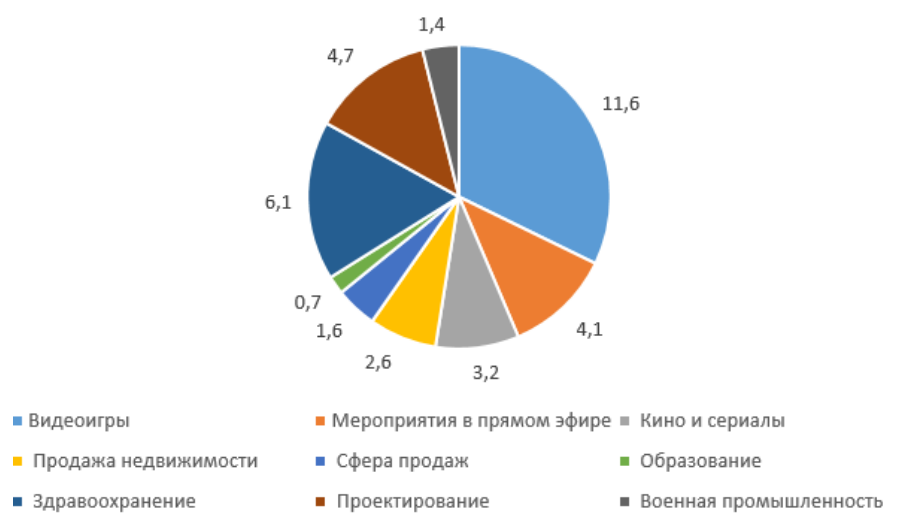


Рисунок. Оценка вовлеченности различных сфер в VR-индустрию в 2025 году

На данный момент одним из основных факторов низкой скорости развития технологий в индустрии развлечений является отсутствие у разработчиков необходимых инструментов для разработки графического контента. В виртуальной реальности, в отличие от других платформ (смартфоны, компьютеры, консоли) графический контент может быть комбинированным. Это означает, что он может содержать в себе как двумерные картинки, так и трехмерные объекты в виде моделей или примитивов, с которыми можно взаимодействовать напрямую.

Исходя из ранее выявленных тенденций развития виртуальной реальности следует, что мобильные шлемы приобретают всё большую популярность [2]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в инструменте крайне важно наличие функционала, способного создавать приложения под мобильные платформы. Помимо этого, некоторые шлемы поддерживают возможность не только работы с одной из

платформ, но и могут быть кроссплатформенными, а это означает, что желательно иметь возможность создания кроссплатформенных приложений.

Для комфортного взаимодействия разработчика и программы важен такой критерий как удобство использования. Низкий порог вхождения облегчает обучение специалистов новому ПО, что позволяет быстрее приступить к работе в инструменте. Наличие справочной документации облегчает работу с программой.

Согласно исследованиям группы ученых [3], крайне рекомендуется использовать трехмерные интерфейсы для создания эффекта погружения, а также двухмерные для формирования удобного и эргономичного взаимодействия. Таким образом, можно сделать вывод о том, что одним из критериев оценки инструмента является возможность работы как с двумерными картинками, так и с трехмерными объектами вместе, а не только по отдельности.

Кроме всего прочего, чтобы доработать или улучшить инструмент, необходимо, чтобы инструмент имел возможность расширения или дополнения функционала. Если его внутренняя структура закрыта для изменений, это означает, что его доработка невозможна. Таким образом, ключевым критерием в выборе инструмента является возможность его непосредственного изменения с технической точки зрения.

Современные инструменты позволяют создавать графический контент не только в самой виртуальной реальности, но также и без использования специализированного VR-оборудования (геймпадов, шлемов, трекеров) [4]. Одни из них являются отдельными приложениями или сайтами, позволяющими работать с виртуальной реальностью прямо в браузере, другие выполнены в виде расширений для уже существующих программ прототипирования интерфейсов [5]. Самыми популярными инструментами подобного типа являются:

- autodesk 3Ds Max;
- tilt Brush;
- sketch to VR;
- unity 3D;
- autodesk Maya;
- blender;
- zbrush.

Соответствие каждого из инструментов создания интерфейса для виртуальной реальности критериям указано в таблице.

Таким образом, на основе полученной таблицы можно сделать определенные выводы. Исходя из полученных данных можно сформировать список инструментов, подходящих под современные тенденции.

Такие приложения как Sketch to VR, и Tilt Brush обладают небольшим функционалом, они предназначены для создания трехмерных прототипов или простых примеров 3D-моделей, адаптированных под виртуальную реальность. Они не имеют возможности настройки управления или создания скриптов, а также не могут быть адаптированы под другие платформы.

Unity 3D – это игровой движок, предназначенный для создания игрового интерфейса, возможности моделирования в нем ограничены.

Самым подходящим инструментом для моделирования под виртуальную реальность являются Autodesk 3Ds Max, Autodesk Maya, Blender, ZBrush. Это наиболее используемые в 3D-моделировании программные продукты, имеющие в своем составе специальный функционал, позволяющий не только создать сложные 2D и 3D-модели различных типов, но также анимировать их, дополнить различными скриптовыми элементами, создавать и применять различные текстуры, а также перевести готовый результат на любую платформу.

**Соответствие инструмента создания интерфейса критериям**

Критерий/ Инструмент	Autodesk 3Ds Max	Tilt Brush	Sketch to VR	Unity 3D	Autodesk Maya	Blender	ZBrush
Работа с 2D-объектами	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓
Работа с 3D-объектами	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓
Прямая настройка управления	✓	—	—	✓	✓	✓	✓
Поддержка анимации	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓
Возможность скульптурирования	✓	—	—	—	✓	✓	✓
Переносимость на другие платформы	✓	—	—	✓	✓	✓	✓
Удобный интерфейс	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Наличие бесплатной/пробной версии	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—

К недостаткам ZBrush можно отнести отсутствие бесплатной и пробной версии продукта.

Недостатком Autodesk 3Ds Max в сравнении с перечисленными программами является высокий порог вхождения (неудобный интерфейс).

В результате исследования установлено, что для создания графической составляющей для виртуальной реальности используются различные инструменты. Однако, исходя из составленных критериев и проверки инструментов на соответствие этим критериям, не все из предложенных инструментов подходят под новые тенденции развития виртуальной реальности.

На основании проведенного сравнительного анализа можно заключить, что Autodesk Maya и Blender являются самым оптимальным вариантом ПО для реализации графического контента для VR. Они отвечают наибольшему числу критериев.

**Литература**

1. Hammet F. Virtual Reality / F. Hammet. NY. 2013.
2. Анализ рынка виртуальной реальности 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/post/318868/>, свободный (Дата обращения 14.01.2020).
3. Painting from a new perspective [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tiltbrush.com/>, свободный (Дата обращения: 25.01.2020).
4. Анализ рынка виртуальной реальности 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/post/318868/>, свободный (Дата обращения 16.01.2020).
5. Принесите очки: кому нужна виртуальная реальность. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.gazeta.ru/tech/2018/01/05/11551496/vr\\_and\\_ar\\_trending.shtml](https://www.gazeta.ru/tech/2018/01/05/11551496/vr_and_ar_trending.shtml), свободный (Дата обращения 23.01.2020).



**Послянова Ольга Николаевна**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R42301,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы  
управления движением и навигации,  
e-mail: posljanova@yandex.ru



**Юльметова Ольга Сергеевна**

Год рождения: 1984  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
д.т.н., доцент,  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», начальник сектора.  
e-mail: olga@yulmetova.ru

УДК 620.178.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ  
АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

**О.Н. Послянова**

**Научный руководитель – д.т.н. О.С. Юльметова**

**Аннотация**

В рамках настоящей работы исследуются триботехнические характеристики алмазосодержащих композитов разного состава и твердого сплава, а именно противоизносные и антифрикционные свойства. По результатам проведенных триботехнических испытаний при равнозначных условиях выявлен состав материала, который обладает наименьшим износом и наименьшим коэффициентом трения.

**Ключевые слова**

Композиционные материалы, алмазосодержащий композит, триботехнические испытания, трение скольжения, износ, коэффициент трения.

Развитие современного гиросприборостроения во многом связано с необходимостью использования новых конструкционных материалов. Особое место занимают композиционные материалы, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с другими материалами благодаря своим уникальным свойствам: высокой твердости, прочности, износостойкости, теплоустойчивости, повышенной коррозионной стойкости, сравнительно малым удельным весом по сравнению с классическими конструкционными материалами [1]. Широкое применение композиционные материалы приобрели в области прецизионного приборостроения для изготовления ответственных деталей и узлов, где предъявляемые точностные, физико-механические, массогабаритные требования на порядок выше.

Так, например, прецизионные детали газодинамического полусферического подшипника, который входит в состав чувствительного узла двухстепенного поплавкового гироскопа, изготавливают из дисперсионно-твердеющего сплава

40ХНЮ-ВИ [2]. Данный сплав обладает высокой размерной стабильностью, повышенными прочностными и упругими свойствами, малым коэффициентом теплового расширения, что позволяет обеспечить высокую геометрическую точность прецизионных узлов и деталей.

Объектом настоящих исследований является алмазосодержащий композит, из которого изготавливают узлы упорных и радиально-упорных подшипников скольжения, применяемых в буровых системах [3]. Бурение скважин неизбежно сопровождается повышенными вибрационными и ударными нагрузками, вследствие чего рабочие поверхности алмазных вставок подшипника подвергаются повышенному трению и износу. Изготовление подобных подшипников является довольно дорогостоящим и трудоемким процессом, что обуславливает необходимость технически объективного исследования и сравнительного анализа триботехнических характеристик используемых материалов.

В связи с этим целью настоящей работы является исследование противоизносных и антифрикционных свойств алмазосодержащих композитов разного состава и твёрдого сплава для анализа возможности применения в составе подшипника.

Для предложенных исследований выбраны образцы, состав материала и габариты которых представлен в таб. 1.

Таблица 1

#### Характеристики образцов

№ образца	Состав материала	Габариты образца
1	97% поликристаллического алмаза PCD 3% кобальта Co	Ø10,4 x 5,0 мм Толщина алмазного слоя 1,8 мм
2	40% поликристаллического алмаза PCD 60% нитрида бора BN	Ø10,4 x 5,0 мм Толщина алмазного слоя 1,8 мм
3	97% поликристаллического алмаза PCD 3% бора B	Ø3,4 x 2,0 мм Толщина алмазного слоя 1,0 мм
4	94% карбида вольфрама WC 6% кобальта Co	9,5 x 9,5 x 3,5 мм

Образцы №1-3 представляют собой диски, на поверхности которых располагается слой спеченного поликристаллического алмаза. Образец №4 представлен в форме параллелепипеда и, в отличие от остальных, в своем составе не содержит поликристаллический алмаз, а является твердым сплавом ВК6.

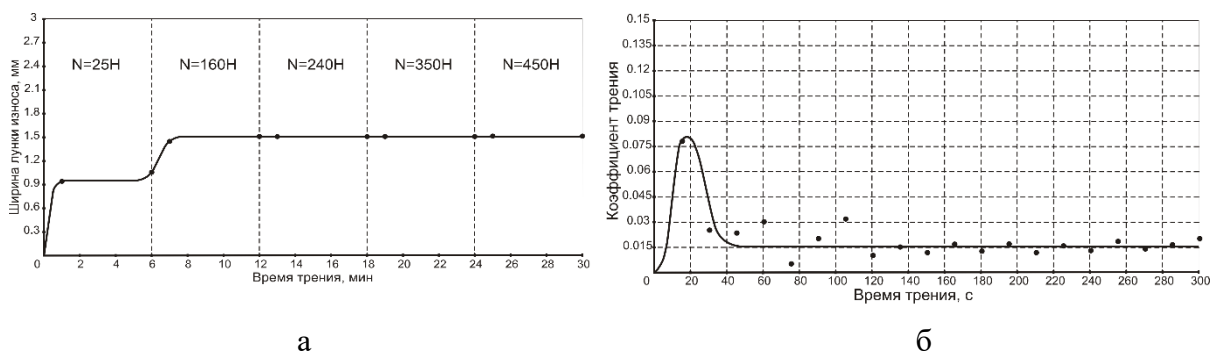
Исследование противоизносных свойств экспериментальных образцов осуществлялось в условиях трения скольжения по круговой траектории по схеме «ролик – плоскость» [4, 5]. Испытуемый образец жестко закреплялся в оснастке и во время испытаний был неподвижен. Подвижный образец представлял собой алмазный шлифовальный круг. Испытания проводились при обильном смачивании водой зоны трения. Методика испытаний состояла в дискретном ступенчатом нагружении пары трения: от 25Н до 450Н. Каждая последующая нагрузка превышает предыдущую на определенную величину. При каждой нагрузке осуществлялось два опыта: продолжительность первого составляет 1 минуту, а второго – 5 минут. Общее время испытания одного образца составило 30 минут. Частота вращения подвижного образца составила 1000 об/мин. В итоге противоизносные свойства образцов оценивались по геометрическим параметрам образовавшейся лунки износа – глубине и ширине.

Исследование антифрикционных свойств образцов осуществлялось в условиях трения скольжения по круговой траектории по схеме «плоскость – плоскость» [4, 5]. В



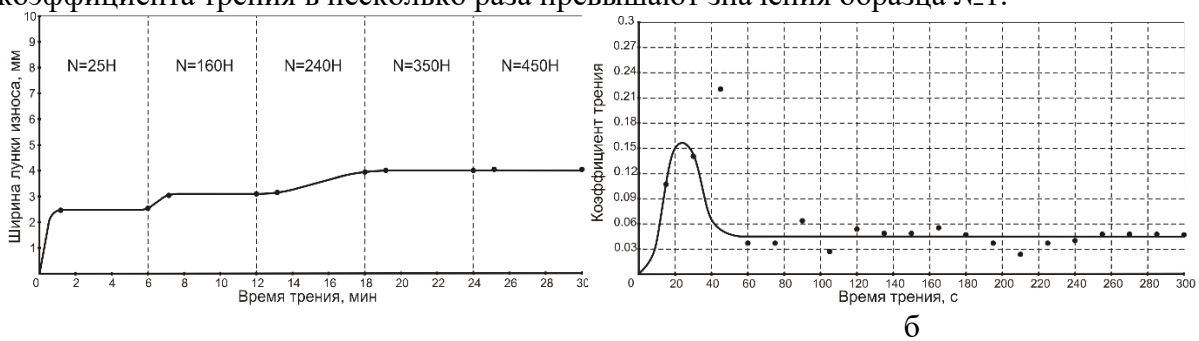
качестве неподвижного образца использовали гладкую пластину из стали, которая обладает высокой устойчивостью к истиранию. Давление, с которым прижимался испытуемый образец к стальной пластине, составило 2,23 МПа. Частота вращения подвижных образцов составила 1000 об/мин. Время испытания одного образца составляло 300 с.

На рис. 1 представлены результаты испытаний образца № 1 в виде графиков. Ширина лунки износа (рис. 1.а) перестает существенно изменяться, начиная с третьей степени нагружения. Ширина образовавшейся лунки износа составила 1,52 мм, а глубина – 0,01 мм. Коэффициент трения (рис. 1.б) на первых 20 секундах быстро увеличивается, а затем уменьшается и принимает установившееся значение, равное 0,01905.



а б  
Рис. 1. Зависимости: а – ширины лунки износа  
и б – коэффициента трения от времени образца №1

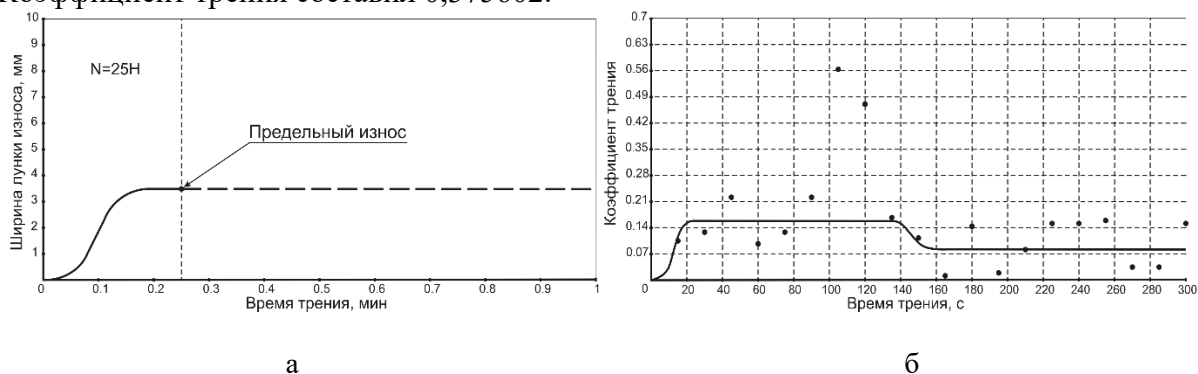
Аналогичные результаты представлены для образца №2 (рис. 2). Ширина лунки износа (рис. 2.а) перестает существенно изменяться, только начиная с четвертой степени нагружения. Ширина образовавшейся лунки износа составила 4,17 мм, а глубина – 0,05 мм. Значение коэффициента трения (рис. 2.б) составило 0,057309. Таким образом, геометрические параметры образовавшейся лунки износа и значение коэффициента трения в несколько раз превышают значения образца №1.



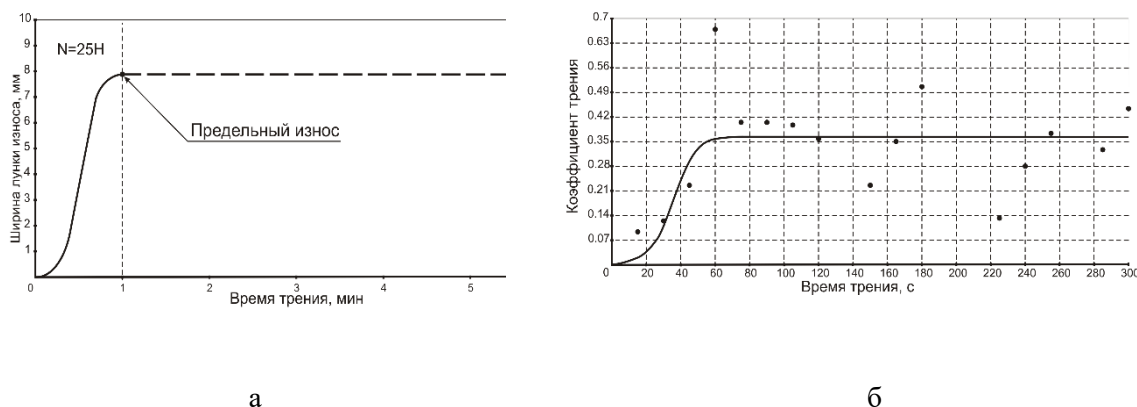
а б  
Рис. 2. Зависимости: а – ширины лунки износа  
и б – коэффициента трения от времени образца №2

Результаты испытаний образца №3 (рис. 3) существенно отличаются от предыдущих. Ширина итоговой лунки износа на первой степени нагружения уже на первой минуте испытания достигается своего предельного значения, равного диаметру образца – 3,43 мм. Глубина лунки составила 0,07 мм. Коэффициент трения (рис. 3.б) вначале увеличивается и становится постоянным, затем уменьшается и вновь принимает установившееся значение. Значение коэффициента трения составило 0,15213. В конце испытаний образец разрушился.

Последний образец №4 (рис. 4), в отличие от других образцов, является твердым сплавом. На рис. 4.а наблюдается ситуация аналогичная образцу №3: значение износа достигает предельного значения на первой минуте испытания. Ширина итоговой лунки износа составила 7,80 мм, а глубина – 0,37 мм. коэффициент трения быстро увеличивается и устанавливается с большим разбросом значений (рис. 4.б). Коэффициент трения составил 0,375602.



а б  
 Рис. 3. Зависимости: а – ширины лунки износа  
 и б – коэффициента трения от времени образца №3



а б  
 Рис. 4. Зависимости: а – ширины лунки износа  
 и б – коэффициента трения от времени образца №4

Результаты проведенных испытаний всех образцов представлены в таб. 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица результатов испытаний

№ образца	Ширина итоговой лунки износа, мм	Глубина итоговой лунки износа, мм	Коэффициент трения
1	1,52	0,01	0,01905
2	4,17	0,05	0,057309
3	3,43	0,07	0,15213
4	7,80	0,37	0,375602

Таким образом, в ходе работы проведены исследования противоизносных и антифрикционных свойств четырех образцов разного состава. Результаты исследований выявили, что наименьшим износом и коэффициентом трения обладает образец №1. Т.е. состав материала образца №1 является наиболее предпочтительным для обеспечения износостойкости подшипника и уменьшения потерь на трение в упорном подшипнике. На втором месте по результатам испытаний стоит образец №2. Образцы №3 и 4

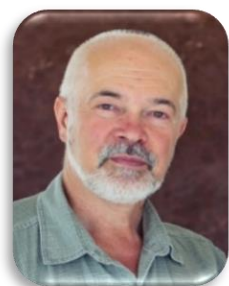
существенно уступают по противоизносным и антифрикционным свойствам, что говорит о недостаточном уровне триботехнических характеристик этих материалов для их применения в составе упорных и радиальных подшипников буровых систем.

### Литература

1. Рогов В.А., Шкарупа М.И., Велис А.К. Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении // Вестник РУДН. 2012. №2. С. 41–49.
2. Сипенков И.Е., Филиппо А.Ю., Болдырев Ю.Я. [и др.]. Прецизионные газовые подшипники / Под ред. Филиппова А.Ю., Сипенкова И.Е. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». 2007. 504 с.
3. Биндер Я.И., Гутников А.Л., Розенцвейн В.Г., Соколов Д.А. Отечественная система управляемого роторного бурения // Журнал «Каротажник». 2018. С. 77–89.
4. ГОСТ Р 51860-2002. Обеспечение износостойкости изделий. Оценка противоизносных свойств смазочных материалов методом «шар – цилиндр» [Текст]. М. Изд-во стандартов. 2002. 8 с.
5. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. [Текст]. М. Издательство стандартов. 1988. 21 с.



**Реутов Сергей Вячеславович**  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
студент группы №Р42141,  
направление подготовки: 09.04.01 – Технологии  
компьютерной визуализации,  
e-mail: mexanikus5@gmail.com



**Потемин Игорь Станиславович**  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: ipotemin@yandex.ru

УДК 004.92

## **РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ RBGD-ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LiDAR**

**С.В. Реутов**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент И.С. Потемин**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка средств восстановления RBGD-изображения для гибридных систем 3D-сканирования с использованием технологии LiDAR».

### **Аннотация**

Научно-исследовательская работа посвящена разработке алгоритмов, позволяющих улучшить изображение, получаемое при помощи обычной фотокамеры, используя при этом коррективку по глубине. Для получения предполагаемого результата предлагается использование 2 типов входных данных: RGB-изображение, получаемое при помощи фотокамеры, и карты глубин, генерируемой системой LiDAR. В качестве побочного эффекта также реализуется возможность динамического создания трёхмерных сцен в виде совокупности точек.

### **Ключевые слова**

Информационная система, LiDAR, восстановление изображения, карта глубин, комбинированное изображение, дальномер.

Целью данной работы является разработка прототипа системы, способной восстанавливать (иначе говоря, синтезировать) изображения, полученные при помощи RGB-камер, с использованием вспомогательных средств. В рамках данного исследования используется программная эмуляция установки LiDAR (англ. Light Identification Detection and Ranging) – системы, состоящей из излучателя, генерирующего пучок лазерных лучей, и приёмника, обрабатывающего отражённые от

окружающих поверхностей лучи [1]. В качестве альтернативы LiDAR предполагалось использовать стереопару как более дешёвую и простую в плане аппаратной реализации альтернативу, однако LiDAR является более точным вариантом как фактически, так и на уровне математической модели.

Для синтеза RGBD-изображения требуется провести предварительный сбор данных в два этапа:

1. Получить при помощи камеры RGB-изображение, фактически сформировав двумерный массив триплетов/

2. Получить информацию о пространственном расположении объектов при помощи системы LiDAR. В качестве результата будет сформировано так называемое облако точек, представляющее собой двух- либо трёхмерную базу данных, хранящую информацию о расположении объектов в пространстве [2]. В данном случае используется двумерный массив для имитации проекционного экрана, в котором каждому пикселу соответствует пространственный XYZ-триплет.

В данной работе в качестве механизма коррекции исходного изображения (иначе говоря, создания его RGBD-версии) используется детектор точек ORB (англ. Oriented FAST and Rotated BRIEF), в основе которого лежит комбинация таких алгоритмов как детектор FAST (англ. Features from Accelerated Segment Test) и дескриптор BRIEF (англ. Binary Robust Independent Elementary Features). Для каждого пиксела изображения рассматривается окружность, построенная при помощи алгоритма Брезенхема с центром в этой точке, которая вписана в квадрат со стороной 7 пикселей. Окружность проходит через 16 пикселей окрестности. Каждый пиксел окрестности пронумерован целым числом от 1 до 16 по часовой стрелке.

Точка  $p$  считается угловой, если для нее существуют  $N$  допустимых значений смежных пикселей на окружности, глубина которых меньше  $d_p+t$  или больше  $d_p-t$ , где:

- $d_p$  – расстояние до точки, взятое из карты глубин;
- $t$  – некоторое пороговое значение;
- $N$  – экспериментально определяемое целое число.

Используя упрощённую версию рассматриваемой модели, совершаются следующие действия:

- 1) с использованием предварительно составленной карты глубин определяются угловые точки и их координаты на проекционном экране;
- 2) в заданной области угловой точки определяется  $M=3$  точек с минимальным значением глубины и запоминаются их индексы в карте глубин;
- 3) по определённым в п.2 индексам берутся точки из массива пикселей изображения;
- 4) производится суммирование RGB-значений взятых в п.3 точек с угловой точкой;
- 5) определяется максимум в RGB-пространстве и производится нормировка;
- 6) полученное значение сохраняется в массив, представляющий формируемое RGBD-изображение.

В результате работы, основываясь на заранее заданных параметрах сцены, создаётся RGBD-изображение, представляющее собой не только скорректированное изображение, но и базис для потенциально возможного создания 3D-модели отсканированной сцены. Существенным минусом данного подхода можно считать его применимость на уровне математической либо компьютерной модели (трёхмерной сцены), предполагающей статичное положение обоих типов источников данных. Фактическая же реализация требует корректировки смещений координат и нивелирования искажений, которые могут возникнуть при перемещении камер.

### Литература

1. LiDAR [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://toseanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> (дата обращения: 17.01.2020).
2. Облако точек [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kubarta.ru/что-такое-облака-точек/> (дата обращения: 19.01.2020).



**Рогазинский Антон Александрович**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
студент гр. 42101,  
направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,  
e-mail: rogazinskii@mail.ru



**Лукьянов Николай Михайлович**

Год рождения: 1984  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: nikolay.lukianov@gmail.com

УДК 004.75

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА**

**А.А. Рогазинский**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.М. Лукьянов**

### **Аннотация**

Одной из вспомогательных мер по обеспечению безопасности работы вычислительной системы является обнаружение подозрительной активности. В данной работе рассматривается построение системы поиска аномалий в сетевом трафике на базе алгоритмов машинного обучения. Целью системы является предоставление дополнительной информации для помощи в обеспечении безопасности сети.

### **Ключевые слова**

Информационная система, интеллектуальный анализ данных, поиск аномалий, распределенные вычисления, управление сетью.

Непрерывное расширение сети Интернет и развитие мобильных технологий образуют динамическую среду, в которой каждый день появляются новые веб-сервисы, а существующие – постоянно развиваются. В такой ситуации обеспечение безопасности сети является важнейшей, но в то же время очень сложной задачей. Традиционным решением для данной задачи является обнаружение угроз на основе их характерных признаков. Такой подход требует наличия и постоянного обновления базы известных уязвимостей. Для вычислительной среды, где регулярно появляются новые уязвимости и способы атаки, уместно наличие инструмента, позволяющего обнаруживать подозрительную активность на базе сравнения с шаблонами нормального поведения системы. В случае вычислительной сети, таким инструментом может являться система для поиска аномалий в трафике.

В данной работе представлена архитектура для интеллектуальной распределенной системы поиска аномалий в сетевом трафике. Под архитектурой здесь понимается представление возможной реализации системы в виде набора программных компонентов и интерфейсов взаимодействия между ними. Распределенная работа состоит в возможности разделения функций системы для выполнения группой вычислительных устройств, соединенных сетью, вместо использования только одного устройства. Интеллектуальность достигается за счет использования алгоритмов машинного обучения.

Ожидаемыми функциональными возможностями системы являются захват трафика, проверка на наличие в нём аномалий и предоставление отчёта. Аномалии определяются как отклонения от «нормальных» (характерных для данной сети) значений характеристик трафика. Такие значения определяются на основании трафика, захваченного системой за определенное время её работы. Отчет об обнаруженных аномалиях должен содержать информацию о времени возникновения, отправителе и получателе подозрительного трафика. Помимо этого, система должна поддерживать масштабирование под анализ трафика сетей различного размера.

На рис. 1 представлен ожидаемый принцип работы системы. Захват сетевого трафика должен осуществляться для выбранного пользователем сетевого интерфейса. Далее полученный трафик анализируется для выявления характерных для данной сети значений его характеристик и обнаружения отклонений от этих значений. После этого информация об обнаруженных аномалиях сохраняется и предоставляется пользователю в виде отчёта.



Рис. 1. Принцип работы модуля анализа сетевого трафика

На рис. 2 представлена предлагаемая архитектура системы. В качестве основных функциональных блоков системы выступают блок захвата трафика, блок предварительной обработки и блок анализа. В качестве дополнительных блоков выступают брокер сообщений, очереди задач и общее хранилище данных. Эти блоки выполняют служебные функции и необходимы для обеспечения работы системы в распределенном варианте.

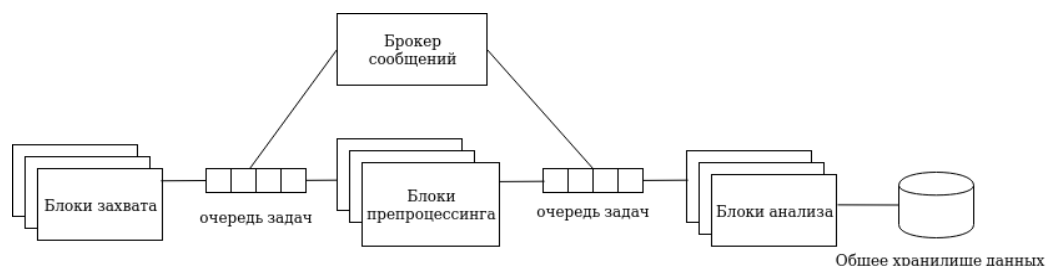


Рис. 2. Общая архитектура системы



Цель блока предварительной обработки состоит в преобразовании полученного трафика в набор значений (желательно числовых), характеризующих его. В качестве примера можно привести ПО SICFlowMeter [1]. Данная программа позволяет вычислить более 70 числовых характеристик TCP/UDP соединений в анализируемом трафике [2]. В таблице 1 представлены некоторые из возможных характеристик.

Цель блока анализа состоит в обработке массива данных, характеризующих соединения в трафике, с целью обнаружения отклонений от значений, характерных для анализируемой сети. Для решения задачи обнаружения аномалий в сетевом трафике рекомендуется использовать алгоритмы машинного обучения, не требующие предварительного обучения. Это связано со сложностью подготовки выборки для обучения, включающей все виды ожидаемого трафика в анализируемой сети.

При поступлении новой задачи в очередь брокер выбирает первый доступный блок и отправляет ему сообщение с задачей. Это позволит организовать распределение нагрузки между несколькими экземплярами блока одного типа. Хранилище данных отвечает за хранение и предоставление доступа к общим данным для экземпляров блоков анализа.

Таблица 1

#### Некоторые характеристики соединения, вычисляемые SICFlowMeter

Название	Описание
Flowduration	Длительность соединения в микросекундах
Tot Fwd Pkts	Число переданных пакетов
Fwd Pkt Len Mean	Средний размер переданных пакетов
Fwd Pkt Len Max	Минимальный размер переданных пакетов
Fwd Pkt Len Min	Максимальный размер переданных пакетов
Fwd Pkt Len Std	Среднее отклонение размера пакетов
Active Mean	Среднее время активности потока перед бездействием
Idle Mean	Среднее время бездействия перед активностью
URG Flag Count	Число пакетов с флагом URG
Flow IAT Mean	Среднее время между отправками пакетов
Flow Byte/s	Число передаваемых байт в секунду
Flow Packets/s	Число передаваемых пакетов в секунду

На рис. 3 показано применение данной архитектуры для анализа трафика корпоративных сетей, включающих в себя сеть географически удаленных филиалов. Это достигается путем разворачивания в каждой такой подсети экземпляра блока захвата и блока предварительной обработки на одном вычислительном устройстве в непосредственной близости к источнику трафика. При условии использования только одного экземпляра блока предварительной обработки, достаточно обеспечить интерфейс для получения данных от блока захвата. В противном случае (например, при большом объеме обрабатываемого трафика в единицу времени), необходимо использование группы экземпляров этого блока и брокера сообщений для распределения нагрузки между ними. Далее обработанный трафик передается в группу параллельно работающих экземпляров блока анализа,

использующих общее хранилище данных. Нагрузка распределяется между ними за счет использования брокера сообщений.

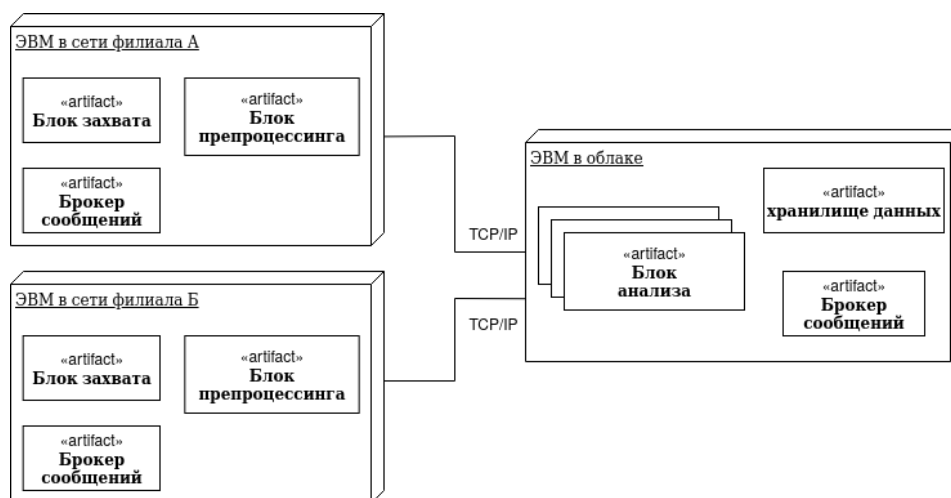


Рис. 3. Схема развертывания системы для корпоративной сети

Было произведено сравнение точности предсказания двух популярных алгоритмов для поиска отклонений (Local outlier factor [3] и Isolation forest [4]) на наборе данных CIC IDS 2017 [5]. Полученные значения показателей эффективности представлены в таб. 2. Было выявлено, что эффективность алгоритмов сильно зависит от вида подозрительной активности, которую необходимо обнаружить, а также доли аномалий в исследуемой выборке. Для реализации прототипа был использован алгоритм Local outlier factor.

Таблица 2

### Сравнение алгоритмов на тестовых данных

Метод	Accuracy	Recall	Specifity	Precision	DOR
<b>Датасет: Infiltration</b>					
local outlier factor	0.902	0.333	0.902	0.0004	4.618
Isolation Forest	0.930	0.861	0.930	0.002	83.317
<b>Датасет: Bot Net</b>					
local outlier factor	0.891	0.113	0.899	0.012	1.144
Isolation Forest	0.909	0.023	0.918	0.003	0.263
<b>Датасет: Port Scan</b>					
local outlier factor	0.400	0.001	0.899	0.010	0.007
Isolation Forest	0.364	0.002	0.815	0.014	0.009
<b>Датасет: Агрегированный</b>					
local outlier factor	0.800	0.039	0.890	0.040	0.328
Isolation Forest	0.849	0.193	0.926	0.235	3.000

В результате анализа, для каждого подозрительного соединения, информация о нём сохраняется в БД. Данная информация включает в себя IP адрес и порт отправителя, IP адрес и порт получателя, а также время установки соединения. Предполагается, что эти данные могут быть далее использованы для выдачи рекомендации администраторам по повышению безопасности сети. Применение этой информации не рассматривается в данной статье.

Для проверки работоспособности предложенной архитектуры был реализован прототип системы. Для блока захвата трафика использовалась библиотека Libpcap [6]. Данная библиотека является наиболее популярным решением, когда стоит задача в захвате трафика с заданного сетевого интерфейса. Блок предварительной обработки реализован на базе ПО CICFlowMeter, рассмотренном ранее. Блок анализа реализован с

использованием библиотеки Scikit Learn [7] для языка программирования Python. Данная библиотека содержит в себе реализацию популярных алгоритмов машинного обучения. В качестве брокера сообщений использовался продукт с открытым исходным кодом RabbitMQ [8]. В качестве хранилища данных используется СУБД PostgreSQL [9].

В качестве тестовой сети для проверки работоспособности прототипа был использован сегмент локальной сети предприятия, включающий 40 узлов. Скорость соединения в анализируемом сегменте могла достигать 150 Мбит в секунду в зависимости от времени суток. Системным администратором было настроено дублирование трафика исследуемой сети на сетевой интерфейс виртуальной машины с блоками захвата и предварительной обработки.

При тестировании было обнаружено высокое потребление оперативной памяти при увеличении объема обработанного трафика. Причиной этого является особенность реализации алгоритмов в библиотеке Scikit Learn, требующая загрузки всего массива данных в оперативную память. Это накладывает ограничения на объем трафика, который может быть использован при анализе и, как следствие, на точность работы используемого алгоритма. Необходима оптимизация системы для минимизации объема потребляемой оперативной памяти путем обработки массива по частям. График, отображающий потребление оперативной памяти в зависимости от объема анализируемого трафика в текущей реализации, представлен на рис. 4.

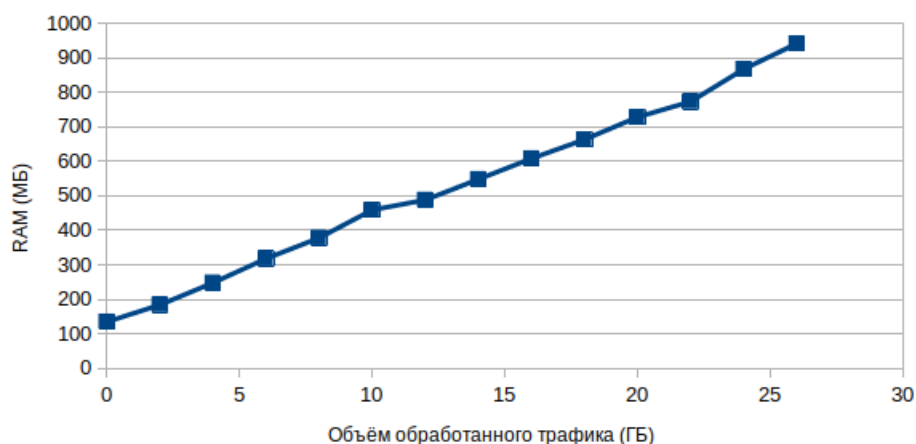


Рис. 4. Потребление памяти при разных объемах обрабатываемого трафика

В качестве достигнутых результатов можно отметить определение архитектуры для интеллектуальной системы анализа, поддерживающей распределенную работу и масштабирование под обработку трафика сетей различного размера. Прототип системы продемонстрировал работоспособность предложенной архитектуры, но выявил необходимость в модификации используемого алгоритма с целью повышении точности обнаружения отклонений и уменьшении потребления оперативной памяти блоком анализа.

### Литература

1. Network traffic Flow analyzer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.netflowmeter.ca/netflowmeter.html> (дата обращения: 20.02.2020).
2. Draper-Gil G. et al. Characterization of encrypted and vpn traffic using time-related //Proceedings of the 2nd international conference on information systems security and privacy (ICISSP). 2016. С. 407-414.
3. Breunig M.M. et al. LOF: identifying density-based local outliers //ACM sigmod record. ACM. 2000. Т. 29. №. 2. С. 93-104.

4. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation forest //2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining. IEEE. 2008. С. 413-422.
5. Sharafaldin I., Lashkari A. H., Ghorbani A.A. Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization //ICISSP. 2018. С. 108-116.
6. Garcia L.M. Programming with libpcap-sniffing the network from our own application //Hakin9-Computer Security Magazine. 2008. Т. 2. С. 2008.
7. Документация к библиотеке Scikit Learn [Электронный ресурс]. URL: [https://scikit-learn.org/0.22/user\\_guide.html](https://scikit-learn.org/0.22/user_guide.html) (дата обращения: 15.02.2020).
8. Документация к брокеру сообщений RabbitMQ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rabbitmq.com/documentation.html> (дата обращения: 15.02.2020).
9. Документация к СУБД PostgreSQL [Электронный ресурс]. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 15.02.2020).



**Румянцева Александра Геннадьевна**

Год рождения: 1995  
Университет ИТМО,  
мегафакультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
компьютерное проектирование и дизайн,  
студент группы № P41602,  
направление подготовки: 09.04.02 – Компьютерная графика  
и веб-дизайн,  
e-mail: sanya.alexandra@mail.ru



**Карсаков Андрей Сергеевич**

Год рождения: 1985  
Университет ИТМО,  
мегафакультет трансляционных  
информационных технологий,  
технологии разработки компьютерных игр,  
к.т.н, доцент,  
e-mail: karsakov@itmo.ru

УДК 004.921

**КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО  
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИИ КАЛЛИГРАФИЧЕСКИХ  
АРТ-ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ  
ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

**А.Г. Румянцева**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.С. Карсаков**

**Аннотация**

В работе рассмотрена концепция применения интерактивного представления экспозиции каллиграфических арт-объектов с использованием технологии дополненной реальности в условиях окружения общественно-культурных пространств с целью привлечения внимания общественности. Для этого выполнен обзор существующих на сегодняшний день экспозиций с применением дополненной реальности, проработана концепция арт-объектов и экспозиции в целом.

**Ключевые слова**

дополненная реальность, мультимедиа, интерактивность, 3D-технологии, каллиграфия.

В связи с быстрорастущей тенденцией к информатизации и совершенствованию технологий появляются новые парадигмы пользовательского интерфейса. На сегодняшний день пользовательский интерфейс в большей степени ориентирован на человеко-компьютерное взаимодействие, в то время как стремительно развивающиеся технологии виртуальной и дополненной реальности переносят фокус на взаимодействие между пользователем и реальным миром.

В 2019 году Apple вместе с нью-йоркским Новым музеем и художниками создали маршруты прогулок с дополненной реальностью. Бесплатные маршруты [AR]T Walk планируются в Париже, Лондоне, Нью-Йорке, Сан-Франциско, Гонконге и Токио.

Длина сеансов [AR]T Walk – от 90 минут до двух часов, одновременно в них могут участвовать до десяти человек. Каждому посетителю должно быть выдано техническое оснащение, прежде чем они вступят в контакт с «изменившимся» городом и увидят работы художников.

Обратной стороной информатизации общества является снижение интереса к рукописному способу письма – каллиграфии. Каллиграфия представляет собой логику мышления в письменном виде и, воспитывает в человеке такие качества как: терпение, сдержанность, внимание, прилежание.

Занятие каллиграфией затрагивает многие стороны жизни, от развития человека как личности до духовного и культурного воспитания. На сегодняшний день отмечается низкая информационная осведомленность людей о том, как и чем писали раньше, какой путь становления проделала каллиграфия до сегодняшнего дня, какие стили написания существовали ранее.

