



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО



КОНГРЕСС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

СБОРНИК ТРУДОВ

X

# КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Санкт-Петербург,  
14-17 апреля 2021 г.

Том 1



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Сборник трудов  
X Конгресса молодых ученых  
Том 1**



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург  
2021

УДК 082.2, ББК — 94.3

Сборник трудов X Конгресса молодых ученых. Том 1. – СПб.: Университет ИТМО, 2021. – 380 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на X Конгрессе молодых ученых по тематикам: системы управления и робототехника, безопасность информационных технологий, программная инженерия и компьютерная техника; междисциплинарные исследования.

ISBN 978-5-7577-0656-6

ISBN 978-5-7577-0657-3 (Том 1)



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Университет ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). С 2013 по 2020 гг. — лидер Проекта 5-100.

© Университет ИТМО, 2021

© Авторы, 2021

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ по направлению системы управления и робототехника, безопасность информационных технологий, программная инженерия и компьютерная техника

**Председатель редколлегии:**

*Бобцов Алексей Алексеевич*

доктор технических наук, профессор,

директор мегафакультета компьютерных технологий и управления

**Члены редколлегии:**

*Пыркин Антон Александрович*

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

*Заколдаев Данил Анатольевич*

кандидат технических наук, доцент, декан факультета безопасности информационных технологий

*Кустарев Павел Валерьевич*

кандидат технических наук, доцент, декан факультета программной инженерии и компьютерных технологий

*Андреев Юрий Сергеевич*

кандидат технических наук, доцент, заместитель декана факультета систем управления и робототехники

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ по направлению междисциплинарные исследования

**Председатель редколлегии:**

*Пучковская Антонина Алексеевна*

кандидат культурологии, директор международного центра цифровых гуманитарных исследований

**Члены редколлегии:**

*Смолин Артем Александрович*

кандидат философских наук, доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники

*Львов Александр Александрович*

кандидат философских наук, доцент управления подготовки кадров высшей квалификации

*Скорб Екатерина Владимировна*

кандидат химических наук, профессор научно-образовательный центр инфохимии

*Коцюба Игорь Юрьевич*

кандидат технических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций

## **ВВЕДЕНИЕ**

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на X Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО, проходившего 14 – 17 апреля 2021 года, по тематикам: системы управления и робототехника, безопасность информационных технологий, программная инженерия и компьютерная техника; интердисциплинарные исследования.

Конгресс проводится в целях ознакомления общественности с результатами научных исследований, выполненных в рамках: государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, стратегии развития Университета ИТМО до 2027 года, грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых, грантов РФФИ, РНФ, по постановлению Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 года «Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств», по постановлению Правительства РФ № 220 от 09 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные организации высшего образования, научные учреждения и государственные научные центры Российской Федерации», государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций, федерального проекта «Цифровые технологии», национальной программы «Цифровая экономика в Российской Федерации» и по инициативным научно-исследовательским проектам, выполняемыми преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами, магистрантами и студентами Университета, в том числе в содружестве с предприятиями, организациями Российской Федерации, а также международными научными сообществами; а также с целью стимулирования научно-технической деятельности молодых ученых, приобретения ими опыта публичных выступлений, повышения научного уровня и апробации выпускных квалификационных работ магистрантов и бакалавров за 2020/2021 учебный год.

## **Компьютерные технологии и управление**

УДК 004.9

## ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Андропов А.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Дергачёв А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены проблемы интеграции информационных систем, а также даны описания перспективных подходов к их решению. Полученные результаты могут быть в дальнейшем использованы с целью улучшения автоматизации процессов интеграции.

**Ключевые слова:** системная интеграция, гетерогенные системы, базы данных, бизнес-процессы, метамодели, Unified Modeling Language.

### Введение

Современные информационные системы насчитывают сотни или даже тысячи сервисов, разработанных для разных программных платформ и выполняющихся под управлением различных операционных систем. Количество и состав сервисов постоянно меняются в зависимости от требований ко всей систем. При этом сервисы не могут существовать обособленно от других сервисов системы, им необходимо взаимодействовать друг с другом. Вследствие этого остро встаёт необходимость в интеграции сервисов в единую информационную систему [1]. Для организации взаимодействия на программном уровне могут использоваться удаленные вызовы процедур, системы обмена сообщениями и другие средства. Зачастую вместе с интеграцией сервисов объединяется интеграция данных, в которой участвуют базы данных. С развитием интернет-ориентированной деятельности предприятий задача интеграции систем распространилась на среду Интернет. Это привело к расширению организации взаимодействия между сервисами одной системы до организации взаимодействия между информационными системами. Все эти факторы существенно влияют на задачу интеграции и порождают некоторое множество проблем.

Интеграция информационных систем подразумевает взаимодействие между двумя и более комплексными программными архитектурами. Для реализации такого взаимодействия нужно чёткое понимание работы этих систем. В зависимости от размера и комплексности систем, анализ их архитектур, реализация процессов интеграции между ними и тестирование конечного результата может потребовать большого количества работы и времени. Так, в случае сервисно-ориентированного подхода нужно изучить принципы работы большого количества сервисов и наладить взаимодействие между всеми ними. Такая проблема особенно актуальна в слабоструктурированных системах.

Из этой проблемы вытекает другая проблема — сложность сопровождения конечного результата. С добавлением новых компонентов в систему приходится следить не только за тем, чтобы новые компоненты исправно функционировали в рамках системы, но и затем чтобы уже существующие компоненты сохранили свой прежний функционал. Это часто приводит к необходимости поддержания устаревших методов и технологий.

Другая большая проблема — это проблема гетерогенности систем. Информационные системы по своей структуре неоднородны. Каждый компонент системы может быть заточен на работу в определённой операционной системе (ОС), быть написан на своём языке программирования, использовать разные системы управления базами данных (СУБД). Стоит отметить, что в большинстве случаев компоненты разрабатываются с учётом дальнейшего взаимодействия с другими компонентами системы, но в случае взаимодействия систем это не так. Две информационные системы могут кардинально различаться по своему составу, и зачастую приходится разрабатывать отдельные компоненты с нуля, чтобы поддерживать совместимость с несколькими платформами и инструментами.

Последняя проблема заключается в смысловой интерпретации и различии в представлении одних и тех же вещей. Так, при интеграции данных может возникнуть

ситуация, когда тип данных в одной базе данных совпадает с названием таблицы в другой базе. Такие несоответствия могут проследиваться и при интеграции систем. Не соответствие лицензий и стандартов, принятых при разработке систем, также порождает эту проблему.

Большая часть решений этих проблем предполагает автоматизацию процессов анализа, интеграции и тестирования. Однако полной автоматизации добиться практически невозможно, а борьба с гетерогенностью систем зачастую требует индивидуального подхода.

**Интеграция посредством конверторов.** Создание дополнительных конверторов/адаптеров, которые имеют возможность обращаться в одну и в другую систему различными способами, к примеру в одну через базу данных, а в другую с помощью удалённого вызова процедур. Конверторы умеют преобразовывать полученные данные в единообразный вид, передают их между собой, где они затем преобразуются обратно в формат понятный системе [2]. Преимуществом данного подхода является его универсальность. Конверторы добавляются по мере необходимости взаимодействия компонентов систем.

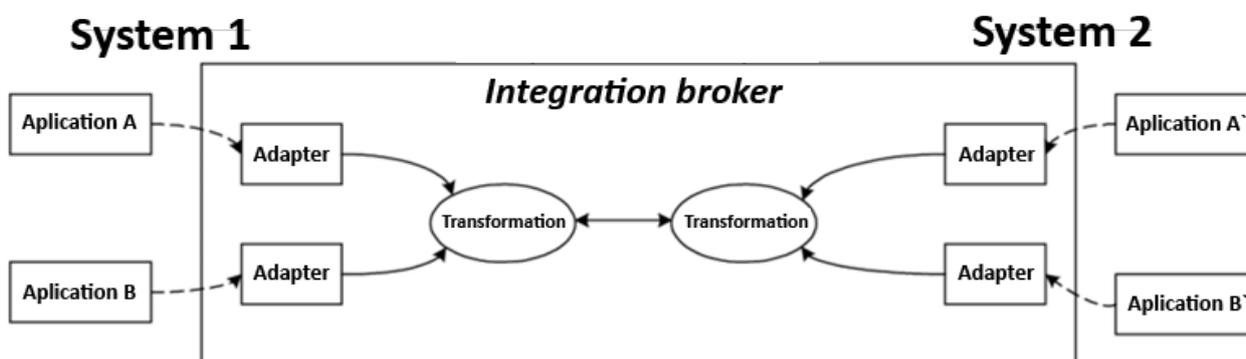


Рис 1. Интеграция посредством конверторов

Такой подход вполне может решить проблемы гетерогенности и стандартизации, но в комплексных системах он влечет за собой появление «раздутого» промежуточного интеграционного слоя, который нужно постоянно поддерживать в актуальном состоянии. Изменение одной системы может затронуть не только привязанный к ней конвертор, но и все остальные. Также стоит отметить, что подход с использованием конверторов недостаточно хорошо автоматизируется и требует тщательного подхода к разработке каждого конвертора.

**Интеграция с помощью сервисов.** Использование сервисов отчасти напоминает предыдущий подход, так каждая система имеет один или несколько сервисов, который взаимодействует с ней. А сами сервисы обмениваются информацией между собой посредством некоторого интерфейса. Интерфейс сервиса определяет то, каким образом возможно взаимодействие с той или иной системой, при этом о внутренней реализации взаимодействия ничего не известно. Это позволяет сервисам быть абсолютно независимыми от используемых платформ и инструментов разработки, а также быть легко заменяемыми и прозрачными в использовании. Также при наличии строго заданных интерфейсов многие процессы интеграции легко автоматизируются, что уменьшает трудозатраты на разработку.

Самым главным недостатком такого подхода является фиксация интерфейсов и форматов данных. Не всегда удаётся подстроить организацию сервиса под нужный интерфейс и формат данных из-за особенностей системы. В таких случаях приходится перестраивать саму систему, что не всегда возможно, либо же использовать определённые ухищрения в реализации сервиса, которые не всегда положительно сказываются на производительности системы.

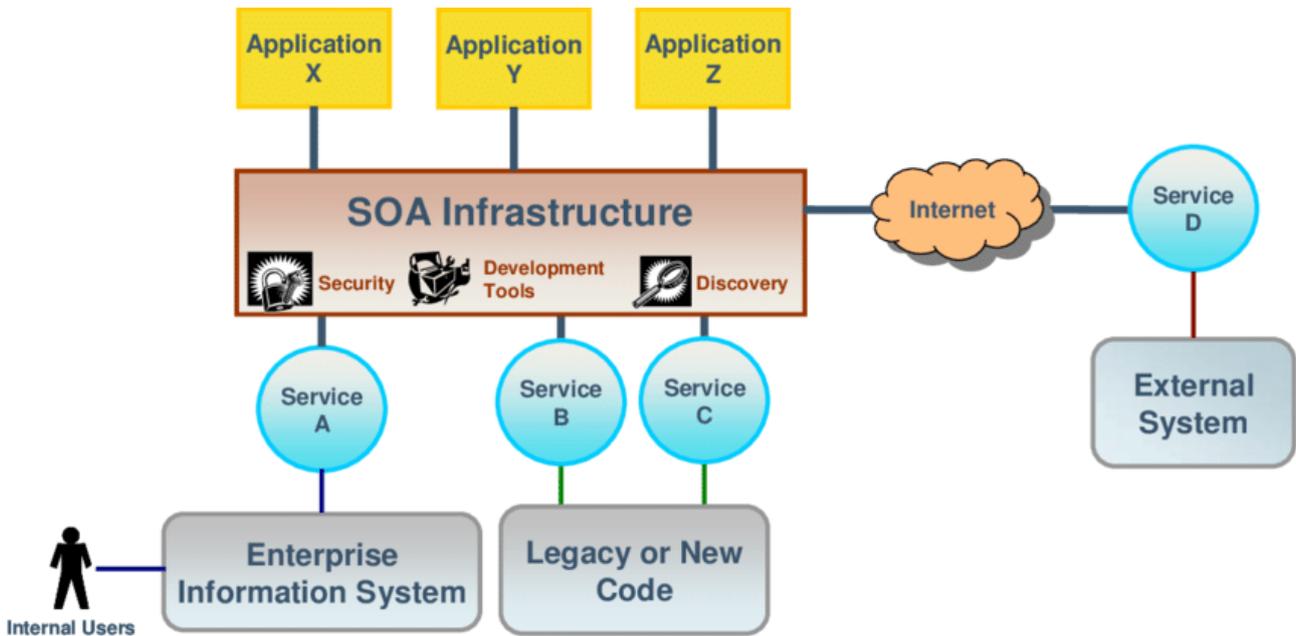


Рис 2. Интеграция с помощью сервисов

**Интеграция на уровне бизнес-процессов.** Наиболее естественным для предприятий подходом к интеграции информационных систем является интеграция на уровне бизнес-процессов, так как деятельность предприятий состоит по большей части из бизнес-процессов, а не приложений, баз данных и платформ. В рамках такой интеграции происходит и интеграция данных, и интеграция приложений, а также людей, вовлечённых в этот бизнес-процесс. Идеи, лежащие в основе такой интеграции, заключаются в следующем: необходимо составить сценарий некоторого бизнес-процесса и описать как должны взаимодействовать пользователи с системами и как сами системы должны взаимодействовать между собой. Каждая операция детально описывается, включая в себя описание форматов данных, используемых приложений, используемых сервисов, стандартов и политик. Такие сценарии обычно описываются с помощью специализированного интегрирующего программного обеспечения (ПО), таких как Robotic process automation или Customer Relationship Management [3]. Сами системы подключаются к интегрирующему ПО посредством адаптеров, схожих с теми, что описаны в первом подходе.



Рис 3. Интеграция на уровне бизнес-процессов

Главной особенностью является то, что весь процесс взаимодействия двух информационных систем очень прозрачен. Есть возможность отслеживать статус бизнес-процессов, останавливать их и вносить требуемые изменения, а операции, не требующие участия человека, осуществляются автоматически интегрирующим ПО благодаря реализованным адаптерам. Несмотря на свою гибкость, интеграция бизнес-процессов очень чувствительна к изменениям. Процессы автоматизации не всегда могут правильно интерпретировать незначительные изменения. К примеру, изменение внешнего вида интерфейса приложения может привести к отключению интеграции бизнес-процесса.

**Интеграция с использованием метамодели.** Под метамоделью понимается информационная модель более высокого уровня абстракции, чем модель предметной области. Метамодель должна охватывать широкий круг задач, задавать правила обработки данных и управления бизнес-процессами. Один из наиболее известных стандартов разработки архитектур, управляемых моделью — это Meta-Object Facility (MOF), разработанный консорциумом OMG [4]. MOF представляет собой четырехслойную архитектуру. На самом верхнем, 3-м уровне, находится мета-мета модель. Она определяет сам язык, используемый для создания метамodelей, находящихся на 2-м уровне. Наиболее известным примером модели 2-го уровня является метамодель Unified Modeling Language, используемая для моделирования элементов 1-го уровня. Элементы 1-го уровня представляют собой уже конкретные модели бизнес-процессов, системного проектирования программного обеспечения и отображения организационных структур. На последнем уровне находятся описания объектов реального мира.