Кроме того, современное искусство каллиграфии часто изображается на больших поверхностях, на стенах, что в свою очередь с использованием дополненной реальности можно довольно интересно реализовать, при этом обновляя экспозицию динамически, с применением различных эффектов.

Предлагаемая концепция предполагает представление каллиграфических арт-объектов на основе собранной информации с учетом особенностей подходов трекинга и средств реализации.

Экспозиция представляет собой арт-объекты, с которыми можно ознакомиться через мобильное приложение с применением возможностей дополненной реальности (AR).

Практически вся современная AR-индустрия обслуживает и разрабатывает контент для мобильных устройств на платформах iOS и Android. К сожалению, специализированные устройства, очки дополненной реальности слишком дорогостоящи для обычных обывателей, в отличие от смартфонов и планшетов, которые ежедневно принимают участие в жизни людей. Применение технологии дополненной реальности привносит новое измерение в восприятие пользователя.

Особенность данной экспозиции в том, что она не предполагает визуальное изменение окружающей среды, за исключением возможного использования специальных маркеров для считывания приложением.

В процессе посещения экспозиции посетитель задействует камеру мобильного устройства и через нее может увидеть арт-объекты, посвященные искусству красивого письма.

Работа над информационной базой для арт-объектов происходила в три этапа. На первом этапе был проведен общий сбор информации по следующим направлениям каллиграфии: арабская, азиатская, европейская и славянская. Каждое направление было описано большим количеством текста, который наиболее полноценно отражал историю развития направления. На втором этапе было сокращено количество текстовой информации и увеличено количество исходных визуальных представлений в пользу интерактивности и визуализации. На третьем этапе количество текста сократилось до минимума для того, чтобы оставшаяся часть кратко отражала суть. Таким образом быстрее произойдет процесс запоминания информации, а также процесс ассоциирования текста и визуального представления арт-объекта.

Поскольку на сегодняшний день общество живет в условиях постоянно увеличивающихся информационных потоков, актуально уметь систематизировать и отсортировать смысловую информацию. Общеизвестно, что человек с помощью зрения получает около 80% информации [1-5]. Однако визуальность многогранна. Таким образом, арт-объекты могут быть составными из нескольких графических

элементов, такими как, символы, текст, видеоряд и изображения, в совокупности с интерактивными эффектами.

Кроме того, помимо обычного представления AR объектов в мобильном приложении, некоторые арт-объекты предполагается сделать в виде масок для инстаграма, что в свою очередь позволит расширить охваты публики и привлечь дополнительный интерес к разработке.

Подводя итог, был проведен сбор информационной базы, составляющей основу интерактивной экспозиции, проведен обзор существующих средств разработки в сфере технологий дополненной реальности и описана концепция интерактивного представления каллиграфических арт-объектов, заключающаяся в составлении арт-объекта из нескольких смысловых элементов и применении интерактивности к нему.

В рассматриваемой области отмечается низкая осведомленность об истории развития каллиграфии, а также отсутствие применения технологии дополненной реальности в данной сфере. Исследование методов визуализации технологии дополненной реальности, маркеров, а также возможных сценариев применения данной технологии в культурной среде является одной из актуальных и перспективных областей на сегодняшний день в условиях активно развивающихся технологий.

Разработана концепция интерактивного представления каллиграфических арт-объектов, которая в дальнейшем может быть использована в реализации мобильного приложения экспозиции.

### Литература

1. Князева А.С. Проект «Игры разума», Чувственное познание окружающего мира. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wiki.iteach.ru/index.php/>.
2. Ларин М.С. Моделирование дополненной реальности // Приборостроение. 2010. №2. С.52-56.
3. Дрокина К.В., Григорьева Н.В. Анализ возможностей применения технологии дополненной реальности в современных условиях // Инновационная наука. 2016. №2-1 (14). С.114-116.
4. Лобанков И.Д. Современные концепции виртуальной реальности // Вестник Поволжского института управления. 2015. 1 (46).
5. Bowman D. A. et al. New Directions in 3D User Interfaces //IJVR. 2006. Т. 5. №. 2. С. 3-14.



**Лисицына Любовь Сергеевна**  
Университет ИТМО,  
д.т.н., профессор,  
e-mail: lisizina@mail.ifmo.ru



**Сенчило Марина**  
Университет ИТМО,  
аспирант,  
e-mail: ma-ri-na\_\_95@mail.ru

УДК 378.1

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗОВОГО ОНЛАЙН-КУРСА**

**Л.С. Лисицына, М. Сенчило**

### **Аннотация**

Рассмотрены достоинства и недостатки электронного обучения, сформулированы основные принципы смешанного обучения с использованием базового онлайн-курса. Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность смешанной технологии обучения с использованием базового онлайн-курса (результативность рубежного контроля возрастает на 18,8% по сравнению с традиционным обучением). Опросы студентов указывают на их предпочтение смешанной технологии обучения с использованием базового онлайн-курса (почти 80%).

### **Ключевые слова**

Смешанное обучение, базовый онлайн-курс, баланс электронного и традиционного обучения, виды и формы контроля, результаты обучения.

С появлением платформ открытого образования и разработкой на их основе МООС [1] создалось впечатление, что МООС могут полностью заменить многие дисциплины вузов. Однако, на деле это оказалось далеко не так. Личностные качества обучаемых являются необходимой компонентой формируемых компетенций [2], они могут быть сформированы и оценены только в процессе живого общения обучаемых и преподавателя. Следует также отметить, что в процессе обучения необходимо удовлетворять растущие ожидания студентов: они хотят знать больше, чем это позволяют традиционные лекционные занятия в аудитории в условиях ограниченной трудоемкости для их проведения. Опыт разработки видео-лекций для онлайн-курсов показывает, что время подачи теоретического материала традиционной лекции в электронном виде сокращается в среднем в 3 раза [3]. Это обстоятельство указывает на



перспективность использования видео-лекций для концентрации содержания теоретического материала. Важным преимуществом онлайн-курсов являются их практические упражнения для формирования и оценки навыков при решении типовых задач. Возможности электронных стендов для реализации практических упражнений онлайн-курсов (автоматическая генерация различных вариантов задачи равной сложности, интерактивность ввода и диагностирования пошагового решения, дифференциация в оценивании правильности решения задачи и т.д.) [4-6] во многом решают проблему индивидуализации обучения и аттестаций студентов при прохождении практических занятий. Однако, некоторые трудности, с которыми сталкиваются студенты при изучении видео-лекций или при выполнении практических упражнений на электронных стендах, могут и должны быть своевременно устранены при непосредственном живом общении с преподавателем «лицом к лицу».

В этой связи компромиссным вариантом является подход смешанного обучения, при котором необходимо соблюдать баланс электронного и традиционного обучения. При этом онлайн-курсы могут быть использованы как в качестве дополнительного материала, так и в качестве базового курса для изучения дисциплины. Данная статья посвящена результатам разработки и реализации технологий смешанного обучения студентов вуза с использованием базового онлайн-курса по дискретной математике, которая изучается на первом курсе у студентов Университета ИТМО по различным направлениям подготовки (уровень бакалаврита). Основные принципы смешанного обучения на основе базового онлайн-курса:

1. Баланс электронного и традиционного обучения. Данный принцип реализуется на этапах планирования и контроля результатов обучения. Соотношение электронного и традиционного обучения должно быть при смешанном обучении как 1:1. Формирование ожидаемых результатов обучения осуществляется за счет видео лекций и опросов базового онлайн-курса, другие результаты обучения формируются во время аудиторных лекционных занятий. Контролю подвергаются только ожидаемые результаты обучения. Текущий контроль должен быть полностью электронным (оценка запланированных знаний в виде компьютерных тестов, оценка запланированных навыков в виде практических упражнений базового онлайн-курса). Рубежный контроль осуществляется только в традиционной форме, например, в виде письменных контрольных работ с последующей защитой у преподавателя. Промежуточный контроль (экзамен) в конце семестра проводится по смешанной технологии (возможна электронная и традиционная формы).

2. Персонализация процессов обучения и аттестаций. Этот принцип в основном достигается за счет технологий базового онлайн-курса (опросы к видео-лекциям, индивидуальность заданий на электронных стендах практических упражнений, идентификация личности при аттестации ряда практических упражнений). Несомненным повышением персонализации обучения является наличие электронных отчетов на этапах тренинга решения задач. Отчеты с диагностикой допущенных ошибок доступны преподавателю, который может по ним оказать своевременную помощь конкретному студенту.

3. Перфекционизм. Данный принцип реализуется путем дополнения материалов видео-лекций базового онлайн-курса во время аудиторных лекционных занятий (давать больше знаний, чем требуется при их контроле). При этом важно дать студентам ориентиры перспектив дальнейшего развития теории, а также привести примеры профессиональных задач, при решении которых используется данная теория. В этой связи уместно использовать групповые игровые технологии [3], позволяющие расширить умения применения полученных знаний на практике.

4. Личная ответственность студентов. Этот принцип реализуется, прежде всего, как соблюдение сроков сдачи тестов, практических упражнений и др. форм контроля, установленных графиком и расписанием занятий.

5. Обучение, основанное на высоком мастерстве. Смешанное обучение на основе базового онлайн-курса позволяет выполнить учебную нагрузку одному профессору, который является автором этого курса и хорошо владеет содержанием дисциплины.

Рассмотрим особенности реализации принципов смешанного обучения на примере дискретной математики. В таб. 1 приведены сведения о структуре и содержании базового онлайн-курса дискретной математики. Темы 1 и 2 изучаются в первом семестре, а темы 3 и 4 – во втором семестре.

Таблица 1

Структура и содержание онлайн-курса по дискретной математике

№	Тема	Количество видеолекций с тестами	Количество задач
1	Теория нечетких множеств	35	3
2	Теория графов (Часть 1)	30	9
3	Теория графов (Часть 2)	18	6
4	Теория сетей	25	6
	Итого	108	24

Теоретический материал предоставляется студентам в виде видео лекций базового онлайн-курса, которые структурированы в соответствии с расписанием занятий (16 недель в семестре). Аудиторные лекционные и практические занятия проводятся в виде консультаций. Основное содержание каждой консультации – ответы на вопросы студентов, обзор проблем, при решении которых применяется данная теория (в соответствии с профессиональной областью подготовки студентов), мастер-классы по работе с электронными стендами задач, проведение аттестаций задач с идентификацией личности в аудитории (выборочно по одной задаче темы). Пример электронного стенда приведен на рисунке.

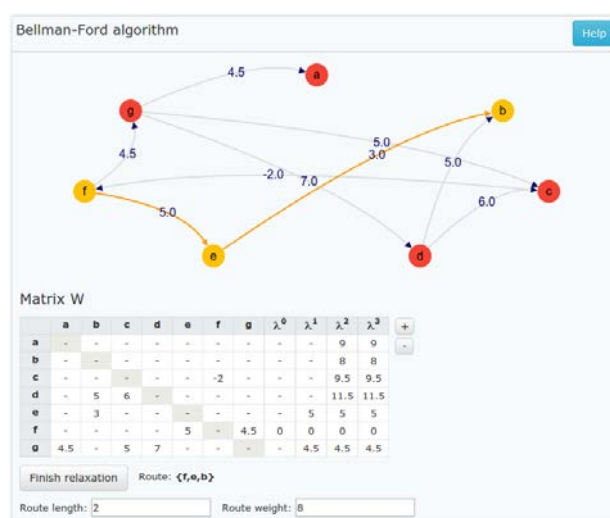


Рисунок. Пример виртуального стенда практического упражнения курса

После завершения каждой темы проводится компьютерное тестирование и рубежный контроль в виде письменной контрольной работы. В конце каждого семестра проводится интернет-экзамен. В таб. 2 приведены сведения о типах и формах контроля в каждом семестре. Текущий контроль знаний и навыков проводится электронно, рубежный контроль всегда «лицом к лицу» лично преподавателю. Личностные качества студентов оцениваются два раза в семестр (после завершения очередной темы). При этом часть оценок (сдача компьютерных тестов и задач) выставляется автоматически, а часть оценок (активность в обсуждении тем, успешность при прохождении онлайн-курса и т.п.) – лично преподавателем. В таб. 3 приведена структура и содержание интернет-экзамена на примере 1-го семестра. Допуск к сдаче интернет-экзамена получают только те студенты, которые набрали не менее 60% от максимальных баллов в пунктах 1-4 (таб. 2). В противном случае студенты сдают экзамен в традиционной форме.

Таблица 2

### Виды и формы контроля

№	Вид контроля	Формы контроля (количество)	Максимальный балл
1	Текущий контроль знаний	компьютерный тест (2)	20
2	Текущий контроль навыков	задача (12)	30
3	Рубежный контроль знаний и навыков	письменная контрольная работа (2)	20
4	Контроль личностных качеств студента	сдача тестов и заданий в срок (2)	10
5	Экзамен	онлайн экзамен (1)	20
	Итого	108	100

Таблица 3

### Виды и формы контроля

Часть	Характеристика части онлайн экзамена	Количество тем	Количество задач	Максимальный балл
А	Проверка умения применять знания на практике (тест)	1,2	10	8
В	Проверка навыков решения типовых задач с применением изученных алгоритмов (электронный стенд)	1	1	6
С	Проверка навыков решения типовых задач с применением изученных алгоритмов (электронный стенд)	2	1	6
		Итого:	12	20

Экспериментальные исследования проводились при сравнении результатов сдачи письменных контрольных работ рубежного контроля по дискретной математике у студентов Университета ИТМО (таб. 4). Максимальный балл за каждую работу – 10.

Таблица 4

**Результаты рубежного контроля (письменные КР темы)**

№	Тема	Традиционное обучение	Смешанное обучение
1	Теория нечетких множеств	6,46	8,34
2	Теория графов (Часть 1)	–	8,76
3	Теория графов (Часть 2)	–	–
4	Теория сетей	7,2	–

Студенты 2018-2019 учебного года (162 чел.) изучали темы 1 и 4 традиционно, а 2 и 3 по смешанной технологии на основе базового онлайн-курса «Методы и алгоритмы теории графов» [3], в таблице 4 приведены сведения о средних баллах за письменные контрольные работы рубежного контроля по темам 1 и 4 при традиционном обучении. Студенты 2019-2020 учебного года (328 чел.) изучают эту дисциплину полностью по смешанной технологии, в таблице 4 приведены сведения о средних баллах за письменные контрольные работы рубежного контроля по темам 1 и 2. При сравнении результатов по теме №1 – «Theory of fuzzy sets» видно, что при смешанной технологии обучения успеваемость выросла на 18,8%, что указывает на ее эффективность по сравнению с традиционной технологией.

При завершении обучения в 2018-2019 учебном году проводился опрос студентов. Почти 80% студентов указали, что наличие базового онлайн-курса по теме существенно облегчило обучение по дисциплине, при этом более 6% высказали противоположное мнение (традиционные лекции понравились больше, чем видео лекции курса).

В результате проведенного исследования были сформулированы основные принципы смешанного обучения с использованием базового онлайн-курса, которые реализованы у студентов очного обучения Университета ИТМО (328 чел.) при изучении дискретной математики. Экспериментальные исследования показали эффективность смешанного обучения: результативность рубежного контроля выросла на 18,8%. Опросы студентов подтвердили их предпочтение смешанной технологии: почти 80% студентов (262 чел.) считают, что базовый онлайн-курс по дисциплине существенно облегчил им обучение.

### Литература

1. Vasiliev V., Stafeev S., Lisitsyna L., A. Ol'shevskaya, From traditional distance learning to mass online open courses, Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics 89 (2014), 199-205. (in Russian).
2. Lisitsyna L.S., Pershin A.A., Kazakov M.A., Game Mechanics Used for Achieving Better Results of Massive Online, In: Smart Education and Smart e-Learning (2015). 183-193.
3. Lisitsyna L.S., Efimchik E.A., Designing and application of MOOC «Methods and algorithms of graph theory» on National Platform of Open Education of Russian Federation, In: Smart Education and e-Learning 59 (2016). 145-154.

4. Lisitsyna L.S., Efimchik E.A., An Approach to Development of Practical Exercises of MOOCs based on Standard Design Forms and Technologies, In: Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering 180 (2017). 28-35 pp.
5. Lisitsyna L.S., Efimchik E.A., Making MOOCs more effective and adaptive on the basis of SAT and game mechanics, In: Smart Education and e-Learning 75 (2018). 56-66 pp.
6. Chezhin M.S., Efimchik E.A., Lyamin A.V., Automation of Variant Preparation and Solving Estimation of Algorithmic Tasks for Virtual Laboratories Based on Automata Model, In: E-Learning, E-Education, and Online Training (2015). 35-43 pp.



**Слукина Марина Игоревна**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы №R42302,  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы  
управления движением и навигация,  
e-mail: slukinamarina@gmail.com



**Литвиненко Юлия Александровна**

Год рождения: 1974  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
к.т.н.,  
e-mail: julia\_lit@rambler.ru

УДК 629.5.017.2

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗА КАЧКИ КОРАБЛЯ ПРИ ЕЕ ПОЛИНОМИАЛЬНОМ ОПИСАНИИ**

**М.И. Слукина**

**Научный руководитель – к.т.н. Ю.А. Литвиненко**

### **Аннотация**

Рассматривается задача прогнозирования углового положения корабля при полиномиальном представлении процесса качки и применении метода наименьших квадратов для оценки коэффициентов полинома. Приводятся результаты моделирования для методического примера.

### **Ключевые слова**

Качка корабля, прогнозирование, метод наименьших квадратов, аппроксимация, степенной полином.

### **Введение**

Задача прогнозирования процессов, которые не могут быть описаны известной детерминированной функцией, является на сегодняшний день актуальной, так, например, в работе [1] рассматриваются алгоритмы прогнозирования сигналов глобальных навигационных спутниковых систем, в работе [2] исследуется задача прогнозирования показаний инерциальных датчиков, а в [3] рассмотрен прогноз сигналов об углах поворота колец карданной инерциальной навигационной системы (ИНС) с целью контроля достоверности данных. Задача прогнозирования углового положения корабля на морском волнении востребована при решении задачи посадки авиационной техники или задачи стабилизации бортового оборудования. В работе [4] алгоритмы прогноза качки используются при решении задачи стабилизации оси системы оптической глиссады посадки.

В настоящей работе предлагается рассмотреть задачу прогнозирования углов качки корабля по сигналам инерциальной навигационной системы среднего класса

точности. Алгоритм основан на полиномиальном представлении сигнала качки на ограниченном интервале времени, применении метода наименьших квадратов (МНК) [5] для оценки коэффициентов степенного полинома, аппроксимирующего угловое движение корабля и использовании процедуры экстраполяции.

### Постановка задачи исследования

Рассмотрим сигнал  $\alpha_i$  угла наклона палубы корабля относительно плоскости горизонта, поступающий от инерциальной навигационной системы:

$$\alpha_{i\text{unc}} = \alpha_{ir} + v_i, \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  - истинное значение угла качки в дискретные моменты времени  $i$ , представляющее собой случайный процесс, параметры которого неизвестны;  $v_i$  - погрешность ИНС, которая может быть принята белым шумом.

Задача заключается в расчете значения прогноза угла  $\alpha_{(i+\tau)}$  на момент времени  $\tau$  по наблюдениям (1) на интервале времени  $i = 1 \dots m$ .

### Алгоритм прогноза угла качки корабля

Алгоритм расчета угловой скорости качки можно представить следующим образом. На интервале  $1 \dots m$  процесс качки описывается полиномом порядка  $n$ :

$$\alpha_i = q_0 + q_1 t_i + q_2 t_i^2 + \dots + q_n t_i^n,$$

где  $t_i$  - время в момент  $i$ ,  $|q_0, q_1, \dots, q_n|$  - неизвестные коэффициенты.

Далее, используя известные соотношения МНК, определяется вектор оценок коэффициентов  $\hat{\theta} = |\hat{q}_0, \hat{q}_1, \dots, \hat{q}_n|^T$ , полученные значения которых позволяют оценить экстраполированное значение угла для момента времени  $\tau$ . На следующем шаге решения задачи интервал наблюдения сдвигается на одно значение  $i = 2 \dots m + 1$ , на котором аналогичным образом рассчитывается экстраполированное значение угла для момента времени  $\tau+1$ .

### Результаты моделирования

Для оценки возможностей применения разработанного алгоритма проводилось математическое моделирование процесса качки корабля, заданного гармоническим процессом  $\alpha_{iunc} = A \sin \omega t_i + v_i$ , с известной амплитудой  $A=15^\circ$ .

Для предложенной модели сигнала качки была поставлена задача определения размерности вектора измерений  $m$ , обеспечивающая наименьшую погрешность экстраполяции при  $\tau=0.01c$ . Из рис. 1, на котором приведены результаты моделирования, можно сделать вывод, что при  $m=9$  погрешность экстраполяции наибольшая - примерно 17%. В то время как при  $m=6-8$  точек - не превышает 10%.

Вторая задача заключалась в определении наилучшей частоты поступления измерений, с этой целью было проведено моделирование для интервалов дискретизации процесса (1)  $\Delta=(0.01-1)c$ . Из зависимости, приведенной на рис. 2, можно сделать вывод, что для интервала  $\Delta=(0.01-0.32)c$  точность прогноза составляет 0.2%. В то время как для интервалов дискретизации 0.75c, 0.85c, 0.86c точность прогноза резко возрастает. Таким образом, можно сделать вывод, что для увеличения точности прогноза необходимо, чтобы информация обрабатывалась с частотой дискретизации (0.01-0.71)c, в этом случае ошибка составляет менее 1%.

Третья задача заключалась в поиске достаточной степени аппроксимирующего полинома  $n$  (рис. 3), обеспечивающая заданный уровень погрешности экстраполяции. Из рис. 3 видно, что при увеличении степени аппроксимирующего полинома, также увеличивается точность прогноза. Однако, на рис. 4 представлен график для менее интенсивного сигнала качки корабля с амплитудой  $2^\circ$ , из которого можно сделать вывод, что для такого волнения лучшим выбором будет полином 2-го или 3-го порядков, для которых точность прогноза составляет менее 1%.

В этой связи можно отметить, что параметры алгоритма должны выбираться с учетом параметров движения объекта на морском волнении.

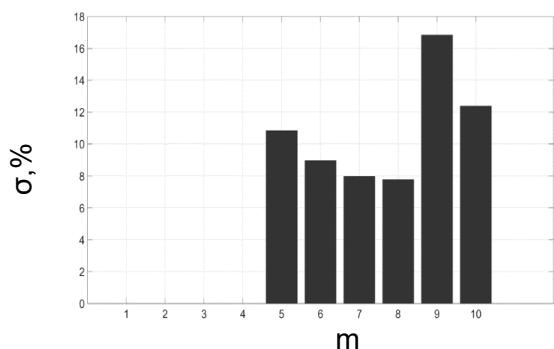


Рис. 1. Зависимость точности прогноза от размерности вектора измерений

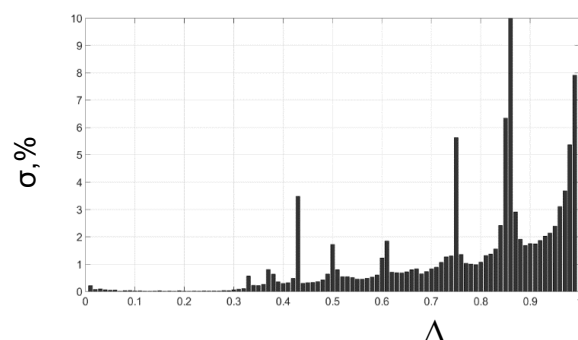


Рис. 2. Зависимость точности прогноза от частоты дискретизации

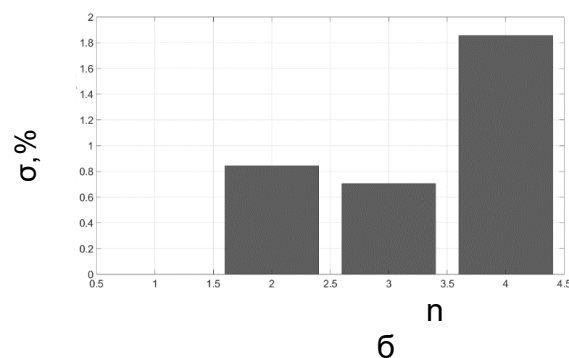
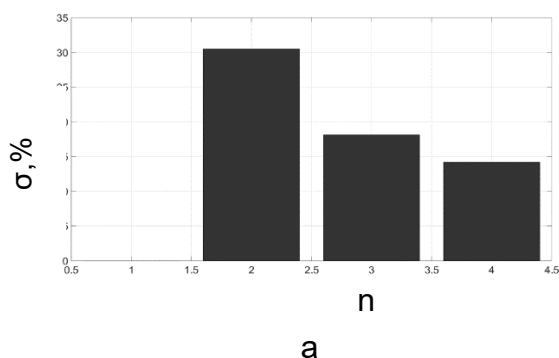


Рис. 3. Зависимость точности прогноза от степени аппроксимирующего полинома при качке  $A=15^\circ$  (а) и  $A=2^\circ$  (б)

### Заключение

Предложен алгоритм прогнозирования углов качки корабля по сигналам инерциальной навигационной системы, основанный на кусочно-полиномиальном представлении сигнала качки на ограниченном интервале времени. Результаты моделирования тестового примера позволили выбрать параметры алгоритмы, обеспечивающие минимальную погрешность экстраполяции.

В дальнейшем планируется апробировать предложенный алгоритма на натурных данных.

### Литература

1. Зайцев О.В. Оценивание квазидетерминированных процессов с учетом ограничений на их величину и производную в задачах спутниковой навигации: автореф. диссер. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fppo.ifmo.ru/dissertation/?number=127300> (дата обращения: 24.02.2020).

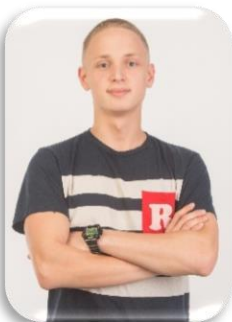


2. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. В 2 ч. Ч.1. Введение в теорию оценивания. Изд. 3-е, исправленное и дополненное. СПб. ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 2017. 509 с.
3. Литвиненко Ю.А. Оптимизация алгоритмов инерциальной навигационной системы морских объектов: автореф. диссер. канд. техн. наук. СПб. 2005. 161 с.
4. Антонов Д.В., Челпанов И.Б. Пути повышения эффективности работы системы гиросtabilизации оптической глissады // Материалы XXI конференции молодых ученых «Навигация и управления движением». 2019. С. 255-258.
5. Худсон Д. Статистика для физиков. Москва «Мир» 1970. 296 с.



**Старун Игорь Геннадьевич**

Год рождения: 1998  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
студент группы N3456,  
направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,  
e-mail: starun.igor@yandex.ru



**Гурьев Никита Александрович**

Год рождения: 1999  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
студент группы N3456,  
направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,  
e-mail: nikgurv@gmail.com



**Югансон Андрей Николаевич**

Год рождения: 1992  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
ассистент,  
e-mail: a\_yougunson@itmo.ru



**Гирик Алексей Валерьевич**

Год рождения: 1982  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: alexei.guirik@gmail.com



**Кузнецов Александр Юрьевич**

Год рождения: 1989  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 004.054

## **РАСЧЕТ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ VPN** **И.Г. Старун, Н.А. Гурьев, Н.А. Югансон, А.Ю. Гирик** **Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Ю. Кузнецов**

### **Аннотация**

В работе рассмотрено применение математической модели расчета комплексной оценки VPN на примере выбора VPN сервиса пользователем с определенными приоритетами и требованиями. Выделены преимущества указанной модели над существующими аналогами.

### **Ключевые слова**

Информационная безопасность, математическая модель, виртуальная частная сеть, VPN, угрозы персональным данным, защита информации, криптография, анонимизация, VPN сервис.

### **Введение**

В настоящее время вопрос сохранения конфиденциальности, целостности и доступности информации в процессе коммуникации в сети Интернет является крайне актуальным [1]. В связи с этим среди пользователей набирает популярность технология VPN (англ. Virtual Private Network - виртуальная частная сеть) [2].

Значительная часть заинтересованных пользователей обращается к готовым программным решениям – VPN сервисам, что приводит к появлению задачи оценки таких сервисов с учетом приоритетных целей конкретного пользователя. На данный момент существует недостаток научной базы для оценки VPN сервисов, а доступные методики неполноценны и учитывают лишь небольшую часть важных аспектов.

В настоящей статье рассмотрен расчет комплексной, т. е. учитывающей всю полноту аспектов защищенности соединения и пользовательских приоритетов, оценки VPN на примере двух сервисов.

### **Постановка задачи**

Рассмотрим выбор готового VPN решения пользователем из России, для которого наибольшую важность представляет надежная защита его персональных данных. Для наглядности выбор будем осуществлять на примере бесплатных версий двух конкретных VPN сервисов – Hotspot Shield и Tunnel Bear.

### **Методика оценки**

В качестве методики оценки используем математическую модель расчета комплексной оценки VPN [3]. Выбор методики обусловлен тем, что данная модель оценки удовлетворяет поставленным требованиям: учитывает уровень значимости тех или иных групп критериев оценивания для конкретного пользователя.

Чтобы провести оценивание VPN сервиса по упомянутой методике, необходимо:

1) Провести численную оценку сервиса по критериям защищенности VPN от угроз персональным данным, в том числе:

а) оценить 3 критерия защищенности ПДн от угроз, связанных с недостатками в области обеспечения криптографической защиты информации  $x_{\text{крипт } i}$ ;

б) оценить 2 критерия защищенности ПДн от угроз, связанных с эксплуатацией уязвимостей стороннего ПО  $x_{\text{ПО } i}$ ;

в) оценить 2 критерия защищенности от прочих угроз персональным данным пользователя  $x_{\text{ГР } i}$ .

2) Рассчитать общий критерий защищенности VPN от угроз персональным данным по формуле:

$$K_{\text{ПД}} = K_{\text{КРИПТ}} + K_{\text{ПО}} + K_{\text{ПР}} = \sum_{i=1}^3 x_{\text{КРИПТ}_i} + \sum_{i=1}^2 x_{\text{ПО}_i} + \sum_{i=1}^2 x_{\text{ПР}_i}, \quad (1)$$

3) Численно оценить 3 критерия защищенности VPN от обнаружения использования пользователем средств анонимизации  $x_{\text{АНОН}_i}$ ;

4) Рассчитать общий критерий защищенности от обнаружения использования пользователем средств анонимизации по формуле:

$$K_{\text{АНОН}} = \sum_{i=1}^3 x_{\text{АНОН}_i}, \quad (2)$$

5) Численно оценить 2 критерия пользовательского удобства  $x_{\text{ПУ}_i}$ ;

6) Рассчитать общий критерий пользовательского удобства по формуле:

$$K_{\text{ПУ}} = \sum_{i=1}^2 x_{\text{ПУ}_i}, \quad (3)$$

7) В зависимости от значимости каждой из трех групп критериев относительно друг друга выбрать значения нормирующих (весовых) коэффициентов  $\alpha_{\text{ПД}}$ ,  $\alpha_{\text{АНОН}}$ ,  $\alpha_{\text{ПУ}}$ . Сумма трех нормирующих коэффициентов должна равняться единице;

8) Выбрать значения коэффициента доверия разработчику  $n_{\text{ДОВЕР}}$  в интервале от 0 до 1;

9) Рассчитать комплексный критерий оценки VPN сервиса по формуле:

$$K_{\text{ОБЩ}} = n_{\text{ДОВЕР}} * (\alpha_{\text{ПД}} K_{\text{ПД}} + \alpha_{\text{АНОН}} K_{\text{АНОН}} + \alpha_{\text{ПУ}} K_{\text{ПУ}}). \quad (4)$$

Рекомендации по численному оцениванию критериев, а также по выбору нормирующих коэффициентов и коэффициента доверия представлены в статье [3].

### Результаты оценки

В таб. 1 представлены результаты оценки VPN сервисов Hotspot Shield и Tunnel Bear по критериям защищенности от угроз персональным данным, защищенности от обнаружения использования пользователем средств анонимизации, а также по критериям пользовательского удобства.

Учитывая требования, указанные при постановке задачи, выберем значения нормирующих коэффициентов [4, 5], представленные в таб. 2.

Основываясь на репутации разработчиков оцениваемых сервисов и степени юридической прозрачности их нормативных и прочих документов, были выбраны следующие значения коэффициента доверия, представленные в таб. 3.

По данным таб. 1-3 для каждого из двух VPN сервисов рассчитаем комплексные критерии всех трех групп критериев, пользуясь формулами 1-3. Затем по формуле 4 рассчитаем комплексный критерий оценки для каждого из VPN сервисов Hotspot Shield и Tunnel Bear. Для наглядности результаты представлены в таб. 4.

**Результаты оценки VPN сервисов по критериям**

Номер критерия	Название критерия	Hotspot shield	Tunnel Bear	Макс. оценка
Критерии защищенности ПДн от угроз, связанных с недостатками в области обеспечения криптографической защиты информации $\chi_{\text{КРИПТ } i}$				
1	Наличие шифрования трафика внутри сети с использованием надежных алгоритмов и протоколов шифрования	30	30	35
2	Использование индивидуальных ключей шифрования для каждого пользователя	15	15	15
3	Использование индивидуальных ключей шифрования для каждого сервера	10	10	10
Критерии защищенности ПДн от угроз, связанных с эксплуатацией уязвимостей стороннего ПО $\chi_{\text{ПО } i}$				
1	Защищенность от утечек приватного IP-адреса пользователя путем эксплуатации уязвимостей WebRTC	0	10	10
2	Защищенность от утечек приватного IP-адреса пользователя путем эксплуатации уязвимостей AdobeFlash	10	10	10
Критерии защищенности от прочих угроз персональным данным пользователя $\chi_{\text{ПР } i}$				
1	Защищенность от утечек приватного IP-адреса на этапе переподключения	15	15	15
2	Защищенность от утечек данных о реальном провайдере пользователя путем перехвата DNS-трафика	5	5	5
Критерии защищенности от обнаружения использования пользователем средств анонимизации $\chi_{\text{АНОН } i}$				
1	Защищенность от обнаружения использования средств анонимизации путем фиксирования цифрового отпечатка Fingerprint	35	0	35
2	Защищенность от обнаружения использования средств анонимизации с помощью двустороннего пинга	0	0	35
3	Защищенность от обнаружения использования средства анонимизации и нарушения анонимности путем обнаружения разницы во временных зонах браузера и IP	0	0	30
Критерии пользовательского удобства $\chi_{\text{ПУ } i}$				
1	Отсутствие значительного падения скоростей приема и передачи данных при использовании VPN [4]	35	35	70
2	Наличие широкого ассортимента доступных серверов в разных географических зонах	0	30	30

### Значения нормирующих коэффициентов

Нормирующий коэффициент	Обозначение	Значение
Коэффициент значимости критерия $K_{пд}$	$\alpha_{пд}$	0,6
Коэффициент значимости критерия $K_{анон}$	$\alpha_{АНОН}$	0,2
Коэффициент значимости критерия $K_{пу}$	$\alpha_{ПУ}$	0,2

Таблица 3

### Значения коэффициентов доверия

VPN сервис	Коэффициент доверия	Комментарий
Hotspot Shield	0,7	Лицензионное соглашение компании допускает сбор статистики, сервис не является доверенным.
Tunnel Bear	0,8	Политика конфиденциальности прозрачна, но сервис не является доверенным.

Таблица 4

### Результаты оценки VPN сервисов

Наименование критерия	Обозначение критерия	Hotspot Shield	TunnelBear	Макс. значение
Общий критерий защищенности VPN от угроз ПДн	$K_{пд}$	85	95	100
Общий критерий защищенности от обнаружения использования пользователем средств анонимизации	$K_{анон}$	35	0	100
Общий критерий пользовательского удобства	$K_{пу}$	35	65	100
Комплексный критерий оценки VPN сервиса	$K_{общ}$	45,5	56	100

### Анализ результатов

По результатам оценки был сделан вывод, что из рассмотренных бесплатных версий двух сервисов наиболее подходящей для пользователя является версия Tunnel Bear. Она показала лучшие результаты как по критерию защищенности от угроз ПДн, так и по наиболее важному комплексному критерию оценки VPN сервиса.

Таким образом, в сравнении с аналогами данная модель имеет наиболее полный перечень критериев оценки, учитывает приоритеты пользователя, а также не только технические, но и юридические аспекты. Стоит отметить, что рассмотренная методика дает возможность сравнивать несколько сервисов между собой для формирования рейтинга.

### Литература

1. Молявко-Ким Е.Л., Куркович Е.М. Виртуальные частные сети VPN : дис. – Белорусский государственный экономический университет. 2018.
2. A Glance through the VPN Looking Glass: IPv6 Leakage and DNS Hijacking in Commercial VPN Clients / V. C. Perta [et al.] // Proceedings of Conference : 15th Privacy Enhancing Technologies, 30 June – 02 July 2015, Philadelphia, USA. – Philadelphia. 2015. P. 77 – 91.
3. Старун И.Г., Югансон А.Н., Гатчин Ю.А. Построение математической модели расчета комплексной оценки VPN : ст. Вестник ТГТУ. том. 25. выпуск 4. 2019, с. 535-546.
4. Волохов В.В. Исследование принципов работы VPN, разработка политики безопасности VPN. Использование анонимайзеров // Наука, техника и образование. 2018. № 5 (46). С. 87 – 89.
5. Глотов В.А., Павельев В.В. Экспертные методы определения весовых коэффициентов // Автоматика и телемеханика. 1976. № 12. С. 95 – 107.



**Сундквист Ян Владимирович**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R42331,  
направление подготовки: 15.04.06 – Интеллектуальные  
технологии в робототехнике,  
e-mail: ivsundkvist@itmo.ru



**Иволга Дмитрий Викторович**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R41332с,  
направление подготовки: 15.04.06 – Робототехника,  
e-mail: ivolga.dv@itmo.ru



**Колюбин Сергей Алексеевич**

Год рождения: 1986  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
д.т.н., доцент,  
e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 62-231

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АДАПТИВНОГО  
МЕХАТРОННОГО КИСТЕВОГО ПРОТЕЗА**

**Я.В. Сундквист, Д.В. Иволга**

**Научный руководитель – д.т.н., доцент С.А. Колюбин**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

Аннотация. Данная работа посвящена разработке конструкции исполнительных механизмов пальцев адаптивного кистевого протеза. Новая конструкция механизма позволяет повысить функционал протеза и упростить систему управления. В ходе работы была достигнута механическая адаптивность исполнительных механизмов фаланг пальцев, с сохранением возможности воспроизведения необходимых для жизни жестов, разработана 3-D модель.

**Ключевые слова**

кистевой протез, исполнительный механизм, адаптивность, дистальная фаланга, проксимальная фаланга.



Человеческая рука – сложная адаптивная система с большим количеством степеней свободы, совершенными исполнительными механизмами, системами осязания и управления. Протезирование верхних конечностей имеет длинную историю от деревянных косметических до современных электромеханических высокотехнологичных устройств, следствием чего является большое количество разнообразных конструкций [1]. Наиболее известные на сегодняшний день протезы - BeBionic (OttoBock), i-Limb (Touch Bionics) и Vincent hand (Vincent Systems) [2] очень схожи с человеческой рукой и имеют сопоставимые массогабаритные характеристики, пять пальцев и по одному приводу на каждый из них, проксимальная и дистальная фаланги являются активными, а угол между дистальной и средней фалангой зафиксирован. Перечисленные выше протезы являются адаптивными только за счёт системы управления [4], в то время как адаптивность человеческой руки достигается ещё и за счёт самой конструкции и её исполнительных механизмов. Адаптивность конструкции повышает функционал протезов (позволяет улучшить качество схвата объекта) и упрощает их систему управления, что представляет собой достаточно актуальную задачу при их разработке. Известны также протезы, в которых адаптивность достигается за счёт конструкции - Michelangelo hand и Sensor Hand (оба OttoBock) [3], однако в них отсутствует возможность воспроизводить необходимые жесты.

Целью данного исследования является разработка конструкции адаптивных исполнительных механизмов пальцев кистевого протеза с высокой вариативностью воспроизводимых конфигураций хватов. По своим массогабаритным показателям разрабатываемый протез должен соответствовать средним размерам руки взрослого человека. Сравнительные геометрические и массогабаритные характеристики разработанного и промышленных протезов [3] приведены в таблице.

Таблица

**Сравнительные геометрические и массогабаритные характеристики**

Название протеза	Общий вес, г	Размеры, мм	Количество актюаторов	Адаптивность
i-Limb Pulse	465	182 – длина 80 – ширина 45 - толщина	5	Да (система управления)
Bebeonic	539	198 – длина 90 – ширина 50 - толщина	5	Да (система управления)
Bebeonic 2	539	200 – длина 92 – ширина 50 - толщина	5	Да (система управления)
Разрабатываемый адаптивный захват	520	170 – длина 90 – ширина 30 - толщина	5	Да (конструкция)

Для упрощения конструкции количество степеней свободы каждого пальца было уменьшено до двух. Угол между дистальной и средней фалангой фиксирован на 20°. Следовательно, каждый палец содержит две фаланги – проксимальную и дистальную. 3 – D модель конструкции представлена на рис. 1.

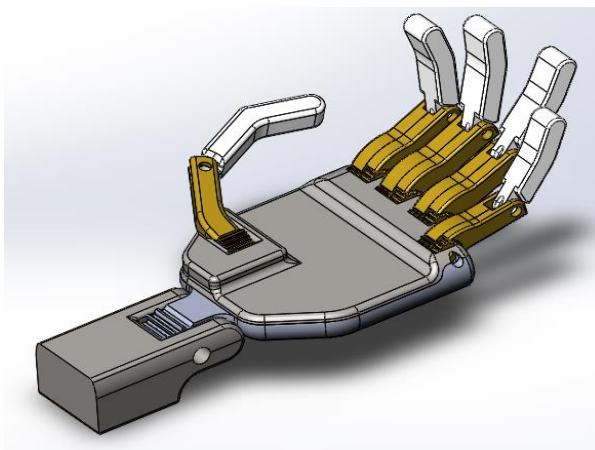


Рис. 1. 3-D модель адаптивного захвата

При проектировании конструкции протеза, как и в некоторых промышленных аналогах на каждый палец используется по одному электродвигателю с целью сохранения возможности воспроизводить различные жесты. Расположение исполнительных механизмов пальцев непосредственно внутри корпуса ладони позволяет использовать более мощные электродвигатели, что существенно увеличивает крутящий момент в фалангах пальцев, а также даёт возможность уменьшать габариты пальцев при разработке протезов меньших размеров. Также внутри пальцев остаётся больше пространства для возможности размещения в них датчиков для системы обратной связи.

Все рассмотренные выше протезы кисти для передачи движения используют как тросовые, так и электроприводы, размещённые внутри каждого пальца. Разработанный привод, изображенный на рис. 2, является комбинацией тросового- и электропривода.