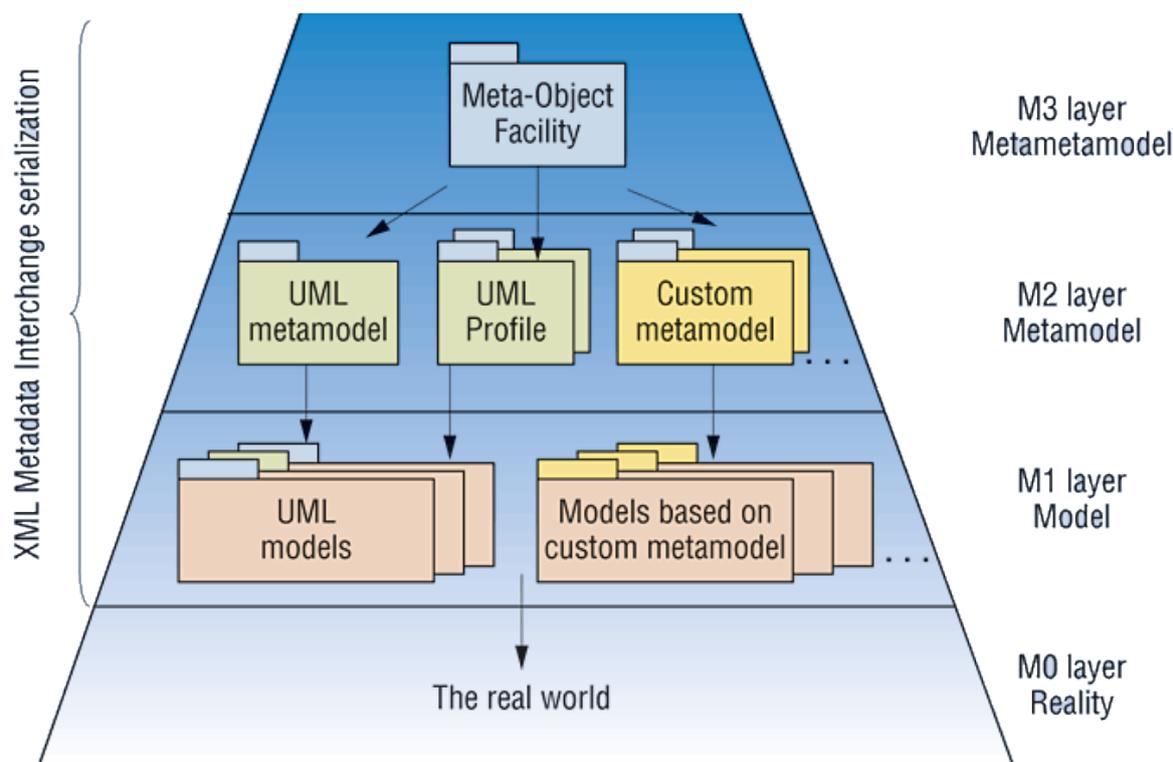


Рис 4. Интеграция с использованием метамодели

Такая сложная архитектура призвана служить основой для описания метамodelей. Если две метамodelи могут быть описаны в терминах одной мета-мета модели, то все конкретные модели могут единообразно храниться в общем репозитории. При наличии такой метамодели каждая информационная система будет характеризоваться набором параметров этой модели, а их взаимодействие будет описываться изменением значений этих параметров. Сама интеграция информационных систем представляет собой переход из одной модели в другую с помощью модельных трансформаций [5]. Такой подход является очень мощным

инструментом для интегрирования в целом. Но очевидным здесь недостатком является сложность разработки такой модели, так как она требует понимания не только одной отдельно взятой архитектуры системы, но и всех возможных архитектур. Также наличие малого количества инструментов для работы с такими моделями затрудняет создание автоматизированной интегрирующей системы.

**Заключение.** Таким образом, можно прийти к выводу, что сейчас невозможно выделить одно единственное решение всех обозначенных проблем. Наличие малого количества программного инструментария влечёт за собой разработку систем ошибок существующих решений. Стоит заметить, что автоматизация этих решений во многом упрощают процессы интеграции, но добиться полной автоматизации практически невозможно. Этого можно добиться в хорошо структурированных областях, к примеру, в задачах интеграции данных. Применение к таким областям обозначенных подходов в теории могут значительно упростить процессы интеграции.

### Литература

1. Клеппман М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка. – Питер, 2018. – 640 с.
2. Fletcher P., Clark M. Web Services Business Strategies and Architectures. – Apress, 2003. – 368 р.
3. Willcocks L., Lacity M., Craig A. Robotic Process Automation at Xchanging [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xchanging.com/system/files/dedicated-downloads/robotic-process-automation.pdf> (дата обращения: 13.05.2021)
4. OMG Meta Object Facility (MOF) Core Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.omg.org/spec/MOF/2.5.1/PDF> (дата обращения: 13.05.2021)
5. Czarnecki K., Helsen S. Feature-Based Survey of Model Transformation Approaches [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gsd.uwaterloo.ca/sites/default/files/ibm06.pdf> (дата обращения: 13.05.2021)

УДК 004

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ДИЗАЙНА ОБУЧАЮЩЕГО ВЕБ-РЕСУРСА ПО АНАТОМИИ

Андреева А.Ю.<sup>1</sup>, Афанасьева Л.П.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к. пед. наук, доцент Государев И.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассматриваются типы обучающих веб-ресурсов, а также структура одностраничного сайта, на основе которых разрабатывается структура обучающего веб-ресурса по анатомии для детей. Кроме того, в работе приводится анализ цветов, благоприятно влияющих на восприятие ребенком, которые используются в разрабатываемом веб-ресурсе.

**Ключевые слова:** веб-сайт, одностраничный сайт, мультилендинг, интерактивный контент, образовательный ресурс, UI/UX-дизайн.

В настоящее время существует большое количество выдвигаемых требований к качеству сайта: к удобству его использования, к умению довести клиента до целевого действия, к скорости его загрузки и к используемой на нем функциональности. На детей эти факторы оказывают более сильное влияние, поэтому необходимо с вниманием отнестись к предоставляемой на сайте информации, к её оформлению. На примере обучающего сайта продемонстрируем, как должна выглядеть структура и дизайн сайта, чтобы оказать необходимое влияние на ребенка и добиться желаемых результатов.

В ходе разработки структуры веб-ресурса были проанализированы существующие типы веб-ресурсов, которые наиболее подходят для обучающего контента. Среди них выделяют следующие: одностраничный сайт, multi landing, блог или влог.

Одностраничный сайт (посадочная страница, лендинг) – достаточно популярный в настоящее время формат веб-ресурсов, который не предполагает разветвленной структуры [1]. Все содержимое такого ресурса умещается на одной странице и просматривается вверх и вниз при помощи прокрутки. Преимуществами такого сайта являются:

- высокая скорость разработки. Очевидно, что создать сайт, который состоит из одной страницы, гораздо быстрее и дешевле, чем сайт с многоуровневым меню;
- «заточенность» под мобильное приложение. Большинство лендингов обладают адаптивным дизайном, поэтому для владельцев смартфонов и планшетов одностраничный сайт очень удобен в использовании;
- уникальность и дизайн. Придать неповторимый вид лендингу гораздо проще, чем многостраничному сайту. Во-первых, ограниченное поле для творчества позволяет дизайнеру сосредоточиться на одном уникальном решении, а не растекаться мыслью по древу сайта. Во-вторых, иллюстрации и тексты для лендинга обычно готовят заранее, поэтому дизайнер сразу правильно располагает на странице все нужные элементы [1];
- возможность управлять вниманием посетителя. В отличие от многостраничного сайта, на котором посетитель может бесконечно блуждать по множеству непредсказуемых маршрутов, на одностраничном сайте количество и порядок восприятия контента заданы изначально. Владелец такого сайта может быть уверен, что посетитель получит нужную информацию и не отвлечется на что-то другое;
- образность. Макет одностраничного сайта позволяет разместить на лендинге достаточно большое количество иллюстративного материала. При этом изображения не только придают одностраничному сайту уникальность, но и отлично удерживают внимание посетителей при перемещении по сайту.

Multi landing – это динамическая посадочная страница. В отличие от простого лендинга мультилендинг содержит адаптивный контент, который меняется в зависимости от запросов потенциального клиента, его местонахождения, пола или возраста. Multi landing имеет следующие преимущества:

- повышение конверсии. Динамическая загрузка контента превращает пользовательский опыт в более понятный и актуальный. Она повышает удобство пользователя, а также способна помочь при создании ответных его действий;
- динамический контент привлекает и удерживает пользователя на странице. Вся информация: блоки, контент, призывы к действию, формируются точно под интересы пользователя, при этом контент попадает точно в цель, даже при неполном соответствии с изначально введенным запросом. Это выводит персонализацию на совершенно новый уровень. То есть контент сайта демонстрирует пользователю именно то, что его интересует [2];
- контент может адаптироваться под любой тип данных. Его можно использовать на основе геолокации пользователей, стиля их поведения и предпочтений. В результате каждый клиент чувствует себя особенным, воспринимая выдачу информации как детальное понимание его желаний.

Блог (влог) – веб-сайт, состоящий из регулярно добавляющихся статей (блог) или видеозаписей (влог). Данный тип веб-ресурса может быть на одну узкую тематику или иметь разные разделы. Обычно такие ресурсы имеют возможность комментирования для обсуждения каждой записи (поста). Может существовать отдельно или быть частью других типов сайтов. Такой веб-сайт подходит для публикации на нем длинных подробных статей, а также имеет такие преимущества, как возможность сделать красивую верстку и дизайн, настроить подробную аналитику, повысить вовлеченность посетителей [3].

В качестве типа обучающего веб-ресурса был выбран одностраничный сайт, так как он обладает всем необходимым функционалом для разработки эффективного обучающего веб-ресурса.

Выбор структуры обучающего веб-ресурса является самой важной частью разработки. Был проведен анализ стандартной структуры одностраничного сайта, в ходе которого для первой половины обучающего веб-ресурса были выбраны два стандартных раздела, а последующие разделы были построены исходя из тематики веб-ресурса. В итоге была разработана структура обучающего веб-ресурса, состоящая из следующих разделов.

1. Главный экран с заглавной иллюстрацией и заголовком представлен на рис. 1. На нем организован доступ ко всем разделам сайта с помощью отдельных кнопок и меню.



Рис. 1. Главный экран

2. Информация о проекте, благодаря которой пользователь может увидеть преимущества данного веб-ресурса. Данный раздел представлен на рис. 2.



Рис. 2. О проекте

3. Теория. В данном разделе представлено понятное для детей описание таких органов, как мозг, сердце, легкие, печень, кишечник, желудок и мочевой пузырь. Вид данного раздела представлен на рис. 3.

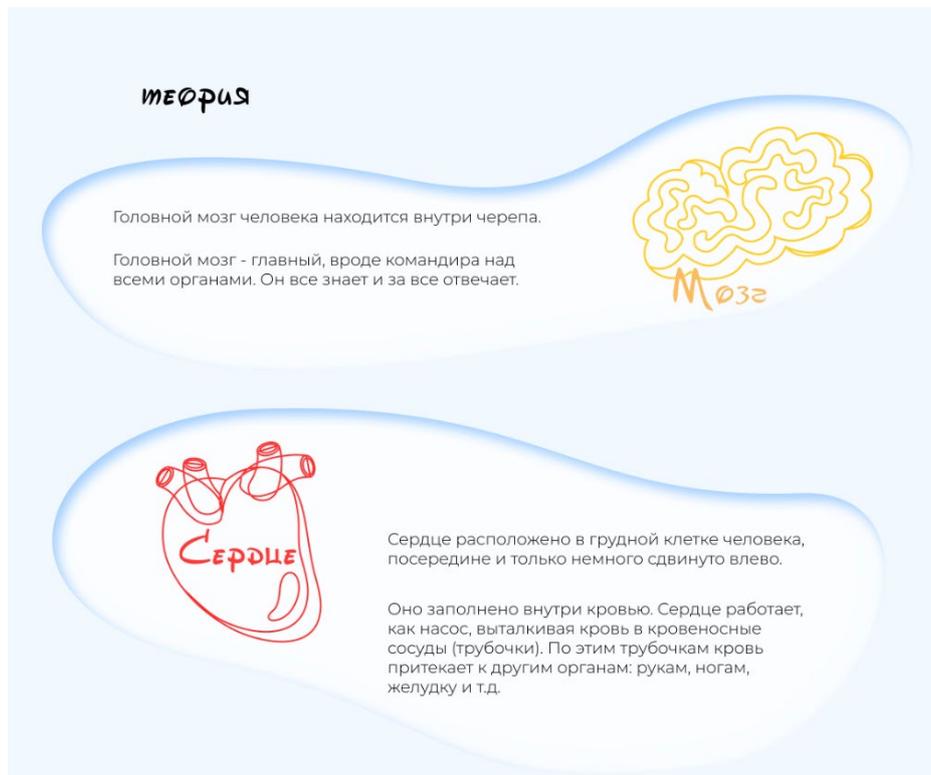


Рис. 3. Теория

4. Тест, с помощью которого ребенок может проверить свои знания об органах. Этот раздел представлен на рис. 4.

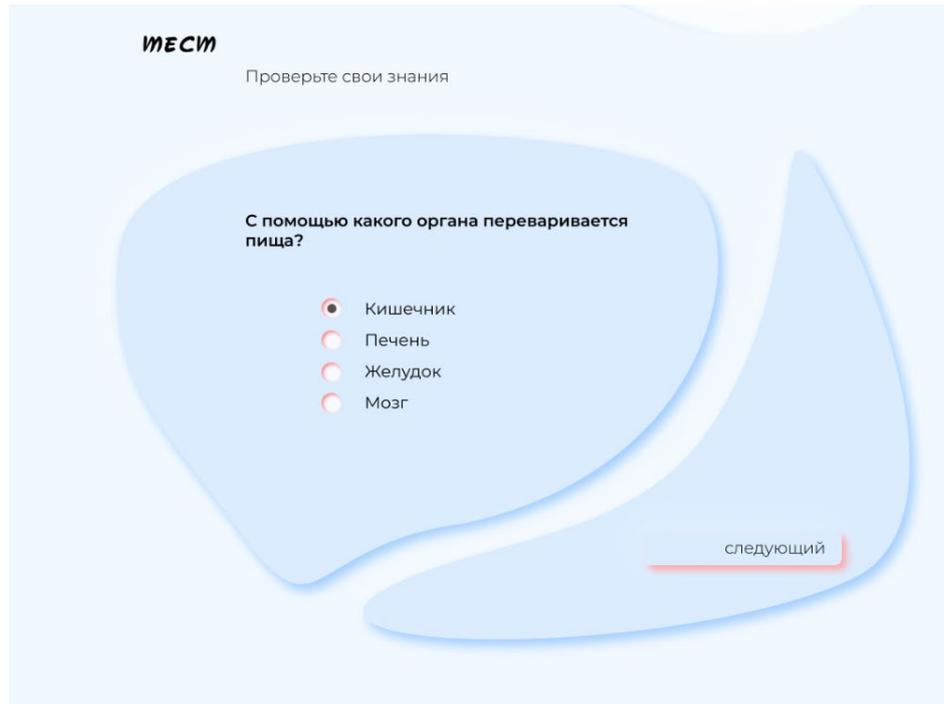


Рис. 4. Тест

5. Игра, суть которой заключается в том, чтобы правильно расставить органы на картинке человека. Ее вид можно увидеть на рис. 5.