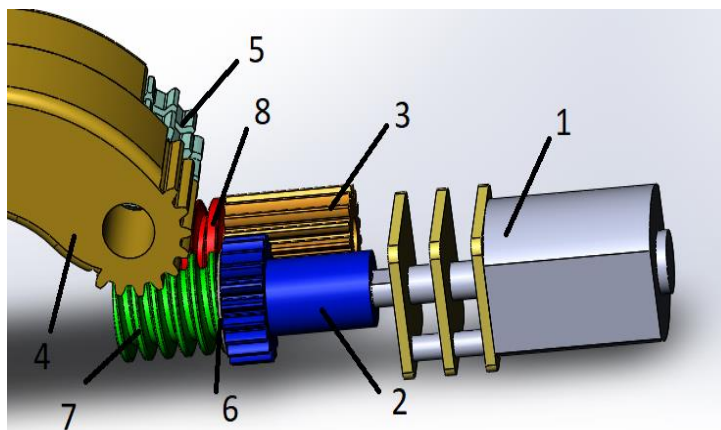


Рис. 2. Конструкция разработанного привода

- 1 – Электродвигатель, 2 – Зубчатое колесо ведущее, 3 – Зубчатое колесо ведомое,  
4 – Проксимальная фаланга, 5 – Шкив дистальной фаланги, 6 – Фрикционная шайба,  
7 – Червяк проксимальной фаланги, 8 – Червяк дистальной фаланги

Сгибание/разгибание проксимальных и дистальных фаланг пальцев происходит через комбинацию червячных, цилиндрических зубчатых передач и тросов. Механизмы проксимальной и дистальной фаланги связаны через цилиндрическую зубчатую передачу. Дистальная фаланга 4 связана с зубчатым колесом – шкивом дистальной фаланги 5 через трос. Во время нормальной работы электродвигатель 1 передаёт

вращение в направлении против часовой стрелки и приводит одновременно в движение ведущее 2 и ведомое 3 зубчатые колеса, которые в свою очередь передают движение червякам проксимальной 7 и дистальной 8 фаланг, вследствие чего фаланги начинают сгибаться. Ведомое зубчатое колесо 3 и червяк дистальной фаланги 8 склеены между собой. Червяк проксимальной фаланги 7 имеет внутреннюю правостороннюю резьбу и связан с ведущим зубчатым колесом 2 через фрикционную шайбу 6, закреплённую на нём. Также данное соединение имеет в своём составе “скрытый” элемент – болт DIN 933 М3 (рис. 3). Это соединение элементов является очень важным в данном механизме, так как оно обеспечивает Кулоновское трение, которое не даёт ведущему зубчатому колесу 2 прокручиваться относительно червяка проксимальной фаланги 7, тем самым препятствует выкручиванию болта.

Изначально ведущее зубчатое колесо 2 и червяк проксимальной фаланги 7 двигаются вместе (рис. 4-а). Когда проксимальная фаланга контактирует с какой-либо поверхностью или объектом (рис. 4-б) момент на червяке проксимальной фаланги 7 превышает момент Кулоновского трения, в результате чего болт начинает выкручиваться из червяка проксимальной фаланги 7 и проталкивает ведущее зубчатое колесо 2, скользящее по валу двигателя (рис. 4-в). Что позволяет продолжать передавать ведомому зубчатому колесу 3 и червяку дистальной фаланги 8, вращающее шкив 5, крутящий момент от электродвигателя 1. Вследствие чего дистальная фаланга продолжает своё движение и дальше захватывает объект (рис. 5), в то время как проксимальная фаланга остаётся заблокированной.

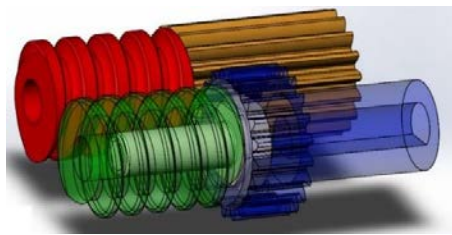


Рис. 3. Болт DIN 933 М3 внутри червяка проксимальной фаланги

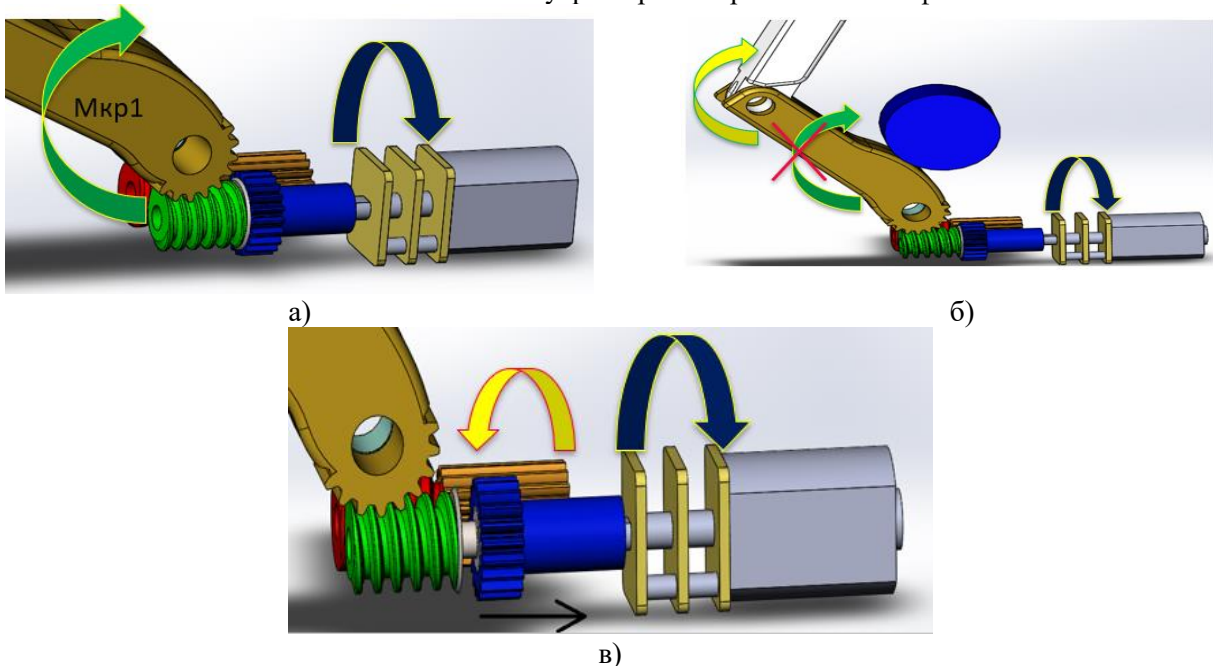


Рис. 4. Работа адаптивного привода, а) сгибание проксимальной фаланги, б) момент соприкосновения проксимальной фаланги с объектом, в) сгибание дистальной фаланги

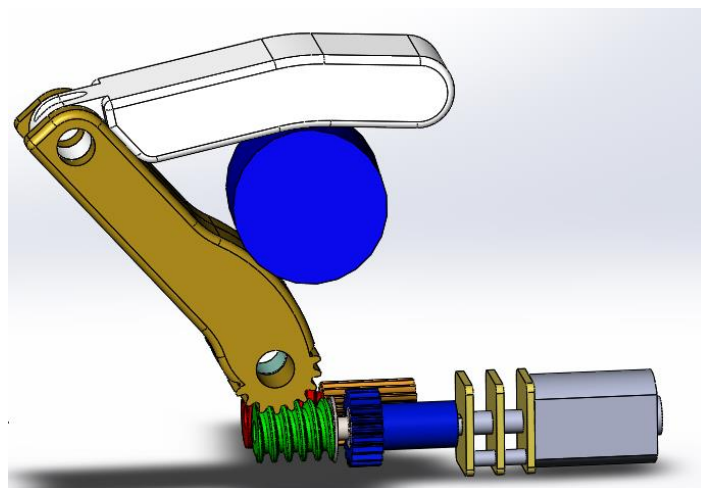


Рис. 5. Захват пальцем объекта

Расстояние между ведущим зубчатым колесом 2 и электродвигателем 1 позволяет дистальной фаланге согнуться до конца своего диапазона движения ( $120^\circ$ ). При реверсивном движении весь крутящий момент изначально будет направлен на то, чтобы ведущее зубчатое колесо 2 снова вошло в контакт с фрикционной шайбой 6 и червяком проксимальной фаланги 7 и создало Кулоновский момент трения. После чего обе фаланги продолжают движение вместе.

В ходе выполнения данного исследования разработана конструкция адаптивного кистевого протеза, не уступающая по ряду характеристик своим производственным аналогам, была достигнута механическая адаптивность при сохранении вариативности воспроизводимых конфигураций пальцев, необходимых в повседневной жизнедеятельности человека.

### Литература

1. Paul H. Chappel, *Mechatronic Hands – Prosthetic and Robotic design* // The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom. 2016. 163 p.
2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vincentsystems.de/> (дата обращения: 28.02.2020).
3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ottobock.com/> (дата обращения: 30.02.2020).
4. Joseph T. Belter, Jacob L. Segil, Aaron M. Dollar, Richard F. Weir, *Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review* // *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2013. Vol.50. С. 599-618.



**Тараканов Денис Сергеевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО,  
факультет информационных технологий  
и программирования,  
аспирант,

направление подготовки: 09.06.01 – Информатика

и вычислительная техника,

e-mail: dstarakanov@itmo.ru



**Косяков Михаил Сергеевич**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО,  
факультет информационных  
технологий и программирования,  
к.т.н., доцент,

e-mail: mkosyakov@itmo.ru

УДК 004.45

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЬЮТЕКСА  
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МНОГОПОТОЧНЫХ  
ПРИЛОЖЕНИЙ**

**М.С. Косяков, Д.С. Тараканов**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент М.С. Косяков**

**Аннотация**

В работе проводится анализ возможного влияния различных реализаций примитива синхронизации мьютекс на производительность многопоточных приложений. На основе экспериментальных данных и анализа исходного кода сравниваются мьютексы, представленные в двух широко используемых имплементациях библиотеки libc для операционных систем на основе ядра Linux: musl и glibc, оцениваются возможные негативные эффекты реализованных в них оптимизаций.

**Ключевые слова**

Многопоточность, взаимное исключение, примитивы синхронизации, мьютекс, Linux.

В наши дни развитие компьютерных систем с точки зрения повышения производительности самих центральных процессоров замедлилось. Закон Мура перестал выполняться – это связано как с фундаментальными физическими проблемами (будь то размер атомов в транзисторах или тепловыделение процессора), так и замедление темпов производства. Тем не менее происходит дальнейшее развитие многопроцессорных и многоядерных систем, которые уже активно используются не только в промышленности или научных исследованиях, но и в потребительской электронике: домашних компьютерах и телефонах. Поэтому для повышения производительности приложения вынуждены использовать многопоточность, т.е. распараллеливать выполнение программы.

Эффективность применения многопоточности зависит как от возможности распараллеливания алгоритмов, используемых в программе, так и от используемых

техник для реализации самого механизма и решения связанных с ним проблем. Одной из таких проблем является необходимость синхронизации доступа потоков к некоторым общим ресурсам (критической секции). Для ее решения используются различные примитивы синхронизации, решающие задачу взаимного исключения.

Формулировка и общее решение этой задачи (в виде семафоров) были предложены Дейкстрой [1]. В дальнейшем были разработаны другие примитивы синхронизации, которые выполняют требования к любому алгоритму взаимного исключения (безопасность и живучесть), но в то же время являются оптимизированными для определенных задач или архитектуры системы, в которой они будут использоваться.

Одним из наиболее используемых примитивов синхронизации является мьютекс. Главной его особенностью является использование системных вызовов для ожидания доступа к критической секции.

Существуют различные имплементации мьютекса в популярных библиотеках, например:

- pthread\_mutex\_t (из библиотеки libc/threads);
- std::mutex (из библиотеки libstdc++);
- boost::mutex (из библиотеки boost);
- CRITICAL\_SECTION (представлен в WinAPI).

В то же время конкретный способ реализации мьютекса остается для разработчика приложений, использующих многопоточность, черным ящиком – алгоритм выполняет необходимые требования, но его особенности и то, для каких ситуаций он был оптимизирован, не очевидно для разработчика.

Подробнее остановимся на реализации, представленной в стандартной библиотеке языка C (libc) – pthread\_mutex\_t. Спецификация стандарта POSIX лишь описывает общие требования к примитиву синхронизации (какими функциями над ним можно оперировать, каким свойствам удовлетворять) и полностью игнорирует его внутреннее устройство [2]. Таким образом, это оставляет широкую свободу для авторов библиотек.

Существует достаточно большое количество библиотек, реализующих стандарт библиотеки libc, наиболее популярные из которых:

- GNU libc (glibc/eglibc);
- musl;
- bionic (используется в операционной системе Android);
- различные libc для встраиваемых систем.

Для выявления возможных проблем, связанных с отличиями в реализации мьютекса, была разработана тестовая программа, представленная на рисунке.

```
void thread_function(
    out_crit, in_crit){
    while (iter_count){
        useful_work(out_crit);
        mutex_lock()
        useful_work(in_crit);
        mutex_unlock()
        iter_count--;
    }
}
```

Рисунок. Псевдокод тестовой программы

«Полезная работа» выполняется в критической секции (функция `useful_work()`) и в промежутках между запросами на ее захват. Сама «полезная работа» реализована с помощью вызова ассемблерной инструкции `pause`. Различные аргументы, передаваемые в эту функцию, позволяют влиять на конкуренцию за критическую секцию. Также варьировалось количество работающих одновременно потоков.

Для сравнения использовались библиотеки `glibc` и `musl`, так как они обе имеют реализации для архитектуры `x64` и широко используются во многих операционных системах на основе ядра `Linux`. Данные операционные системы лучше подходят для тестирований ввиду открытости их кода и связанного программного обеспечения, а также возможностью уменьшения влияния других процессов системы (по сравнению с ОС `Windows`).

В тесте оценивалось время, за которое все потоки программы сто тысяч раз выполняют код в критической секции. Для каждой конфигурации проводилось по пятьсот запусков, чтобы уменьшить влияние посторонних процессов на результаты эксперимента.

Для тестов использовалось следующее оборудование и программное обеспечение: компьютером с процессором `Intel Core i7-2600` 3,40 ГГц; 4 ядра и технология `Hyper-threading`; операционная система `Ubuntu 16.0.4`, компилятор `gcc 4.8.4`, библиотеки `glibc 2.27` и `musl 1.1.24`.

В ходе тестирования были получены тестовые результаты, представленные в таблице. Количество инструкций, имитирующих «полезную работу», подбиралось для демонстрации различных нагрузок на критическую секцию.

Таблица

### Результаты тестирования

Потоки	Количество инструкций в критической секции	Количество инструкций вне критической секции	Среднее время выполнения, мс		Соотношение, %
			musl	glibc	
4	2000	5000	1288.11	1290.838	0.2
	2000	6000	1204.767	1187.558	-1.4
	6000	2000	6494.15	6394.678	-1.5
8	2000	5000	2597.33	2053.042	-21
	2000	10000	1753.963	1723.333	-1.7
	10000	5000	11359.08	11436.01	0.7
16	2000	5000	1596.383	1520.525	-4.8
	2000	20000	1659.492	1873.719	12.9
	10000	2000	11769.91	11742.87	-0.2

Относительная погрешность результатов измерения составила менее 1% при доверительной вероятности 0,95 (за исключением измерения для библиотеки `glibc` с 8 потоками при соотношении инструкций 2000 к 5000 – в этом измерении относительная погрешность составила 1,6% при доверительной вероятности 0,95).

Как можно увидеть из полученных результатов, в большинстве ситуаций выбор библиотеки не оказывает существенного влияния на производительность многопоточного приложения. Тем не менее было выявлено два случая, показывающих различия.

При слабой конкуренции за критическую секцию (16 потоков, но большинство из них длительное время выполняет операции (20000) без попыток захвата критической секции, из которой быстро выходит – 2000 операций в критической секции) производительность была выше у программы, использовавшей библиотеку `musl`. В ситуациях со средней нагрузкой на критическую секцию (при 8/16 потоках с 2000 операциями в критической секции и 5000 вне ее) можно наблюдать, что использование библиотеки `musl` напротив, ухудшает производительность относительно библиотеки `glibc`.

Для объяснения возникших отличий в результатах был проанализирован исходный код реализации мьютексов в этих библиотеках [3-4].

Мьютекс из библиотеки `glibc` является «классическим» мьютексом на основе механизма фьютекса, представленного в ядре Linux – сначала происходит попытка захвата мьютекса в пространстве пользователя, в случае провала – переход в пространство ядра через системный вызов `futex()` [5]. Стоит отметить, что большая часть кода мьютекса реализована на низком уровне с помощью GCC Inline Assembler.

Характерной особенностью реализации мьютекса в библиотеке `musl` является множество попыток его захвата в пространстве пользователя. Также используется оптимизация, позволяющая потоку войти в холостой цикл ожидания, если нет очереди на захват мьютекса. Данная реализация написана преимущественно на языке C (ассемблерная часть используется только для непосредственного вызова фьютекса, так как он не имеет `libc`-обертки).

Данные результаты подтверждают, что библиотека `musl` имеет оптимизации, позволяющие ей уменьшить задержки при захвате критической секции при низкой конкуренции. В то же время лишние операции внутри самого мьютекса могут ухудшать общую производительность при наличии конкуренции за доступ к критической секции.

Необходимо отметить, что сейчас библиотека `musl` портируется компанией Google в ее новую операционную систему Fuchsia в качестве основной реализации `libc` [6]. Но поскольку данная операционная система позиционируется как система для автономных устройств (мобильные телефоны и IoT), подобная реализация мьютекса может серьезно влиять на энергопотребление, так как холостой цикл и задержка при переходе в пространство ядра при заблокированном мьютексе увеличивают количество необходимых для выполнения инструкций.

По итогам проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Способ имплементации примитива синхронизации мьютекс может влиять на производительность многопоточных приложений: например, модификации библиотеки `musl` относительно «классического» мьютекса (на основе фьютекса) при слабой конкуренции за критическую секцию положительно влияют на производительность приложения, но могут ухудшать ее при возникновении очереди на захват; также подобные изменения могут негативно сказаться и на работе автономных устройств.

## Литература

1. Dijkstra E.W. Solution of a problem in concurrent programming control // Communications of the ACM. 1983. V. 26 N. 1. P. 21-22. doi: 10.1145/357980.357989.
2. The Open Group Base Specifications Issue 7, 2018 edition [Электронный ресурс] // IEEE: [сайт]. 2018. URL: <https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799/> (дата обращения 02.03.2020).
3. The GNU C Library (glibc) [Электронный ресурс] // A GNU Project: [сайт], 2019. URL: <https://www.gnu.org/software/libc/sources.html> (дата обращения 02.03.2020).
4. Musl libc [Электронный ресурс] // Felker R.: [сайт], 2019. URL: <https://git.musl-libc.org/cgit/musl> (дата обращения 02.03.2020).



5. Drepper U. Futexes Are Tricky [Электронный ресурс] // Компания RedHat: [сайт], 2011. URL: <http://people.redhat.com/drepper/futex.pdf> (дата обращения 02.03.2020).
6. Fuchsia Git repositories [Электронный ресурс] // Компания Google: [сайт], 2020. URL: <https://fuchsia.googlesource.com/> (дата обращения 02.03.2020).



**Титов Роман Умарович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

аспирант,

направление подготовки: 05.11.03 – Приборы навигации

e-mail: roman100895@rambler.ru



**Моторин Андрей Владимирович**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

доцент,

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»»,

старший научный сотрудник,

e-mail: motorin.a@mail.ru

УДК 629.05

## **АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

**Р.У. Титов, А.В. Моторин**

### **Аннотация**

Рассматривается задача оптимального оценивания полезного сигнала по предварительно обработанным измерениям с позиций построения оптимального фильтра в частотной области. Приводятся условия, при которых предварительная фильтрация не даёт повышения точности оценки полезного сигнала. Показывается, что при выполнении этих условий оптимальный фильтр содержит передаточную функцию обратную передаточной функции предварительного фильтра. Приводится пример численного моделирования такой задачи.

### **Ключевые слова**

Предварительная фильтрация, оценивание, восстановление, аномалия силы тяжести.

### **Введение**

В настоящее время на практике часто приходится встречаться с задачами оценивания и восстановления исходного сигнала по его измерениям с использованием различных двухэтапных схем и, так называемой, предварительной фильтрации измерений. Чаще всего в таких случаях под этими терминами понимается то, что измеряемый сигнал, содержащий полезный сигнал и помеху предварительно пропускается через некий фильтр, с целью снижения его зашумленности. Лишь затем решается задача оптимального оценивания полезного сигнала по уже предварительно обработанным измерениям [1].

В настоящей работе такая задача рассматривается с позиций построения оптимального фильтра в частотной области. Приводятся условия, при которых предварительная фильтрация не даёт повышения точности оценки полезного сигнала.

Показано, что при выполнении этих условий оптимальный фильтр содержит передаточную функцию обратную передаточной функции предварительного фильтра. Приводится пример численного моделирования такой задачи в универсальной моделирующей программе.

### Построение оптимального фильтра при применении предварительной фильтрации

Пусть  $x(t)$  – полезный сигнал, представляющий собой случайный процесс с известной спектральной плотностью  $S_x(\omega)$ ,  $y(t)$  измерение исходного сигнала,

$$y(t) = x(t) + v(t), \quad (1)$$

где  $v(t)$  – центрированный гауссовский белый шум известной интенсивности. Пусть существует  $W_0(j\omega)$  – передаточная функция оптимального стационарного фильтра для задачи фильтрации  $x(t)$  по измерениям  $y(t)$ . Для нее можно записать [2, 3]:

$$W_0(j\omega) = \frac{1}{S_y^+(\omega)} \left[ \frac{S_x(\omega)}{S_y^-(\omega)} \right]_+, \quad (2)$$

где  $S_y(\omega)$  – спектральная плотность измерений, а  $S_y^+, S_y^-$  – результат ее факторизации, то есть представления ее в виде двух сомножителей  $S_y^+$  и  $S_y^-$ . При этом  $\frac{1}{S_y^+(\omega)}$  – передаточная функция выбеливающего фильтра, преобразующего измерения в белый шум.

Рассмотрим теперь измерение  $\mathcal{Y}(t)$ , полученное путем пропускания исходных измерений через предварительный линейный фильтр с частотной характеристикой  $B(j\omega)$  (рис. 1).

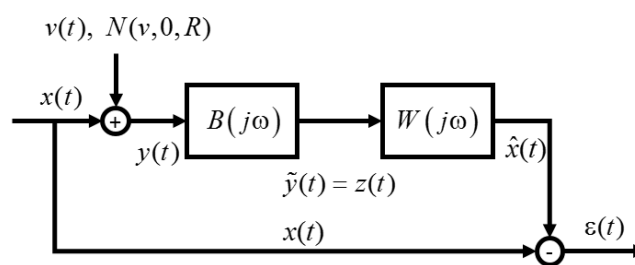


Рис. 1. Блок-схема формирования оценки и соответствующей ей ошибки

Аналогично получим оптимальную передаточную функцию  $W(j\omega)$  для получения оценки  $\hat{x}(t)$  по измерениям  $\mathcal{Y}(t)$ .

$$W(j\omega) = \frac{1}{S_y^+(\omega)} \left[ \frac{S_x(\omega)}{S_y^-(\omega)} \right]_+ = \frac{1}{B(j\omega)S_y^+(\omega)} \left[ \frac{S_x(\omega)}{S_y^-(\omega)B(-j\omega)} \right]_+ = \frac{1}{B(j\omega)} \left[ \frac{1}{S_y^+(\omega)} \left[ \frac{S_x(\omega)}{S_y^-(\omega)} \right]_+ \right] = B^{-1}(j\omega)W_0(j\omega), \quad (3)$$

Последний переход справедлив при условии, что  $B(j\omega)$  устойчива (имеет корни в левой полуплоскости). Таким образом  $B(-j\omega)$  строго неустойчива и в результате

сепарации отпадает. Отметим также, что  $\frac{1}{B(j\omega)} = B^{-1}(j\omega)$  является аналогом выбеливающего фильтра.

Более общие условия, при которых приведенные здесь выражения будут верны можно сформулировать следующим образом.

1. Погрешность никаким образом неотделима от полученных измерений или, что эквивалентно, погрешность никаким образом неотделима от полезного сигнала. Таким образом, в задаче предварительной фильтрации измерений любым последующим преобразованиям могут подвергаться только измерения целиком.

2. Преобразование не вносит дополнительной погрешности.

В этих условиях решения задачи оценивания с и без использования предварительных фильтров эквивалентны.

### Пример решения задачи предварительной фильтрации

Рассмотрим частный случай задачи предварительной фильтрации, когда оцениваемый сигнал представляет собой экспоненциально-коррелированный процесс со спектральной плотностью

$$S_x(\omega) = \frac{2\sigma_x^2\alpha}{(\alpha^2 + \omega^2)}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – обратная интервалу корреляции оцениваемого сигнала,  $\sigma_x^2$  – его дисперсия [4]. В качестве предварительного фильтра использовалось звено с передаточной функцией

$$B(j\omega) = \frac{1}{\beta j\omega + 1}, \quad (5)$$

$\beta$  – обратная постоянной времени предварительного фильтра.

На рис. 1 приведены результаты моделирования этого частного случая при  $\alpha = 1/60 \text{ c}^{-1}$ ,  $\beta = 1/60 \text{ c}^{-1}$ ,  $\sigma_x^2 = 1$ . Моделирование проводилось в программном приложении, разработанном в математическом пакете MATLAB 6.5 [2].

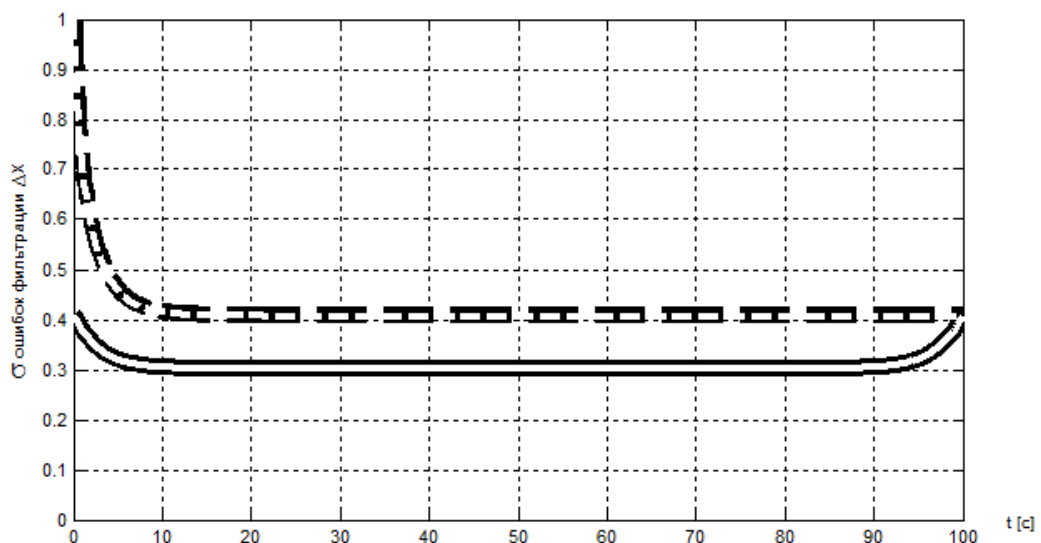


Рис. 2. Сопоставление результатов моделирования частного случая задачи оценивания сигнала с предварительной фильтрации и без

Из рис. 2 видно, что в таком случае дисперсии погрешности фильтрации сигнала полностью совпадают. Отметим, что аналогичные результаты получены при различных соотношениях  $\alpha$  и  $\beta$ , а также для решения задачи сглаживания, как показано на рис. 1.

### **Заключение**

Рассмотрена задача оптимального оценивания полезного сигнала по предварительно обработанным измерениям с позиций построения оптимального фильтра в частотной области. Приведены условия, при которых предварительная фильтрация не даёт повышения точности оценки полезного сигнала. Показано, что при выполнении этих условий оптимальный фильтр содержит передаточную функцию обратную передаточной функции предварительного фильтра. Приведён пример численного моделирования задачи в универсальной моделирующей программе.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-08-01101А.*

### **Литература**

1. Степанов О.А. Связь алгоритмов оптимальной стационарной фильтрации и сглаживания // Гирокоспия и навигация. 2004. N 1. С.16-26.
2. Кошаев Д.А. Универсальные Matlab-программы анализа потенциальной точности и чувствительности алгоритмов линейной нестационарной фильтрации / О.А. Степанов, Д.А. Кошаев // Гирокоспия и навигация. 2004. N 2. С. 81-92.
3. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 2. Введение в теорию фильтрации. СПб. ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 3-е изд. 2017. 417 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебн. для вузов. 2-е изд. СПб. Питер. 2007. 751 с.



**Хоменко Алиса Петровна**

Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
аспирант,  
направление подготовки: 05.13.01 – Системный анализ,  
управление и обработка информации (технические системы),  
e-mail: [alisa.homenko@gmail.com](mailto:alisa.homenko@gmail.com)



**Герасимов Дмитрий Николаевич**

Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: [gerasimovdn@mail.ru](mailto:gerasimovdn@mail.ru)

УДК 007.51

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ  
ЦИФРОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

**А.П. Хоменко**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.Н. Герасимов**

**Аннотация**

В статье приведен сравнительный анализ методов цифрового дистанционного управления техническими объектами, работающими в режиме слежения с использованием телемеханических протоколов. Показано, что проблема может быть решена с использованием современных телемеханических протоколов; дистанционное управление таким объектом может быть ограничено путем изменения настроек с помощью локального сервопривода.

**Ключевые слова**

Цифровое дистанционное управление, телемеханические протоколы, канальная среда, on-line режим, сетевые технологии.

Современная теория цифровых систем управления сложилась практически без учета проблем среды канала, считая ее идеальной [1]. В этом смысле для лучшего изучения цифровой системы дистанционного управления необходим сравнительный анализ методов цифрового дистанционного управления техническими объектами.

Проблемы среды канала сосредоточены главным образом на телемеханическом дистанционном управлении техническими объектами, необходимость изменения их состояния во время работы развивается медленными темпами, поэтому дистанционное управление с использованием телемеханических протоколов ограничено изменением настроек [2], что свидетельствует о небольшом желании удаленно управлять быстрыми технологическими процессами и техническими средствами в on-line режиме. Многие проблемы, решаемые специалистами в среде канала, сосредоточены на проблемах

оптимальных сетевых технологий, методах увеличения полосы пропускания среды канала, методах захвата надежного канала связи, методах кодирования защиты от шума, оптимального приема и методах защиты информации.

Задачи цифрового дистанционного управления техническими объектами преимущественно решаются телемеханикой. Передача и получение информации в телемеханике обычно происходит с участием человека. Как правило, телемеханизация процесса используется при необходимости для управления техническими средствами, расположенными на больших расстояниях в одном комплексе. Это делается с помощью телемеханических систем. Телемеханическая система – это набор технических средств, используемых для отправки команд от оператора или управляющего компьютера для управления объектами, а также для управления информацией в обратном направлении по радиоканалу или по проводной линии. Система включает в себя контрольную точку, в которой находится оператор, одну или несколько контрольных точек, в которых расположены объекты управления (контроля), и линии связи, соединяющие контрольную точку с контролируемой точкой. Телемеханическое устройство – это комбинация устройств и блоков контрольной точки или контролируемой точки, которые реализуют функцию, типичную для телемеханики.

Чтобы передать телемеханическую информацию, можно использовать электрические линии связи, телефон, телеграф, электрические распределительные сети и электрические линии, средства радио, оптической, акустической и гидравлической инженерии, чтобы организовать каналы связи в них. Телемеханические системы, которые реализуют функции только управления и только контроля, называются системами телеуправления и телеконтроля соответственно.

Во время дистанционного телеуправления команды управления передаются от пункта управления или диспетчерского пункта к объектам через канал связи. По причине того, что нужно обеспечивать высокую информационную надежность передачи команд управления используются методы помехозащитного кодирования и методы обнаружения и исправления ошибок. Во время дистанционного телеконтроля информация передается по обратному каналу связи от технического устройства в контролируемой точке оператору в контрольной точке (диспетчерской). Сообщения, передаваемые системой телеконтроля, содержат информацию о сигнализации и измерениях, т.е. процессы телеконтроля называются телесигнализацией и телеизмерением.

Если оператор посылает кодовые команды на пульт управления техническими объектами с нескольких позиций, количество битов которых, помимо адресной части, определяется числом возможных состояний технического объекта, этот тип управления называется телерегулированием. Оборудование для телеизмерений отвечает за выполнение и генерирует многопозиционный измерительный сигнал из контролируемой точки в контрольную точку по обратному каналу связи.

Каждое поколение телемеханических систем также может характеризоваться уровнем агрегирования информации. Первые поколения систем телемеханики характеризовались агрегированием как частью систем телемеханики, формируя такие системы телемеханики, как телеуправление-телесигнализация. Агрегирование телемеханических функций, таких как телерегулирование-телеизмерение, почти никогда не использовалась, потому что телерегулирование обычно организовывалось за счет телеуправления, в основном осуществлялось в специальных модификациях телемеханических систем. Третьим поколением систем телемеханики выступают системы типа телеуправление-телесигнализация-телеизмерение. Четвертое поколение характеризуется широко распространенным использованием микропроцессоров и микрокомпьютеров, интегрированных в устройства контрольной точки и контролируемой точки. Вопрос о разделении функций между телемеханическими

устройствами и компьютером на контрольно-пропускном пункте решается в новом свете. Отличие систем пятого поколения заключается в том, что наиболее серьезные изменения произошли в организации центра управления, который построен в соответствии с современными тенденциями сетевых технологий с использованием высокоскоростных модификаций типа Ethernet 10 Мбит/с, 100 Мбит/с [3].

Таким образом, проведен сравнительный анализ методов цифрового дистанционного управления техническими объектами. Анализ состояния развития телемеханического оборудования показал, что существует очень мало протоколов, использующих телерегулирование. Эти разработки используют довольно старые протоколы. В связи с этим в будущем будет дано обоснование необходимости создания системы дистанционного управления в режиме on-line техническим объектом.

### Литература

1. Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем автоматического управления. М. Наука. 1983. 348 с.
2. Тутевич В.Н. Телемеханика. М.: Высшая школа. 1985. 423 с.
3. Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход: Пер. с англ. СПб. БХВ-Петербург. 2003. 448 с.





**Царев Михаил Вячеславович**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

аспирант,

направление подготовки: 05.11.14 – Технология приборостроения,

e-mail: tsarev@tsarevstudio.ru



**Андреев Юрий Сергеевич**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: ysandreev@itmo.ru

УДК 004.946

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ  
М.В. Царев**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.С. Андреев**

**Аннотация**

В статье рассмотрены различные сценарии промышленного использования технологий виртуальной реальности, приведен краткий обзор характеристик современных VR-гарнитур, описаны базовые подходы и технологии для создания и наполнения VR-сцен, а также приведен пример практической реализации одного из сценариев на реальном производстве, занимающемся выпуском высокотехнологичной продукции.

**Ключевые слова**

Виртуальная реальность, VR, технологии, сценарии использования, визуализация, обучение, 3d.

**1. Введение**

Технологии виртуальной реальности (virtual reality, VR) проделали длинный путь эволюционного развития: с момента появления первых прототипов VR-устройств (рис. 1, а) до появления современных гарнитур («шлемов виртуальной реальности») наподобие HTC Vive (рис. 1, б) прошло более 50 лет. При этом сам термин «виртуальная реальность» появился лишь в конце 80-х годов прошлого века [1].

В контексте данной статьи под виртуальной реальностью мы будем понимать искусственную, созданную компьютерными средствами аудиовизуальную среду, обладающую высокой степенью достоверности и возможностью интерактивного взаимодействия [2].

На текущий момент VR-технологии нашли широкое применение в самых разных областях человеческой деятельности: в аэрокосмической отрасли, игровой индустрии и кинематографии, в медицине (восстановительная терапия) и образовании [3-5].



Рис. 1. Шлемы виртуальной реальности: «Домоклов меч» Ивана Сазерленда, 1968 г. (а); HTC Vive Pro, 2018 г. (б) [1]

Цель данной работы – рассмотреть различные сценарии использования VR-технологий на промышленных производствах, занимающихся выпуском высокотехнологичной продукции, обозначить наиболее перспективные направления.

## 2. Типы и основные характеристики VR-устройств

На сегодняшний день VR HMD (head-mounted devices, носимые головные устройства, они же «шлемы виртуальной реальности») являются основным способом погружения в виртуальную реальность. При этом можно выделить три типа таких устройств:

1. Smartphone VR (VR для смартфонов) – такие устройства представляют собой кейс с линзами, внутрь которого пользователь помещает свой смартфон. Это самый дешевый и примитивный тип HMD. В качестве примера можно привести Google Cardboard – картонный VR-кейс для смартфона.

2. VR for PC (VR-устройства для подключения к персональному компьютеру) – сложные в техническом плане устройства со встроенными датчиками, которые требуют для своей работы подключения к персональному компьютеру с помощью проводного (tethered) или беспроводного (wireless) соединения. Пример HMD с кабельным подключением – Samsung Odyssey, с беспроводным – HTC Vive Pro.

3. Standalone VR (полностью независимые гарнитуры) – самостоятельные устройства, которые содержат в себе все необходимые компоненты и не требуют подключения к чему-либо. Яркий представитель данного класса – Oculus Go.

Краткий обзор основных характеристик всех трех типов устройств представлен в таблице [6].

Таблица

Усредненные характеристики современных VR HMDs

	Smartphone VR	VR for PC	Standalone VR
Стоимость, в долларах США	15-50	400-1100	200
Разрешение экрана	Характеристики зависят от используемого смартфона	1440x1440x2	1280x1440x2
Частота обновления		90-120 Гц	60/72 Гц
Встроенные датчики		да	да
Комплектуется контроллерами	нет	да	да

### 3. Информационное наполнение VR-сцен

Для создания и наполнения сцен виртуальной реальности применяют один из двух подходов (рис. 2): создание полностью искусственных миров с помощью 3d моделирования или захват изображений реального мира с помощью 360-градусной фото/видео съемки, фотограмметрии или 3d сканирования.

При этом съемка 360-градусной камерой позволяет создавать VR-сцены практически мгновенно, но сами сцены получаются с фиксированной точкой обзора. Перемещаться внутри таких сцен невозможно, и пользователь видит лишь то, что запечатлела камера в момент съемки. В то время как искусственные пространства, смоделированные, например, с использованием среды Unity, создают возможность перемещения внутри сцены на подобии с тем, как это обычно реализуется в компьютерных 3d играх с действием от первого лица.



Рис. 2. Типы содержимого VR-сцен

После подготовки самой сцены в нее добавляются интерактивные элементы, с которыми пользователь может взаимодействовать с помощью VR-контроллера (например, нажимать, перемещать, захватывать). В случае с 360-градусной фото- или видеосъемкой такими элементами могут являться наложенные поверх основного изображения управляющие маркеры: указатели, текстовые надписи, вопросы, 2d изображения и др. (рис. 3).



Рис. 3. Пример VR сцены с наложенными в программном обеспечении Urtale управляющими элементами (тегами)

## 4. Сценарии промышленного использования VR

### 4.1 Проектирование в виртуальной реальности

Проектирование изделий с использованием CAD-систем с поддержкой технологий виртуальной реальности еще в 2005 году прорабатывалось на уровне концепций и методологий [7], тогда как сейчас стали доступны готовые решения от крупных компаний-разработчиков САПР: на текущий момент поддержка VR присутствует в Solidworks, Siemens NX, Onshape [8], в российской системе T-Flex VR и др.

Проектирование с использованием VR дает конструктору возможность буквально поместить себя внутрь или рядом с трехмерной моделью разрабатываемого изделия, что позволяет проводить визуальный анализ конструкции, оценивать дизайн и эргономику будущего изделия, визуализировать работу подвижных частей и инженерные расчеты. Эти возможности обеспечивают качественно новый уровень восприятия цифровых моделей, недоступный при использовании традиционных средств проектирования [9].

### 4.2 Визуализация цифрового двойника предприятия

Визуализация данных цифрового двойника (Digital Twin) в реальном времени с помощью технологий виртуальной реальности позволяет перемещаться по цифровому двойнику в реальном масштабе, видеть текущее состояние физических объектов в виртуальном пространстве, вносить изменения в данные.

Для решения этой задачи необходимо обеспечить возможность непрерывного обмена информацией между физическими объектами и визуальным представлением цифрового двойника для постоянного обновления его трехмерной модели в реальном времени. Процесс построения подобной системы подробно рассмотрен в [10].

### 4.3 Обучение персонала

На высокотехнологичных производствах вопрос квалификации и обучения персонала является одним из ключевых, т.к. работа со сложным оборудованием требует специальной подготовки. При этом помимо потенциальной угрозы жизни и здоровью персонала, существуют еще и финансовые риски для предприятия, связанные с выходом оборудования из строя в виду неправильной эксплуатации.

В контексте вышесказанного, раскрываются широкие возможности по внедрению технологий виртуальной реальности в процесс обучения персонала промышленных предприятий, т.к. VR позволяет заменить реальные опасности физического мира абсолютно безопасной симуляцией с сохранением высокой степени сенсорной достоверности. Иммерсивное (с «эффектом погружения») обучение может применяться для создания виртуальных тренажеров, при освоении работы с высокотехнологичным оборудованием и при первичном инструктаже новых сотрудников.

В декабре 2019 года был запущен совместный проект, в рамках которого студенты, аспиранты и преподаватели Университета ИТМО участвуют в создании VR-тренингов для компании ООО «Шнайдер Электрик Завод ЭлектроМоноблок». На текущий момент разработаны тренинги по охране труда, основам бережливого производства и внутренним регламентам завода.

### 4.4 Виртуальные туры по предприятиям

Технология 360-градусной фото- и видеосъемки может быть применена для создания виртуальных туров по опасным и/или удаленным производственным площадкам. Реальное посещение завода или цеха можно заменить виртуальным, что в случае с опасными производствами полностью нейтрализует потенциальные риски для здоровья, а в случае с удаленными обеспечивает снижение временных и финансовых затрат. Данный подход наиболее эффективен для крупных транснациональных компаний с разветвленной сетью географически отдаленных предприятий.

#### 4.5 Удаленное взаимодействие

Совещания являются неотъемлемой частью бизнес-процессов. Личное присутствие на совещаниях зачастую связано со значительными временными и финансовыми затратами. Одним из подходов к сокращению данных издержек может стать замена реальных совещаний виртуальными, за счет создания единого виртуального рабочего пространства, объединяющего несколько человек в рамках одного проекта. При этом участники процесса используя VR-гарнитуры смогут видеть друг друга в виде аватаров, а сам предмет обсуждения (например, разрабатываемое изделие) может быть помещен в ту же среду в виде трехмерного объекта.

### 5. Выводы

В статье были кратко рассмотрены характеристики современных VR-гарнитур, подходы к созданию и наполнению сцен для VR, а также сценарии промышленного использования виртуальной реальности в условиях высокотехнологичных производств.

Среди перечисленных выше сценариев, использование VR для обучения персонала можно считать самым доступным для внедрения на реальных предприятиях направлением, в виду относительно низкой стоимости оборудования и большого разнообразия программных продуктов. В приведенном выше примере, для создания обучающих VR-тренингов использовались следующие решения: 360-градусная камера Ricoh Theta SC2 для съемки предприятия, программное обеспечение Uptale для добавления интерактивных элементов, и VR-гарнитура Oculus Go для просмотра полученного результата.

Проектирование в виртуальной реальности и визуализация данных цифрового двойника предприятия являются перспективными направлениями, которые, однако, требуют более детального анализа, систематизации накопленных знаний, проработки методик и стандартизации подходов.

Также, на текущий момент можно говорить о постепенном размытии границ между технологиями виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности, т.к. все больший интерес ученых вызывают технологии смешанной (MR) реальности, которые совмещают в себе преимущества обоих подходов и открывают новые горизонты для дальнейших междисциплинарных исследований. При этом перспективы массового внедрения подобных технологий напрямую зависят от появления новых, более компактных и более функциональных устройств, т.е. от развития вычислительной техники в целом.