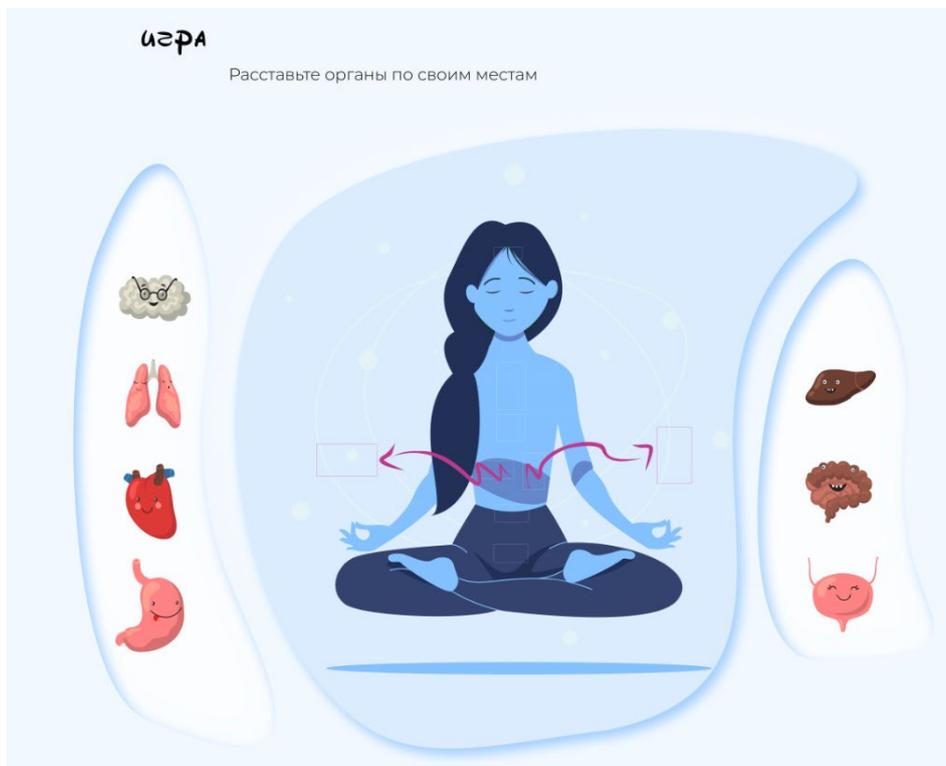


Рис. 5. Игра

Данная структура обладает следующими особенностями:

- соблюдение однообразия элементов сайта;
- отсутствие разделов, дублирующих друг друга;

- простой и быстрый доступ ко всем разделам сайта;
- наличие интерактивного контента;
- соответствие тематике веб-ресурса.

Другой важной составляющей при разработке сайта является создание его дизайна.

Учитывая особое влияние визуального мира на восприятие информации ребенком, необходимо уделить созданию красочного и яркого контента особое внимание. Обычно, чтобы подобрать цвета, шрифты и расставить акценты на странице, дизайнер опирается на политику компании, преследуемые ею цели и создание желаемого имиджа, цветовую гамму подбирает, отталкиваясь от предоставленных исходников. В случае с сайтом по анатомии для детей брать реалистичные исходники нельзя, но для лучшего понимания изобразить органы человека все-таки необходимо. Представим всё в мультипликационном виде, то есть баннер главного экрана, вспомогательные картинки, части интерактивной игры и все органы будут векторными изображениями. Их создадим в программе Corel Draw. В этом случае определиться с цветами и типом мультигероев нужно до создания исходников. Для этого определим влияние цветов на психику детей.

Основной цвет сайта сделаем синим, так как он способствует спокойному восприятию данных и запоминанию новой информации. Персонажи также будут синими, так как они не несут основополагающей информации и выглядят дружелюбно в этом цвете. Для расставления акцентов и агитации к активным действиям ребенка используем красный цвет – он будет в кнопках и анимированном баннере, где сердце является главным органом. Остальные органы разукрасим в разные цвета, чтобы привлекать к ним внимание и создать характер каждого. Получившиеся изображения представлены на рис. 6.



Рис. 6. Векторные изображения

Далее для анимации создадим анимацию сердца на баннере, его биение, в Adobe Photoshop. Интерактивность в игре по перетаскиванию органов и в тесте реализуем на JavaScript в браузере.

Шрифт выберем диснеевский 60 пунктов для создания хороших ассоциаций у детей, основной текст для детей постарше – Montserrat 20 пунктов. На данный момент его принято считать самым читабельным и популярным начертанием.

Таким образом, для реализации обучающего ресурса по анатомии был создана структура и дизайн одностраничного сайта. Структура состояла из следующих блоков: основной экран с заголовком и баннером, ознакомительная часть «о проекте», теория по анатомии, блок тестирования и игра на проверку полученных знаний. Основой дизайна стали векторные изображения, анимация и интерактивность были также включены в работу сайта,

главной цветовой составляющей всего сайта был синий цвет, акцентирование производилось красными тенями, разноцветными стали сами органы для яркого разнообразия главных элементов.

### Литература

1. Плюсы и минусы одностраничного сайта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/UjjKq> (дата обращения: 11.05.2021).
2. Мультилендинг и динамический контент: как удивить пользователя, предложив ему то, что он ищет [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://impulse-design.com.ua/multilending-i-dinamicheskij-kontent.html> (дата обращения: 25.04.2021).
3. Плюсы и минусы блога как инструмента контент-маркетинга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://parasitelab.com/ru/blog/blog-dlya-biznesa> (дата обращения: 11.05.2021).
4. Овчинникова Р. Ю. От общей теории дизайна - к методологии графического дизайна // Манускрипт. 2016. №2 (64) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ot-obschey-teorii-dizayna-k-metodologii-graficheskogo-dizayna> (дата обращения: 13.05.2021).
5. Kompaniets, Vitaly & Lyz, Alexander & Kazanskaya, Alina. (2020). An Empirical Study of Goal Setting in UX/UI-design. 1-5. 10.1109/AICT50176.2020.9368570.
6. Robert, A. & Pretlow, M.. (2000). Interactive medical web sites for children and teenagers. Technology and Health Care. 8. 177-178.

УДК 004.056.53

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АКУСТООПТИЧЕСКОГО КАНАЛА УТЕЧКИ ЧЕРЕЗ ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАБЕЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Балина А.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к. т. Н., доцент Былина М.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им.проф. М. А. Бонч- Бруевича

В работе представлено исследование возможности несанкционированного доступа к оптическому волокну путем создания акустооптического канала утечки через пассивные компоненты кабельной инфраструктуры. Рассмотрены физические причины формирования таких каналов утечки, установлено, что они предоставляют злоумышленнику возможность осуществления несанкционированного доступа. Проведена оценка эффективности канала утечки через разъемные соединения, критерием эффективности выбрана глубина модуляции оптического сигнала, подвергнутого акустическому воздействию.

**Ключевые слова:** волоконно-оптическая система связи, несанкционированный доступ, пассивная оптическая сеть (PON), акустооптический канал утечки, амплитудная модуляция, оптическое разъемное соединение, френелевское отражение.

В настоящее время оптическое волокно (ОВ) является самой перспективной и распространенной средой передачи для сетей связи, что обусловлено его преимуществами по сравнению с другими средами – высокой пропускной способностью, нечувствительностью к электромагнитным воздействиям, малыми габаритами и массой, относительно низкой стоимостью и др. Волоконно-оптические системы связи (ВОСС) являются основой не только магистральных сетей связи, но и сетей доступа, а также локальных сетей и структурированных кабельных систем [1, с. 64]. Тенденции развития волоконно-оптической связи таковы, что ОВ замещает другие проводные технологии в ближнем окружении пользователя. Одна из самых известных и распространенных технологий предоставления абонентам доступа к современным услугам связи по ОВ – пассивная оптическая сеть (Passive Optical Network, PON). Оптические кабельные каналы PON проходят по всему зданию, и пользователи оказываются в окружении волоконно-оптических коммуникаций, что создает совершенно новые, на данный момент недостаточно изученные и исследованные условия для нарушения их конфиденциальности.