### Литература

1. History Of Virtual Reality [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html> (дата обращения: 15.01.2020).
2. Браславский П.И. Технология виртуальной реальности как феномен культуры конца XX-начала XXI веков: диссерт. на соиск. уч.степени канд. культурологии Екатеринбург. 2011. 18 с.
3. Nguyen L.A., Bualat M., Edwards L.J. Virtual Reality Interfaces for Visualization and Control of Remote Vehicles // Autonomous Robots. 2001. V. 11. P. 59–68.
4. Lewis G.N., Woods C., Rosie J.A., McPherson K.M. Virtual reality games for rehabilitation of people with stroke: perspectives from the users // Disability and Rehabilitation: Assistive Technology. 2011. V. 6(5). P. 453–463.
5. Abulrub A.G., Attridge A.N., Williams M.A. Virtual reality in engineering education: The future of creative learning // IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). 2011. P. 751–757.

6. The ultimate guide to virtual reality headsets [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vrs.org.uk/the-ultimate-guide-to-virtual-reality-headsets/> (дата обращения: 15.01.2020).
7. Zhong Y., Ma W., Shirinzadeh B. A methodology for solid modelling in a virtual reality environment // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2005. V. 21. P. 528–549.
8. Keane P. VR in CAD: Where Are We Now? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tengineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/19116/VR-in-CAD-Where-Are-We-Now.aspx> (дата обращения: 15.01.2020).
9. T-FLEX VR - 3D проектирование в виртуальной реальности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tflex.ru/products/priklad/vr/> (дата обращения: 15.01.2020).
10. Havard V., Jeanne B., Lacomblez M., Baudry D. Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations // *Production & Manufacturing Research*. 2019. V. 7. P. 472–489.



**Чалков Виктор Викторович**  
Университет ИТМО,  
факультет СУиР,  
студент группы №R4230,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы  
управления движением и навигация,  
e-mail: rozertreit@gmail.com



**Шевченко Александр Николаевич**  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
e-mail: standw.shev@gmail.com



**Безмен Глеб Владимирович**  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
e-mail: gbezmen@elprib.ru

УДК 621.398.694.4

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ САМОГЕНЕРАЦИИ КВАНТОВОГО ДАТЧИКА ВРАЩЕНИЯ**

**В.В. Чалков, А.Н. Шевченко**

**Научный руководитель – к.т.н. Г.В. Безмен**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

В работе представлено описание разработанной модели и приводится описание результатов моделирования, подтверждающих адекватность разрабатываемой модели квантового датчика вращения.

### **Ключевые слова**

Квантовый датчик вращения, уравнения блоха, самогенерация, автоколебания.

В связи с растущим спросом на малогабаритные системы навигации для высокодинамичных объектов в настоящее время существует потребность в малогабаритных и виброустойчивых датчиках вращения.

Ещё в 60-е года прошлого века были начаты активные исследования новых физических принципов, на основе которых возможно построение датчиков навигационного класса точности альтернативных классическим — механическим. Были изготовлены лабораторные прототипы гироскопов на эффектах сверхпроводимости Джозефсона, ядерного магнитного резонанса. Однако, широкое распространение и впоследствии основой для современных инерциальных навигационных систем стали волоконно-оптические гироскопы на эффекте Саньяка, хоть они и не обладают достаточной виброустойчивостью.

В настоящее время в связи с развитием компонентной базы, значительный интерес для исследователей представляет изучение квантовых датчиков вращения на эффекте ядерного магнитного резонанса. Такое внимание обусловлено появлением возможности создания малогабаритного квантового датчика вращения и его уникальными свойствами [1]. Но существует необходимость решения ряда практических задач, например таких, как: снижение влияния внешних магнитных полей на значение индукции магнитного поля внутри его чувствительного элемента (ЧЭ) [2-3], регулировка коэффициентов фильтров системы самогенерации, разработка системы терморегулирования внутри ЧЭ и другие.

Известно, что для стабильной работы квантового датчика вращения (КДВ) [4] необходимо: наличие возбуждающего поля на Ларморовской частоте рабочего вещества для фиксации частоты автоколебаний, отсутствие зависимости значения индукции магнитного поля внутри его чувствительного элемента (ЧЭ) от внешнего магнитного поля.

Одной из важных проблем, возникающих при создании возбуждающего поля на Ларморовской частоте рабочего вещества – это создание эффективной системы обратной связи. Для её реализации необходимо произвести точный расчёт коэффициентов синхронных фильтров, полосовых фильтров и фазовращателей, а также учесть возможность влияния остаточного значения индукции внешнего магнитного поля.

Настоящая работа посвящена решению задачи разработки модели КДВ, в частности, системы самогенерации на частотах рабочего вещества в ЧЭ, а также проверке адекватности модели, путём сравнения результатов модели и экспериментальных данных.

Объектом исследования является модель КДВ, разрабатываемая для регулировки коэффициентов фильтров и других звеньев обратной связи для реального макета, который применяется для решения задач навигации и ориентации. Принцип действия такого датчика заключается в определении скорости вращения основания по данным о значениях гиромангнитного отношения, величина которого показывает отношение магнитного момента элементарной частицы к её моменту импульса, индукции магнитного поля и наблюдаемой Ларморовской частоты прецессии применяемого вещества [5-6]:

$$\Omega = B \cdot \gamma - \omega \quad (1),$$

где  $\Omega$  – скорость вращения основания;  $B$  – значение индукции магнитного поля;  $\gamma$  – гиромангнитное отношение;  $\omega$  – наблюдаемая Ларморовская частота прецессии.

Задача моделирования заключается в разработке адекватной модели ЧЭ КДВ, а именно его основных частей, таких как газонаполненная ячейка, магнитные катушки, схему обработки выходного сигнала из газонаполненной ячейки и систему самогенерации и её верификация для дальнейшего изучения и подбора параметров.

Основным элементом модели является газонаполненная ячейка, которую возможно описать уравнениями Блоха. Такие уравнения (2), (их система) способны



описывать поведение спиновой намагниченности с учётом воздействия на неё магнитных полей и релаксационных процессов. В основе системы которых положены следующие уравнения:

$$\frac{dM}{dt} = \gamma[M \times H], \quad \frac{dM_z}{dt} = -\frac{M_z - M_0}{T_1}, \quad \frac{dM_{\perp}}{dt} = -\frac{M_{\perp}}{T_2}. \quad (2)$$

Если расписать первое, из уравнений представленных выше, в систему уравнений для отдельных компонент вектора  $M$  и добавить соответствующие члены отвечающие за релаксацию, можно получить феноменологические уравнения Блоха [7]. Представляющие из себя систему дифференциальных уравнений, которую можно использовать для моделирования поведения жидкости или газа с относительно большим временем релаксации, резонансные эффекты у которых наблюдать в виде одиночных узких линий. Такие уравнения (3) позволяют произвести анализ поведения ядерной намагниченности и в ряде других случаях:

$$\begin{aligned} \frac{dM_x}{dt} &= \gamma[M_y H_z - M_z H_y] - \frac{M_x}{T_2} \\ \frac{dM_y}{dt} &= \gamma[M_z H_x - M_x H_z] - \frac{M_y}{T_2} \\ \frac{dM_z}{dt} &= \gamma[M_x H_y - M_y H_x] - \frac{M_z - M_0}{T_{21}} \end{aligned} \quad (3)$$

Разработанная модель состоит из нескольких элементов, имитирующих реальный макет квантового датчика вращения. При проведении моделирования были использованы алгоритмы функционирования представленные выше.

Изложенный алгоритм был реализован в качестве компьютерной программы в среде MATLAB Simulink. Программа предусматривает, возможность изменение параметров фильтров, уравнения Блоха и вывод графиков, структура модели представлена на рис. 1.

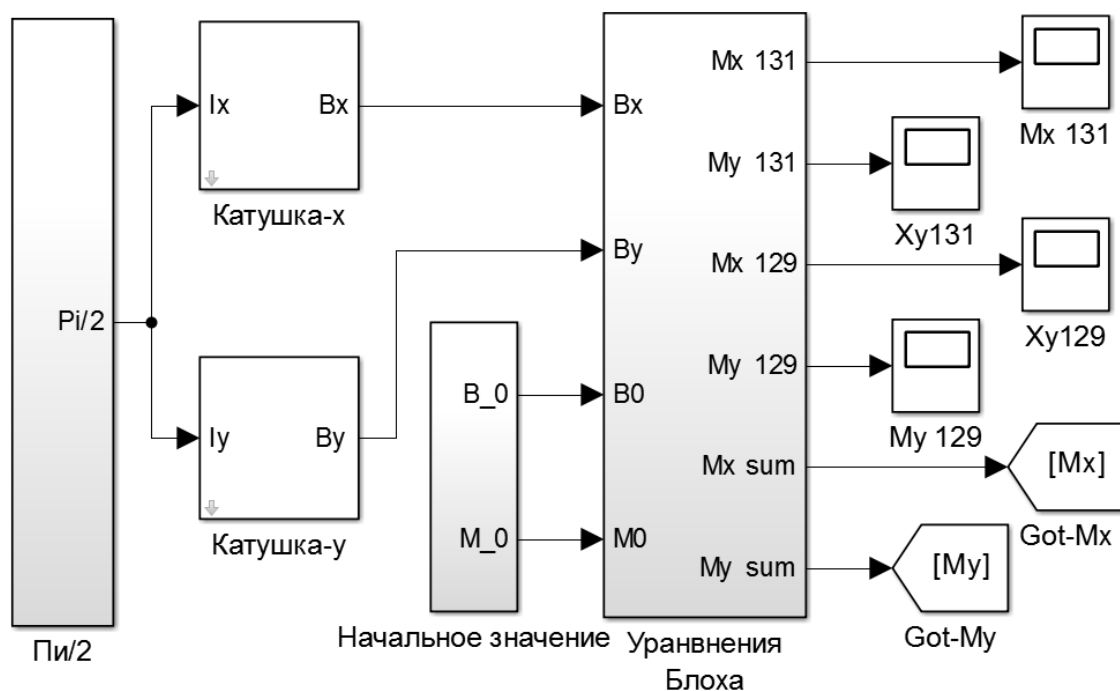


Рис. 1. Катушки X и Y и блок с уравнениями Блоха

Пи/2 импульс подаётся в блоки имитирующие катушки X и Y, после чего вместе с начальным значением магнитного момента и магнитного поля, выход блоков имитирующих катушек подаётся в блок уравнений Блоха.

На рис. 2 изображена часть модели, в которой реализованы синхронные детекторы и полосовые фильтры с полосой пропускания  $35 \pm 8$  Гц и  $118 \pm 8$  Гц, выделяющие полезные составляющие из суммарного сигнала.

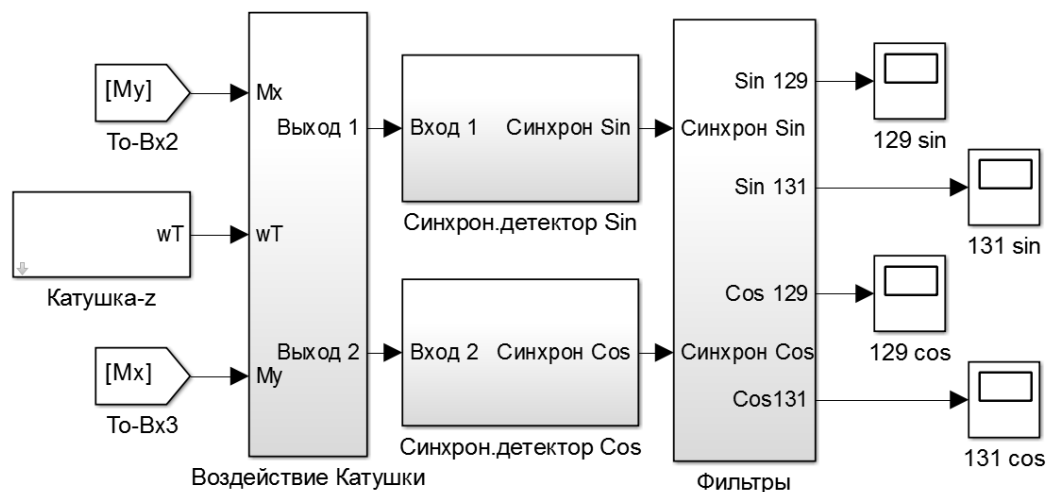


Рис. 2. Катушка Z и блоки выделяющие полезный сигнал

Сигнал величины изменения поляризации, вместе с опорным напряжением радиочастотной катушки, создающей магнитное поле Z, на частоте 35 кГц, попадет на синхронный детектор, где производится его детектирование. После чего, с помощью полосовых фильтров происходит детектирование сигнала на частоте прецессии изотопов рабочего вещества.

На рис. 3 представлен график воздействия на систему Пи/2 импульса, длительностью 0.152 секунды, как можно видеть модель верно отображает затухающий сигнал, он соответствует теоретическим расчётам а так же проведено сравнение формы сигнала с экспериментам представленным на рис. 4. Длительность этого затухания соответствует задаваемого в модель времени релаксации выбранного вещества.

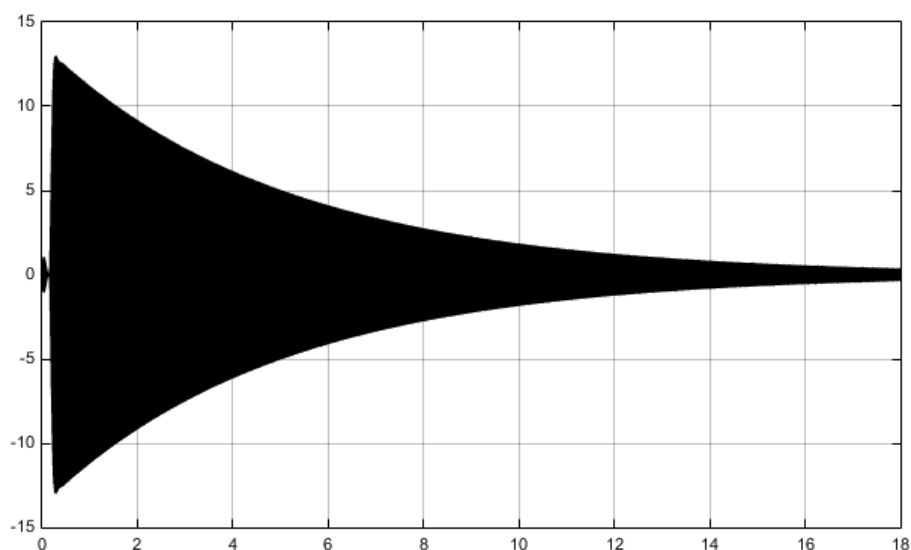


Рис. 3. Графики воздействия на систему Пи/2 импульса, результат моделирования

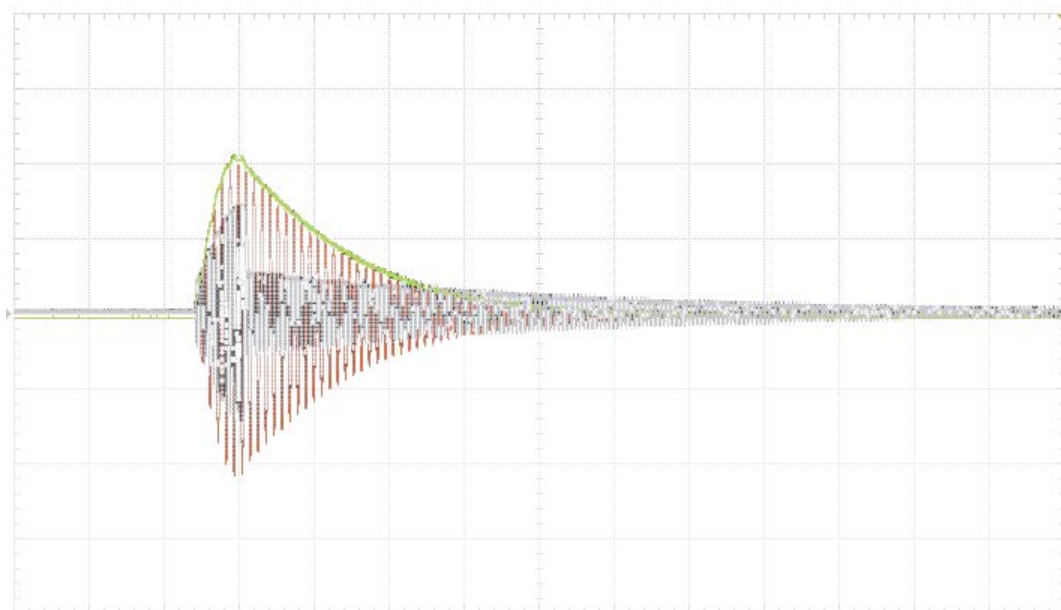


Рис. 4. Графики воздействия на систему  $\pi/2$  импульса, экспериментальные данные

### Вывод

В результате разработки модели самогенерации квантового датчика вращения было приложено описание разработанной модели и приведено описание результатов моделирования, подтверждающих адекватность разрабатываемой модели квантового датчика вращения.

### Литература

1. Вершовский А.К., Литманович Ю.А., Пазгалёв А.С., Пешехонов В.Г. Гирскоп на ядерно-магнитном резонансе: предельные характеристики. //Гирскопия и навигация. Том 26. №1 (100). 2018. С. 55-80.
2. Кислицина Е.А., Шевченко А.Н. Методика формирования требований к градиенту магнитного поля при определении метрологических характеристик ячеек ядерного магнитного гироскопа // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб. 2018.
3. Кулаченков Н.К., Шевченко А.Н., Безмен Г.В., Исследование магнитных экранов с использованием современных методов проектирования // Навигация и управление движением. 2018. С 678-682.
4. Ding M. Development and prospect of quantum sensing technology // Материалы XX конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» с международным участием / Науч. Редактор: д.т.н. проф. О.А. Степанов / Под общ. ред. академика РАН В.Г. Пешехонова. СПб. ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 2018. 443 с.
5. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения. Физматлит, 2009. 512 с.
6. Лёше А. Ядерная индукция. М.: Издательство иностранной литературы. 1963. 683 с.
7. Бородин П.М., Володичева М.И., Москалев В.В., Морозов А.А. и др.; по ред. Бородина П.М. Ядерный магнитный резонанс. Издательство Ленинградского университета. 1982. 344 с.



**Челокьян Лусинэ Арутюновна**

Год рождения: 1995  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
аспирант группы № 7762,  
направление подготовки: 05.13.10 – Управление  
в социальных и экономических системах,  
e-mail: lachelokian@itmo.ru



**Государев Илья Борисович**

Год рождения: 1979  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
к.пед.н., доцент,  
e-mail: goss@itmo.ru

УДК 004.91

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА ДЛЯ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Л.А. Челокьян**

**Научный руководитель – к.пед.н., доцент И.Б. Государев**

**Аннотация**

По мере внедрения информационных технологий, в том числе в сфере образования, приобретают актуальность вопросы управления различными данными. В области дополнительного профессионального образования (ДПО) фигурирует множество документов и связей между ними. Первым этапом в получении дополнительного профессионального образования слушателем является заключение договора с подразделением, оказывающим услуги по обучению. Именно этот этап рассмотрен в данной статье.

**Ключевые слова**

Документооборот, информационная система, дополнительное профессиональное образование, управление данными, обработка данных.

Согласно ФЗ "Об образовании в Российской Федерации" (статья 76. дополнительное профессиональное образование) к освоению дополнительных профессиональных программ допускаются следующие категории слушателей: лица, имеющие среднее профессиональное и (или) высшее образование; лица, получающие среднее профессиональное и (или) высшее образование. лицам, успешно освоившим соответствующую дополнительную профессиональную программу и прошедшим итоговую аттестацию, выдаются удостоверение о повышении квалификации и/или диплом о профессиональной переподготовке [1].

Формы обучения и сроки освоения программы определяются образовательной программой и договором. При их реализации организацией может применяться форма

организации образовательной деятельности, основанная на модульном принципе представления содержания образовательной программы и построения учебных планов, использовании различных образовательных технологий, в том числе дистанционных образовательных технологий и электронного обучения. при этом минимально допустимый срок освоения программ повышения квалификации (пк) не может быть менее 16 часов, а срок освоения программ профессиональной переподготовки (пп) - менее 250 часов [1-3].

Описанное выше выдвигает перечень документов, необходимых для обучения физического лица по программе ДПО:

- заявление на зачисление от слушателя по утвержденной форме;
- согласие на обработку персональных данных;
- договор со слушателем;
- квитанция на оплату программы;
- копия паспорта слушателя;
- копия предыдущего документа об образовании либо справка с места учёбы;
- документ, подтверждающий смену фамилии.

Информацию, которая содержится в этих документах можно разделить на три группы. первая группа – это данные, получаемые от слушателя, которая включает в себя следующую информацию:

1. Фамилия.
2. Имя.
3. Отчество.
4. Пол.
5. Дата рождения.
6. Гражданство.
7. Паспортные данные:
  - серия паспорта;
  - номер паспорта;
  - кем выдан;
  - когда выдан;
  - домашний адрес (улица, № дома, № кв., город, республика (область), индекс).
8. Сведения об образовании:
  - уровень образования;
  - серия, номер документа;
  - полное наименование учебного заведения;
  - направление, специальность, профессия по диплому;
  - год окончания учебного заведения;
9. Телефон (моб, раб., факс).
10. E-mail.
11. СНИЛС.

Вторая группа – это данные, предоставляемые подразделением, которое проводит обучение, которая включает в себя следующую информацию:

- наименование подразделения;
- представитель подразделения, должность, основание для ведения деятельности;
- вид обучения пк/пп;
- наименование курса;
- продолжительность курса в ак. часах;
- форма реализации;
- стоимость обучения;

- код подразделения.

Третью группу составляют динамические данные:

- № договора;
- шифр группы;
- дата заключения договора;
- дата начала занятий.

Все описанное выше выдвигает следующую модель документооборота. Заполняется договор, слушатель дает согласие на обработку персональных данных (ПД) и подает заявление на обучение. Как правило, заявление на обучение содержит следующие данные слушателя: паспортные данные, сведения об образовании, контактные данные, а также СНИЛС. Помимо данных слушателя в заявлении содержится информация о программе ДПО – наименование, продолжительность и сроки реализации, шифр группы, в которую ведется набор. Затем, после проверки правильности внесенных данных, заключается договор, в котором содержится информация о наименовании программы ДПО, ее продолжительности и сроках реализации, стоимости обучения по ней и шифр группы. Также в договоре дублируются паспортные и контактные данные слушателя и информация об исполнителе. Договору присваивается регистрационный номер. После составления договора формируется квитанция, включающая в себя реквизиты исполнителя, ФИО плательщика, шифр группы, сумму платежа, номер договора и ФИО слушателя. Данная схема имеет ряд недостатков, например, слушатель изначально может предоставить о себе неполную информацию, что вызывает необходимость уточнения. Также документовед может совершить ошибку при переносе данных из одного документа в другой. Данная схема требует больших временных и трудовых затрат.

Вышесказанное подтверждает потребность в разработке модели документооборота в области ДПО. Модель выглядит следующим образом. На сайте исполнителя слушателю предлагается создать личный кабинет, что избавит его от повторного ввода ПД при повторной записи программу ДПО, либо продолжить без регистрации. Слушатель заполняет форму, содержащую его фамилию, имя, отчество, выбирает пол, устанавливает дату рождения, гражданство, серию и номер паспорта, кем и когда выдан, домашний адрес (улица, № дома, № кв., город, республика (область), индекс), СНИЛС; загружает скан паспорта и документа об образовании. Если с момента получения документа об образовании фамилия слушателя изменилась, необходимо установить соответствующую галочку и загрузить сканы документов, подтверждающих смену фамилии. Также необходимо заполнить сведения об образовании: уровень образования, серия и номер документа об образовании, полное наименование учебного заведения, направление, специальность, профессия по диплому, год окончания учебного заведения, и указать контактные данные: e-mail и телефон (моб, раб., факс). Затем слушатель выбирает вид обучения (ПК/ПП), форму реализации и наименование курса, по которому планирует пройти обучение. Если на данный курс ведется набор в несколько групп, слушателю предлагается выбрать группу с подходящими сроками обучения. На основании введенных данных формируется заявление на обучение, в которое автоматически подгружается информация о подразделении (наименование, ФИО и должность представителя), наименование курса, продолжительность курса, сроки проведения обучения и шифр группы. Вместе с этим формируется договор на обучение и квитанция на его оплату. Помимо вышеупомянутой информации в договоре указывается стоимость обучения, код подразделения, а также системой ему присваивается номер. После этого все документы проверяются и заключается договор со слушателем.

Такая модель позволяет сократить время, необходимое на заключение договора за счет единоразового ввода дублирующихся данных и снижения количества ошибок,

как со стороны слушателя, так и со стороны документоведа, а также за счет более легкого их исправления.

### Литература

1. Федеральный закон "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ. Статья 76. Дополнительное профессиональное образование.
2. Методические рекомендации по документообороту в учебных центрах профессиональных квалификаций в профессиональных образовательных организациях. Вып. 1. М.: ГБОУ УМЦ ПО ДОГМ, 2014. 96 с.
3. ОБРАЗОВАНИЕ, ЭКОНОМИКА, ОБЩЕСТВО [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://noironline.ru/files/zurnal%20Ekonomika%20obrazovanie%20obshetvo/3-4%20\(49-50\)\\_2015.pdf](https://noironline.ru/files/zurnal%20Ekonomika%20obrazovanie%20obshetvo/3-4%20(49-50)_2015.pdf) (дата обращения: 13.01.2020).



**Шаповалова Дарья Викторовна**

Год рождения: 1995  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
студент группы №Р42601,  
направление подготовки: 09.04.02 – Информационные  
системы и технологии,  
e-mail: shapovalovadaria@yandex.ru



**Готская Ирина Борисовна**

Год рождения: 1957  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
д.пед.н., профессор,  
e-mail: ibgotskaya@ifmo.ru

УДК 004.4'275

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ 2D И 3D АНИМАЦИИ В МУЛЬТИПЛИКАЦИИ**

**Д.В. Шаповалова**

**Научный руководитель – д.пед.н., профессор И.Б. Готская**

**Аннотация**

В данной статье представлены результаты сравнительного анализа программных средств для создания 2d и 3d анимации в мультипликации. Выделены достоинства и недостатки программных средств создания анимации; разработаны краткие рекомендации для специалистов по выбору наиболее оптимальных программных средств; описаны навыки, необходимые специалистам для использования конкретной программы.

**Ключевые слова**

2d и 3d, анимация, программы для создания анимации, мультипликация, сравнительный анализ.

Широкое использование информационно-коммуникационных технологий и мультимедиа способствовало развитию в том числе и мультипликации. Одновременно развиваются различные программные средства по созданию 2d и 3d компьютерной мультипликации. Примеров данных программ можно привести множество, каждая из которых имеет определенные особенности и преимущества. Анализ научных исследований [1, 2] показал, что большинство представленных обзоров программ и их классификации недостаточно полные, не содержат рекомендаций по выбору программных средств для создания 2d и 3d компьютерной мультипликации.

В результате исследования (часть которого отражается в том числе и статье [3]) было отобрано несколько программ, подходящих для анимации в мультипликации. Это шесть программ для 2d-анимации и две программы для мультипликации. Следует



уточнить, что для создания анимации есть и другие программы, но они не были включены в данное исследование по разным причинам: либо программы не используются в мультипликации, либо программы требуют дополнительного использования других программ, для того чтобы сделать полноценную анимацию, либо программы были включены на начальных этапах исследования, но в дальнейшем была выявлена невозможность провести полноценное исследование этих программ по различным причинам: не установить программы на компьютер, установленная демоверсия не предоставляла достаточного функционала для создания анимации.

Сравнительный анализ программ проводился по *следующим критериям*: качество получаемой анимации, доступность и платность программных средств, цена (для платного программного обеспечения), поддержка и новые версии, совместимость программ с конкретной ОС, объём потребляемых ресурсов (и другие системные требования), вид анимации, функционал, понятность интерфейса, создаваемые форматы.

Следует отметить общую особенность: большинство исследуемых программных средств — англоязычные, найти и скачать их можно (платно или бесплатно) на официальных сайтах компании-разработчиков. Не все программы просты для освоения и использования, для работы с некоторыми из них требуется определенный опыт работы с анимационными программными средствами.

#### *Программы для 2d-анимации*

**1. Moho Pro 12** (Moho Pro 13, Moho 13) — программное обеспечение компании Smith Micro Software, используется для векторной 2d анимации и графики.

*Достоинства*: доступна пробная версия сроком на 30 дней; есть поддержка и новые версии; не очень высокие требования к компьютеру; есть векторное изображение с 3d-элементами; обширный функционал; доступны многие форматы видео; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для создания анимации.

*Недостатки*: дорогая платная версия; доступна только для 2 ОС, Windows и Macintosh; в пробной версии отключён экспорт и импорт; английский язык интерфейса; не самый высокий критерий в удобстве интерфейса.

**2. Adobe Animate** — программное обеспечение, разработанное компанией Adobe Systems. Применяется для создания интерактивной векторной и растровой анимации.

*Достоинства*: относительно недорогое программное обеспечение; поддержка и новые версии; доступна для многих ОС (Windows, macOS Linux, Solaris, BlackBerry Tablet OS); невысокие требования к компьютеру; векторная, поддерживает растровую графику; разнообразный функционал; простой и понятный интерфейс; доступные многие форматы видео; наличие русского языка; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для создания анимации; удобный интерфейс.

**3. Easy GIF Animator** — это анимированный GIF редактор для создания анимированных изображений, баннеров, кнопки и GIF видео. Больше предназначен для коротких роликов, но также можно использовать в мультипликации.

*Достоинства*: относительно недорогая любительская версия; есть поддержка и часто выходят новые версии; нет системных требований; векторная, поддерживает растровую графику; разнообразный функционал; анимации могут быть экспортированы в GIF, SWF, Flash; наличие русского языка; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для создания анимации; удобный интерфейс.

*Недостатки*: есть пробная версия, которую можно запустить 20 раз для оценки (но без регистрации), дорогая профессиональная версия; совместимость только с Windows.

**4. TVPaint Animation** — это программа для 2d-анимации, разработанное компанией TVPaint Developpement SARL, основанной в Лотарингии (Франция).

*Достоинства*: есть поддержка и часто выходящие новые версии; небольшие системные требования; обширный функционал; совместимость со многими

устройствами; несколько создаваемых форматов; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для создания анимации; удобный интерфейс.

*Недостатки:* достаточно дорогая; совместимость только с Windows; только растровая графика; английский язык интерфейса; в пробной версии отключён экспорт и импорт.

**5. Animation Paper** – программа для 2d-анимации, создание анимации схоже со созданием рисованной мультипликации.

*Достоинства:* бесплатное; есть совместимость программ с – Windows, Mac OS X и Linux (Android и iPad Pro с карандашом); невысокие системные требования; создаваемые форматы – mp4, mov или frame-стеки как png, svg, и т.д., включая альфа и X-канал синхронизации данных; разнообразный функционал; мало совершаемых действий для создания анимации.

*Недостатки:* новые версии выходят редко; только растровая анимация; английский язык интерфейса; не самый высокий критерий в удобстве интерфейса; не достаточно высокое качество самой анимации.

**6. Pencil2D Animation** – программное обеспечение, специализирующееся на 2d анимации и поддерживающее работу с растровой и векторной графикой.

*Достоинства:* бесплатное; совместимость программ с Windows XP, Vista, 7, 8, Mac OS X, Linux; вид анимации – растровая и векторная; функционал – среди других функций есть поддержка звука; создаваемые форматы – PNG-изображения, а также GIF, Flash или формат QuickTime; наличие русского языка; мало совершаемых действий для создания анимации.

*Недостатки:* поддержка слабая; новые версии выходят не очень часто; не самый высокий критерий в удобстве интерфейса; не достаточно высокое качество самой анимации.

#### *Программы для 3d-анимации*

**1. Autodesk Maya** – программное средство для 3d-анимации, моделирования и визуализации.

*Достоинства:* для бизнес-пользователя доступна бесплатная 30-дневная версия, для преподавателей и студентов доступна бесплатная версия на 3 года (на английском) при регистрации на сайте; относительно недорогая; наличие поддержки и новых версий; совместимость программы с Windows 64-bit, Linux, Mac OS X; не очень высокие системные требования; разнообразный функционал; создаваемые форматы – avi и др.; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для создания анимации.

*Недостатки:* есть некие сложности в освоении программы; часть функций и их использование неочевидно; не самый высокий критерий в удобстве интерфейса; английский язык интерфейса.

**2. iClone** – программное обеспечение для 3d-анимации во многих сферах.

*Достоинства:* относительно недорогая; есть поддержка, новые версии выходят нередко; умеренные системные требования; разнообразный функционал; создаваемые форматы – MOV, AVI, WMV и др.; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для создания анимации; удобный интерфейс.

*Недостатки:* совместимость программ с Windows 10, 8 и 7 (SP1); английский язык интерфейса.

Стоит отметить, что к недостаткам по критерию «совместимость с операционной системой», относились те программы, которые имели совместимость только с двумя и менее ОС. Английский язык интерфейса также относился к недостаткам.

**Выводы:** все программы создания анимации в мультипликации, выбранные для сравнительного анализа, имеют обязательный набор функций, необходимых для создания анимации (это операции с кадрами и функции графического редактора), более

того, все исследуемые программы имеют несколько дополнительных функций сверх необходимого минимума.

Рассмотрим, насколько доступны для освоения и использования рассматриваемые программные средства.

**1. Moho Pro 12** — программа имеет некие трудности для освоения тем, кто только начал заниматься анимацией, и легка для тех, кто уже имеет какой-либо опыт работы создания анимации. К тому же программа имеет коллекцию различных анимированных персонажей, что значительно упростит создание мультфильмов, а также набор различных эффектов (как используемый в анимации дождь). Рекомендуется для использования любителям и профессионалам.

**2. Adobe Animate** — программа нелегка для освоения тем, кто только начал заниматься анимацией, но к программе прилагается баннер, с помощью которого легко понять основные средства программы, русский язык сильно упрощает понимание интерфейса. Очень легка для освоения тем, кто уже имеет какой-либо опыт работы создания анимации. Рекомендуется для использования любителям и профессионалам.

**3. Easy GIF Animator** — программа легка для новичков, на ней можно тренировать навыки создания анимации, русский язык сильно упрощает понимание интерфейса. Рекомендуется для использования новичкам и любителям, профессионалам лучше использовать профессиональную версию.

**4. TVPaint Animation** — программа легка для освоения, у неё интуитивно понятный интерфейс, даже с учётом того, что программа на английском языке. Рекомендуется для использования.

**5. Animation Paper** — программа легка для освоения, у неё достаточно понятный интерфейс, но из минусов: 1) программа может рисовать только чёрно-белое изображение, раскрашивать которое придётся в другой программе, 2) нужно обладать способностями к рисованию, чтобы получилась хорошая графика. Среди плюсов также можно отметить возможность рисовать в несколько слоёв, правда второй слой анимации надо сохранять отдельно. Рекомендуется для использования тем, кто увлекается рисованной анимацией и умеет рисовать.

**6. Pencil2D Animation** — несмотря на заявление об интуитивно понятном интерфейсе, программа оказалась нелегка для освоения, даже с учётом наличия русского языка. Не рекомендуется для использования.

**7. Autodesk Maya** — программа трудна для освоения из-за непростого и многочисленного функционала, английский язык усложняет задачу. Но при этом данная программа считается одной из самых лёгких из программ 3d-моделирования и 3d-анимации. Рекомендуется для использования только после ознакомления с программами 2d-анимации, чтобы лучше понимать основные свойства анимации (создание ключевого кадра и пр.).

**8. iClone** — программное обеспечение для 3D в индустрии, помогающее произвести профессиональные анимации за очень короткое время для фильмов, превизов, анимации, видеоигр, образования и искусства. Рекомендуется для использования любителям и профессионалам.

Выводы:

- программы для 2d-анимации легче для освоения, чем программы для 3d-анимации;
- в целом, несмотря на различие функционала и интерфейса, программы имеют достаточно много общего, поэтому человек освоивший одну-две программы, может освоить и другие аналогичные программы;
- из восьми рецензированных программ лишь одна из них не рекомендуется для использования.

Таким образом, для создания 2d и 3d-анимации в мультипликации есть множество программных средств, отличающих друг от друга различными свойствами и функционалом, но при этом у них достаточно общих черт.

### Литература

1. Толстых А.В., Демин А.Ю. «Обзор программных средств для создания 3D анимационных моделей»/ Национальный Исследовательский Томский политехнический университет / XIII Всероссийская научно-практическая конференция «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» [Электронный ресурс] [http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/33276/1/conference\\_tpu-2016-C28\\_p195-196.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/33276/1/conference_tpu-2016-C28_p195-196.pdf) (дата обращения 17.02.2020).
2. Зенг В.А., Батенькина О.В. «Обзор и сравнение программ трёхмерного моделирования» / «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»: Электронный сборник статей по материалам XX студенческой международной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «СибАК». 2014. № 5 (20)/ [Электронный ресурс]. Режим доступа. URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/5\(20\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/5(20).pdf). (дата обращения 17.02.2020).
3. «Шаповалова Д.В. Анализ научных исследований по проблеме создания 2D- и 3D-анимации в мультипликации» [статья] / «Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 1» Университет ИТМО. 2019. 324 с.



**Ширшин Александр Вадимович**

Год рождения: 1988

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R41771,

направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение,

e-mail: asmdot@gmail.com

УДК 681.525

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА  
СКАНИРОВАНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫМ СВЕТОМ  
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ FDM(FFF)-ПЕЧАТИ**

**А.В. Ширшин**

**Научный руководитель - к.т.н., доцент С.В. Шаветов<sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

**Аннотация**

В работе проведён сравнительный анализ существующих дефектов, возникающих в процессе 3D-печати методом послойного наплавления, а также разрешающей способности современных 3D-сканеров, использующих структурированную подсветку, с целью оценки возможности применения технологии сканирования структурированным светом для обнаружения дефектов FDM(FFF)-печати.

**Ключевые слова**

3D-печать, метод послойного наплавления, экструзия, дефекты, 3D-сканирование, структурированный свет, автоматический контроль.

Аддитивные технологии (аддитивное производство, 3D-печать), появившись в 1986 году с изобретением Чарльзом Холлом (Charles Hull) метода стереолитографии, к настоящему времени развились в отдельную отрасль производства, открывающую новые возможности в машиностроении, медицине, дизайне и многих других сферах человеческой деятельности. Среди более десятка существующих на данный момент способов аддитивного производства особую популярность получил метод послойного наплавления (Fused Deposition Modeling - FDM, Fused Filament Fabrication - FFF), благодаря относительной доступности соответствующих принтеров и расходных материалов (термопластиков), ассортимент которых постоянно расширяется.

Как следует из названия, суть метода послойного наплавления сводится к послойному нанесению (экструзии) нагретой до вязкотекучего состояния нити (филамента) термопластичного полимера, согласно геометрии создаваемого изделия. Одной из важных проблем данного метода производства является возникновение в процессе печати различных дефектов, которые способны повлиять как на внешний вид, так и на функциональность создаваемого изделия. Они могут быть вызваны низким качеством используемого филамента, ошибками в программном обеспечении устройства или управляющих инструкциях G-code, а также внешними факторами (температура, влажность и др.) Особенностью большинства возникающих при этом

отклонений является необходимость постоянного контроля процесса оператором для их выявления и коррекции.

За последние годы исследователями предпринимаются попытки к разработке средств автоматизированного контроля процесса 3D-печати. В частности, J. Straub [1]. использует обработку изображений, полученных с нескольких фотокамер, расположенных по периметру печатаемого объекта, а U. Delli et al. [2] для фиксации возникающих в процессе печати дефектов (остановка печати, искажение геометрии) применяют фотофиксацию создаваемого изделия сверху, с последующим анализом изображения средствами машинного обучения. Данные подходы, несомненно, снижают степень операторозависимости процесса печати, но не лишены недостатков, в числе которых ограниченный набор выявляемых дефектов и сложность нахождения достоверных выборок для машинного обучения.

Для того, чтобы иметь возможность обнаруживать более широкий спектр дефектов (включая субмиллиметровые), в настоящей работе предлагается использование вместо обычной камеры устройства для сканирования структурированным светом (ССС). Это позволит получать данные о трёхмерном строении изделия вместо плоских проекций. Построенные в результате сканирования объёмные карты можно будет сравнивать с эталонными значениями (в качестве которых будут использованы преобразованные данные о геометрии из управляющих инструкций G-code) методами машинного обучения на предмет выявления и классификации геометрических отклонений.

С целью оценки возможности применения технологии СССР для обнаружения дефектов FDM(FFF)-печати необходимо провести анализ особенностей возникающих геометрических отклонений а также охарактеризовать возможности современных сканеров структурированным светом.

Существует множество паттернов на изделии, отвечающих тем или иным нарушениям процесса печати, но, тем не менее, нет универсальной их классификации. Для удобства обнаружения и дифференцировки дефектов целесообразно классифицировать их, в первую очередь, по характерном внешним особенностям (рисунок):

1. Избыточное нанесение филамента (гиперэкструзия):
  - диффузное – ширина укладываемой на изделие нити превышает диаметр сопла (0,4 мм) принтера более чем на 20% (проявляется расширением структур изделия по всему периметру);
  - локальное – появление наростов в отдельных участках (ширина данного дефекта примерно равна диаметру сопла, длина варьирует от 0,1 до нескольких мм);
2. Недостаточное нанесение филамента (гипоэкструзия):
  - диффузное – ширина укладываемой на изделие нити меньше диаметра сопла вплоть до полного прекращения экструзии (толщина всех структур диффузно снижена, диаметр укладываемой нити менее 0,4 мм);
  - по периферии – наличие пустот в местах стыковки периметра и заполнения (чаще всего варьирует от 0,2 до 1 мм);
  - в зоне заполнения – тонкие нити зоны заполнения при нормальных периметрах (ширина укладываемой нити менее 0,4 мм только в зоне заполнения);
  - пограничных слоёв – наличие промежутков в структуре нижнего или верхнего (относительно стола) слоёв модели (ширина укладываемой нити менее 0,4 мм только в зонах, соответствующих опорной поверхности или нависающим слоям, как правило сочетается со смещением по вертикальной оси до 1 мм);
3. Смещение:

– с сохранением геометрии – перенос печати следующего слоя без искажений на некоторое расстояние (от нескольких мм до нескольких см) в произвольном направлении относительно предыдущего;

– с искажением геометрии – геометрия нового слоя значительно изменена за счёт прекращения перемещения по одной из координатных осей;

4. Деформация:

– в горизонтальной плоскости – наличие волнистости по периметру модели с сохранением нормальной высоты последней (колеблется в пределах 0,1-0,4 мм);

– в вертикальной плоскости – сгибание отдельных частей модели с искажением её высоты (смещение на величину от 0,2 мм до нескольких мм).

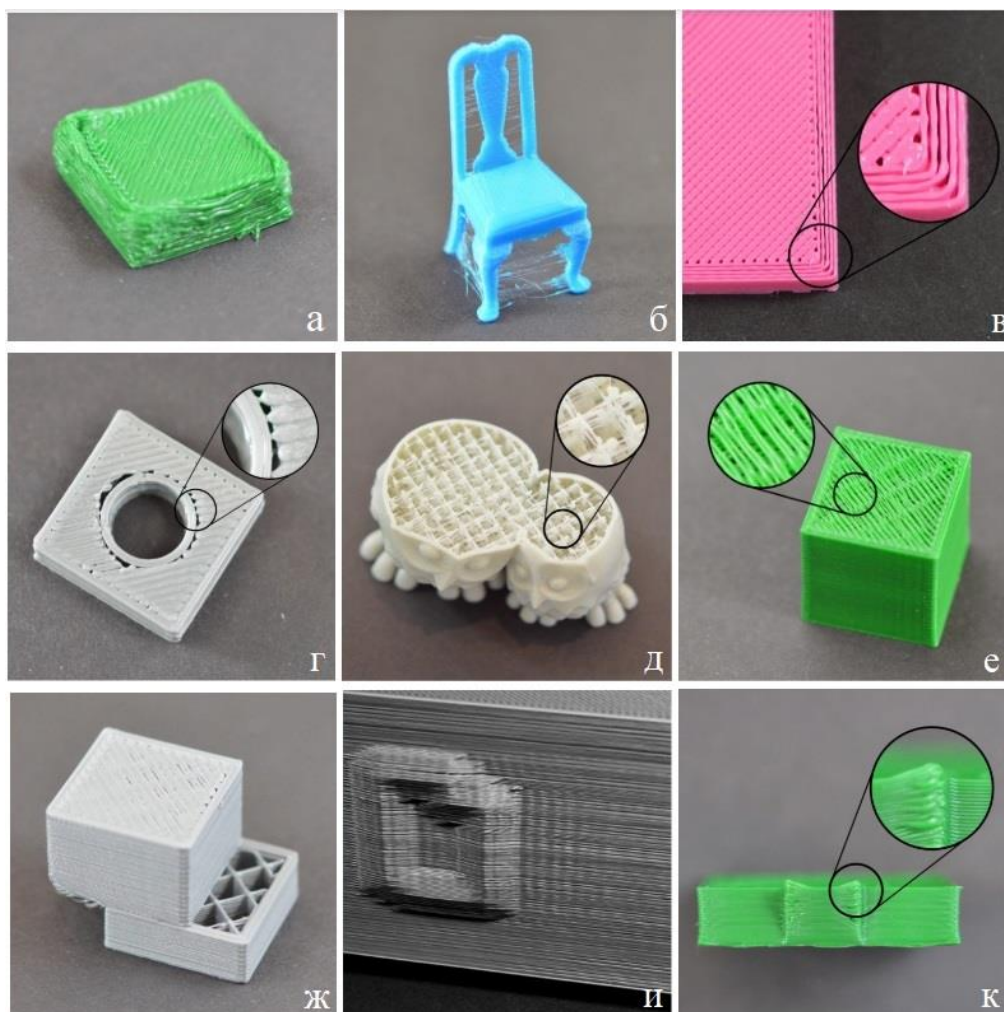


Рисунок. Примеры дефектов, возникающих при FFF-печати (гиперэкструзия: а – локальная, б – диффузная; гипоекструзия: в – диффузная, г – по периферии, д – в зоне заполнения, е – пограничных слоёв; ж – смещение с сохранением геометрии; деформация: и – в горизонтальной плоскости, к – в вертикальной плоскости)

5. Масштабирование – пропорциональное изменение размеров модели по одной или нескольким осям (варьирует от нескольких мм до нескольких см).

Стоит отметить, что большинство перечисленных дефектов FFF-печати могут быть обнаружены в зоне сканирования, ограниченной площадью печатной платформы принтера (200x200 мм), при этом разрешающая способность сканера должна составлять 0,1-0,2 мм.

Технология сканирования структурированным светом состоит в проецировании на исследуемый объект определённым образом кодированного изображения (паттерна), чаще всего состоящего из тёмных и светлых полос. Данный паттерн при попадании на поверхность сканируемого объекта соответствующим образом искажается и отражённый свет фиксируется на матрице одной или нескольких камер. По заранее известным параметрам структурированной подсветки, а также геометрическим соотношениям между проектором и камерой (камерами) методом триангуляции вычисляются координаты точек поверхности исследуемого объекта.

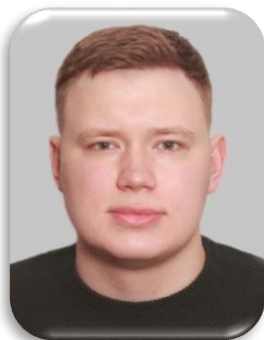
Согласно S. Jesic et al [3], разрешающая способность современных сканеров структурированным светом достигает 0,02 мм, что значительно превышает требуемые характеристики, но стоимость подобных установок остаётся высокой. С. Rocchini et al. [4] смогли создать самодельный сканер с разрешающей способностью порядка 0,3 мм используя видеопроектор и цифровую камеру. При этом матрица камеры содержала 1440\*960 светочувствительных элементов (пикселей). Используя описанную в данной публикации методику с матрицей 2592\*1944 пикселей, можно добиться максимальной разрешающей способности сканера порядка 0,1 мм без существенного удорожания сканирующей установки.

Таким образом, разрешающая способность современных сканеров структурированным светом (в том числе малобюджетных лабораторных установок) позволяет определять наиболее распространённые дефекты 3D-печати методом послойного наплавления, что делает данную методику сканирования применимой для автоматического контроля качества процесса FDM(FFF)-печати. Подбор подходящего для этих целей паттерна структурированного освещения и разработка алгоритма обработки получаемых данных требуют дальнейших исследований.

### Литература

1. Straub J. Initial Work on the Characterization of Additive Manufacturing (3D Printing) Using Software Image Analysis // *Machines*. 2015. V. 3. № 2. P. 55-71.
2. Delli U., Chang S. Automated Process Monitoring in 3D Printing Using Supervised Machine Learning // *Procedia Manufacturing*. 2018. V. 26. P. 865–870.
3. Jecic S. and Drvar N. The assessment of structured light and laser scanning methods in 3D shape measurements // *4th International Congress of Croatian Society of Mechanics, Bizovac, Croatia*. 2003. P. 237-244.
4. Rocchini C., Cignoni P., Montani C., Pingi P., Scopigno R. A low cost 3D scanner based on structured light // *Chalmers A., Rhyne T.-M. (Eds.), EG 2001 Proceedings, Blackwell Publishing, Oxford*. 2001. V. 20. № 3. P. 299–308.





**Шувалов Дмитрий Михайлович**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии  
и компьютерной техники,  
студент группы №Р42621,  
направление подготовки: 09.04.02 – «Информационные  
системы и технологии»,  
e-mail: iamshuvalov@yandex.ru



**Государев Илья Борисович**

Год рождения: 1979  
Университет ИТМО,  
факультет программной  
инженерии и компьютерной техники,  
к.пед.н., доцент,  
e-mail: goss@itmo.ru

УДК 004.052.3

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕБ-БРАУЗЕРОВ ПО ПОВЫШЕНИЮ  
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ  
НЕНАДЁЖНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ**

**Д.М. Шувалов**

**Научный руководитель – к.пед.н. И.Б. Государев**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование методов повышения отказоустойчивости клиентской части веб-приложений в условиях ненадёжных каналов связи».

**Аннотация**

В работе рассмотрена проблема автономности веб-приложений, а также технологии и способы обеспечения отказоустойчивости веб-приложений в условиях ненадёжных каналов связи. Дана оценка существующей проблеме клиент-серверной архитектуры. Результатом работы стало выявление комплексных возможностей по повышению автономности и отказоустойчивости клиентской части веб-приложений.

**Ключевые слова**

Клиент-серверная архитектура, клиент-серверные веб-приложения, Single Page Application, уведомления, нотификация, Service Worker, WebSocket, Local Storage, Indexed DB.

Последние несколько лет характеризуются бурным ростом веб-индустрии, производительности веб-браузеров, а также веб-технологий в целом. Сегодня технологии позволяют реализовать клиент-серверные веб-приложения, решающие сложные задачи высоконагруженных систем, связанных с банковскими, образовательными, проектными, финансовыми и другими сферами мирового бизнеса.

Современные веб-приложения проектируются по принципу клиент-серверной

архитектуры, где с одной стороны функционирует клиент – приложение в веб-браузере пользователя, обрабатывающее операции ввода и вывода, а с другой стороны сервер – приложение, обрабатывающее операции сохранения, модификации, обработки данных пользователей. Современная клиент-серверная архитектура не решает одну очень важную проблему – отсутствие Интернета. Ведь для работы любого веб-приложения необходимо интернет-соединение. Однако, как известно, Интернет доступен не везде и не всегда, даже в крупных мегаполисах существуют зоны, где Интернет не работает, например, в метро. Так как веб-приложение работает через подключение к Интернету, то отсутствие соединения или его внезапное отключение может привести к потере данных из-за невозможности отправить результаты деятельности пользователя на сервер и сохранить их в базу данных.

Современные веб-приложения невозможно представить без систем нотификации/уведомлений пользователя. Обычно система нотификации в веб-приложении представляет всплывающие бэйджи-подсказки с текстовой информацией об ошибках или проблемах при работе с веб-приложением. На рисунке представлен пример такой системы.

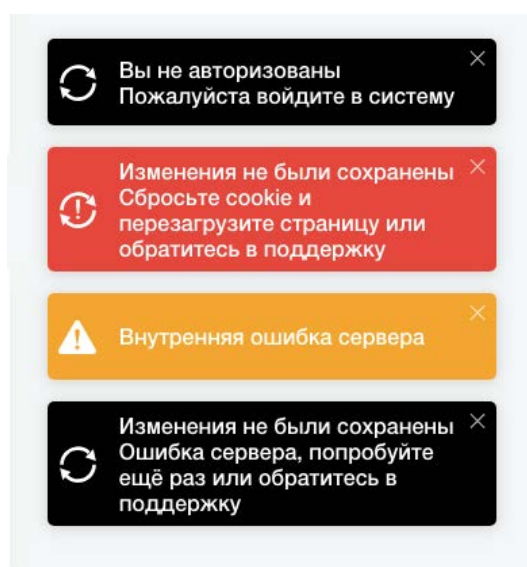


Рисунок. Пример системы нотификации

Систему нотификации можно встроить в клиентскую (frontend) логику работы с API веб-приложения, например в JavaScript класс или библиотеку, которая отвечает за взаимодействие с серверной (backend) логикой веб-приложения. Система нотификации должна реагировать на ошибочные коды состояния HTTP ответов: 40х и 50х. Данный подход является оптимальным в качестве начального шага по повышению отказоустойчивости веб-приложения, так как сообщает пользователю о проблемах с работой веб-приложения и, тем самым, позволяет защитить сохранность внесенных или измененных данных.

Для поддержания соединения между клиентом и сервером можно использовать Service Worker (далее SW). SW – это скрипт, запускаемый браузером отдельно от веб-страницы, позволяющий создать прокси-сервер между клиентом и сервером. Он позволяет описывать корректное поведение веб-приложения в режиме оффлайн, перехватывать запросы сети и принимать соответствующие меры, основываясь на доступности сети, и обновлять данные, находящиеся на сервере [1]. Так, например, с помощью Service Worker можно предварительно сохранить статичные файлы в кэш, который предоставляет SW API, для веб-приложения, чтобы в дальнейшем отобразить

контент даже при отсутствии интернет-соединения. Также SW способен сделать фоновую синхронизацию данных, то есть будучи в режиме offline SW сам отправит данные на сервер, когда интернет станет доступен снова [2].

Современные веб-браузеры поддерживают технологии локальных/браузерных хранилищ и баз данных. Данные инструменты позволяют кэшировать статические данные: фото, шрифты, скрипты и т.д.; а также пользовательских данных, которые не были отправлены на сервер из-за проблем с интернетом.

Локальные хранилища, встроенные в веб-браузеры, такие как Local Storage, Session Storage и Cookies имеют узконаправленную сферу применения. Session Storage хранит данные ограниченное время, они удаляются сразу после того, как пользователь завершает сеанс работы с веб-приложением или закроет браузер. Local Storage хранит данные, которые не имеют ограничений по времени и сеанса. Данные, хранящиеся в Local Storage, доступны при каждом посещении сайта и хранятся на компьютере, ноутбуке и других устройствах с которого осуществляется вход. Session и Local Storage имеют удобное JavaScript API для чтения и записи данных, но имеют ограничение в объеме хранилища 5-10 Мб в зависимости от браузера [4].

Cookies в свою очередь являются инструментом для хранения различных конфиденциальных данных для веб-приложения: csrf токенов, JWT, идентификаторов пользователей и т.д. [4]. Cookies являются безопасным хранилищем для персональных данных, cookie данные хранятся ограниченное время (в конце сеанса или по истечении указанной даты) [3]. В числе недостатков cookies следует отметить отсутствие нативного API для работы с данными, также небольшой размер хранилища – 4 Кб.

Сравнение возможностей Cookie и Local Storage/Session Storage представлено в таблице.

Таблица

**Сравнение Cookie и Local Storage/Session Storage**

Характеристики/Технологии	Cookie	Local Storage/Session Storage
Место хранения	На компьютере пользователя	На компьютере пользователя
Максимальный размер данных	4 Кбайт	5 или 10 Мбайт в зависимости от браузера
Удобство методов для работы с данными	Отсутствие нативного API	JavaScript API
Время хранения данных	Ограниченное время (в конце сеанса или по истечении указанной даты)	Неограниченное время (Local Storage) или после завершения сеанса (Session Storage)
Кроссбраузерность	Все браузеры кроме OperaMini	

Современные веб-браузеры имеют встроенные Web базы данных: IndexedDB и Web SQL. Далее будут рассматриваться особенности только IndexedDB, так как спецификация Web SQL больше не поддерживается. IndexedDB представляет собой NoSQL веб-базу данных формата ключ-значение. Среди основных преимуществ данного стандарта были отмечены следующие качества:

– имеет полную функциональность, даже если подключение к сети недоступно;

- может кэшировать данные и восстанавливать состояние;
- не будет терять данные при разрывах сетевого соединения;
- выполняется быстрее, потому что манипуляции с данными проходят на компьютере, а не в интернете;
- позволяет хранить объекты в отличие от строкового формата для Web Storage [4, 5].

Рассмотренные выше способы повышения отказоустойчивости веб-приложений применимы к клиентской части веб-приложения. Между клиентом и сервером существует важный элемент взаимодействия этих составляющих – вычислительная сеть. Вычислительная сеть представляет собой реализацию различных протоколов связи, например, HTTP, HTTPS, FTP и др. Когда речь заходит о повышении отказоустойчивости в каналах связи, то выбор опытных разработчиков обычно осуществляется в пользу протокола WebSocket.

Протокол WebSocket позволяет решать широкий круг задач, снимая ряд ограничений на обмен данными между браузером и сервером, обеспечивая достаточную безопасность и существенное сокращение сетевого трафика, в отличие от HTTP протокола, где схему взаимодействия клиента и сервера можно представить в виде вопрос-ответ [6]. WebSocket же наоборот устанавливает единственное соединение между клиентом и сервером, создавая двунаправленный канал связи [7].

Для двусторонней коммуникации он требует, чтобы и клиентское, и серверное приложения поддерживали все детали этого протокола. То есть нужна, например, WebSocket-совместимая HTML страница, которая вызывает WebSocket-совместимую конечную точку.

Среди очевидных преимуществ можно отметить следующее:

- обеспечение интенсивного обмена данными (режим реального времени);
- достаточно простой в использовании API;
- возможность разрабатывать сложные одностраничные веб-приложения со множеством различных асинхронных элементов на странице;
- кроссплатформенность и кроссбраузерность [6].

За последние несколько лет идея автономности веб-приложений стала популярной и востребованной, обеспечение работы веб-приложения в режиме оффлайн стало стандартом де-факто при их проектировании. Также популярность набирают PWA (progressive web apps) приложения, которые комбинируют стек веб-технологий (HTML, CSS, JS и др.) и возможности нативных приложений (работа в оффлайне, push-уведомления и т.д.).

Уже сейчас с помощью встроенных Web API можно реализовать offline-first веб-приложение, которое будет покрывать различные ситуации, при которых веб-приложение будет в оффлайне. Данные технологии каждый год развиваются, расширяется возможности API, растет производительность.

## Литература

1. Service Worker API - Интерфейсы веб API // MDN [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/Service\\_Worker\\_API](https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/Service_Worker_API) (дата обращения: 10.03.2019).
2. Кто ты такой, Service Worker? – High Technologies Center // Medium [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medium.com/high-technologies-center/кто-ты-такой-service-worker-9bce3b1201b6> (дата обращения: 10.03.2019).
3. JavaScript - sessionStorage и localStorage // ИТ Шеф [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://itchief.ru/lessons/javascript/javascript-sessionstorage-and-localstorage> (дата обращения: 10.03.2019).

4. Почему не стоит использовать LocalStorage // Хабр [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/349164/> (дата обращения: 10.03.2019).
5. Использование IndexedDB [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cultofdigits.com/dart-language/ispolzovanie-indexeddb/> (дата обращения: 10.03.2019).
6. Асинхронный веб, или что такое веб-сокеты // Tproger [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tproger.ru/translations/what-are-web-sockets/> (дата обращения: 10.03.2019).
7. Шестаков В.С., Сагидуллин А.С. Применение технологии websocket в web-приложениях технологического назначения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2015. Т. 58 №. 4. С. 328 – 330.



**Югай Кирилл Михайлович**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы №R41471,  
направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика  
и электротехника,  
e-mail: origamimania1@gmail.com



**Усольцев Александр Анатольевич**

Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: uaa@ets.ifmo.ru

УДК 621.313.333.2

**МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ  
ПЯТИФАЗНОГО АНАЛОГА ТРЕХФАЗНОГО  
АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ  
К.М. Югай**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Усольцев**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

Многофазные асинхронные двигатели в последние десятилетия привлекают внимание разработчиков приводов. Они позволяют снизить нагрев элементов конструкции и пульсации электромагнитного момента. Перед созданием рабочего прототипа двигателя необходимо оценить его эффективность с помощью моделирования, что, в свою очередь, требует определения параметров схемы замещения машины. В данной работе исследуется возможность использования параметров и характеристик трёхфазных двигателей в качестве прототипа при моделировании приводов с пятифазными двигателями.

**Ключевые слова**

Асинхронный двигатель, многофазный, моделирование, электрический привод, схема замещения.

Многофазные асинхронные двигатели (АД) находят применение в медицинской и бытовой технике, в электромобилестроении, в текстильной промышленности, в системах электродвижения судов [1, 2]. Перспективно их использование в специальных вентиляционных системах и комплексах, где требуется повышенная надёжность двигателя при низком уровне шума и вибрации [3]. У многофазных АД наблюдается

снижение пульсаций момента и скорости на валу двигателя, повышение надежности при уменьшенных уровнях шума и вибрации. Кроме того, дробление электрической мощности по фазам делает регулировочные характеристики АД менее критичными к асимметрии по амплитуде и фазе питающего напряжения, что с увеличением числа фаз ( $m$ ), в конечном итоге, упрощает систему управления и повышает надежность [4]. Многофазные асинхронные двигатели могут быть созданы на базе серийных трехфазных основного исполнения путем удаления обмотки статора и намотки пятифазной обмотки (рис. 1).

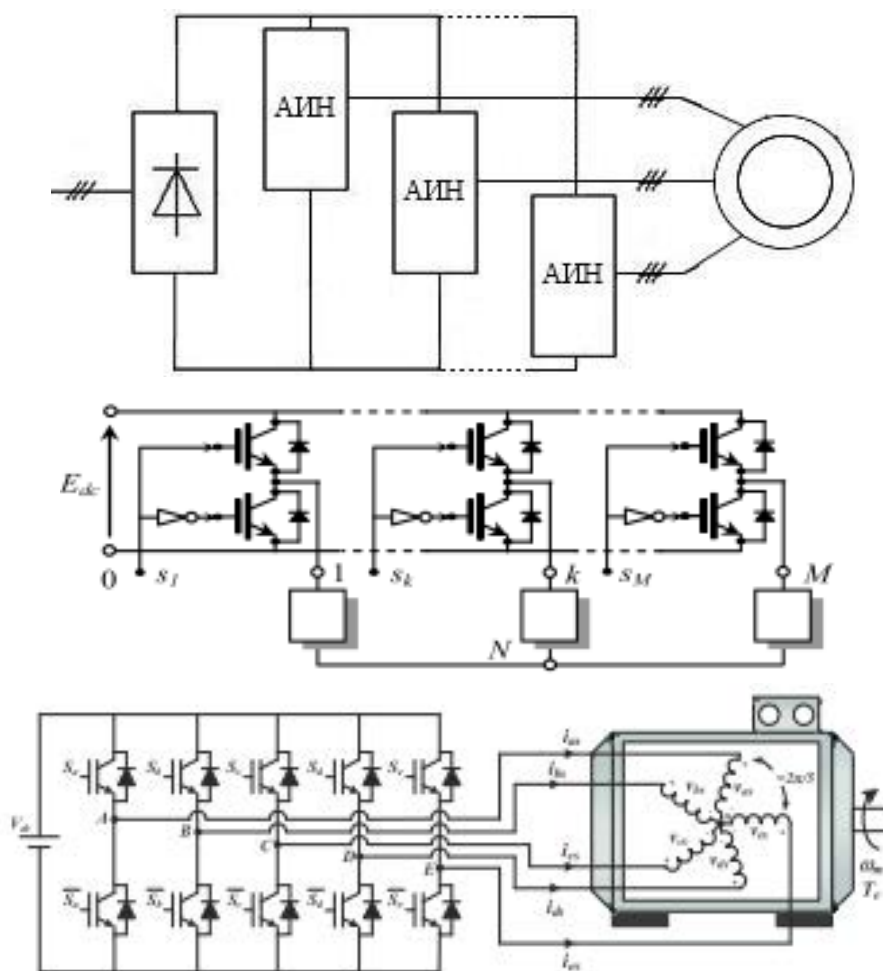


Рис. 1. Схемы регулируемых ЭП с многофазными АД

Для возможного дальнейшего проектирования и опытного производства многофазных асинхронных двигателей необходимо оценить эффективность машин, полученных перемоткой статора. Для этого можно использовать математическое моделирование, что требует знания параметров схемы замещения обмоток ротора и статора. Существующая методика расчета параметров по номинальным данным каталога электрических машин позволяет сравнить механические характеристики трех- и пятифазного двигателей (рис. 2) [5]. Расчет параметров схемы замещения основан на вычислении активных сопротивлений ротора и статора, которые в дальнейшем уточняются для приближения расчетных характеристик к номинальным (номинальный, опрокидывающий и пусковой моменты). Можно предположить, что получение корректных параметров для пятифазного двигателя возможно путем изменения числа фаз и уменьшения номинального тока статора на соответствующую величину. В качестве объекта исследований выберем реальный двигатель АД 5AMX160S2.

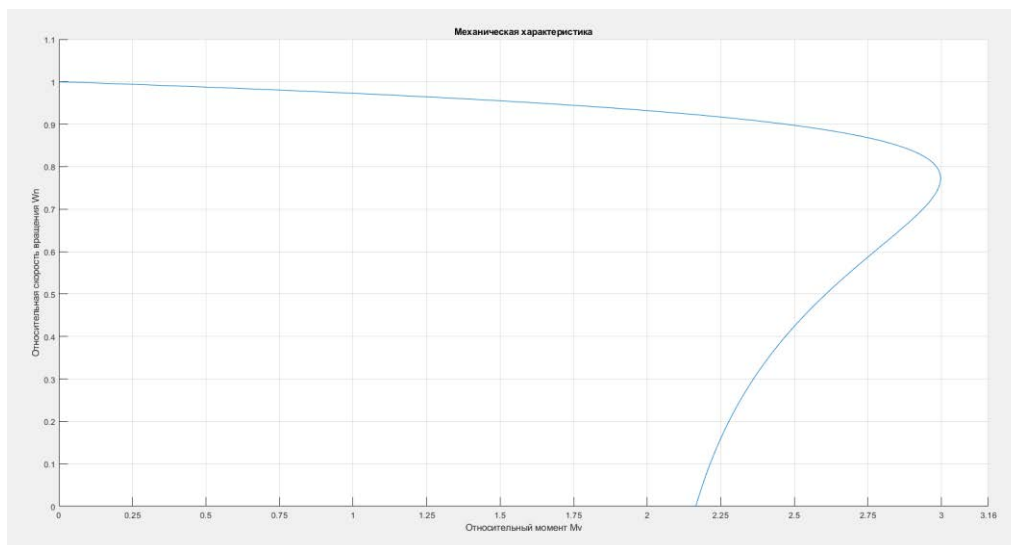


Рис. 2. Механическая характеристика трех- и пятифазного двигателей

Характеристики, построенные по полученным данным (см. таблицу), практически идентичны. Однако неизвестно, насколько близкими будут характеристики трёхфазного двигателя и пятифазного, полученного путём перемотки статора. Сходимость характеристик этих двигателей, полученных конструктивным расчётом (рис. 3), может служить критерием возможности предварительной оценки характеристик пятифазного двигателя на основе характеристик трёхфазного двигателя того же габарита и мощности, выбранного в качестве прототипа.

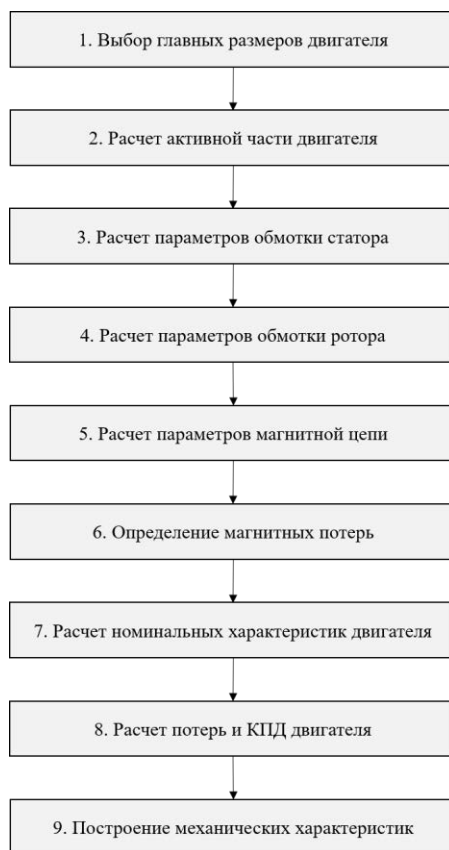


Рис. 3. Алгоритм конструктивного расчета



Для проверки возможности перерасчёта справочных параметров трёхфазного двигателя на пятифазный на примере серийного трехфазного АД 5AMX160S2 необходимо:

1. Произвести расчет геометрических размеров, параметров схемы замещения и основных характеристик трехфазного двигателя 5AMX160S2.

2. По полученным геометрическим размерам выполнить расчёт параметров схемы замещения и основных характеристик пятифазного двигателя при условии инвариантности мощности.

3. Сравнить характеристики трёх и пятифазных двигателей, полученные перерасчётом справочных данных и конструктивным расчётом.

Параметры схемы замещения и номинальные данные для трех- и пятифазного двигателя, полученные конструктивным расчётом приведены в таблице.

Таблица

**Параметры схемы замещения и номинальные данные двигателей**

m	P [кВт]	M [Нм]	I [А]	kms	kMm	$\eta$	r1	r2	x1	x2	rm	xm	sm
3	15	47,70	26,77	2,09	3.01	0,88	0,325	0,215	0,472	0,727	1,6	24,9	0,176
5		47,70	16,02	1,95	2,86	0,88	0,570	0,369	0,855	1,249	2,9	43,6	0,172

На рис. 4 и 5 показаны механические и электромеханические характеристики, построенные по данным таблицы.

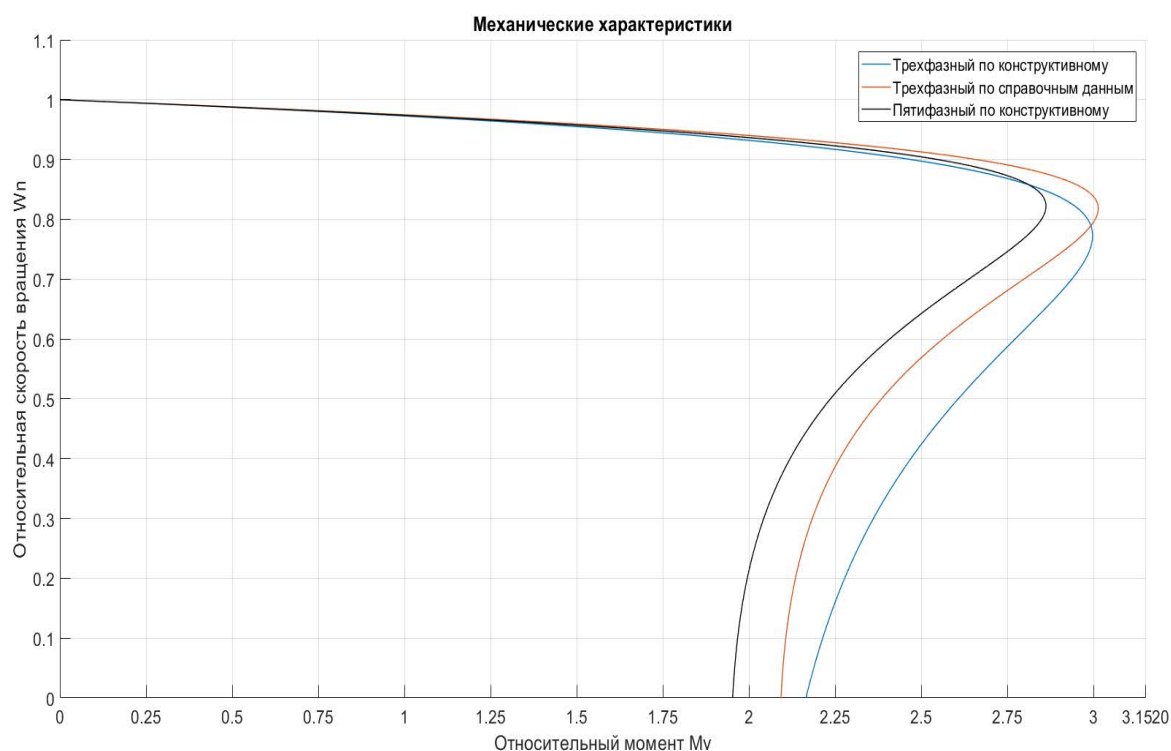


Рис. 4. Механические характеристики двигателей

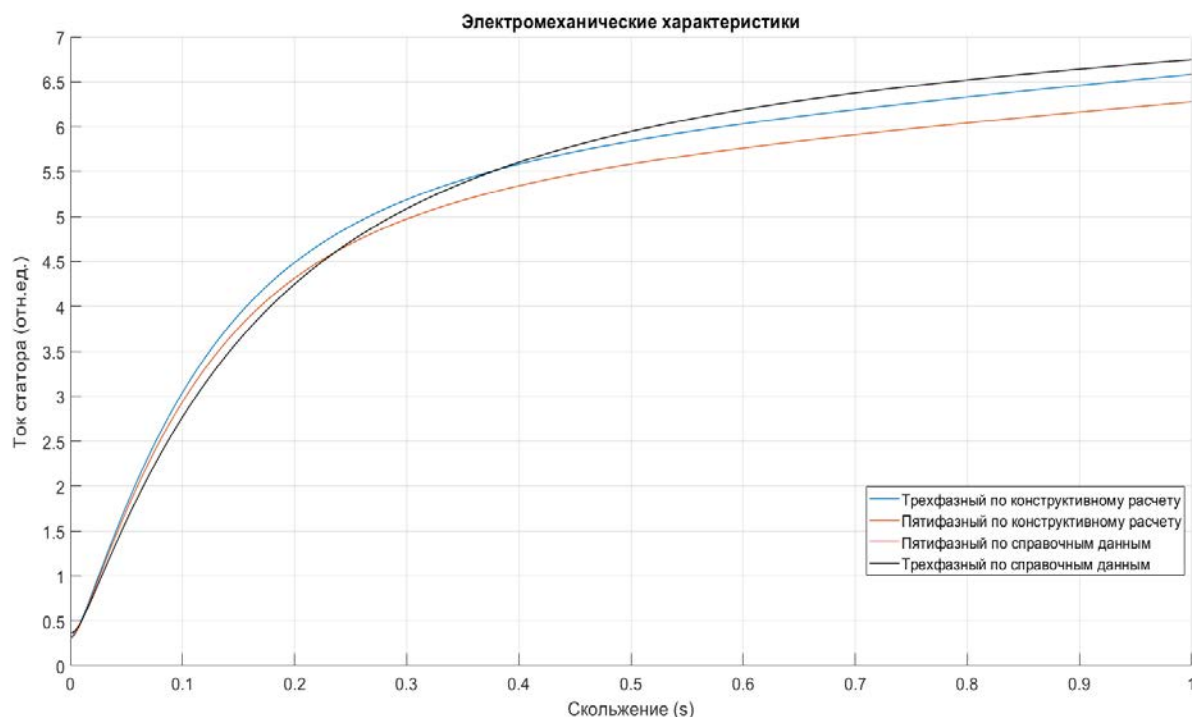


Рис. 5. Электромеханические характеристики двигателей

Полученные данные свидетельствуют, что характеристики пятифазного двигателя, полученные изменением обмотки трёхфазного прототипа, отклоняются не более 1...2% в рабочей области и не более 5...10% в области опрокидывания и пуска; аналогичное расхождение наблюдается между характеристиками трёхфазного двигателя, полученными на основе конструктивного расчёта и справочных данных.

Хорошая сходимость характеристик пятифазного двигателя и трёхфазного прототипа, полученных на основании конструктивного расчёта, а также характеристик трёхфазного прототипа, полученных конструктивным расчётом и расчётом по справочным данным, позволяют сделать вывод о возможности использования перерасчёта справочных параметров трёхфазного двигателя на пятифазный в задачах моделирования пятифазных приводов на этапе их проектирования.

### Литература

1. Дацковский Л.Х., Роговой В.И. Современное состояние и тенденции в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе // Электротехника. 1996. №10. С. 20–24.
2. Соустин Б.П. Многофазный инверторный асинхронный электропривод // Наука производству. 2000. №3. С. 10–16.
3. Сидельников Б.В. Шестифазные частотно-регулируемые асинхронные двигатели большой мощности // Известия РАН. Энергетика. 2000. №3. С. 31–38.
4. Андронов А.Л. Энергосбережение в системах водоснабжения средствами частотного регулирования электропривода // Электроэнергия и будущее цивилизации: Матер. научн.-техн. конф. Томск, 2004.
5. Усольцев А.А. Определение параметров схемы замещения АД по справочным данным // Электронный ресурс. [http://ets.ifmo.ru/usolzev/wopros/op\\_ad.pdf](http://ets.ifmo.ru/usolzev/wopros/op_ad.pdf). режим доступа своб.



**Абышев Оман Аскарбекович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

аспирант,

направление подготовки: 09.06.01 – Информатика

и вычислительная техника,

e-mail: abyshev.o@yandex.ru



**Яблочников Евгений Иванович**

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: yablochnikov@itmo.ru

УДК 65.01, 62-91, 004.9

**МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ  
ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ К ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ**

**О.А. Абышев**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.И. Яблочников**

**Аннотация**

В работе рассмотрено актуальное состояние проблемы оценки готовности промышленных предприятий к цифровой трансформации. Проведен сравнительный анализ существующих методологий оценки готовности, предложены варианты их улучшения для применения в практике регулярного менеджмента и диагностики процессов в организации.

Предложенные улучшения и гипотезы будут учитываться в дальнейших исследованиях и разработке методики и модели цифровой трансформации дискретных производств на базе архитектурной модели Reference Architecture Model for Industry 4.0.

**Ключевые слова**

Промышленные киберфизические системы, оценка готовности, цифровая трансформация, maturity index, индустрия.

**Введение**

Высокая динамика рынков и потребительских предпочтений определяют новую модель конкуренции и ведения бизнеса в условиях постоянных изменений и требуют от предприятий отрасли выработки механизмов адаптации, через проекты внедрения и масштабирования успешных практик и моделей производственных систем для повышения своей конкурентоспособности и устойчивости.

Результаты исследований, проведенных аналитическими и консалтинговыми компаниями приведенные в работах [3-5], определяет уровень готовности российских

предприятий как «отстающие» или «ведомые», демонстрируя существенное отставание российских промышленных организаций от зарубежных конкурентов по целому ряду показателей. В работе [4] авторы исследовали ключевые проблемы, препятствующие реализации цифровой трансформации компаний в России, а также предлагают описание трехэтапной методики диагностики на предварительной фазе архитектурного проекта преобразования. В работе авторами [5] приводится исследование экономического аспекта обоснования проектов цифровой трансформации предприятия, а также ключевые факторы, сдерживающие и способствующие успешной инициации проектов по цифровизации бизнеса.

*Актуальность* данной научной работы заключается в необходимости поиска и выработки решений для промышленных предприятий и организаций.

*Цель* настоящей работы заключается в исследовании и изучении существующих методов и моделей оценки готовности промышленных организаций к цифровой трансформации на предмет их применимости под требования и условия разрабатываемой методики и модели цифровой трансформации дискретных производств.

Тенденция на внедрение цифровых технологий в процессы анализа, планирования, конструирования, изготовления и управления процессами определяют важную роль использования проектного метода и подхода как инструмента для успешной модернизации и оптимизации существующих промышленных предприятий.

В настоящий момент ведущими мировыми предприятиями ведется научно-исследовательская работа в области использования технологий индустриальных киберфизических систем, как базовой опорной технологии для развертывания проектов по цифровой трансформации основных и вспомогательных процессов.

Данные технологии позволяют обеспечить информационный обмен и коммуникацию между различными объектами и субъектами внутренней и внешней среды предприятия, образуя единую информационную экосистему предприятия. Объектом данной экосистемы может выступать автономная единица оборудования, автономное транспортное устройство внутренней системы производственной логистики, оператор линии с цифровым интерфейсом, заказчик в лице физического лица с цифровым интерфейсом. Это позволяет повысить общую эффективность производственной системы и производительность труда на предприятии за счет прозрачности информационного пространства, наличия оперативного контролируемого доступа к текущим актуальным параметрам процессов и объектов, а также расширением инструментария конфигурирования и управляемости технологическим процессом на производстве.

Управление предприятием на базе цифровой модели и промышленных данных определяет новый уровень технологического развития и прогресса, переход на который требует качественных и количественных изменений во многих аспектах.

Разработка проекта цифровой трансформации предприятия опирается на методологические основы управления изменениями. Одним из важных аспектов разработки и реализации подобных проектов является проведения предпроектного анализа и диагностики существующей модели ведения бизнеса и устройства производственной системы в организации для выявления текущего состояния, а также определения необходимых мер и их приоритизации для успешного выполнения проекта модернизации и трансформации. Качество проведенного предпроектного анализа в большинстве случаев позволяет определить требования и ограничения объекта на этапе разработки проекта, что позволяет учесть особенности и специфику, не учет которых может привести к фатальным последствиям и негативному результату.

Оценка готовности предприятия к преобразованиям через анализ и диагностику состояния «как есть» – важный этап, обеспечивающий информационную поддержку

процессов трансформации.

### Методы и материалы

В качестве методов исследования авторами был произведен поиск референтных источников в открытых базах данных российских и международных научных публикаций по тематике исследования, проведен сравнительный анализ, исследована практика применения в российском промышленном секторе.

### Результаты

Поиск по источникам производился с использованием инструмента Google Scholar, базы РИНЦ и открытых баз в среде интернет по следующим ключевым словам: “maturity index”, “digital transformation”, “industrial digital maturity”, “cyber-physical technology maturity level”. Оценка производилась по следующим параметрам:

- критерии и параметры оценки;
- аспекты факторного пространства оценки;
- глубина или уровни оценки;
- методика оценки;
- повторяемость оценки на этапах жизненного цикла предприятия;
- возможность применения для дискретных производств (для дальнейших исследований);
- степень проработки (количество ссылок, степень цитирования);
- поддержка инструмента оценки разработчиками;

В таблице приведен перечень исследованных методов анализа.

Таблица

**Исследованные методы оценки готовности**

№	Название модели	Источник	Описание методики
1	Индекс зрелости Индустрии 4.0	Acatech (2011) [1]	Модель представлена четырьмя сегментами и двумя фактор-векторами;
2	The connected enterprise maturity model	Rockwell Automation (2014)	Пять этапов процесса внедрения концепции Industry 4.0. Оценка производится в четырёх областях
3	IMPULS – Industrie 4.0 Readiness	Lichtblau et al. (2015)	Шесть векторов измерений, восемнадцать показателей, пять уровней. Также позволяет определить ограничения и предлагает рекомендации по их преодолению
4	Empowered and Implementation Strategy for Industry 4.0	Lanza et al. (2016)	Экспресс-анализ уровня зрелости на базе анализа критических зон и пробелов системы
5	Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment	Price Waterhouse Coopers (2016)	Онлайн инструмент, исследующий объект по шести факторам анализа
6	Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises	Schumacher et al. (2016)	Модель фокусируется на организационном аспекте компаний, предлагая девять факторов для оценки готовности. Особенностью является возможность выйти из уровня абстрактного представления за счет измерения действительных параметров производственной системы
7	SIMMI 4.0	Leyh et al. (2016)	Модель предлагает пять этапов и три фактор-вектора для анализа;

продолжение таблицы

№	Название модели	Источник	Описание методики
8	Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy	Akdil et al. (2018)	Методика построена на идее идеального модели децентрализованного, сервис-ориентированного, интероперабельного предприятия, управляемого на основе real-time данных

На основании проведенного сравнительного анализа был сделаны вывод о возможности применения метода, предлагаемый национальной академией наук и техники Германии [1], с учетом необходимости внесения доработок и усовершенствования методики (рис. 1).

Модель Индекса зрелости Индустрии 4.0 (рис. 1) основана на «производственно-управленческой концепции», в основе которой внутренние аспекты компании представлены тремя сегментами: корпоративная структура, корпоративная культура, корпоративное развитие [1].

Структура компании в рамках данной методики разделяется на четыре области: ресурсы, информационные системы, культура и организационная структура. Для каждой структурной области определены два руководящих принципа наряду с необходимыми характеристиками. Обретение характеристик направлено на достижение различных этапов развития и является основой для преобразования производственных компаний в гибкие организации [1].

Модель Fit-for-Purpose, предложенная Д. Андерсеном и А. Жегловым, предлагает использование методов оценки на базе авторской модели шкалирования показателей продуктивности основных процессов в рамках продуктового подхода в управлении предприятием. Оценка характеристик производится на основе четырех категорий показателей: fitness criteria, health indicators, improvement drivers, vanity metrics. Использование данных показателей позволяют классифицировать стратегические и тактические цели предприятия для оценки их приоритезации, влияния и значимости и могут быть применены для разработки плана по цифровой трансформации организации.



Рис. 1. Модель Индекса зрелости Индустрии 4.0 выделяет области и аспекты, характерные для развивающихся, гибких компаний и предлагает проведение их анализа на соответствие качественным критериям уровней зрелости бизнеса [1]

Важным фактором при разработке предлагаемой методики оценки является связь с эталонной архитектурой, призванной задать конечное состояние предприятие «как будет». С учетом специфики глобального объекта исследования – дискретного производственного предприятия, в данной работе за основу эталонной архитектуры принята модель Reference Architecture Model for Industry 4.0 (рис. 2), определяющая стандарты инжиниринга индустриальных киберфизических систем. Данная архитектурная модель была предложена в 2013 году компаниями BITCOM, VDMA и ZWEI как развитие существующей модели Smart Grid Architecture Model для электроэнергетики под нужды индустрии, а также развиваемая ассоциацией Platform Industrie 4.0.