Известно, что волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) обладают большей защищенностью от несанкционированного доступа по сравнению с другими средами передачи, что обусловлено особенностями распространения электромагнитной энергии по ОВ. Однако способы извлечения конфиденциальной информации из оптического канала все же существуют [2]. И одна из угроз связана с воздействием акустических полей на ОВ, результатом которого является модуляция проходящего по нему излучения, что, в свою очередь, создает возможность извлечения звуковой информации (например, подслушивания конфиденциальных разговоров). Проблема паразитных акустических модуляций излучения в ОВ широко исследуется в зарубежной и отечественной литературе, однако предлагаемые методы защиты неоднозначны и требуют детального исследования. Рассмотрим некоторые преимущества и недостатки предлагаемых решений.

Первым и самым очевидным способом защиты кабеля от акустического воздействия является его звукоизоляция. Однако полностью оградить ОВ от внешнего воздействия достаточно сложно, кроме того, это усложняет доступ к нему. Также организация такого метода защиты, как например, установка звукоизолирующего короба вокруг кабеля, не только не защищает, но и может создавать опасность скрытого акустического контакта кабеля с поверхностью короба, что повышает эффективность модуляции оптического сигнала звуком.

Другой способ защиты основывается на идее снижения информативности снятого злоумышленником сигнала с волокна. Метод фильтрации и зашумления сигнала утечки информации подразумевает отсечение паразитных модуляций и добавление к полезному сигналу шума с помощью специального оборудования [3]. Данный метод относится к активным методам, и, как правило, требует прямого включения в оптическую сеть промежуточного активного оборудования, что противоречит концепции технологии PON. Третий и на данный момент самый эффективный способ защиты – это метод обнаружения паразитных наводок и зондирующих излучений, представленный в исследованиях Владимира Васильевича Гришачева [3]. Особенностью утечки речевой информации является тот факт, что источник утечки, как правило, находится вблизи терминального сетевого оборудования. Это позволяет совместить трансивер с устройством защиты, когда в терминальном трансивере производится анализ световых потоков в сети и по фактам наличия паразитной модуляции и зондирующих излучений делается вывод о появлении угрозы подслушивания. Описанные способы имеют свои особенности, но все они несовершенны, поэтому необходимо предложить решение на основе детального рассмотрения сценария прослушивания и физических особенностей формирования акустооптического канала утечки.

Акустооптический канал утечки формируется следующим образом. Акустическая волна речевого диапазона частот, распространяясь в воздухе, взаимодействует с окружающими объектами, в том числе с ОВ, оказывая на них механическое воздействие. В результате возникает паразитная модуляция проходящего по ОВ света по амплитуде, частоте, фазе и поляризации [4]. Модулированное звуком световое излучение распространяется по ОВ за пределы охраняемой зоны и может быть принято и демодулировано нарушителем.

Эффективность модуляции зависит от места взаимодействия акустического поля и оптического потока. Воздействию подвергаются все пассивные элементы волоконно-оптической кабельной системы. Обычно выделяют три типа канала утечки: свободный участок оптического кабеля (ОК); ОК, имеющий виброакустический контакт с конструкциями здания (например, в месте его крепления к элементам конструкций здания) и место механического (разъемного) соединения ОВ. Именно последний тип канала утечки будет подробно рассмотрен в данной работе.

Между торцами ОВ в разъемном соединении (коннекторе) всегда имеется небольшой зазор (осевое смещение), в котором возникают многократные переотражения излучения. В результате их интерференции формируются прошедшее соединение и отраженное от него излучения, описываемые соотношениями для интерферометра Фабри-Перо [5] и позволяющими определить вносимые и возвратные потери в соединении. Для вносимых  $a_{vn}$  и возвратных  $a_{vz}$  потерь соединения с осевым смещением двух одинаковых стандартных одномодовых ОВ с плоскими торцами, перпендикулярными оптическим осям, справедливо (1, 2):

$$a_{vn} = -10 \lg K_{vn} = -10 \lg \frac{4 * n_c^2 * n^2}{4 * n_c^2 * n^2 + (n^2 - n_c^2)^2 \sin^2(\frac{2\pi}{\lambda} * n * s)}, \quad (1)$$

$$a_{vz} = -10 \lg K_{vz} = -10 \lg \frac{(n^2 - n_c^2)^2 * \sin^2(\frac{2\pi}{\lambda} * n * s)}{4 * n^2 * n_c^2 + (n^2 - n_c^2)^2 \sin^2(\frac{2\pi}{\lambda} * n * s)}, \quad (2)$$

где  $K_{vn}$ ,  $K_{vz}$  – коэффициенты вносимых и возвратных потерь,  $n_c$  – показатель преломления сердцевин соединяемых волокон,  $n$  – показатель преломления среды в зазоре,  $s$  – ширина зазора,  $\lambda$  – длина волны излучения.

Из выражений (1) и (2) видно, что потери зависят от соотношения  $s/\lambda$ .

Для увеличения  $a_{vz}$  применяется соединение типа «физический контакт», предполагающее придание торцам соединяемых ОВ сферической формы с радиусом  $R$ . В таком соединении ширина зазора  $s$  будет зависеть от расстояния от оптической оси волокна  $r$ :

$$s(r) = 2 * (R - \sqrt{R^2 - r^2}) + s_0, \quad (3)$$

где  $s_0 = s(r)$  – ширина зазора на оптической оси.

Для идеального контакта величина  $s_0$  равна нулю, в таком положении волокна касаются друг друга высшими точками сфер, расположенными на их оптических осях. В реальном разъемном соединении максимальная допустимая величина  $s_0$  составляет 0.1 мкм. Далее будем считать, что в разьеме, не подвергнутом внешнему воздействию,  $s_0$  составляет половину максимальной величины (0.05 мкм).

Из (1)–(3) следует, что коэффициенты  $K_{vn}$  и  $K_{vz}$  в соединении типа «физический контакт» зависят от  $r$ . Для расчета вносимых и возвратных потерь такого соединения  $K_{vn}$  и  $K_{vz}$  необходимо усреднить по поперечному сечению ОВ:

$$A_{vn} = -10 \lg \left[ \frac{2}{w^2} \int_0^w K_{vn}(r) \cdot r \cdot dr \right], A_{vz} = -10 \lg \left[ \frac{2}{w^2} \int_0^w K_{vz}(r) \cdot r \cdot dr \right], \quad (4)$$

где  $w$  – радиус модового пятна ОВ, определяемый выражением:

$$w = r_c \cdot (0.65 + 1.619/V^{1.5} + 2.879/V^6), V = 2\pi \cdot r_c \cdot NA/\lambda. \quad (5)$$

В выражении (5)  $r_c$  – радиус сердцевины ОВ,  $V$  – нормированная частота ОВ,  $NA$  – числовая апертура ОВ.

В работе оценивается эффективность разъемного соединения типа «физический контакт» как канала утечки. В качестве критерия эффективности канала выбрана глубина модуляции мощности прошедшего и отраженного излучения. Суть исследования состоит в расчете вносимых и возвратных потерь в подвергнутом акустическому воздействию соединении, обусловленных френелевскими отражениями между торцами двух волокон. При расчетах учитывалась зависимость ширины зазора от радиуса кривизны сферической поверхности торца наконечника коннектора и расстояния от оптической оси волокна.

Акустическое воздействие с частотой  $f$  вызывает вибрацию соединенных ОВ, то есть изменение  $s_0$  с этой частотой, приводящее к модуляции мощности прошедшего и отраженного излучения. Возникающими под воздействием вибрации угловыми и радиальными смещениями соединяемых ОВ пока пренебрегаем.

На рис. 1 представлены результаты расчетов по (4) минимальных и максимальных  $A_{vn}$  и  $A_{vz}$  от длины волны  $\lambda$  для соединения, подвергнутого виброакустическому воздействию. Полагалось, что амплитуда  $S_m$  колебаний ОВ вдоль оптической оси составляет 25 нм – 50% от величины  $s_0$  для соединения, не подвергнутого внешнему воздействию.