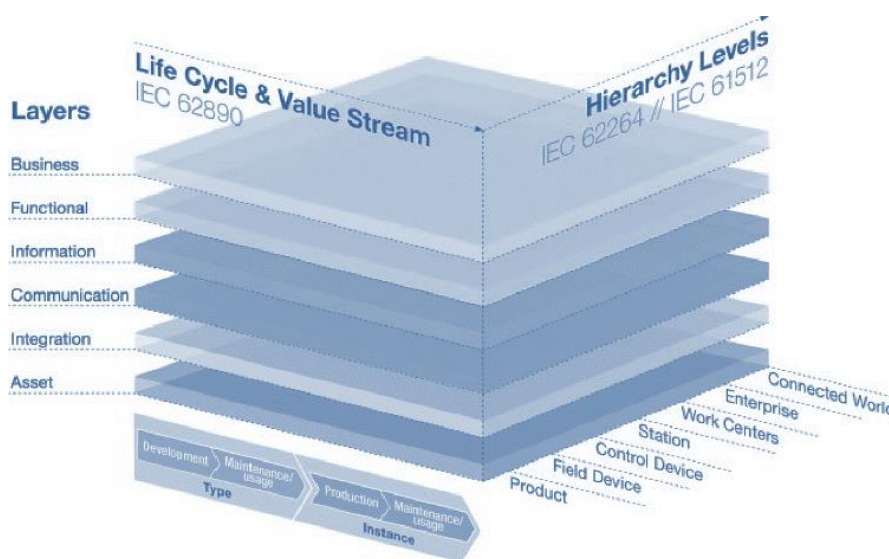


Рис. 2.. Reference Architecture Model for Industry 4.0 гармонизирует основные достижения в области концепций организации предприятия, концепции жизненного цикла, а также общепризнанные стандарты инжиниринга, выступая навигатором для проектировщиков [6]

Для решения поставленной задачи, авторами были проведены ряд экспертных интервью с практикующими специалистами с целью выявления потенциальных ограничений и выработки гипотез для улучшения. Результаты проведенных интервью позволило сделать предположение о возможности внедрения следующих улучшений:

– *расширить применимость инструмента оценки – использовать инструмент для регулярной операционной диагностики процессов.* Использование данного инструмента может быть расширено до уровня практики регулярного менеджмента и оценки отклонений от заданных показателей предприятия на основе систем удаленного мониторинга (Winnum, АИС Диспетчер и т.д.).

– *расширение факторного пространства – «информационная безопасность».* Данный фактор особенно важен в объективных реалиях развития промышленного интернета в условиях государственных оборонных предприятий и закрытых учреждений, которые также обладают запросом на улучшение своей производительности за счет достижений индустриальных киберфизических технологий;

– *расширение уровней оценки в отрицательный диапазон – для повышения осведомленности о технологической отсталости процессов и необходимости серьезных изменений в существующей модели «как есть».* Важным аспектом любой аналитической деятельности является ее влияние и применимость в процессах принятия управленческих решений. Данное улучшение направлено на придание объективной прозрачности в положении дел для руководителей предприятий;

– *определение, классификация и мониторинг показателей «здоровья», «тщеславия» и «улучшения» производственной системы на основе концепции Fit-for-Purpose [2].* Данное улучшение определено необходимостью назначения текущих и опережающих показателей результативности основных функциональных процессов и проектов развития цифровой трансформации, а также объективного отделения показателей с «низкой ценностью для бизнеса»;

– *использование расширенной комбинации методов оценки с проведением глубинных интервью, опросов по методике 360, скоринг-тестов.* Данное улучшение направлено на вовлечение как можно большего количества сотрудников организации разного уровня и профиля деятельности в процессы исследования с целью получения максимально достоверной информации о реальных возможностях предприятия, а также последующего вовлечения в процессы корпоративных изменений;

– *использование имитационного моделирования на основе аппарата сетей Петри.* Результаты сценарного имитационного моделирования состояний организации «как есть» - «как будет», полученные на основе данных исследования уровня готовности могут быть использованы для последующей выработки стратегии цифровой трансформации, в том числе и для экономического обоснования предлагаемых улучшений;

– *проведение модульного и интеграционного тестирования информационной инфраструктуры предприятия.* Предлагаемое улучшение позволит проводить эмпирические полевые испытания организаций на предмет выявления критических состояний организационной инфраструктуры, что требует разработки аппарата комплексной диагностики. Данное улучшение позволит получить достоверные точки экстремумов бизнес-модели, производственных процессов и информационных систем;

### **Выводы и обсуждение результатов**

Исследование показало, что проблема оценки готовности организаций к изменениям в части своей цифровой повестки, как элемента предпроектной аналитики и информационной поддержки процессов цифровой трансформации является актуальной задачей для мирового инженерного и научного сообщества.

На рынке консалтинга и инжиниринга процессов цифровой трансформации предприятий появляются новые методы анализа и оценки. Развитие идет по направлениям расширения факторного пространства анализа и его глубины детализации, но не методик его проведения.

Подавляющее большинство рассматриваемых методов предлагают серию тестовых опросников и шкалирование [3]. Это может являться риском – возможность не учета важных особенностей и характеристик производственной системы, анализ и выявление которых возможно применением комплексных методов оценки, что указано в работах [2, 4, 5].

Систематическое самостоятельное использование компаниями инструмента оценки в своей операционной деятельности ограничено временными рамками проекта по модернизации.

Предложенные улучшения и гипотезы будут учитываться в дальнейших исследованиях и разработке методики и модели цифровой трансформации дискретных производств на базе архитектурной модели Reference Architecture Model for Industry 4.0 [6].

### **Литература**

1. Шу Г., Андерл Р., Гауземайер Ю., тен Хомпель М., Вальстер В. (и др.): Индекс зрелости Индустрии 4.0 – Управление цифровым преобразованием компаний (acatech ИССЛЕДОВАНИЕ), Munich: Herbert Utz Verlag 2017.



2. Anderson D., Zheglov A. Fit for Purpose: how modern business find, satisfy & keep customers. – Seattle, WA: Blue Hole Press. 2018.
3. Sony M., Naik S., Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review, Benchmarking: An International Journal. 2019.
4. Долганова О.И., Деева Е.А. Готовность компании к цифровым преобразованиям: проблемы и диагностика // Бизнес-информатика. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gotovnost-kompanii-k-tsifrovym-preobrazovaniyam-problemy-i-diaagnostika> (дата обращения: 16.01.2020).
5. Панфилова Е.А. Анализ готовности промышленных предприятий к цифровой трансформации бизнеса // Московский экономический журнал. 2019. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-gotovnosti-promyshlennyh-predpriyatij-k-tsifrovoy-transformatsii-biznesa> (дата обращения: 17.01.2020).
6. Plattform Industrie 4.0. The background to Plattform Industrie 4.0 // URL: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Home/home.html> (дата обращения: 17.01.2020).



**Борисова Маргарита Александровна**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R4130,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления  
движением и навигации,  
e-mail: margo.borisova.97@mail.ru



**Моторин Андрей Владимирович**

Год рождения: 1989  
факультет систем управления и робототехники,  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
к.т.н., доцент, с.н.с.,  
e-mail: motorin.a@mail.ru

УДК 681.51

## **ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА**

**М.А. Борисова**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент, с.н.с. А.В. Моторин**

### **Аннотация**

Рассматриваются алгоритмы решения задачи оценивания параметров гармонического сигнала (амплитуда, фаза и смещение) при наличии гауссовских помех измерений. Представлена математическая модель сигнала и сопоставлено два алгоритма идентификации неизвестных параметров: алгоритм на основе фильтра Калмана и алгоритм оптимального байесовского оценивания с использованием метода сеток. Проведено имитационное моделирование рассматриваемых алгоритмов.

### **Ключевые слова**

Гармонический сигнал, фильтр Калмана, байесовский фильтр, метод сеток.

В работе рассматривается задача оценивания стационарных параметров гармонического сигнала [1]:

$$y_i = A_0 + A_1 \sin(\omega t_i + \varphi_0) + v_i \quad (1),$$

где  $A_0, A_1, \varphi_0$  – неизвестные параметры (смещение, амплитуда и начальная фаза), постоянные во времени;  $\omega$  - частота сигнала,  $v_i$  – помеха измерения сигнала. Отметим, что поставленная задача является нелинейной и для ее решения с использованием фильтра Калмана (ФК) [2, 3] необходима ее линеаризация и представление модели неизвестных параметров и измерений в виде:

$$\begin{aligned} x_i &= \Phi x_{i-1} + \Gamma w_i \\ y_i &= Hx_i + v_i \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\Phi, \Gamma, H$  – переходная матрица системы, матрица возмущающих воздействий и матрица измерений соответственно,  $x_i$  – вектор неизвестных параметров (вектор состояния системы), а  $w_i, v_i$  – дискретные белые шумы с известной дисперсией. В настоящей работе, вместо известных процедур линеаризации, используем разложение синуса суммы по тригонометрическим формулам и произведем подстановку:

$$\begin{aligned} y_i &= A_0 + A_1 \cos \varphi_0 \sin(\omega t_i) + A_1 \sin \varphi_0 \cos(\omega t_i) + v_i \\ B_1 &= A_1 \cos \varphi_0, B_2 = A_1 \sin \varphi_0 \end{aligned} \quad (3)$$

Задавая постоянный вектор состояния системы в виде  $x_i = x = [A_0 \ B_1 \ B_2]^T$  искомые матрицы будут представлены следующим образом:

$$\Phi = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \Gamma = 0, H_i = [1 \ \sin(\omega t_i) \ \cos(\omega t_i)]. \quad (4)$$

В такой постановке для получения оценки могут быть применены стандартные соотношения ФК. В ходе имитационного моделирования в среде Matlab [4] длительностью 1000 секунд с шагом 1 с и гауссовскими шумами измерений сравнивалась оценка значений параметров сигнала с истинными. Как показали результаты моделирования, рис. 1, оценки всех параметров сходятся к их истинным значениям, однако адекватную характеристику точности, в особенности для оценок фазы в этом случае получить затруднительно.

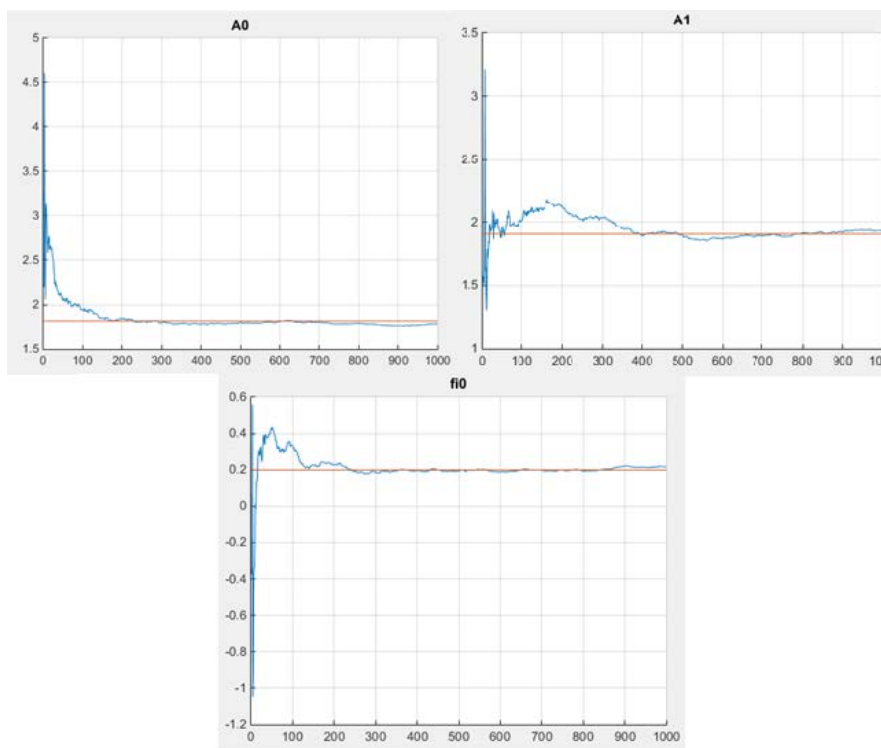


Рис. 1. Истинные значения и оценки параметров сигнала полученные с использованием ФК

Отметим, что основной интерес в этой задаче представляет оценка нелинейных параметров, таких как фаза. Поэтому при реализации байесовского алгоритма оценивания на основе метода сеток задача оценивания (1) рассматривалась при известных параметрах  $A_0$  [1, 3]. При вычислении оценки  $\hat{x}^S = [\hat{\varphi}_0]$  используется правило Байеса и рекуррентные соотношения для условной апостериорной функции плотности распределения вероятностей (ф.п.р.в.). Сама же оценка рассчитывалась как математическое ожидание этой ф.п.р.в. следующим образом. Пусть  $\varphi^j$   $j = \overline{1..n}$  – точки детерминированной сетки в пространстве изменения неизвестного параметра. Тогда аппроксимация ф.п.р.в. на шаге  $i$  может быть представлена в виде:

$$p(\varphi_i) \approx \sum_{j=1}^n \mu_i^j \delta(\varphi_i - \varphi^j).$$

Коэффициенты аппроксимации для апостериорной ф.п.р.в. на следующий шаг, с учетом текущих измерений, могут быть рассчитаны согласно правилу Байеса:

$$\mu_i^j = \frac{\mu_{i-1}^j p(y_i / \varphi^j)}{\sum_{k=1}^n \mu_{i-1}^k p(y_i / \varphi^k)},$$

где  $p(y_i / \varphi^j) = p_v(y_i - s(\varphi^j))$  – функция правдоподобия. Отметим, что так как фаза считается постоянной, шаг прогноза здесь фактически отсутствует, так как прогноз равен оценке с предыдущего шага. Итоговая оценка неизвестного параметра, соответствующая математическому ожиданию ф.п.р.в. рассчитывается в виде:

$$\hat{\varphi}_i(y_i) = \sum_{j=1}^n \mu_i^j \varphi^j.$$

Результаты моделирования алгоритма для таких же исходных данных представлены на рис. 2. Отмечается лучшая сходимость оценки значения начальной фазы сигнала.

Для получения численного критерия оценки качества работы алгоритмов проводилось моделирование 1000 реализаций и отмечались значения СКО ошибки оценивания для последней секунды моделирования. Полученные данные приведены в таблице. Отмечаются статистически более высокие точностные характеристики байесовского фильтра.

Таблица

**Сравнительное значение СКО**

СКО ошибки оценивания	Алгоритм калмановского типа	Байесовский фильтр (метод сеток)
$A_0$	0,0057	0,0057
$A_1$	0,0083	0,0079
$\varphi$	0,0056	0,0056

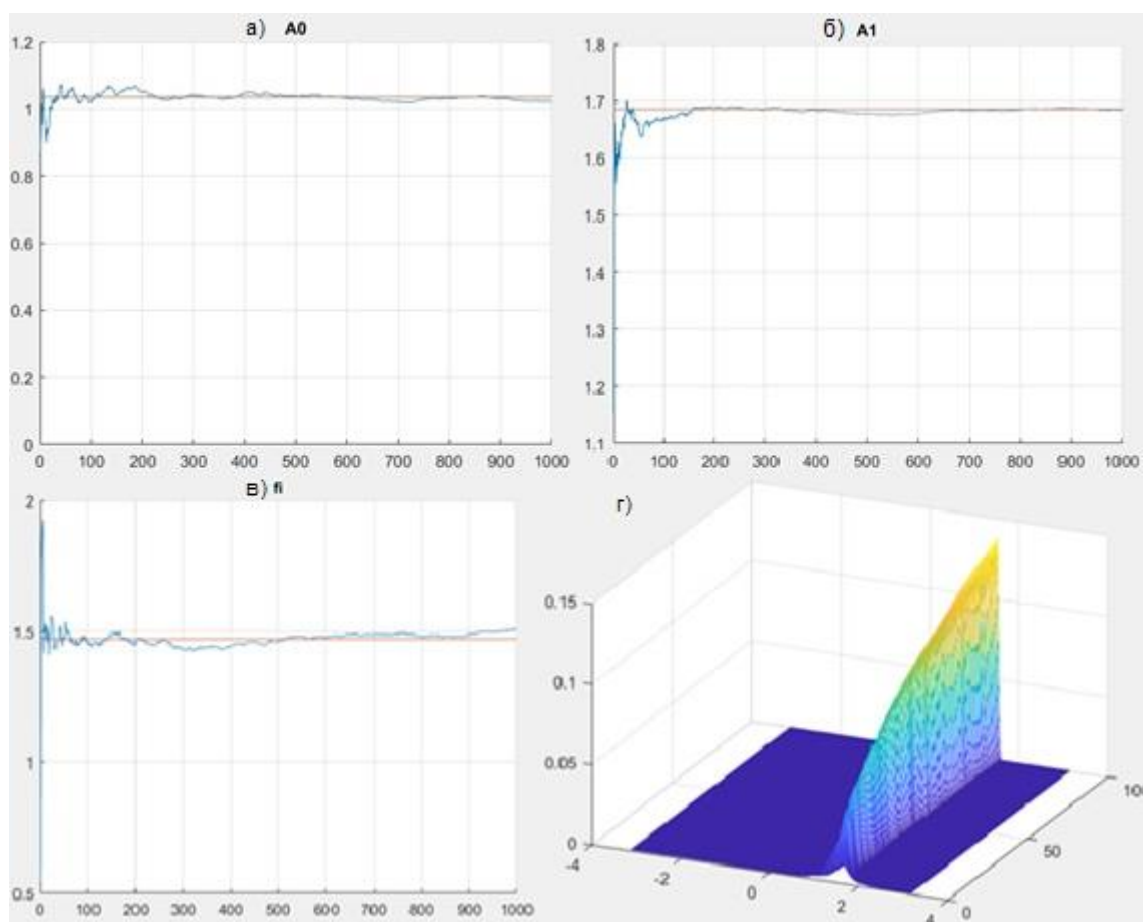


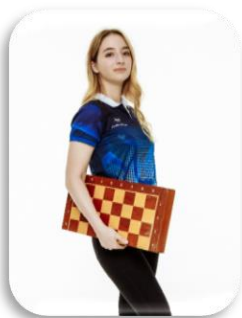
Рис. 2. Оценки и истинные значения – а) смещения, б) амплитуды, в) начальной фазы, г) аппроксимация ф.п.р.в.

### Заключение

В работе рассмотрены алгоритмы оценивания параметров гармонического сигнала с использованием ФК и нелинейного байесовского алгоритма. Для реализации ФК потребовалась линеаризация модели измерений, которая была косвенно проведена с использованием известных тригонометрических тождеств. Для реализации нелинейного алгоритма на основе байесовского оценивания был использован метода сеток. Было проведено имитационное моделирование алгоритмов в среде Matlab, получены предварительные оценки эффективности алгоритмов. Для более полного сравнения требуется расчет безусловных матриц ковариаций погрешностей оценивания для обоих алгоритмов, что является предметом дальнейшей работы.

### Литература

1. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. Введение в теорию оценивания. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбо" 2009. 496 с.
2. Ramsey F. Understanding the Basis of the Kalman Filter Via a Simple and Intuitive Derivation // IEEE Signal Processing Magazine 2012. 29(5). p. 128-132.
3. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение. Москва: Издательство "Связь". 1976. 496 с.
4. Mohinder S., Angus P. Kalman Filtering - Theory and Practice Using MATLAB. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. New Jersey. 2015. 639 p.



**Журбова Александра Евгеньевна**

Год рождения: 1998  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
студент группы №Р3400  
направление подготовки: 09.03.01 – Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: zhurbovaal@gmail.com



**Муратова Ульяна Дмитриевна**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
студент группы №Р41142,  
направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,  
e-mail: ulyafka.muratova@mail.ru



**Балакшин Павел Валерьевич**

Год рождения: 1984  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
к.т.н.,  
e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.522

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛОСОВЫХ МЕТРИК ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ БОДРОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

**А.Е. Журбова, У.Д. Муратова, П.В. Балакшин**  
**Научный руководитель – к.т.н. П.В. Балакшин**

Работа выполнена в рамках НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

В работе рассмотрены характеристики голоса человека, позволяющие оценить уровень его бодрости. На основе проведенного исследования начата работа по выбору метрик, необходимых для разработки собственного алгоритма, который позволит определять уровень бодрости человека. Впоследствии на основании полученного алгоритма планируется разработать собственное приложение-будильник, позволяющее пользователю эффективнее просыпаться.

**Ключевые слова**

Биометрия, гипнопомпическое состояние, амплитудно-частотная диаграмма, метрика.

Современные гаджеты с каждым годом всё больше адаптируются под человека. Они реагируют не только на прикосновение, положение в пространстве, но и считывают пульс, откликаются на голосовые команды. Однако голосовое управление в большей степени направлено на распознавание слов-команд. Системы голосового управления могли бы стать более гибкими, если бы дополнительно распознавали состояние (настроение) человека по его интонациям. Также интонации можно отнести к поведенческим характеристикам, которые всё чаще используют для идентификации человека наравне с биологическими (отпечатки пальцев, ДНК и т.п.).

Биометрия на основе голоса человека стала вводиться в широкое употребление сравнительно недавно (например, Сбербанк стал вводить идентификацию человека на основании некоторых биометрических параметров: отпечатка пальца, изображения лица, голоса) и используется довольно закрытыми организациями. Данные факты свидетельствуют о недостаточных исследованиях в области использования биометрии в каждодневных и простых пользовательских приложениях, позволяющих повысить уровень комфорта человека. На основании этого возникла идея исследования и последующей разработки приложения-будильника, определяющего состояние человека (сонное/бодрствующее) и позволяющее увеличить вероятность гарантированного пробуждения к нужному времени. Таким образом, целью работы является разработка “умного будильника”, который бы реагировал на голос человека после пробуждения, анализировал бы его и продолжал свою работу, если владелец устройства не перешел в состояние бодрости.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- исследовать характеристики интонационной речи человека;
- определить метрики, базирующиеся на определённых речевых характеристиках;
- отобрать метрики, подходящие для анализа состояния пользователя;
- составить алгоритм определения состояния человека по значениям голосовых метрик;
- реализовать мобильное приложение, реализующее работу предлагаемого алгоритма.

Изучение интонационных характеристик было решено произвести на примере распознавания гипнопомпической речи, для которой характерными признаками являются замедленное произнесение слов с выраженными паузами, невысокая громкость и монотонность. Исходя из того, что звуковой сигнал представляет собой волну, и проводя соответствие между вышеперечисленными характеристиками и физическими параметрами, было принято решение использовать следующие параметры [1]:

- высота, определяемая как частота звуковой волны;
- громкость, определяемая как амплитуда волны.

Скорость речи при этом можно посчитать, используя число слов, произнесенных за выбранный промежуток времени. Таким образом, для анализа понадобятся данные амплитудно-частотной диаграммы, переход к которой от амплитудно-временного формата, в котором обычно представлены аудиозаписи, осуществляется с помощью FFT-анализаторов. FFT (англ. fast Fourier transform) – это алгоритм быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье. Именно благодаря ему стало возможным анализировать спектр звуковых сигналов в реальном времени [2].

Наглядно увидеть разницу между речью бодрого человека и человека в гипнопомпическом состоянии можно на примере диаграмм (рис. 1 и рис. 2). Они представляют амплитудно-частотные характеристики здорового человека и человека с гипотонусной дисфонией [3], симптомы которой похожи на выбранные характеристики интонационной речи [4]:

- изменение силы голоса (слабый, тихий, истощающийся в процессе говорения);
- изменение тембра голоса (осиплый, тусклый, глухой, хриплый, с носовым оттенком, напряженный);
- изменение тональности голоса (монотонный).

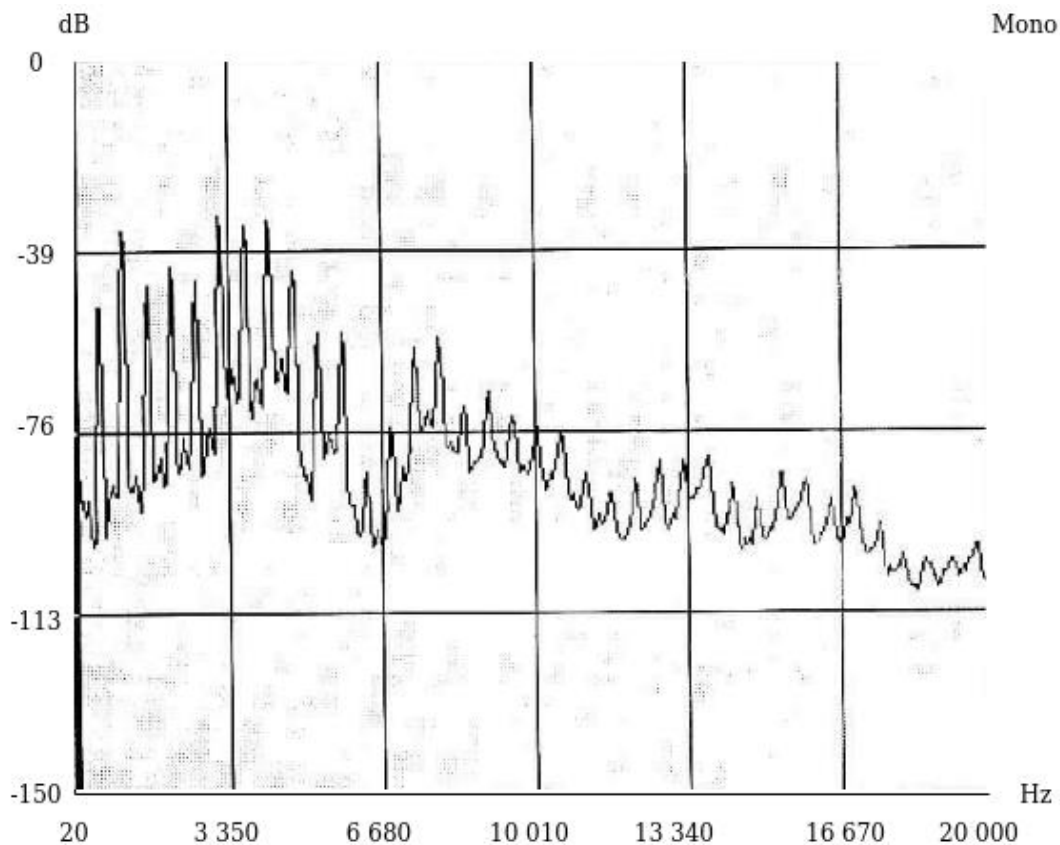


Рис. 1. Диаграмма голоса здорового человека

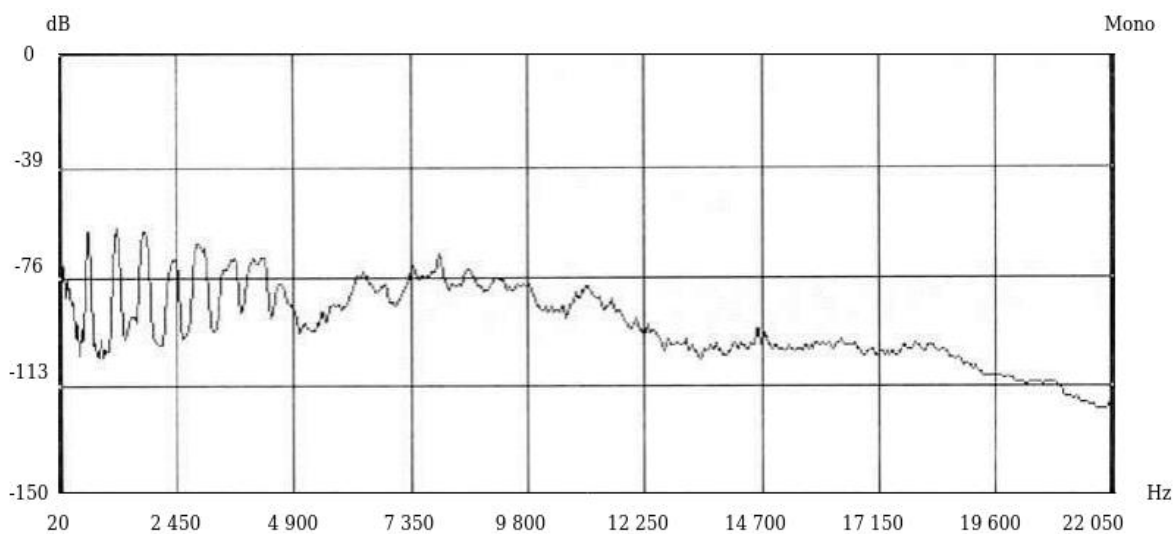


Рис. 2. Диаграмма голоса человека с гипотонусной дисфонией

Попытка найти статьи по исследованию интонаций человеческого голоса, а также готовые библиотеки, API или реализации с открытым исходным кодом,



позволяющие определять голосовые интонации, выявила следующую ситуацию. Существуют реализации и различные статьи как о распознавании самих слов, так и о переводе речи в текст (например, Web\_Audio\_API, Amazon Transcribe, Yandex SpeechKit). Однако не было найдено реализаций автоматического анализа интонационных характеристик за исключением нескольких проприетарных приложений, в которых данная функциональность используется исключительно для обработки и монтажа звука.

В дальнейшем планируется детальное исследование метрик, описывающих речевой сигнал, создание и реализация собственного алгоритма, а также создание на основе этого алгоритма пользовательского приложения как для Android, так и для iOS.

### Литература

1. Физические свойства звука [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.moozon.ru/node/3982> (дата обращения: 10.02.2020).
2. Лукин А. Спектроанализатор – что мы на нем видим? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://prosound.ixbt.com/education/spektr-analys.shtml> (дата обращения: 10.02.2020).
3. Василенко Ю.С., Мещеркин А.П., Павлихин О.Г., Романенко С.Г. Спектральный компьютерный анализ голоса – метод ранней и дифференциальной диагностики нарушений голосовой функции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/MKmm3> (дата обращения: 12.02.2020).
4. Функциональная дисфония [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tentorium-centr.ru/2267-funktsionalnaya-disfoniya/> (дата обращения: 12.02.2020).



**Калинкина Мария Евгеньевна**

Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
аспирант,  
направление подготовки: 09.06.01 – Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: mariia\_kalinkina@mail.ru



**Пирожникова Ольга Игоревна**

Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
к.т.н., ординарный доцент,  
e-mail: cheezecake@mail.ru



**Ткалич Вера Леонидовна**

Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
д.т.н., профессор,  
e-mail: Vera\_Leonidovna\_Tkalich@mail.ru

УДК 338.246

**АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ СПОСОБОВ  
РЕАЛИЗАЦИИ КВАНТОВЫХ ПРОТОКОЛОВ  
НА ОСНОВЕ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
М.Е. Калинкина, О.И. Пирожникова, В.Л. Ткалич  
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Л. Ткалич**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

Проведен анализ общего состояния вопроса относительно развития квантовых криптографических систем, а также тенденций развития объектов исследования и существующих на сегодняшний день технических решений данной проблемы. Выведен минимальный набор понятий квантовой физики, необходимых для понимания идеи и средств квантовой криптографии. Описаны приоритетные направления в развитии системы распределения ключей и квантовой криптографии, базирующиеся на кодировании квантового состояния одиночной частицы. Авторы проанализировали современное состояние криптографии и возможности его развития.

## **Ключевые слова**

Квант, криптография, постквантовая криптография.

## **Введение**

Препятствия, установленные основными принципами квантовой физики, являются препятствием для эффективной разработки и внедрения методов квантовой криптографии. Квантовая криптография в настоящее время используется только для передачи ключевой информации из-за низкой скорости передачи данных.

В настоящее время ведутся активные исследования в области квантовой криптографии, особенно в области аппаратной реализации устройств, принцип действия которых основан на законах квантового взаимодействия.

## **Основная часть**

В обычной криптографии существует неразрушимый код (ключ). Он был изобретен Гилбертом Вернемом в 1918 году [1]. Ключ представляет собой двоичную строку той же длины, что и сообщение. Комбинируя каждый бит сообщения с соответствующим битом ключа, используя XOR, Алиса преобразует простой текст в зашифрованную форму (называемую зашифрованным текстом). Затем Алиса отправляет зашифрованный текст Бобу по широкополосному каналу. Любой, включая прослушивание, может получить копию зашифрованного текста. Однако, без знания ключа, зашифрованный текст является полностью случайным и не предоставляет никакой информации об открытом тексте. Для дешифрования Боб, который совместно использует один и тот же ключ с Алисой, может выполнить различный XOR между каждым битом зашифрованного текста и соответствующим битом ключа для получения открытого текста. Этот метод имеет серьезный недостаток: предполагается, что Алиса и Боб изначально совместно используют случайную секретную строку, равную длине сообщения. Это основная проблема распространения. Одним из возможных решений проблемы распространения ключей является криптография с открытым ключом.

Патентные исследования показали, что эта проблема может быть решена с использованием предложенного подхода путем виртуальной оценки аналоговых сообщений с точки зрения информационной безопасности. Существует математический анализ смещений, которые вводятся в последовательности клавиш во время передачи.

Ключевым аспектом в квантовой теории информации является теорема Шредингера и уравнение. Представление, которое учитывает квантовую теорию Шредингера, показывает важную особенность квантовых систем, которые используются для построения квантовых каналов передачи информации, а именно: любое изменение в системе может быть описано одним оператором.

Эрвин Шредингер написал письмо (на немецком языке) Эйнштейну, используя слово *Verschränkung* (переводится как «запутанность») «, чтобы описать корреляции между двумя частицами, которые взаимодействуют, а затем разделяются, как в эксперименте ЭПР» [1]. Вскоре после этого он выпустил основополагающий документ, определяющий термин «запутывание».

Результаты исследований в этой области защищены отечественными и зарубежными патентами. В ходе патентных исследований достигались следующие цели:

— выделение группы патентов, позволяющих передавать двоичную информацию только за счёт нелокальная квантовая корреляция между частицами EPR-пар, без использования дополнительного классического канала связи [2];

– выделение группы патентов, предоставляющих возможность автоматического регулирования защиты и времени ожидания генерации криптографического секретного ключа [3];

– выделение группы патентов, позволяющих повысить устойчивость к несанкционированному доступу информации (прослушиванию) [4];

– выделение группы патентов, позволяющих обеспечить секретность криптографических ключей при их передаче через открытое пространство на большие расстояния и достижения долговременной стабильности и уменьшение потока ошибок в передаваемых криптографических ключах на принимающей станции [5];

– выделение группы патентов, позволяющих исключить обнаружение отправителем и получателем факта несанкционированного съема конфиденциальной информации с волоконно-оптического канала, используемого для распределения ключа [6];

– выделение группы патентов, позволяющих повысить вероятность обнаружения при попытке съёма информации с волоконно-оптической линии передачи и снижение и вероятности ложных срабатываний [7];

– выделение группы патентов, обеспечивающих долговременную стабильность передачи, уменьшение потока ошибок в передаваемых первичных криптографических ключах [8];

– выделение группы патентов, позволяющих понизить коэффициента квантовых ошибок, а также повышение скорости передачи и повышения степени защищённости криптографического ключа [9];

– выделение группы патентов, позволяющих повысить дальность передачи информации, при сохранении абсолютной секретности [10];

– выделение группы патентов, позволяющих обеспечить секретность криптографических ключей передачи через открытое пространство на большие расстояния и достижения долговременной стабильности и уменьшение потока ошибок в передаваемых криптографических ключах на принимающей станции [11];

– выделение группы патентов, позволяющих расширить диапазон выявления возможных ошибок с передаваемых в ключах на принимающей станции, в котором гарантируется секретность криптографических ключей на, да теоретического предельного значения в 50%, в результате не требуется прецизионные контроль и управление [12].

Перечисленные цели требуют решения следующих задач, технический результат которых достигается за счет того что:

– между фотонами каждой пары существует нелокальная квантовая корреляция [2];

– устанавливается число итераций, на основании которого управляют числом сообщений [3];

– сочетается высокая скорость передачи данных с предельно низкой мощностью квантовых битов кодированного сигнала [4];

– способы кодирования и передачи криптографических ключей включающих формирование последовательности квантовых фотонных состояний и передачу этих состояний по открытому пространству на принимающую станцию [5];

– поток фотонов со стороны отправителя пропускают через активную волоконно-оптическую среду [6];

– введения дополнительного контрольного сигнала по изменению которого на приёмнике судят о вмешательстве в канал [7];

– на передающей станции формируют серии однофотонных состояний в заданных интервалах времени, преобразует их в последовательности ортогональных однофотонных состояний, и передают по квантовому каналу связи [8];

– устройства квантовой рассылки ключа на поднесущих частотах модулированного излучения [9];

– пассивные отражающие и перенаправляющие элементы, включает передачу информации от передающей до принимающей наземных станций в форме однофотонных оптических импульсов через низкоорбитальные спутники [10];

– при кодировании и передаче криптографических ключей, преобразуют последовательности квантовых фотонных состояний в одно- или многофотонные ортогональные состояния и измеряют время их отправки, а на принимающей станции измеряют время их приема и определяют величину задержки, по которой производят декодирование для обнаружения подслушивания [11];

– посылки в канал связи классических синхронизирующих лазерных импульсов, формирование на передающей станции серии однофотонных состояний при помощи фазово-временных преобразований [12].

В настоящее время уже невозможно полностью реализовать современные требования к защите линий электропередачи классическими криптосистемами, которые основаны на математических методах и моделях для обеспечения конфиденциальности информации. Поэтому наиболее перспективными являются квантовые криптографические системы, основанные на принципах квантовой физики.

### **Результаты**

В результате проведённого патентного исследования была осуществлена оценка технического уровня систем квантового распределения ключей и выделены основные тенденции развития объектов изобретений в области квантовой криптографии в России.

### **Заключение**

В ходе патентного поиска была найдена достаточно большое количество патентов в области квантовой криптографии, большая часть которых зарегистрированы США, Китае, Англии, Корее, а также в Канаде. Однако и среди российских предприятий имеется много владельцев интеллектуальной собственности на данные объекты.

Согласно результатам исследований, проведенных в области квантовой теории информации и анализа квантовых систем, которые уже могут быть применены на практике, квантовая теория информации имеет прекрасные перспективы в криптографии, которая охватывает очень широкий круг проблем в этой области. Эти новые методы основаны на свойствах квантовой природы канала, но применение новых принципов и методов защиты информации имеет ряд недостатков.

### **Литература**

1. Баричев С.Г, Серов Р.Е. Основы современной криптографии: Учебное пособие. М.: Горячая линия. Телеком. 2002.
2. Пат. RU 2235434 (C2), МПК7 H04B 10/30. Способ передачи информации на основе нелокальной квантовой корреляции между частицами в перепутанном квантовомеханическом состоянии// Мордовин А.А. (RU), Дмитриев С.В. (RU); заявитель и патентообладатель Мордовин А.А. (RU), Дмитриев С.В. (RU). No. 2002107914/09; заявл. 20.09.2003; опубл. 27.08.2004. 2 с.
3. Пат. RU 2517408 (C2), МПК7 H04L 9/08, G06F 21/62. Распространение криптографического секретного ключа//рудлэнд Филип А. (NL), Дризен Бас (NL),

- Джэмисон Филип А. (NL); заявитель и патентообладатель Конинклейке филипс электроникс Н.В. (NL). No. 2011109211/08; заявл. 06.08.2009; опубл. 27.05.2014. 2 с.
4. Пат. RU 2520419 (C1), МПК7 H04K 1/00. Высокоскоростная оптическая линия, защищенная от прослушивания квантовым шумом//Самарцев И. Э. (RU); заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-техническое объединение "ИРЭ-Полус" (ООО НТО "ИРЭ-Полус") (RU). No. 2012149780/08; заявл. 22.11.2012; опубл. 27.06.2014. 2 с.
  5. Пат. RU 2325039 (C2), МПК7 H04L 1/08, H04L 9/08. Способ кодирования и передачи криптографических ключей// Молотков С. Н. (RU), Кулик С.П. (RU); заявитель и патентообладатель Молотков С. Н. (RU), Кулик С.П. (RU). No. 2006119652/09; заявл. 06.06.2006; опубл. 20.05.2008. 2 с.
  6. Пат. RU 2325763 (C2), МПК7 H04B 10/12. Способ съема информации с волоконно-оптического канала// Румянцев К.Е. (RU), Новиков В.В. (RU); заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Таганрогский государственный радиотехнический университет" (ТРТУ) (RU). No. 2006126874/09; заявл. 24.07.2006; опубл. 27.05.2008. 2 с.
  7. Пат. RU 2236758 (C1), МПК7 H04B 10/08. Способ обнаружения попытки съема информации с волоконно-оптической линии передачи при использовании квантового зашумления// Шубин В.В. (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (RU). No. 2003110630/09; заявл. 14.04.2003; опубл. 20.09.2004. 2 с.
  8. Пат. RU 2302085 (C1), МПК7 H04L 9/00. Способ кодирования и передачи криптографических ключей// Молотков С.Н. (RU), Кулик С. П. (RU); заявитель и патентообладатель Институт физики твердого тела РАН (RU). No. 2005135476/28; заявл. 16.11.2005; опубл. 27.06.2007. 2 с.
  9. Пат. RU 2454810 (C1), МПК7 H04L 9/08. Устройство квантовой рассылки криптографического ключа на поднесущей частоте модулированного излучения// Мазуренко Ю.Т. (RU), Орлов В.В. (RU), Рупасов А.В. (RU), Глейм А.В. (RU), Егоров В.И. (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" ("НИУ ИТМО") (RU). – No. 2010147936/08; заявл. 24.11.2010; опубл. 27.06.2012. 2 с.
  10. Пат. RU 2566664 (C1), МПК7 H04L 9/00. Способ квантовой криптографии с использованием пассивных отражающих и перенаправляющих элементов, располагаемых на космических аппаратах// Сайгин М.Ю. (RU), Проценко И.Е. (RU), Фирсов В.В. (RU), Магницкий С.А. (RU); заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Лаборатория оптико-электронных приборов" (ООО "ЛОЭП") (RU). No. 2014113636/07; заявл. 08.04.2014; опубл. 27.10.2015. 2 с.
  11. Пат. RU 2325039 (C2), МПК7 H04L 1/08, H04L 9/08. Способ кодирования и передачи криптографических ключей// Молотков С.Н. (RU), Кулик С.П. (RU); заявитель и патентообладатель Молотков С.Н. (RU), Кулик С.П. (RU). No. 2006119652/09; заявл. 06.06.2006; опубл. 20.05.2008. 2 с.
  12. Пат. RU 2427926 (C2), МПК7 H04L 1/08, H04L 9/08. Способ кодирования и передачи криптографических ключей// Молотков С. Н. (RU), Кулик С. П. (RU); заявитель и патентообладатель Молотков С. Н. (RU), Кулик С. П. (RU). No. 2006119652/09; заявл. 06.06.2006; опубл. 20.05.2008. 2 с.



**Бибиков Сергей Викторович**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: sbib@bk.ru



**Калинкина Мария Евгеньевна**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
аспирант,  
направление подготовки: 09.06.01– Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: mariia\_kalinkina@mail.ru



**Пирожникова Ольга Игоревна**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
к.т.н., ординарный доцент,  
e-mail: cheezecake@mail.ru



**Ткалич Вера Леонидовна**  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
д.т.н., профессор,  
e-mail: Vera\_Leonidovna\_Tkalich@mail.ru

УДК 338.246

**ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
С.В. Бибиков, М.Е. Калинкина, О.И. Пирожникова, В.Л. Ткалич  
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Л. Ткалич**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

### **Аннотация**

В статье рассматривается проблема обеспечения секретности при распределении ключа шифрования. Описан процесс интеграции квантовых ключей в протоколы шифрования данных. Приведены результаты экспериментальных исследований по использованию квантовых ключей в сети передачи данных. Проведен анализ текущего состояния реализации квантового протокола E91 (EPR), а также исследование направлений развития объектов изобретений, использующих данный протокол.

### **Ключевые слова**

Квантовое распределение ключа, протокол E91, постквантовая криптография.

### **Введение**

В настоящее время проблемой обеспечения защиты данных при передаче информации является задача распределения секретного ключа между двумя удаленными пользователями, каждый из которых генерирует одинаковый набор битов, который используется в качестве криптографического ключа [1]. Для обеспечения абсолютной конфиденциальности необходимо выполнить несколько условий: ключ используется только один раз, этот ключ должен быть случайным, а его длина больше или равна длине зашифрованного сообщения.

Вопросы безопасности основаны на предположении, что компоненты системы распределения квантовых ключей идеализированы. На практике необходимы недостатки устройств передачи информации, которые могут поставить под угрозу безопасность, если эти недостатки не совсем понятны.

Информация, передаваемая по каналам данных, шифруется с использованием криптосистем с открытым ключом, принципом которого является использование двух разных ключей (открытого и закрытого). С одной стороны, эти криптографические протоколы основаны на математически сложных задачах, которые могут не иметь эффективных алгоритмов решения. С другой стороны, квантовая криптография может стать опасной из-за быстрого развития суперкомпьютеров и перспектив появления квантовых компьютеров. В отличие от криптографических алгоритмов, безопасность физического уровня основана на условиях, при которых нарушитель (устройство прослушивания) обладает неограниченной вычислительной мощностью, но законный получатель имеет физическое преимущество перед устройством прослушивания.

### **Основная часть**

Квантовая механика может обеспечить решение проблемы распределения ключей. При распределении квантовых ключей между Алисой и Бобом ключ шифрования генерируется случайным образом с использованием неортогональных квантовых состояний. В квантовой механике существует квантовая теорема об отсутствии клонирования, которая гласит, что для каждого человека, включая «подслушивание», в принципе невозможно сделать еще одну копию неизвестного квантового состояния. Следовательно, любая попытка злоумышленника получить ключевую информацию во время распространения квантовых ключей приведет к помехам, которые могут обнаружить Алиса и Боб. Например, они могут проверить частоту ошибок по битам случайной выборки необработанных данных передачи.

В настоящее время появилось два новых подхода к решению проблемы защиты информации [3-7]. Один (постквантовый криптографический) подход - предлагает использовать различные алгоритмы шифрования, основанные на математических моделях, которые сложны как для классических, так и для квантовых вычислений. Другой подход (квантовая криптография) служит для обеспечения конфиденциальности информации и основан на основных законах квантовой механики. Квантовая криптография делится на несколько областей:



- квантовые технологии передачи данных;
- технологии распределения квантовых ключей;
- квантовое шифрование;
- технологии квантовой цифровой подписи;
- технология квантового хеширования.

Решение проблемы безопасности классических криптографических методов основано на математических законах и теоретически ограничено вычислительными навыками, доступными злоумышленнику. Решение проблемы секретности на физическом уровне при распределении ключей заключается в применении принципов квантовой криптографии, которые основаны на законах квантовой физики и предполагают процесс кодирования квантового состояния отдельных частиц. Проблемы безопасности квантовых криптографических систем основаны на основных законах квантовой механики, что исключает несанкционированное удаление информации, передаваемой третьим лицам.

Среди перспективных областей квантовой криптографии особое внимание в последнее время уделяется использованию «запутанных состояний» при создании секретного ключа (протокол E91). Второе имя E91, связанное с первыми буквами имен ученых Эйнштейна, Подольского, Розенберга - EPR. Принцип протокола заключается в следующем: два наблюдателя получают фотоны, испускаемые атомом в противоположных направлениях. Фотоны имеют излучение с неопределенной поляризацией, но все оси их симметрии противоположны. Характерным эффектом ЭПР является то, что поляризация фотоном может быть определена только после измерения. Этот эффект обеспечивает безопасность передачи и хранения ключа шифрования.

По существу эквивалентный протокол с использованием корреляции Эйнштейна-Подольского-Розена (EPR) был разработан Артуром Эккертом [1] и Беннеттом, Brassардом и Мермином [1]. Чтобы воспользоваться преимуществами корреляции ЭПР, частицы подготовлены к «запутыванию». Это означает, что, хотя они очень далеко друг от друга, они не являются независимыми друг от друга.

В своей работе 1991 года Экерт [1] предположил, что безопасность этого двухбитного протокола основана на неравенстве Белла, доказывая, что некоторые корреляции, предсказанные квантовой механикой, не могут быть воспроизведены локальной теорией. Алиса и Боб могут использовать третью базу для этой цели. Это уменьшит вероятность того, что они смогут выбрать ту же платформу, но соберет достаточно данных для проверки неравенства Белла при установке ключа. В следующем году Беннетт, Brassард и Мермин [1] раскритиковали письмо Экерта, утверждая, что нарушение неравенства Белла не было необходимым для безопасности квантовой криптографии и акцента на тесной связи между Эккертом и BB84. Эта критика квантовой криптографии может опустить важный момент. Хотя точная связь между безопасностью и неравенством Белла еще полностью не выяснена, есть явные результаты, которые создают захватывающие связи.

Этапы протокола разработки закрытого ключа с использованием EPR-корреляции запутанных фотонов описаны ниже.

- Алиса создает пары поляризованных фотонов ЭПР, сохраняя одну частицу для себя и отправляя другую частицу Бобу в каждой паре;
- Алиса случайным образом измеряет поляризацию каждой частицы, записывает каждый тип измерения и измеренную поляризацию;
- Боб случайным образом измеряет каждую полученную им частицу, записывает каждый тип измерения и измеренную поляризацию;

– Алиса и Боб рассказывают друг другу, какие типы измерений использовались, и сохраняют данные для всех пар частиц, где они выбрали один и тот же тип измерения;

– Оставшиеся данные преобразуются в битовую строку.

Одно важное различие между методами BB84 и EPR заключается в том, что в BB84 ключ, созданный Алисой и Бобом, должен храниться классически до его использования. Используя метод EPR, Алиса и Боб потенциально могут сохранить подготовленные запутанные частицы, а затем измерить их и создать ключ непосредственно перед тем, как они захотят его использовать.

Намерение состоит в том, чтобы заменить квантовый канал, переносящий два кубита от Алисы до Боба, на канал, который переносит два кубита из общего источника, одного Алису и одного Боба. Первая возможность состоит в том, что источник всегда передает два кубита в одном и том же состоянии, случайно выбранных из четырех состояний протокола BB84. Затем Алиса и Боб измерили свой квадрат на одной из двух баз, снова выбранных независимо и случайным образом. Затем источник объявляет базы данных, и Алиса и Боб сохраняют данные, только если они провели измерения совместимым образом. Если источник надежен, этот протокол эквивалентен протоколу BB84: как если бы вывод время от времени заканчивался от Алисы к источнику, а затем к Бобу [2].

Когда Алиса и Боб используют одну и ту же основу в половине случаев, их результаты совпадают и дают общий ключ.

Реализация квантового распределения в комплексе аппаратного и программного обеспечения называется системами распределения квантовых ключей.

Ключевые файлы материалов создаются в памяти АМ благодаря специализированному программному обеспечению.

Используя специализированное программное обеспечение, файлы с ключевым материалом создаются в памяти аппаратных модулей, и особенность этой схемы состоит в том, что файлы и их содержимое не передаются непосредственно по сети, а создаются на этом оборудовании.

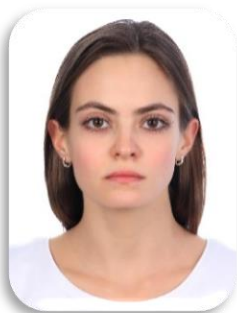
### **Заключение**

В этой статье мы проанализировали использование квантовых технологий в области информационной безопасности. Результатом анализа стало обнаружение того, что после создания квантового компьютера классическая криптография станет неэффективным способом защиты информации. Поэтому появился новый подход к информационной безопасности - квантовая криптография. Квантовая криптография - процветающая отрасль в области информационной безопасности. Квантовая криптография - один из самых надежных способов защиты информации, основанный на законах физики. Систематизация патентов была проведена в соответствии с несколькими признаками объектов изобретения, направленных на повышение эффективности передачи данных и устранение недостатков предшествующего уровня техники.

### **Литература**

1. Плёткин А.П., Рудинский Е.А. Тенденции развития систем квантового распределения ключа. Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2016. № 6-2. С. 171-176.
2. Марченко Д.С. Квантовая криптография: метод квантового распределения ключей, Станции: "Алиса", "Боб" Теория и практика современной науки. 2016. № 6-1 (12). С. 857-860.

3. Пат. RU 2706175 (С1), МПК7 H04L 9/08, G06F 21/72. Способ квантового распределения ключей в однопроходной системе квантового распределения ключей// Втюрина А.Г., Балыгин К.А., Зайцев В.И., Климов А.Н., Кулик С.П., Молотков С.Н.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Информационные технологии и коммуникационные системы". No. 2018146854; заявл. 27.12.2018; опубл. 14.11.2019. 2 с.
4. Румянцев К.Е., Плёткин А.П. Повышение эффективности алгоритма вхождения в синхронизм системы квантового распределения ключей. Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 8 (169). С. 6-18.
5. Лойко В.И., Хисамов Ф.Г., Бобылев М.В., Власов К.Е. Квантовые системы распределения ключей: физические основы, протоколы, перспективы применения. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 119. С. 938-956.
6. Курочкин В.Л., Зверев А.В., Курочкин Ю.В., Рябцев И.И., Неизвестный И.Г., Ожегов Р.В., Гольцман Г.Н., Ларионов П.А. Распределение квантового ключа на дальние дистанции по оптоволокну со сверхпроводящими детекторами. Автометрия. 2015. Т. 51. № 6. С. 17-22.
7. Румянцев К.Е. Синхронизация в системе квантового распределения ключа с автоматической компенсацией поляризационных искажений. Телекоммуникации. 2017. № 2. С. 32-40.



**Козлова Анастасия Дмитриевна**

Год рождения: 2000

Университет ИТМО,

факультет инфокоммуникационных технологий,

студент группы №К3343,

направление подготовки: 45.03.04 – Интеллектуальные  
системы в гуманитарной сфере,

e-mail: stasia.kozlova@gmail.com

УДК 004.912

## **СЕМАНТИКА ПРЕДЛОЖНЫХ ГРУПП**

**А.Д. Козлова**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент К.К. Боярский<sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

### **Аннотация**

В работе рассмотрены принципы функционирования семантико-синтаксического парсера SemSin, предназначенного для извлечения информации из текстов. При решении данной задачи возникает ряд сложностей, одной из которых является неоднозначность семантики предложных групп. Описан алгоритм использования классификации предложных групп по Г.А. Золотовой для отладки работы парсера SemSin и предложены принципы построения новой классификации, необходимой для минимизации ошибок в распознавании предложных групп при обработке парсером массивов текста.

### **Ключевые слова**

Анализ текста, парсер, дерево разбора, семантика, предложные группы.

Стремительное развитие искусственного интеллекта предполагает постепенный синтез технологического и человеческого во всех сферах жизни, в том числе и в естественном языке. Заполняя существенный слой ноосферы автоматизированной копией себя – роботами, машинами и механизмами – человек обучает их взаимодействию со всеми человеческими проявлениями, подобно тому, как Прометей прививал первичные навыки существования своим ожившим глиняным фигуркам. Процесс обучения искусственного интеллекта сложен и многоступенчат, и один из важнейших его аспектов – адаптация естественного языка для машинной обработки. Для этих целей и существует парсер. В общем смысле парсер представляет собой анализатор, который получает на входе массив данных и на выходе предоставляет их в структурированном формате. В контексте лингвистики он определяется как программа для обработки текста, вычленяющая структуру текста и преобразующая его в заданный вид. Лингвистический парсер является, например, частью программы любого онлайн-переводчика, использующего машинный перевод.

Семантико-синтаксический парсер русскоязычных текстов SemSin был разработан К.К. Боярским и Е.А. Каневским как программа с открытым типом управления [1]. Функционирование основано на наборе продукционных правил [2]. Разберёмся в терминологии: что подразумевается под словосочетанием «семантико-синтаксический»? Семантический анализ выявляет смысловые значения отдельных токенов, то есть языковых единиц, на которые разбивается текст, а синтаксический анализ сопоставляет последовательность токенов с грамматикой языка. Иначе говоря, с

помощью семантического анализа определяется смысл каждого отдельного слова, а с помощью синтаксического – грамматические связи между словами. Составных частей парсера всего четыре: словарь (за основу был взят Семантический словарь русского языка В.А. Тузова), морфологический анализатор, продукционные правила и лексический анализатор, служащий ядром всей системы [3].

SemSin преобразует линейный текст на естественном языке в дерево зависимостей, записанное в формате xml. В этом файле содержится информация о грамматических характеристиках слова (лемма, род, число, падеж, ...), связях слов в предложении и семантических классах. Парсер может работать со сложносочинёнными предложениями, справляясь и с несколькими десятками основ, и с обилием придаточных частей.

Так как SemSin имеет дело с естественным языком, неизбежны проблемы функционирования программы, сталкивающейся с неоднозначностью человеческой речи. Ключевой проблемой является омонимия – совпадение слов по написанию, но различие их по значению. Примером может служить слово «среда»: в первом значении это пространство существования, например, «среда обитания», во втором – день недели. Омонимия зачастую является существенным препятствием к правильному анализу текста, ведь от значения слова (семантики) во многих случаях зависит его грамматическое сопряжение с остальными частями предложения (синтаксис).

Существует ещё одна проблемная для работы парсера разновидность омонимии – совпадение различных словоформ. Слово при склонении образует одинаковые словоформы, совпадение которых значительно усложняет задачу верного истолкования смысла, следствием чего является неверный синтаксический разбор. Возьмём для примера слово «плантация». И в предложном падеже единственного числа, и в винительном падеже множественного образуется одинаковая словоформа «плантации»: *На плантации* (единственное число, вопрос Где?) *собирают урожай* и *На плантации* (множественное число, вопрос Куда?) *завезли семена хлопка*.

Также много сложностей связано с предлогами и предложными конструкциями. Предлог, незначительная часть речи только на первый взгляд, может иметь множество значений: у предлога «в» в классификации по Золотовой наблюдается двадцать три значения [4]. Сталкиваемся с возможностью той же ошибки: неверный синтаксический анализ из-за неверно определённой семы (значения). Так как предлоги не склоняются и большинство из них состоит всего из одной-двух букв, при анализе нет возможности опираться на морфему – корень или окончание. По этой причине, определение семантики предложных групп является одной из самых сложных задач в отладке правильного функционирования парсера.

Текущая задача по дальнейшему развитию SemSin как раз и состоит в поиске путей наиболее успешной обработки предлогов программой. Классификация – основополагающий этап в процессе решения любой задачи. Учитывая, что значение предлога определяет вид его сопряжения с другими частями речи, мы приходим к выводу о необходимости подробного рассмотрения каждого значения предлога и сравнения его с другими значениями для нахождения закономерностей синтаксиса. Отсюда следует и необходимость в классификации, которая имела бы разумно подобранную основу и отвечала требованиям совместимости с машинной обработкой.

На данный момент, для отладки парсера используется уже созданная классификация предлогов по значению, предложенная Г.А. Золотовой. Отметим, что в первую очередь нас интересуют простые непроеизводные предлоги, так как именно они обладают самым широким семантическим спектром; таких предлогов всего двадцать четыре. Для наглядности рассмотрим подробно один из них, предлог «через». По Золотовой, он обладает четырьмя значениями: Транзитив, Дименсив, Темпоратив и Медиатив. Приведем пример словосочетания для каждого из значений в таб. 1.

**Семантика предлога «через» по Золотовой**

Значение	Транзитив	Дименсив	Темпоратив	Медиатив
Словосочетание	несёт через леса	оказался через дорогу	<i>прибудет через минуту</i>	следить через иллюминаторы
Расшифровка значения	обозначение пути движения или предмета, служащего препятствием движению	мера расстояния между двумя предметами	обозначение расстояния во времени между двумя событиями или между повторяющимися действиями или явлениями	обозначение средства или способа

Очевидно, что один предлог может принимать абсолютно разные смыслы в зависимости от контекста. Какие же выводы мы можем извлечь из этой классификации? Распределив предлоги по значениям и подобрав достаточное количество примеров словосочетаний для каждой группы, необходимо проанализировать сферу их употребления. К примеру, можно заметить, что для какой-либо из групп характерна связка со статическими глаголами или же, наоборот, с глаголами движения; что предлоги определённого значения обязательно связаны с числительными, и так далее; таким образом, задача сводится к поиску закономерности связки предлога с конкретными классами слов, а также прочих закономерностей. Когда же закон связи обнаружен, можно приступать к выявлению особенностей синтаксиса для каждого значения и совершенствовать продукционные правила SemSin с учётом этих особенностей.

Однако в контексте дальнейшего развития парсера необходимо иметь в виду, что классификация Г.А. Золотовой не была создана в целях прикладного использования; к тому же, для некоторых предлогов выделены даже самые редко встречающиеся значения: учитывать каждое из них в написании продукционных правил невозможно, поэтому нужно принимать во внимание частоту их встречаемости. Возникает необходимость, во-первых, в адаптации и переработке этой классификации для использования её в SemSin и, во-вторых, в создании собственной классификации предлогов в будущем: она будет основана на распределении предлогов не по смыслу, а по их синтаксическим особенностям, ведь продукционные правила пишутся именно с учётом грамматики. На данном этапе разрабатывается более детальная смысловая классификация, которая может стать ключом к дальнейшему построению грамматической: пример распределения предлога «через» по смыслу приведён в таб. 2.

Эта классификация является более подробной, нежели классификация Золотовой, но основывается примерно на тех же принципах распределения по значению. Следующим шагом здесь также является поиск грамматических закономерностей для каждой группы, что в данном случае легче и плодотворнее. Предложенное распределение может стать основой для создания в будущем классификации именно по синтаксическим характеристикам.

Анализ предложных групп позволяет уточнять разбор предложения за счёт исключения семантических конструкций, которые формально правильны, однако на практике не употребляются. Например, в словосочетании *присматривать за сестрой* предложная группа присоединяется к глаголу связкой «Где», тогда как правильно было бы задать вопрос *присматривать – за кем? – за сестрой*. Подобные ошибки

устраняются путём исправления продукционных правил; крайне важно выявлять и устранять эти неточности.

Таблица 2

**Подробная классификация семантики предлога «через»**

Группа	Подгруппы	Примеры
Значение «Сквозь»	через = сквозь	идти через лес пройти через испытание
	через = мера покрытия пространства	процессия тянулась через всё село шрам через половину лица
	через = остановка в пути	полететь через Копенгаген
	через = средство + сквозь	пить через трубочку смотреть через телескоп
Значение «Препятствие»	через = препятствие	перейти через дорогу перевалить через хребет
	через = мера расстояния	жить через дорогу через два квартала от нас
	через = преодоление	через боль
	через = по прошествии	через 1 километр остановка через две недели через некоторое время
	через = чередование	через один сутки через трое
Значение «Средство»	через = посредством	добиваться цели через воздействие действовать через внушение
	через = посредник	передать через Васю

SemSin – не единственный русскоязычный парсер, существуют подобные анализаторы, работающие с текстами на русском языке. К примеру, лингвистический процессор ЭТАП-4 был разработан ИПИ РАН, одна из его функций заключается в построении дерева разбора; ещё один анализатор rphrase предназначен для работы с предложными конструкциями [5]. При сравнении разборов одного и того же текста, выполненных SemSin и какой-либо из вышеназванных программ, периодически обнаруживаются ошибки – обоюдно. Однако точность разбора SemSin неуклонно повышается за счёт последовательного совершенствования продукционных правил, что заметно сокращает количество ошибок.

В заключение отметим, что для успешной отладки функционирования парсера SemSin (как, собственно, и любого другого лингвистического парсера) необходима детальная проработка процесса анализа предложных групп. Предлоги связывают части предложения воедино, определяя тип их грамматического сопряжения, поэтому изучение семантики предложных групп поможет свести количество ошибок к минимуму. Таким образом, грамотная классификация предлогов придаст импульс скорейшему развитию коммуникативной сферы русскоязычного искусственного интеллекта.

**Литература**

1. Боярский К.К., Каневский Е.А. Семантико-синтаксический парсер SemSin // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 5. С. 869–876.

2. Боярский К.К., Каневский Е.А. Система продукционных правил для построения синтаксического дерева предложения. Прикладна лінгвістика та лінгвістичні технології: MegaLing-2011. Киев: Довіра. 2012. С. 73–80.
3. Тузов В.А. Компьютерная семантика русского языка. СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та. 2004. 400 с.
4. Золотова Г.А. Синтаксический словарь. М.: Едиториал УРСС. 2006. 450 с.
5. Лингвистический процессор ЭТАП-4 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.proling.iitp.ru/ru/etap4> (дата обращения: 22.02.2020).





**Лихтенберг Анкель Мари**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
студент группы N41515с,  
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная  
безопасность,  
e-mail: bel.kavalini@yandex.ru



**Любавина Полина Юрьевна**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет безопасности информационных технологий,  
студент группы N41515с,  
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная  
безопасность,  
e-mail: liubavina.polina@yandex.ru

УДК 004.021

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ  
В МАЛОМОЩНЫХ ИОТ-УСТРОЙСТВАХ**

**А.М. Лихтенберг, П.Ю. Любавина**

**Научный руководитель – д.т.н., доцент С.В. Беззатеев <sup>1</sup>**

**1 – Университет ИТМО**

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

**Аннотация**

В работе проведен анализ IoT-устройств, проведена их классификация и предложены методы обеспечения достоверности информации в сетях интернета вещей в зависимости от технических возможностей устройств.

**Ключевые слова**

Децентрализованные сети, интернет вещей, технология Блокчейн, информационная безопасность, целостность информации.

На сегодняшний день в мире существует много различных определений интернета вещей. Министерство Цифрового развития РФ трактует понятие следующим образом: интернет вещей – это система объединенных компьютерных сетей и подключенных физических объектов (вещей) со встроенными датчиками и ПО для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека [1]. В соответствии с определением Консорциума Всемирной Сети интернет вещей включает в себя датчики и исполнительные механизмы, физические объекты, их местоположение, и даже людей. В своей основе это ролевая функция веб-технологий по содействию в разработке

приложений и услуг для различных устройств и их виртуального представления [2]. Интернет вещей способен обеспечивать общество необходимой информацией в кратчайшие сроки, решать бытовые вопросы и значительно облегчать жизнь людей. Исследователи утверждают, что уровень безопасности умных устройств не достаточен, и призывают производителей уделять этому вопросу больше внимания [3].

IoT-устройства создают с разными целями, но безопасность передаваемых в сети данных важна в каждом случае. В современных работах определяют следующие классы устройств: устройство переноса данных (data-carrying device), устройство хранения данных (data-capturing device), контрольно-измерительная аппаратура (sensing and actuating devices), устройство общего назначения (general device) [4]. Умные устройства – очень широкая категория вещей, которые являются абсолютно разными по мощности, объёму памяти, энергозатратам и прочим характеристикам. В связи с этим в рамках статьи было принято решение рассматривать устройства, разделённые на несколько классов: мощные, средней мощности и маломощные. К классу мощных устройств относятся устройства, требующие для операций больших затрат оперативной памяти и вычислительных мощностей. Устройства этого класса требуют постоянного питания от сети или ёмкого аккумулятора. К классу устройств средней мощности относятся устройства, обрабатывающие данные перед их отправкой на более мощное устройство (например, фитнес-браслет обрабатывает данные о сделанных шагах и отправляет их на смартфон) и выполняющие вычисления, не требующие больших вычислительных мощностей. К классу маломощных устройств относятся датчики, лампы и другие устройства, для выполнения основной функции которых требуется в основном передача данных на более мощные устройства.

Для каждого класса устройств необходимы свои меры защиты от угроз целостности передаваемой в сети информации: способы зависят от вычислительных мощностей, оперативной памяти и питания устройства.

Для нейтрализации угроз безопасности применяются алгоритмы авторизации и идентификации, производится шифрование передаваемых и хранимых данных, проводится аудит систем и применяется антивирусное программное обеспечение. Но не все устройства и приложения обладают высокой производительностью, поэтому применение криптостойких алгоритмов не всегда является возможным.

Мы предлагаем использование одноразовых подписей: подпись Лампорта и подпись Меркла. Например, для маломощных устройств будет использоваться подпись Лампорта, для устройств средней мощности – подпись Меркла.

*Подпись Лампорта.* В криптографии схема подписи Лампорта [5] (схема одноразовой подписи Лампорта) является методом построения цифровой подписи. Подписи Лампорта могут быть построены из односторонней функции; в основном используется криптографическая хеш-функция.

*Построение подписи Лампорта.* Пусть  $k$  положительное число, пусть  $P = \{0,1\}^k$  набор сообщений и пусть  $f: Y \rightarrow Z$  — односторонняя функция. Для каждого  $1 \leq i \leq k$  и  $j \in \{0,1\}$ , сторона, подписывающая сообщение, случайно выбирает  $y_{i,j} \in Y$  и вычисляет  $z_{i,j} = f(y_{i,j})$ . Секретный ключ  $K$  состоит из  $2^k$  значений  $y_{i,j}$ . Открытый ключ состоит из  $2^k$  значений  $z_{i,j}$

Пусть  $m = m_1 \dots m_k \in \{0,1\}^k$  – сообщение. Подпись сообщения — это  $sign(m_1 \dots m_k) = (y_1, m_1, \dots, y_k, m_k) = (s_1, \dots, s_k)$ . Проверка: сторона проверяет  $f(s_i) = z_i, m_i$  для всех  $1 \leq i \leq k$ .

Одним из преимуществ одноразовой подписи Лампорта является её построение на любой односторонней функции, а также быстрота в проверке и подписании сообщения. Но схема имеет и ряд недостатков, например, одноразовость ключей и схема имеет большой размер подписи и пары из открытого и закрытого ключей.

*Подпись Меркла.* Схема подписи Меркла [6] – схема цифровой подписи, основанная на дереве Меркла и одноразовой подписи, например подписи Лампорта.

Подпись Меркла основывается на одноразовой цифровой подписи, принцип построения которой описан в предыдущем примере (подпись Лампорта).

Далее происходит генерация массивов ключей  $X$  (закрытый ключ) и  $Y$  (открытый ключ) длины  $N = 2^n$ . Для генерации открытого ключа строится дерево Меркла: вычисляется хеш-значение  $H(Y_i)$  для каждого  $Y_i$ . Далее вычисляются «слои» дерева, где нулевой «слой» содержит  $l_0 = 2^n$  элементов, далее каждый следующий  $i$ -ый слой, имеет длину  $l_i = 2^{n-i}$  и вычисляется через  $i-1$ -ый слой. В итоге, приходим к последнему «слою», имеющему длину  $l_n = 1$ , являющемуся корнем дерева. За открытый ключ берется корень построенного дерева Меркла.

Чтобы вычислить путь от корня дерева достаточно знать  $Y_i$  и массив вершин который называется аутентификационным путем. Таким образом, в подпись сообщения  $d$  входит: верификационный ключ  $Y_i$ , одноразовая подпись  $b_i$  и аутентификационный путь для вычисления пути до корня дерева.

Преимуществом подписи Меркла является то, что она основана на стойкости криптографической хеш-функции и стойкости одноразовой цифровой подписи. К недостаткам относятся вычисления аутентификационных данных, которые требуют много памяти.

Таким образом, в статье был проведён анализ классов IoT-устройств, определены способы защиты для устройств в зависимости от класса его мощности и рассмотрены средства защиты передаваемой информации в виде одноразовых подписей. Были рассмотрены одноразовые подписи Лампорта и Меркла, а также предложено их применение в зависимости от класса устройства.

### Литература

1. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, Концепция построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории РФ.
2. WEB OF THINGS AT W3C [Электронный ресурс] W3C URL: <https://www.w3.org/WoT/> (дата обращения: 21.03.2020).
3. Ronen E., Shamir A., Weingarten A. and O’Flynn C., "IoT Goes Nuclear: Creating a Zigbee Chain Reaction," in IEEE Security & Privacy, vol. 16, no. 1, pp. 54-62, January/February 2018.
4. Коновалова С.В., Миронов А.Н. Аспекты информационной безопасности интернета вещей // ИТ-Стандарт. 2016. Т. 1. № 4 (9). С. 49-51.
5. Lamport L. Constructing Digital Signatures from a One Way Function. CSL- 98, SRI International Computer Science Laboratory. 1979.
6. Buchmann, Johannes, CMSS—an improved Merkle signature scheme // International Conference on Cryptology in India – Springer Berlin Heidelberg. 2006. С. 349-363.



**Прокопенко Надежда Алексеевна**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
студент группы № P42722,  
направление подготовки: 09.04.02 – Информационные  
системы и технологии,  
e-mail: Nyutatos@yandex.ru



**Каяшева Татьяна Васильевна**

Год рождения: 1996  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
студент группы № P42721,  
направление подготовки: 09.04.02 – Информационные  
системы и технологии,  
e-mail: kayasheva@gmail.com



**Локалов Владимир Анатольевич**

Год рождения:  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
к.пед.н., доцент,  
e-mail: lokalov@itmo.ru

УДК 780.71

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОСПРИЯТИЯ МУЗЫКИ  
С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ**

**Н.А. Прокопенко, Т.В. Каяшева, В.А. Локалов**

**Научный руководитель – к.пед.н., доцент В.А. Локалов**

Работа выполнена в рамках темы НИР №643202 «Принципы восприятия музыкальной формы с помощью средств компьютерной графики».

**Аннотация**

В работе описывается эксперимент, целью которого было исследование процесса восприятия музыки. В этом эксперименте испытуемые должны были фиксировать свои музыкальные впечатления с помощью средств компьютерной графики. Указанный способ позволил отследить ряд существенных показателей, определяющих способ и результат музыкального восприятия испытуемого таких, как уровень внимания, а также воздействие различных средств музыкальной выразительности. Результаты эксперимента могут послужить основой для разработки принципов визуализации музыкальных произведений, способствующих как организации внимания слушателей, так и восприятию формы музыкальных произведений.

### Ключевые слова

Средства музыкальной выразительности, внимание, музыкальная форма, графическая интерпретация, восприятие.

Известно, что общее музыкальное воспитание способствует развитию не только эстетических, но и интеллектуальных способностей. Однако, в последнее время в связи с доминированием визуальной информации в медиа-средах, обнаружились проблемы, связанные с восприятием музыкальных произведений, особенно эти проблемы касаются восприятия сложно структурированной классической музыки и произведений, относящихся к музыкальному авангарду. Одним из возможных решений указанной проблемы является использование средств визуализации как вспомогательного инструмента, способствующего раскрыть выразительность музыкальной формы. Первым шагом на этом пути должна стать разработка такого естественного для слушателя графического языка, который позволил бы отобразить те средства музыкальной выразительности, которые этот слушатель в состоянии воспринять. С этой целью был поставлен эксперимент, в котором испытуемые должны были фиксировать свои музыкальные впечатления с помощью средств компьютерной графики, используя самые простые графические инструменты. В качестве основной модели музыкального восприятия, компоненты которой мы пытались обнаружить в эксперименте, была выбрана модель Генриха Орлова, изложенная в [1]. Им были предложены два основных этапа восприятия музыкальных произведений:

1. Дифференциация (выделение осмысленных музыкальных структур).
2. Синтез (построение целого на основе выделенных структур).

В зависимости от уровня музыкальной подготовки дифференциация может быть:

- тематическая;
- ассоциативная;
- непосредственно музыкальных средств выразительности.

Задачей эксперимента было зафиксировать и отследить с помощью средств компьютерной графики процессы дифференциации и синтеза, а также выявить, какие структурные элементы формы воспринимаются. Эксперимент состоял из 3 этапов:

1. Прослушивание каждым испытуемым отрывков 6-ти музыкальных произведений с целью выбора наиболее понравившегося;
2. Рисование испытуемым в графическом редакторе своих впечатлений, возникающих непосредственно во время прослушивания выбранного произведения;
3. Рисование по воспоминанию: сразу после прослушивания музыкальной композиции.

В эксперименте участвовало 18 человек, 5 из которых имеют музыкальное образование. Для эксперимента были отобраны 6 музыкальных произведений, разных композиторов, относящихся к разными жанрам и эпохам:

1. А. Шнитке– «Тема одиночества».
2. С. Прокофьев– «Джюльетта - девочка (из балета "Ромео и Джульетта")», сочинение 64.
3. М. Мусоргский– «Баба Яга».
4. С. Губайдулина– «Пить».
5. К. Дебюсси– «Arabesque No. 1».
6. Ф. Шопен– Nocturne No. 2 in F-Sharp Major, Op. 15.

На первом этапе эксперимента респондент слушал все отрывки музыкальных произведений, после чего выбирал наиболее понравившийся. Каждый отрывок длился около 20-40 секунд. На втором этапе респонденту предоставлялся графический планшет и настроенная рабочая среда в Adobe Photoshop. Было дано задание, во время

прослушивания музыкального произведения попытаться рисовать «музыку». При этом участник мог использовать только простые фигуры, кисть, а также мог оперировать цветом. На третьем этапе участникам необходимо было нарисовать музыкальное произведение уже по памяти, когда было сформировано некое целостное впечатление от прослушанного.

После эксперимента был проведен анализ способа формирования музыкальной ткани. Эксперимент показал, что существует по крайней мере 3 типа графического отображения при рисовании под музыку:

1) у слушателя нет попытки осмысления музыкального произведения. На рис. 1 представлен пример, когда не происходило осмысления музыкального произведения, респондент погрузился в свой мир;

2) дифференциация только структурных элементов (без связей), синтеза либо нет, либо он крайне субъективен. На рис. 2 представлен пример, когда у слушателя происходила только дифференциация;

3) дифференциация и синтез происходят одновременно: слушатель выделяет структурные элементы и сразу же (в момент прослушивания) строит взаимосвязи с другими элементами, сюжет, некую композицию, формирует единое целое. На рис. 3 представлен пример, когда у слушателя синтез и дифференциация происходили одновременно.



Рис. 1. Нет попытки осмысления музыкального произведения: во время прослушивания (а); рисование по воспоминанию (б)

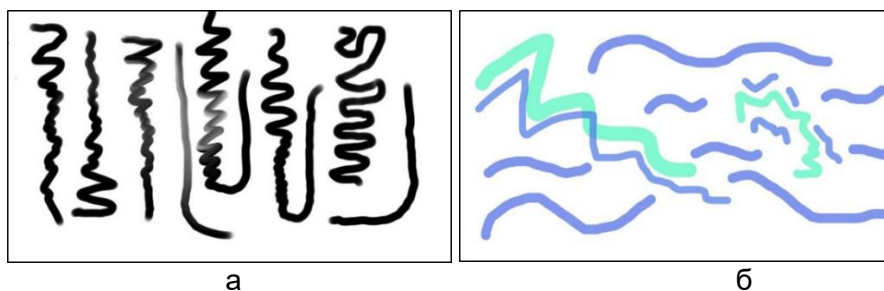


Рис. 2. Дифференциация без синтеза: во время прослушивания (а); рисование по воспоминанию (б)



Рис. 3. Дифференциация и синтез проходят одновременно: во время прослушивания (а); рисование по воспоминанию (б)

В итоге, у 3 испытуемых не было попытки осмысления; у 7 была дифференциация, а у остальных 8 происходила дифференциация и попытка синтеза.

Были также замечены 3 основных способа графического отображения музыкальной формы на последнем этапе эксперимента, когда респонденты рисовали по воспоминанию:

- 1) не получается построить отношения между элементами, нет целого (изображение состоит из разрозненных структурных элементов);
- 2) графическое отображение формы не имеет или имеет незначительное отношение к выделенным ранее структурным элементам;
- 3) построение в основном отражает первоначальную форму, но может быть отчасти переосмыслено.

Критерии, по которым результат 3 этапа был отнесен к различным категориям:

1. Использование выделенных элементов/ приемов рисования.
2. Сохранение композиционного решения.
3. Сохранение образа/сюжета/характерных черт.

В итоге, если при прослушивании происходила дифференциация, то 4 человека смогли из выделенных элементов построить форму, а остальные 3 не смогли. Если при прослушивании была попытка синтеза наравне с дифференциацией, то при переосмыслении формы (на последнем этапе эксперимента) у 4 людей первоначально построенная форма имеет большие отличия с последней, либо же вообще не имеет ничего общего, оставшиеся 4 человека отобразили форму с небольшими изменениями.

Далее был проведен анализ соответствия выделенных графических элементов музыкальным средствам выразительности. Просматривались записи процесса рисования во время прослушивания музыкального произведения, при этом выбранные респондентом графические приемы и элементы соотносились с музыкальным фрагментом и его звучанием с точки зрения средств выразительности. Также анализировался характер рисования. Выбранные средства музыкальной выразительности: темп, ритмический рисунок, динамика, штрихи, регистр, настроение. После анализа были найдены следующие соответствия:

1. Темп:
  - скорость рисования: 100%;
  - плотность штриховки/ линий: 11,1%.
2. Ритмический рисунок:
  - увеличение (уменьшение) амплитуды: 11,1%;
  - заостренность углов: 5,5%.
3. Динамика:
  - увеличивалась амплитуда (размах) линии: 11,1%.
4. Штрихи:
  - при стаккато или нон-легато использовались точки или короткие линии;
  - при стаккато или нон-легато использовались заостренные углы;
  - плавные линии при легато.
5. Регистр:
  - направление линии соответствовало движению по вертикали: 66,7%;
  - темный цвет при низком регистре (или если фраза начинается ниже, чем закончилась предыдущая): 11,1%;
  - если фраза начинается ниже, чем закончилась предыдущая, то начинает рисовать снизу: 5,5%.
6. Настроение:
  - изменение цвета (в основном при темной, напряженной и давящей атмосфере цвет меняется на темный): 11,1%;

– при темной, напряженной и давящей атмосфере начинает рисовать внизу, при этом штриховка учащается: 5,5%.

Анализ 3 этапа эксперимента показал, что на темп, изменение регистра и штрихи реагировало большинство респондентов.

В результате эксперимент показал, что существенные различия в способах графического отображения музыки свидетельствуют о существенных различиях в способах музыкального восприятия. Поэтому при разработке принципов визуализации, способствующей восприятию формы музыкальных произведений, необходимо ориентироваться как минимум на 3 категории слушателей:

1) для тех, кто не в состоянии выделить музыкальные структуры, акцент нужно сделать на привлечении внимания к этим структурам;

2) в состоянии выделить элементы структуры, но не в состоянии построить форму, ее строить на основе выделенных элементов;

3) для тех, кто может построить форму, добавлять отсутствующие элементы структуры.

### **Литература**

1. Орлов Г. Древо музыки. СПб.: Сов. композитор; Вашингтон: Санкт-Петербург. Отд-ние. 1992. 408 с.





**Рыжков Никита Викторович**

Год рождения: 1997  
Университет ИТМО,  
факультет систем управления и робототехники,  
студент группы № R4130,  
направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления  
движением и навигации,  
e-mail: ryzhkov2013@inbox.ru



**Моторин Андрей Владимирович**

Год рождения: 1989  
факультет систем управления и робототехники, доцент,  
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
к.т.н., с.н.с.,  
e-mail: motorin.a@mail.ru

УДК 519.654

**РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ  
АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ В PYTHON**

**Н.В. Рыжков**

**Научный руководитель – к.т.н., с.н.с. А.В. Моторин**

**Аннотация**

В работе рассматриваются возможности реализации и оптимизации алгоритмов оценивания в среде программирования Python. Под задачей оценивания понимается задача определения неизвестных параметров по данным их измерений и информации о моделях измерений и самих оцениваемых параметров. Приведены инструменты решения такой задачи, реализованные в виде библиотек Python, и показаны примеры их использования.

**Ключевые слова**

Алгоритмы оценивания, задачи линейной фильтрации, Python, получение оценки, измерения, параметры.

Современные навигационные и технические системы часто требуют реализации сложных, в том числе адаптивных алгоритмов оценивания и управления [1]. В связи с этим возрастает потребность не только в реализации, но и в средствах моделирования таких систем. Как правило для таких целей традиционно рассматриваются специализированные математические пакеты, такие как MatLab [2]. Однако в настоящее время важным является возможность реализации таких алгоритмов на языках, которые ближе к практической разработке приложений, в частности на языке Python [3].

В связи с этим в работе рассматриваются возможности реализации и оптимизации алгоритмов оценивания в среде программирования Python. Приведены

инструменты решения, реализованные в трех библиотеках Python, и показаны примеры их использования.

Первым рассматриваемым инструментом является библиотека SciPy. SciPy — библиотека для языка программирования Python с открытым исходным кодом, предназначенная для выполнения научных и инженерных расчётов. Библиотека SciPy создана для работы с массивами NumPy и предоставляет множество удобных и эффективных численных методов, таких как процедуры численной интеграции и оптимизации [4].

Основными программными пакетами данной библиотеки являются:

`scipy.constants/scipy.special` – наборы физико-математических констант и функций; `scipy.stats` – набор распределений случайных величин; `scipy.linalg` – процедуры линейной, `scipy.integrate` – интегрирование и решение дифференциальных уравнений; `scipy.fftpack` – преобразование Фурье и все что с ним связано; `scipy.interpolate` – интерполяция; `scipy.ndimage` – пакет для обработки изображений, в том числе многомерных; `scipy.optimize` – большой пакет включающий различные методы поиска минимума функций и оптимизации (включая МНК); `scipy.signal` – огромный пакет посвященный обработке сигналов и линейным фильтрам; `scipy.spatial` – пространственные структуры данных, алгоритмы «ближайшего соседа» и разбиения поверхностей [4].

NumPy – это библиотека языка Python, добавляющая поддержку больших многомерных массивов и матриц, вместе с большой библиотекой высокоуровневых, и очень быстрых, математических функций для операций с этими массивами.

`linalg.multi_dot` – функция для перемножения трех и более матриц с автоматическим определением оптимального порядка операций; `matmul` – функция перемножения матриц, хранящихся в многомерных массивах, без необходимости их перебора в цикле [5].

В качестве примера на рис. 1 приводится реализация работы банка фильтров калмана с помощью этих функций [6].

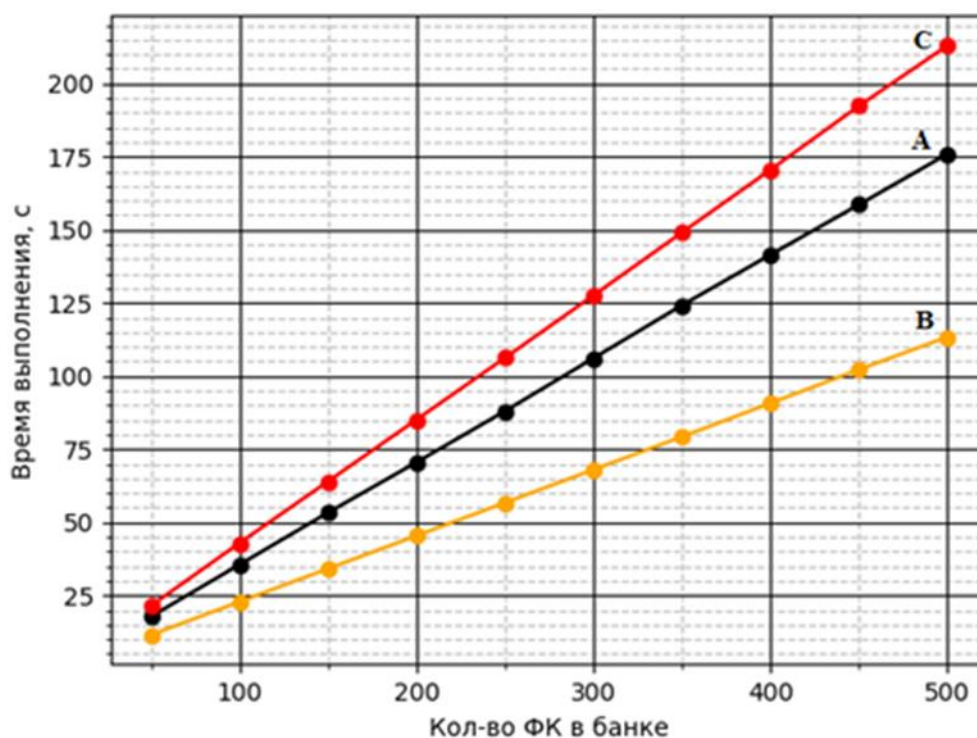


Рис. 1. Зависимость времени выполнения от размера банка ФК

A – использование «dot»; B – использование «matmul»; C – использование «linalg.multi\_dot»

Немаловажным инструментом для реализации алгоритмов оценивания является Jupyter Notebook.