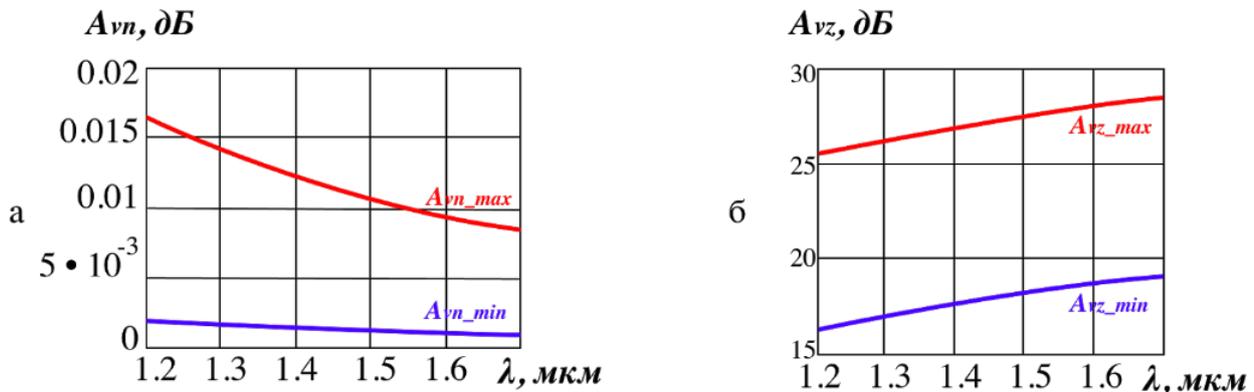


Рис. 1. Зависимости минимальных и максимальных вносимых (а) и возвратных (б) потерь от длины волны в соединении, подвергнутом виброакустическому воздействию

Для оценки эффективности модуляции проходящего и отраженного излучения определим глубину модуляции:

$$\text{для прошедшего излучения: } m_t = \frac{\delta P_{\text{пр}}}{P_{\text{пр}}} * 100\%, \quad (6)$$

$$\text{для отраженного излучения: } m_r = \frac{\delta P_{\text{отр}}}{P_{\text{отр}}} * 100\%, \quad (7)$$

где  $P_{\text{пр}}$  и  $P_{\text{отр}}$  – мощности прошедшего и отраженного излучений.

Были проведены расчеты глубины модуляции прошедшего и отраженного излучений для амплитуд  $S_m$ , составляющих 20-50% от величины  $s_0$  для соединения, не подвергнутого внешнему воздействию. Результаты расчетов для  $S_m = 0.2s_0$  представлены на рис. 2.

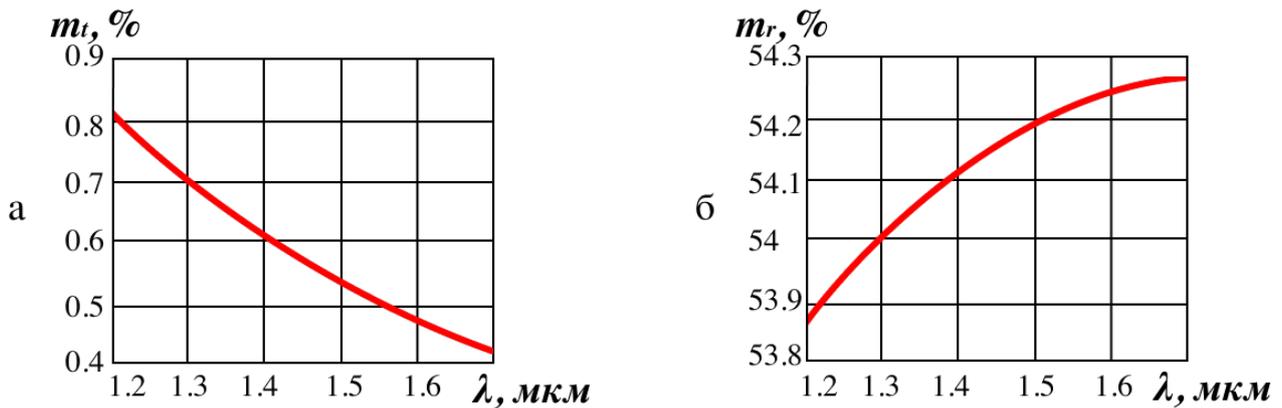


Рис. 2. Зависимости глубины модуляции прошедшего (а) и отраженного излучения (б) от длины волны

Расчеты показали, что в результате акустического воздействия наибольшую глубину модуляции приобретает мощность отраженного излучения. При изменении ширины зазора с амплитудой 20-50% от номинального значения (ширины зазора  $s_0$  в невозмущенном соединении) она составляла от 30% до 80%, в то время как глубина модуляции прошедшего излучения не превышала 2%.

Очевидно, что такая глубина модуляции достаточна, чтобы нарушитель мог зарегистрировать сигнал утечки и демодулировать его по амплитуде с помощью технического средства разведки (ТСР) – достаточно чувствительного фотоприемного устройства. Таким образом, возможность несанкционированного доступа к конфиденциальной акустической информации через канал утечки на основе излучения, отраженного от соединения оптических волокон, можно считать доказанной.

В заключение необходимо отметить, что при проведении исследования соединяемые ОВ полагались полностью идентичными и учитывались потери в соединении, обусловленные только френелевскими отражениями. Учет нефренелевских потерь из-за различия параметров соединяемых ОВ (например, в результате технологического разброса) может привести к некоторому снижению рассчитанной глубины модуляции  $m_r$ . Также в работе проанализировано только возникновение амплитудной модуляции излучения под воздействием акустического поля. Однако известно, что акустическое поле воздействует также на частоту, фазу и поляризацию излучений. Поэтому определение мер повсеместной защите ВОЛС от данного вида угрозы предполагает анализ этих влияний, что будет целью дальнейших исследований.

Тем не менее, даже с учетом указанных особенностей исследования, можно считать доказанной возможность НСД к конфиденциальной акустической информации через канал утечки на основе излучения, отраженного от соединения ОВ. Было также установлено, что эффективность рассмотренного канала утечки уменьшается при уменьшении  $s_0$ , что позволяет говорить о необходимости обеспечения хорошего физического контакта между стыкуемыми волокнами, как одном из способов защиты от данной угрозы.

Таким образом, исследование и экспериментальная оценка волоконно-оптического канала утечки речевой информации являются перспективными направлениями для решения проблем информационной безопасности волоконно-оптических линий связи.

#### Литература

1. Trojer E., Dahlfort S., Hood D. and Mickelsson H. Current and next-generation PONs: A technical overview of present and future PON technology. – Ericsson Review, 2008, №2, p. 64.
2. Балина А.В. Угрозы несанкционированного доступа к информации путем формирования акустооптического канала утечки в волоконно-оптических линиях связи // Глобальные трансформации технологических и научных систем: перспективы развития. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2020. С. 34-37.
3. Гришачев В. В. Канал утечки информации на основе паразитных наводок (модуляций) в оптическом волокне. Часть 2. Фотоника, № 1 (49), 2015. С. 70-81
4. Панов М. Ф., Соломонов А. В., Филатов Ю. В. Физические основы интегральной оптики // М.: Академия, 2010. — 432 с. ISBN 978-5-7695-5976-1.
5. Былина М. С., Глаголев С. Ф., Павлова Н. Н. Теоретическое исследование потерь в соединениях одномодовых волокон // Фотон-Экспресс № 3 (63), 2007.

УДК 621.9-05

**СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ БИБЛИОТЕК В САМ-СИСТЕМАХ****Басова Т.В.<sup>1</sup>****Научный руководитель – к.т.н., доцент Андреев Ю.С.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Университет ИТМО

Предложен метод унификации данных о режущем инструменте для формирования библиотек в САМ системе. Данное решение уменьшает ошибки параметрического моделирования инструментальных сборок в САМ-системе за счет сокращения ручного ввода информации о нем.