Jupyter Notebook – невероятно мощный инструмент для интерактивной разработки и представления проектов в области наук о данных. Является компонентом пакетов программ SciPy и Anaconda. Это крайне удобный инструмент для проведения экспериментов (как чисто математических, так и связанных с обработкой данных от приборов).

На рис. 2 приведены примеры реализации метода наименьших квадратов (МНК), с помощью данного инструмента.

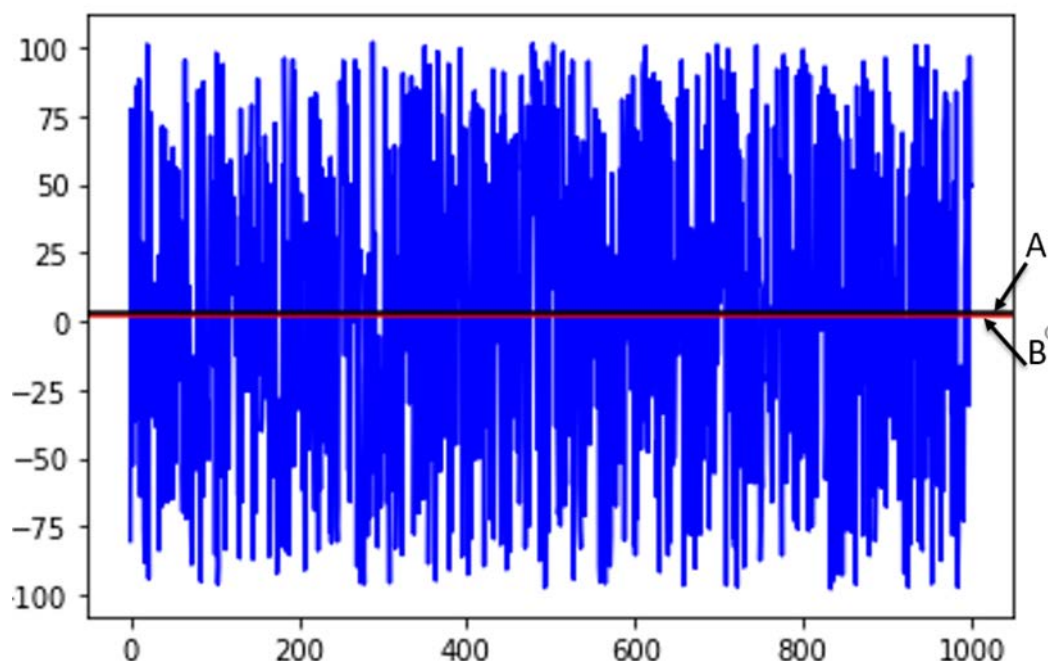


Рис. 2. Построение графика, где: а – значение МНК, в – истинное значение

**Заключение:** в работе рассматриваются возможности реализации и оптимизации алгоритмов оценивания в среде программирования Python. Можно сказать, что Python уже сейчас предоставляет довольно широкий инструментарий для обработки данных и моделирования, который, в скором времени, будет сравним с ведущими пакетами типа MatLab. Помимо этого, множество пакетов разрабатываются сообществом и не включены в SciPy, например, пакет калмановской фильтрации: `rukalman`. Новыми возможностями Python является развитие интерактивной среды типа `jupyter`, предоставляющих новые возможности для обучения. Привлекательным видится объектная ориентированность Python и открытый код предложенных пакетов.

### Литература

1. Методы адаптивного оценивания в задачах обработки навигационной информации / Степанов О.А., Моторин А.В. В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019 Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 1359-1366.

2. Кошаев Д.А. Универсальные Matlab-программы анализа потенциальной точности и чувствительности алгоритмов линейной нестационарной фильтрации / Степанов О.А., Кошаев Д.А. // Гироскопия и навигация. 2004. N 2. С. 81-92.
3. Руководство по Jupyter Notebook [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pythonru.com/baza-znaniij/jupyter-notebook-dlja-nachinajushhih> (дата обращения 10.02.2020).
4. Пять ключевых библиотек для анализа данных на Python [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://techrocks.ru/2018/07/22/5-key-libraries-and-packets-for-data-analysis-in-python/> (дата обращения 11.02.2020).
5. NumPy, часть 1: начало работы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pythonworld.ru/numpy/1.html> (дата обращения 11.02.2020).
6. Смирнов Н.А., Моторин А.В. Вычислительная Оптимизация Алгоритма Идентификации Модели Погрешностей Датчиков // Навигация и управление движением Материалы XX конференции молодых ученых с международным участием. Научный редактор Степанов О.А. Под общей редакцией Пешехонова В.Г. 2018. С. 154-156.



**Тищук Богдана Юрьевна**

Год рождения: 1998  
Университет ИТМО,  
факультет программной инженерии и компьютерной техники,  
студент группы № Р3401,  
направление подготовки: 09.03.01 – Информатика  
и вычислительная техника,  
e-mail: tishuk52@gmail.com



**Быковский Сергей Вячеславович**

Год рождения: 1989  
Университет ИТМО,  
факультет информационных технологий  
и программирования,  
к.т.н., доцент,  
e-mail: sergei\_bykovskii@itmo.ru

УДК 004.3

**АДАПТИВНЫЙ БЛОК ПРЕДВЫБОРКИ ДАННЫХ  
ДЛЯ КЭШ-ПАМЯТИ ПЕРВОГО УРОВНЯ ДЛЯ  
МИКРОПРОЦЕССОРОВ С АРХИТЕКТУРОЙ RISC-V  
Б.Ю. Тищук  
Научный руководитель – к.т.н., доцент С.В. Быковский**

**Аннотация**

В большинстве приложений, ориентированных на обработку больших объемов данных, данные представлены в виде N-мерных массивов. Алгоритмы выборки массивов из памяти имеют регулярный шаблон. Из этого следует, что алгоритмы предвыборки для регулярных шаблонов эффективно работают для достаточно широкого круга задач. Основными преимуществами блоков предвыборки, оптимизированных под регулярные шаблоны, являются низкий трафик между кристаллом и основной памятью и простота аппаратуры. На данный момент алгоритм RPT является одним из самых эффективных алгоритмов для регулярных шаблонов, но имеет ряд недостатков.

В работе предлагается алгоритм, который устраняет недостатки алгоритма RPT: позднюю предвыборку и фиксированную глубину предвыборки и в среднем устраняет 95% кэш-промахов на регулярных шаблонах доступа к памяти.

**Ключевые слова**

Кэш-память, алгоритмы предвыборки, паттерны доступа к памяти, RISC-V, производительность подсистемы памяти.

**Введение**

В современных вычислительных системах существует значительный разрыв в производительности процессоров и основной памяти, который имеет тенденцию увеличиваться. Чтобы нивелировать задержки, используются такие механизмы как кэширование, TLB, внеочередное исполнение команд, предвыборка команд и данных.

Предвыборка команд и данных в кэш до запроса значительно сокращает количество кэш-промахов. Блоки предвыборки могут занимать место в иерархии памяти так, как показано на рис. 1.

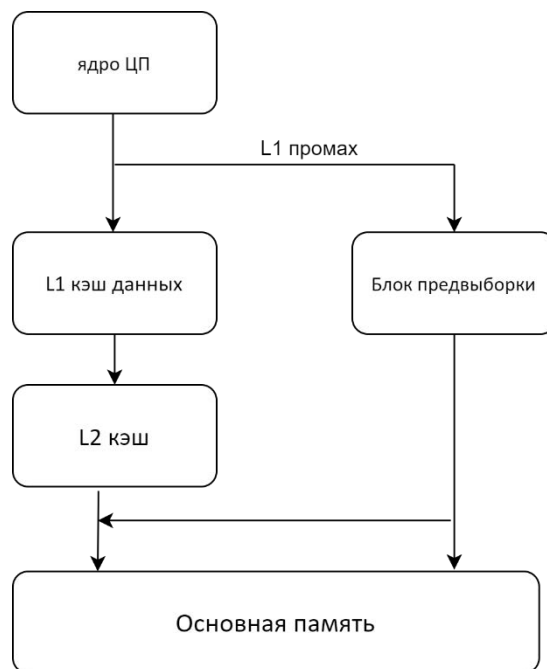


Рис. 1. Блок предвыборки в подсистеме памяти

Современные микропроцессоры обычно используют несколько блоков предвыборки для кэш-памяти разного уровня.

Основные вопросы, возникающие при проектировании блоков предвыборки:

- возможно ли создать блок предвыборки, эффективно работающий как на регулярных, так и на нерегулярных шаблонах доступа к памяти?
- что эффективнее, точный блок предвыборки и кэш маленького объема или наоборот?
- где хранить предвыбранные данные, в кэш-памяти, или в отдельных буферах?
- по какому событию осуществлять предвыборку?

### Связанные работы

В данной главе приводится анализ различных алгоритмов предвыборки, использующихся в современных вычислительных системах, для регулярных и нерегулярных шаблонов доступа.

#### *Регулярные шаблоны доступа*

Простейшим алгоритмом предвыборки является предвыборка следующих  $N$  кэш-линий. По инициирующему событию блок предвыборки втягивает в кэш память  $N$  линий, следующих за той, к которой осуществлялся доступ. При виртуализации памяти, блок предвыборки должен останавливаться на границах физических страниц. На последовательных шаблонах доступа, например операциях с массивами данных алгоритм имеет точность и покрытие более 90 % на hydro и около 75% на mgrid бенчмарках [1].

Другим простым алгоритмом предвыборки является шаговый алгоритм. По инициирующему событию на адресе  $X$ ,  $N$  следующих слов с шагом  $S$ . Блок

предвыборки определяет, сколько раз последовательно повторялся шаг, и, если значение становится превышающим некоторое эталонное значение, блок предвыборки предполагает, что данный шаг будет повторяться и осуществляет предвыборку. В общем случае, шаговый алгоритм эффективен на регулярных шаблонах, например, обработке массивов структур, столбцов матриц.

Современные микропроцессоры используют RPT алгоритм. Если рассмотреть ситуацию, показанную на рис. 2.

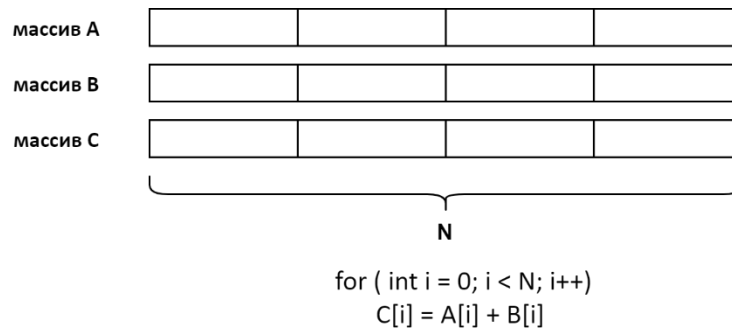


Рис. 2. Схема сложения массивов в цикле

В данном цикле каждый элемент массива С должен быть просуммирован с соответствующим элементом массивов А и В. На каждой итерации цикла из памяти извлекаются элементы  $A[i]$ ,  $B[i]$ ,  $C[i]$ .

Шаг 1: адрес  $A[i]$  - адрес  $C[i-1]$

Шаг 2: адрес  $B[i]$  - адрес  $A[i]$

Шаг 3: адрес  $C[i]$  - адрес  $B[i]$

По причине того, что шаг будет различным, обычный шаговый алгоритм предвыборки не будет работать в данном случае. Решением проблемы является таблица метаданных внутри кристалла, где блок предвыборки хранит старшие биты счетчика команд (тэг), последний адрес доступа к памяти, шаг и счетчик доверия. По инициирующему событию для определенного значения счетчика команд вычисляется разность текущего и предыдущего адресов, если она равна шагу, то счетчик доверия инкрементируется. При достижении счетчиком доверия значения больше эталонного, будет осуществляться предвыборка с установленным ранее шагом.

Главные метрики - точность и покрытие составляют 90% для art бенчмарка, и 30 % и 23 % для gcc на данном алгоритме предвыборки [3].

#### *Коррелированные алгоритмы предвыборки*

Коррелированные алгоритмы предвыборки эффективны для нерегулярных шаблонов доступа, или при отсутствии четко определяемой последовательности шагов. Общий принцип таких алгоритмов - запоминание последовательностей доступов к памяти и последующая предвыборка по инициирующему событию.

### **Таблица Маркова**

Таблица Маркова - это одно из ранних решений организовать пространственную локальность коррелированных во времени доступов [2].

Каждое вхождение таблицы фиксированного размера, но длины коррелированных цепочек доступов имеют высокую вариативность, что делает Таблицу Маркова неэффективной как для слишком коротких, так и для длинных цепочек доступов в память. В случае с длинными цепочками часть информации теряется, а короткие вызывают внутреннюю фрагментацию и, как следствие, неэффективное использование ресурсов на кристалле.

### MISB

ARM представила Managed Irregular Stream Buffer (MISB) алгоритма предвыборки в 2019. Основная идея MISB заключается в создании структурного адресного пространства, в котором коррелированные во времени цепочки доступов в память хранятся упорядоченно во времени и пространстве. Отображение физических адресов на структурные и наоборот осуществляется двумя таблицами метаданных на кристалле [2]. Содержимое которых синхронизируется с TLB при вытеснении строки из TLB. В отличие от ISB представленного в 2013, MISB имеет внутренний шаговый блок предвыборки для таблиц метаданных и более аккуратный механизм синхронизации с TLB.

MISB показывает значительное ускорение на Libquantum и SoPlex - 95 % и 65% , на gcc около 20%[2]. MISB является эффективным решением для предвыборки, однако имеет значительно большую аппаратную сложность по сравнению с другими алгоритмами предвыборки.

### Предложенный метод

Для кэш-памяти данных первого уровня было решено модифицировать RPT алгоритм добавлением регулирования глубины предвыборки и масштабирования шага. Так же модифицировано обновление поля предыдущего адреса доступа: вместо обновления данного поля у всех вхождений таблицы метаданных при чтении из памяти, как это предполагается в классическом алгоритме, поле обновляется только у конкретного вхождения, привязанного к текущему счетчику команд. Это уменьшит энергопотребление за счет сокращения числа переключений триггеров.

Возможна ситуация, когда запрос на данные начинается раньше, чем эти данные будут предвыбраны, то есть поздняя предвыборка. Так же возможна обратная ситуация, когда данные были предвыбраны слишком рано и успели быть вытеснены из кэш-памяти, что называется ранней предвыборкой. Шаговый алгоритм и RPT потенциально подвержены поздней предвыборке.

Данная проблема решается отслеживанием ситуаций поздней предвыборки, и в ее случае повторения некоторое количество раз, блок предвыборки инкрементирует поле масштаба шага. Организация данного блока предвыборки показана на рис. 3.

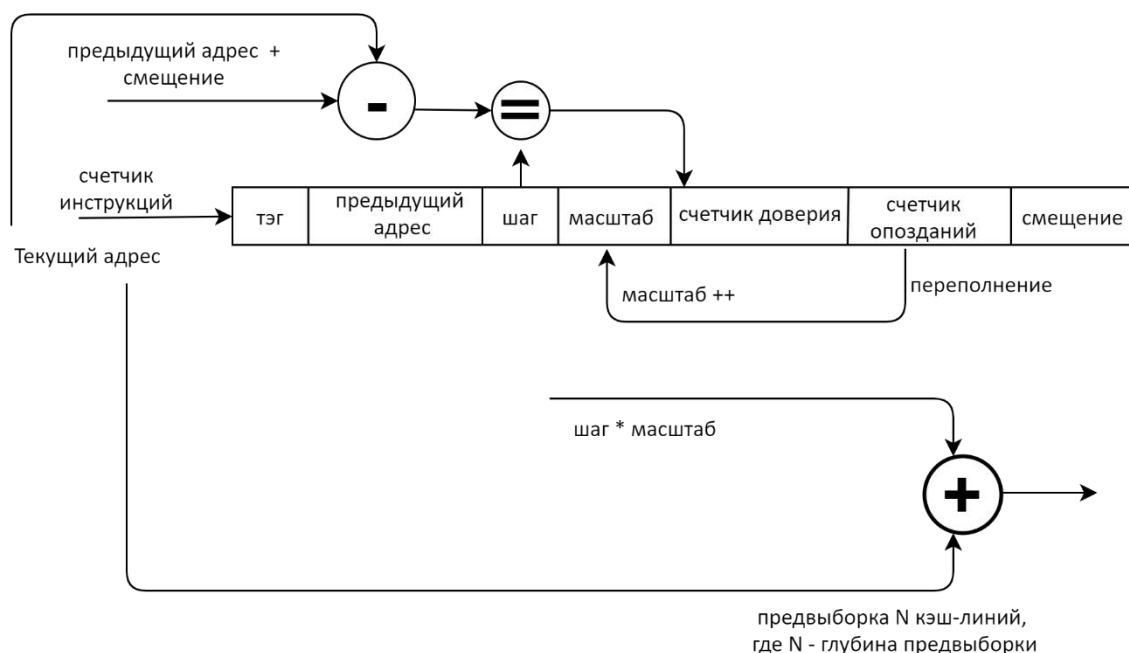


Рис. 3. Структура предложенного блока предвыборки



Шаг определяется как разность текущего и предыдущего адресов. Поле offset показывает позицию в позиции в векторе предвыборки, если глубина предвыборки больше единицы. Далее если шаг повторяется - счетчик доверия увеличивается. Глубина предвыборки рассчитывается как разность счетчика доверия и эталонного значения. Когда текущий адрес становится равен сумме предыдущего адреса предвыборки и глубины предвыборки, поле предыдущего адреса заменяется на текущий адрес и осуществляется новая предвыборка. Если шаг меняется - поля масштаб и счетчик опозданий сбрасываются, счетчик доверия сбрасывается или декрементируется. При поздней предвыборке инкрементируется счетчик опозданий, и когда он переполняется, инкрементируется масштаб. Предложенный алгоритм предвыборки показан на рис. 4.

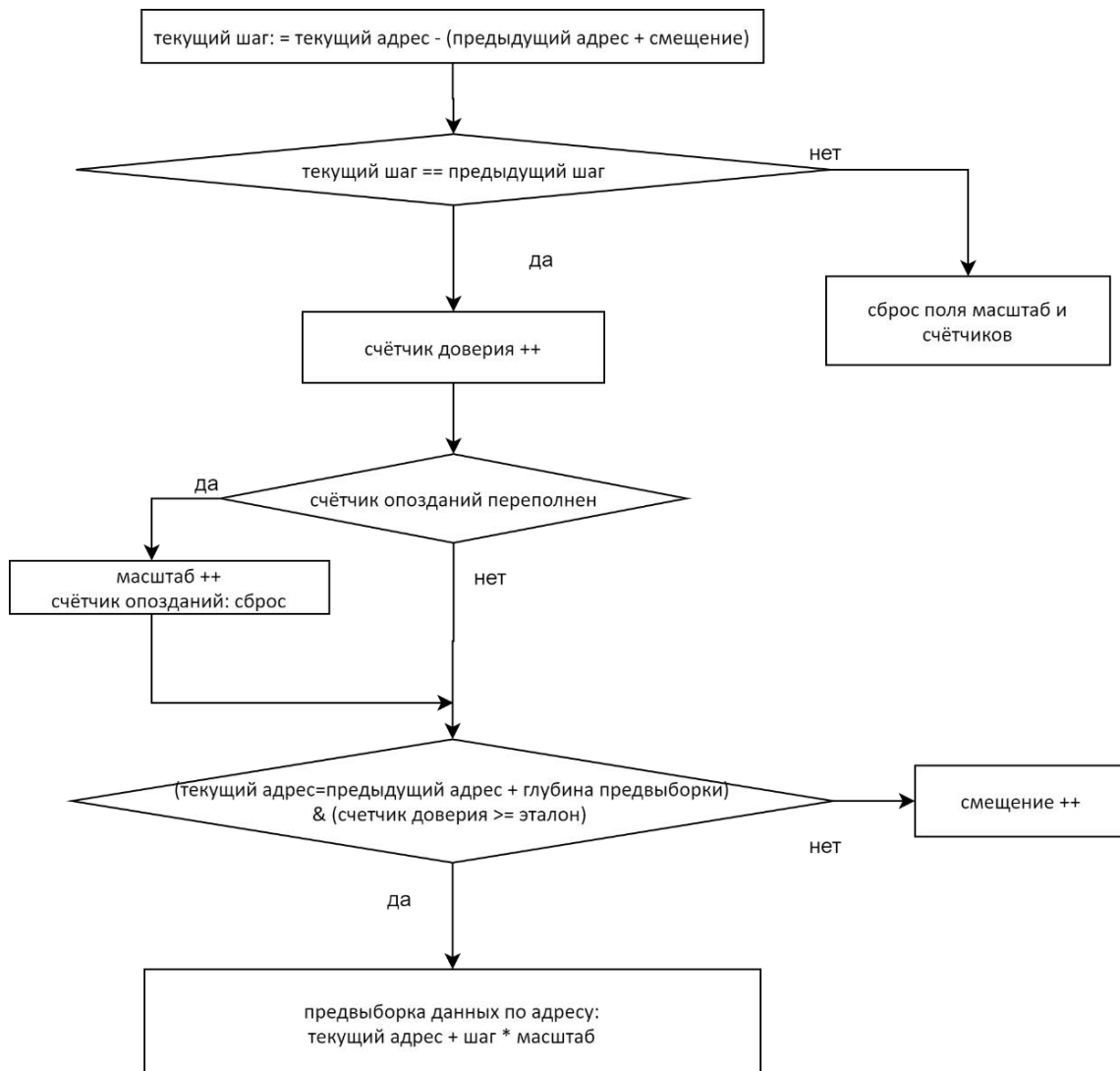


Рис. 4. Блок-схема предложенного алгоритма предвыборки

### Моделирование и текущие работы

Для моделирования был использован MARSS-RISCV симулятор со следующими параметрами конфигурации:

- ядро: одно, с внеочередным исполнением;
- кэш данных первого уровня;
- размер: 32 КВ;

- количество каналов: 8;
- политика замещения: LRU;
- разделяемый кэш второго уровня;
- размер: 512 КВ;
- количество каналов: 8;
- политика замещения: LRU.

Чтобы убедиться, что модель микропроцессора MARSS-RISCV адекватна, была проведена сравнительная симуляция микропроцессора MARSS-RISCV и RTL симуляция RISC-V микропроцессора с аналогичной конфигурацией и сравнены метрики подсистемы памяти, полученные при симуляции MARSS-RISCV и RTL. RTL метрики были сняты с помощью подсчета событий RISC-V Hardware Performance Monitor, реализованного в ядре симулируемого микропроцессора. Отклонение по метрикам составило не более 1%, что позволило считать MARSS-RISCV достаточно точным инструментом для исследования.

При симуляции использовался набор бенчмарков TACLE для оценки эффективности работы алгоритмов на регулярных шаблонах доступа и запуск Linux для оценки эффективности работы с нерегулярными шаблонами. Модели предлагаемого алгоритма предвыборки, а также шагового алгоритма, алгоритма предвыборки следующей линии и Domino были выбраны для симуляции. На рис. 5 представлены результаты симуляции:

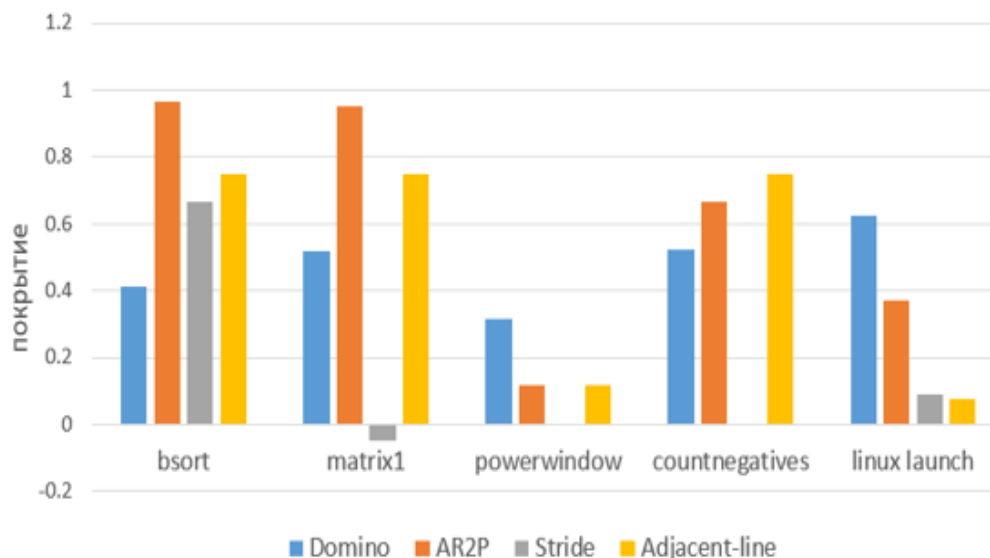


Рис. 5. Покрытие кэш-промахов различными алгоритмами предвыборки

Покрытие – это основная метрика алгоритма предвыборки, показывающая, сколько кэш-промахов удалось предотвратить.

На диаграмме Tacle тесты bsort и matrix1 имеют в основном регулярные шаблоны доступа, а Tacle powerwindow и countnegatives имеют сложные регулярные и нерегулярные шаблоны.

Запуск Linux имеет скорее нерегулярные, чем обычные шаблоны доступа к памяти.

Предложенный алгоритм предвыборки показывает 95% покрытие в среднем по бенчмаркам Tacle с в основном регулярными шаблонами, что на 30% эффективнее, чем предварительный сборщик шага, и на 20% эффективнее, чем предварительный сборщик соседней линии. На сложных шаблонах при запуске Linux предложенный алгоритм

показывает 37% покрытия, что на 25% менее эффективно, чем Domino, из-за конфликтов по вытеснениям из RPT таблицы и отсутствия повторяющегося шага.

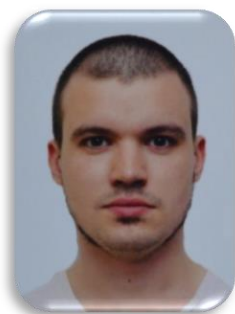
В настоящее время разрабатывается модель, работающая в случае с регулярным шаблоном доступа, как предложенный алгоритм, а в случае с нерегулярным – как алгоритм Domino, чтобы повысить эффективность работы алгоритма с нерегулярными шаблонами доступа к памяти. Так же ведутся исследования возможности оценки энергопотребления блока предвыборки до его аппаратной реализации.

### **Заключение**

Исследования показывают, что большинство эффективных предвыборок осуществляется именно при обнаружении и обработке регулярных шаблонов доступа. В данной работе был представлен анализ наиболее распространенных алгоритмов предвыборки данных и представлен адаптивный алгоритм для регулярных шаблонов, отслеживающий и предотвращающий позднюю предвыборку. Так же вследствие регулируемой глубины предвыборки снижается расход пропускной способности шины памяти.

### **Литература**

1. Jamison D. Collins, Dean M. Tullsen: Runtime Identification of CacheConflictMisses: The Adaptive Miss Buffer // ACM Transactions on ComputerSystems,4(5). 414–439 (2001).
2. Jain A., Lin C.: Linearizing Irregular Memory Accesses for Improved CorrelatedPrefetching // Proceedings of the 46th Annual IEEE/ACM InternationalSymposium on Microarchitecture-MICRO-46, с. 247–259. ACM , Davis, CA, USA(2013).
3. Al-Sukhni H., Holt J., Connors D. // Improved Stride Prefetching using ExtrinsicStream Characteristics. In:Performance Analysis of Systems and Software, 2006IEEE International Symposium, с. 166–176. IEEE Xplore, April (2006).



**Пеплин Федор Николаевич**  
Университет ИТМО,  
факультет информационных технологий и программирования,  
студент группы №7761,  
направление подготовки: 05.11.01 – Приборы и методы  
измерения (по видам измерений),  
e-mail: fedorvolgograd@gmail.com

УДК 620.0.1.08

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО  
ОБЖИМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**  
**Ф.Н. Пеплин, М.В. Прохоров**  
**Научный руководитель – д.т.н., доцент А.В. Федоров<sup>1</sup>**  
**1 – Университет ИТМО**

**Аннотация**

В данной статье представлены результаты анализа факторов, влияющих на качество обжимных соединений. Приведены результаты систематизации данных факторов, и выделение наиболее важных с точки зрения их контролепригодности. В качестве «инструмента» визуализации предложено использовать диаграмму Исикавы.

**Ключевые слова**

Диаграмма Исикавы, обжимные соединения, улучшение качества.

На сегодняшний день при изготовлении обжимных соединений с использованием автоматизированных установок остается актуальным обеспечение их качества, а именно достижения требуемых значений силы на разрыв, электрического сопротивления, геометрических параметров. Например, требования к геометрическим параметрам обжимных соединений регламентированы стандартами компаний TE и Volkswagen [1, 2].

На качество соединения влияет множество факторов. Однако, для того, чтобы проанализировать причинно-следственные связи влияния данных факторов на качество соединения, предлагается использовать диаграмму Исикавы [3].

Целью анализа является формирование множества контролепригодных факторов, существенным образом влияющих на качество обжимных соединений.

Задачи данного можно сформулировать следующим образом:

1. По возможности, выделить абсолютно всё многообразие факторов и причин, влияющих на качество обжимных соединений, которое можно раскладывать с помощью причинных факторов 5М – пяти слов на английском языке (методы, машины, материалы, персонал, финансы) [4]. Выделять следует даже самые, на первый взгляд, малозначимые факторы.

2. Структурировать выделенные факторы, систематизировать их по степени важности – влиянию их на выходные характеристики обжимных соединений, упомянутых выше: электрические, механические, геометрические. Под структуризацией имеется ввиду выделение наиболее значимых, а также поддающихся контролю факторов, для последующего включения в диаграмму именно таких факторов.

3. Составить причинно-следственную диаграмму Исикавы на примере производственного процесса создания обжимных соединений.

Объектом данного исследования являются обжимные соединения.

Предметом являются факторы, влияющие на финальное качество обжимного соединения.

Для формирования «начального» множества факторов и причин, оказывающих влияние на результат, был использован метод мозгового штурма. В качестве экспертов использовалась группа инженеров, деятельность которых связана с производством обжимных соединений и опытом работы в данной области от 3 до 10 лет.

По результатам «мозгового штурма» всё множество факторов было классифицировано на следующие группы:

Ниже приводится двухуровневый список:

- группа «Заготовка», которая объединяет блоки: «Лента» и «Компоненты»;
  - «Лента»:
  - выточки: форма, размер, количество;
  - материал.
  - «компоненты»:
  - материал;
  - форма;
  - геометрические параметры.
- группа «Технологический процесс»
  - правильность предварительной симуляции;
  - расположение компонентов в матрице.
- группа факторов «Контроль»
  - геометрический контроль параметров лишь через получение сечения;
  - отсутствие адекватных измерений ширины, только лишь одной высоты на данный момент;
  - контроль электрического сопротивления;
  - контроль отсутствия жил путём прикладывания нагрузки к датчику под матрицей полного соединения и с намеренно убранной жилой;
  - контроль силы на разрыв.
- Группа факторов «Оборудование»
  - степень затянутости винтов;
  - степень настройки параметров подачи ленты;
  - правильность собранной кассеты;
  - правильность работы всех двигающихся деталей внутри машины;
  - правильность центрирования матрицы относительно панча;
  - правильность затянутости датчика;
  - корректность и поверка контролирующего оборудования (не проводится часто);
  - конфигурация и качество оснастки;
- группа факторов «Окружающая среда»;
  - запылённость;
  - влажность;
  - температура (её влияние на компоненты, может произойти быстрое старение);
- группа факторов «Персонал»
  - квалификация;
  - физическое состояние.

На следующем этапе было предложено данное множество факторов сгруппировать по трём группам: «Входящие», «Мешающие», «Факторы, на основе

которых можно оценить качество обжимного соединения. Результатом данной классификации явилось формирование множества контролепригодных факторов, существенным образом влияющих на качество обжимных соединений.

Ниже представлена классификация данных факторов:

1. Входные факторы:
  - обжимная лента;
  - компоненты обжимного соединения;
  - расстояние между панчем и матрицей, определяющее высоту соединения;
  - конфигурация оснастки;
  - тип машины (слабая, средняя, сильная, суперсильная).
2. Мешающие факторы:
  - центрирование матрицы относительно панча.
  - несовершенство средств измерения.
  - фактор оператора (физическое состояние и компетентность).
  - внешняя среда (запылённость и влажность).
  - оснастка (состояние и качество).
3. Факторы, по которым можно оценивать качество обжимного соединения:
  - геометрические параметры (высота обжимного соединения, ширина и т.д. по стандартам [1-2]);
  - электрические параметры обжимного соединения (электрическое сопротивление обжимного соединения);
  - прочностные параметры обжимного соединения (усилие на разрыв обжимного соединения);
  - параметры силы, затраченной для создания обжимного соединения (график зависимости силы от времени в момент обжимного цикла).

Иллюстрация данного множества факторов представлена в виде диаграммы Исикавы на рисунке.



Рисунок. Диаграмма Исикавы, направленная на решение проблемы качества обжимных соединений

Следует отметить, что предложенный подход в формировании множества факторов имеет и свои недостатки, которые заключаются в отсутствии возможности проверки диаграммы в обратном направлении и невозможности учёта взаимного влияния различных факторов. Поэтому, одним из направлений дальнейших исследований предлагается для оценки степени влияния факторов на финальное качество обжимных соединений дополнительно использовать такие «инструменты», как диаграмма рассеяния, закон Парето и другие «Семь инструментов контроля качества [5].

### Литература

1. TE. Allgemeine richtlinien zur verarbeitung von kontakten mit offenen crimpöhlsen general guidelines for application of contacts with open crimp barrels. Application Specification 114-18022 N. 05/23/2016.
2. Volkswagen. Crimp connections. Solderless electrical connections. VW 60330. Group standard. 12/2013.
3. Ishikawa K. Guide to Quality Control. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1976.
4. Кирина А. Диаграмма Исикава. Журнал «Вопросы стандартизации и сертификации СО РАН» / 1 – 2007 (г. Новосибирск).
5. Исикава К. Японские методы управления качеством. М: «Экономика». 1988 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Направление «БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ; СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА».....</b>	<b>4</b>
<b>Афанасьева Л.П.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ.....	5
<b>Афанасьева С.О., Локалов В.А.</b> КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ДВОЙНОЙ СТИМУЛЯЦИИ.....	8
<b>Башкова В.Н.</b> ЭЛЕМЕНТЫ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	14
<b>Безбах Ю.И., Белимова П.А., Казначеева А.О., Джумагулова А.Ф., Балканский А.А.</b> ТЕСТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ОПЫТА ПРИ АНАЛИЗЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЙ ДАННЫХ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	20
<b>Братчиков С.А.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОСТОЙКОСТИ В АСИНХРОННОМ ПРИВОДЕ ПРИ FOC И DTC УПРАВЛЕНИИ.....	30
<b>Бухалов А.Д.</b> ПРОГРАМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ОТСЛЕЖИВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЗГЛЯДА ЧЕЛОВЕКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО В МЕДИАИНДУСТРИИ.....	36
<b>Габдуллазянова З.Р.</b> ФРЕЙМВОРК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ДИСЛЕКСИЕЙ.....	41
<b>Галчина А.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕДАЧИ АСТРОНОМИЧЕСКОГО АЗИМУТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ КОМПЛЕКСОМ.....	47
<b>Гатамли Р.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ (ВОССТАНОВЛЕНИЯ) ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	52



<b>Голованов А.А.</b> ПРОТОКОЛЫ АНОНИМНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ.....	57
<b>Голубева В.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦВЕТА И ФОРМЫ В ДИЗАЙНЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ.....	64
<b>Демашов Д.С.</b> ПРОБЛЕМЫ СТРОГОЙ ТИПИЗАЦИИ КОДА СЕРВЕРНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФРЕЙМВОРКОВ НА ПЛАТФОРМЕ NODE.JS.....	69
<b>Денисов А.К.</b> МЕТОД ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИТЕРАТИВНОГО ВАРПИНГА В ЗАДАЧАХ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА.....	75
<b>Добрынин В.Ю.</b> ПРИМЕНЕНИЕ УСКОРЕНИЯ НА GPGPU ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	80
<b>Евстафьев О.А., Шаветов С.В.</b> СЛЕЖЕНИЕ ЗА ПОВЕДЕНИЕМ ВОДИТЕЛЯ В ADAS С СИСТЕМОЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ.....	83
<b>Завитаев А.С., Воронов А.С., Тихонов Д.А.</b> АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОРПУСА ОСПВ-И.....	88
<b>Зименко К.В.</b> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ.....	92
<b>Кадыков В.Ю.</b> ОБОБЩЕННЫЕ ГОМОМОРФНЫЕ ОПЕРАЦИИ НАД ШИФРТЕКСТОМ В СИСТЕМАХ ШИФРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОК ИДЕАЛОВ.....	97
<b>Калинкина М.Е., Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. Пирожникова О.И., Ткалич В.Л.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕМБРАННОГО УПРУГОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ТОЧЕЧНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	102
<b>Ким П.С. Воронов А.С.</b> ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕТАЛИ ПРИБОРОВ НАВИГАЦИИ.....	109
<b>Климова Е.Н.</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА КУРСА МНОГОАНТЕННОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ.....	113

<b>Конищева А.Б.</b> АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА ИХ ПРОИЗВОДСТВО.....	119
<b>Косенков Д.Д., Усольцев А.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРЬ В СТАЛИ ОТ ШИРИНЫ ПАЗА В АКСИАЛЬНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЕ.....	124
<b>Котосов С.В.</b> ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – ВОЗМОЖНОСТИ И ТРЕНДЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ.....	129
<b>Кулагина Е.С.</b> ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРЕБОВАНИЯМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА.....	132
<b>Кулькова А.М.</b> РЕЗУЛЬТАТЫ А/В-ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМ.....	137
<b>Лихтенберг А.М., Любавина П.Ю., Шишко А.В., Давыдов В.В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В IOT: ОБЗОР И ИНТЕГРАЦИЯ.....	140
<b>Елисеев Д.П., Конаков Р.Д., Малашенков К.С.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ПРИБОРОВ НАВИГАЦИИ.....	146
<b>Мальцев М.И., Попова Д.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ UI/UX ДИЗАЙНА ДЛЯ VR ИГР.....	150
<b>Мандрик А.Д., Сопроненко Л.П., Руценко Н.Г.</b> ВЛИЯНИЕ ВОСПРИЯТИЯ ЦИФРОВЫХ ЦВЕТОВЫХ СХЕМ НА ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.....	156
<b>Мануфричева М.И.</b> РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	162
<b>Миленин Е.И.</b> СБАЛАНСИРОВАННАЯ РАБОТА УЗЛОВ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ В ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ.....	165
<b>Михайлов А.Б.</b> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ.....	168

---

<b>Новикова Е.С., Волосюк А.А., Бестужев П.М., Коннова А.В., Лавров А.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОТ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	173
<b>Павлова М.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ СФЕРИЧЕСКИХ УЗЛОВ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ.....	180
<b>Панарина Д.Н.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ВЫРАЖЕНИЙ ЛИЦА.....	186
<b>Понькина А.А.</b> ВЛИЯНИЕ DIGITAL-ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННУЮ СФЕРУ В РОССИИ.....	191
<b>Попова Д.А.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ (ИНСТРУМЕНТОВ) ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКОГО КОНТЕНТА ДЛЯ VR.....	194
<b>Послянова О.Н.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....	198
<b>Реутов С.В.</b> РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ RVGD-ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LIDAR.....	203
<b>Рогазинский А.А.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА.....	206
<b>Румянцева А.Г.</b> КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИИ КАЛЛИГРАФИЧЕСКИХ АРТ-ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ.....	212
<b>Лисицына Л.С., Сенчило М.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗОВОГО ОНЛАЙН-КУРСА.....	215
<b>Слукина М.И.</b> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗА КАЧКИ КОРАБЛЯ ПРИ ЕЕ ПОЛИНОМИАЛЬНОМ ОПИСАНИИ.....	221
<b>Старун И.Г., Гурьев Н.А., Югансон Н.А., Гирик А.Ю.</b> РАСЧЕТ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ VPN.....	225

<b>Сундквист Я.В., Иволга Д.В.</b> РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АДАПТИВНОГО МЕХАТРОННОГО КИСТЕВОГО ПРОТЕЗА.....	231
<b>Косяков М.С., Тараканов Д.С.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЬЮТЕКСА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ.....	236
<b>Титов Р.У., Моторин А.В.</b> АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ.....	241
<b>Хоменко А.П.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЦИФРОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ.....	245
<b>Царев М.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ.....	248
<b>Чалков В.В., Шевченко А.Н.</b> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ САМОГЕНЕРАЦИИ КВАНТОВОГО ДАТЧИКА ВРАЩЕНИЯ.....	254
<b>Челокьян Л.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	259
<b>Шаповалова Д.В.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ 2D И 3D АНИМАЦИИ В МУЛЬТИПЛИКАЦИИ.....	263
<b>Ширшин А.В.</b> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СКАНИРОВАНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫМ СВЕТОМ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ FDM(FFF)-ПЕЧАТИ.....	268
<b>Шувалов Д.М.</b> АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕБ-БРАУЗЕРОВ ПО ПОВЫШЕНИЮ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕНАД ЖНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ.....	272
<b>Югай К.М.</b> МЕТОДИКА РАС ПАРАМЕТРОВ ПЯТИФАЗНОГО АНАЛОГА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	277
<b>Абышев О.А.</b> МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ К ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ.....	282

<b>Борисова М.А.</b> ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА.....	289
<b>Журбова А.Е., Муратова У.Д., Балакшин П.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛОСОВЫХ МЕТРИК ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ БОДРОСТИ ЧЕЛОВЕКА.....	293
<b>Калинкина М.Е., Пирожникова О.И., Ткалич В.Л.</b> АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ КВАНТОВЫХ ПРОТОКОЛОВ НА ОСНОВЕ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	297
<b>Бибиков С.В., Калинкина М.Е., Пирожникова О.И., Ткалич В.Л.</b> ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	302
<b>Козлова А.Д.</b> СЕМАНТИКА ПРЕДЛОЖНЫХ ГРУПП.....	307
<b>Лихтенберг А.М., Любавина П.Ю.</b> МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В МАЛОМОЩНЫХ IOT-УСТРОЙСТВАХ.....	312
<b>Прокопенко Н.А., Каяшева Т.В., Локалов В.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОСПРИЯТИЯ МУЗЫКИ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ.....	312
<b>Рыжков Н.В.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ В PYTHON.....	320
<b>Тищук Б.Ю.</b> АДАПТИВНЫЙ БЛОК ПРЕДВЫБОРКИ ДАННЫХ ДЛЯ КЭШ-ПАМЯТИ ПЕРВОГО УРОВНЯ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ С АРХИТЕКТУРОЙ RISC-V.....	324
<b>Пеплин Ф.Н., Прохоров М.В.</b> АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ОБЖИМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	331

# АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО

Том 2

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Вёрстка

Я.Я. Платунова

Подписано к печати 25.11.2020

Заказ № 4370 от 25.11.2020

Тираж 100 экз.

Печатается в авторской редакции