**Ключевые слова:** библиотека инструмента, САМ-система, NX CAM, ISO 13399, режущий инструмент, унификация информации, управляющая программа, станок с ЧПУ.

Качество изготовления детали напрямую зависит от таких процессов разработки управляющих программ, как верификация, моделирование режущего инструмента, а также назначение режимов резания [1]. При разработке и дальнейшей проверке управляющих программ необходимо описывать режущий инструмент средствами САМ-системы в виде модели с учетом конструкторско-технологических характеристик фактически применяемого режущего инструмента на станке. На сегодняшний день при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ, в основном, применяются параметрические модели режущего инструмента, представленные средствами САМ-системы в упрощенном виде. Подобные модели инструмента, в большинстве случаев, разрабатываются с помощью ручного ввода данных о нем в САМ-системе. Пример параметрической модели, содержащей корпусное сверло, продемонстрирован на рисунке 1.

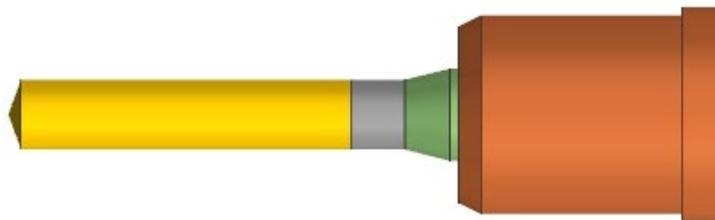


Рис. 1. Параметрическая модель инструментальной сборки, содержащей корпус сверла

Разработка параметрических моделей режущего инструмента и назначение режимов резания, в основном, осуществляются многократно, внутри каждого САМ-проекта. В случае неверного ввода данных об инструменте возникает риск поломки оборудования и режущего инструмента, а также появления технологического брака детали. Ручной ввод информации в файлы библиотек влечет за собой ошибки моделирования инструментальной сборки, что может привести к некорректному выводу кода управляющей программы, недостоверной симуляции обработки и прочим негативным последствиям [2]. На большинстве предприятий еще не автоматизированы процессы подготовки управляющих программ, поэтому вопросы работы с информацией об инструменте в САМ-системах особенно актуальны [3].

Параметрические модели инструментальных сборок представляют собой упрощенное представление фактических, параметры которых требуется учитывать при подготовке управляющих программ. С целью сохранения параметрических моделей во многих САМ-системах имеется возможность ведения специальных библиотек инструмента, однако их разработка сопряжена с рядом трудностей.

Библиотеки инструмента и режимов резания имеют сложные связи, ошибочные данные в одном из файлов библиотек могут привести к некорректному выводу кода управляющей

программы, а также сбоем работы всей САМ-системы. Механизм записи информации о каком-либо режущем инструменте состоит из сохранения данных в специальных структурированных файлах САМ-системы, к которым происходит обращение программного обеспечения во время работы. В момент записи информации о режущем инструменте происходит распределение этих данных между связанными файлами, внутри которых располагаются ссылки, ссылающиеся друг на друга. На рисунке 2 представлена структура библиотеки инструмента в системе NX САМ [4].

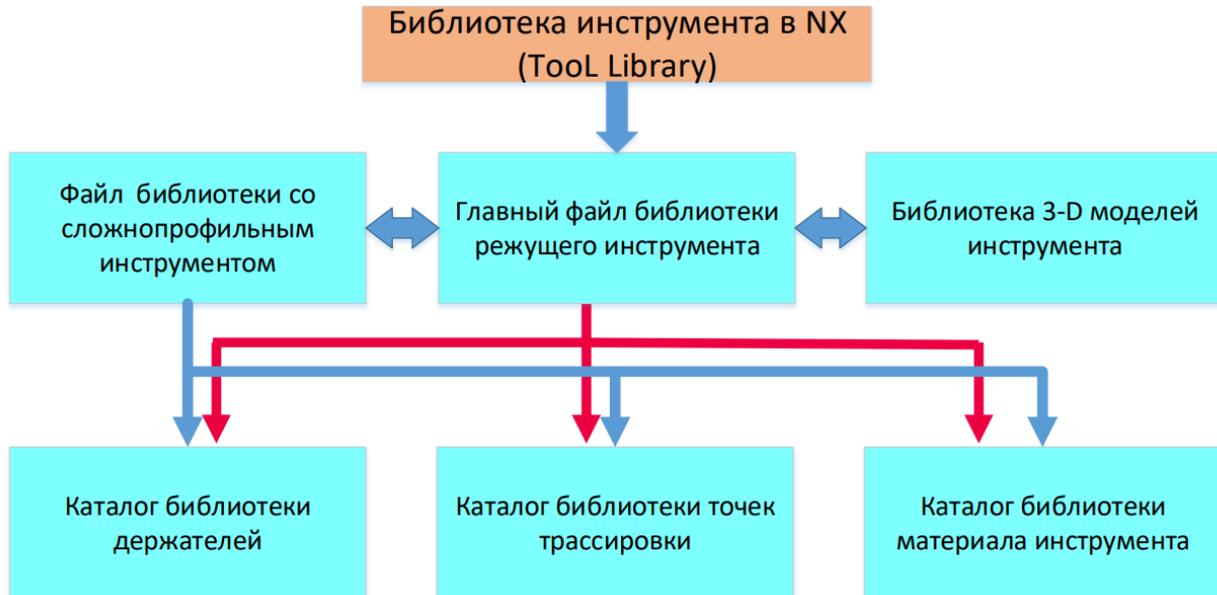


Рис. 2. Структура библиотеки инструмента в системе NX САМ

Иными словами, ошибка в одном из файлов библиотеки может привести к ошибкам моделирования сразу нескольких инструментальных сборок, применяемых при разработке разных управляющих программ. Таким образом, для автоматизации моделирования инструментальных сборок необходимо рассмотрение и решение проблем разработки параметрических моделей, а также сохранения их в библиотеке инструмента.

Ошибки разработки параметрических моделей инструментальных сборок могут быть вызваны разрозненной формой описания данных о режущем инструменте среди его производителей. На сегодняшний день многие производители инструмента и оснастки, чаще всего, имеют разные формы представления информации, что касается как обозначений параметров в каталогах производителя инструмента, так и отсутствия представления информации в электронном виде для дальнейшей передачи и обработки данных при помощи компьютерных технологий потребителя. Из-за отсутствия информации в унифицированном электронном формате передачи данных возрастает ручной труд, а, значит, вероятность некорректного ввода информации в компьютерную систему.

Исходя из вышперечисленного, унификация представления информации о режущем инструменте в выполненной работе была обеспечена за счет применения комплекса международных стандартов ISO 13399 [5]. Комплекс международных стандартов ISO 13399 включает представление данных обо всех объектах, начиная с заготовок и заканчивая металлорежущим станком. В связи с тем, что комплекс международных стандартов ISO 13399 является всеобъемлющим, то был выполнен подбор минимального необходимого набора свойств для описания режущего инструмента с целью использования их для корректного представления режущего инструмента в САМ-системе. Набор свойств был выбран для однозначного и корректного моделирования инструментальных сборок при подготовке управляющих программ. Данный поиск был произведен среди производителей, поставляющих инструмент на предприятие АО «ГОЗ Обуховский завод». В итоге, если

производитель режущего инструмента не поддерживает международный стандарт, то информация о его продукции может быть приведена к требуемой форме представления на основе выявленного набора свойств.

Унифицированное описание информации об инструменте и выявление требуемых свойств являются необходимыми условиями для разработки и внедрения алгоритмов автоматизации построения параметрических моделей режущего инструмента и их сохранения в библиотеке инструмента САМ-системы. Подобным образом в рамках работы были выявлены наборы свойств для фрезерного и сверлильного инструмента, а также разработаны алгоритмы их моделирования и сохранения в библиотеке инструмента. В предложенном алгоритме моделирования инструмента каждому свойству переменной параметрической модели инструмента однозначно советуется свойство, определенное по ISO 13399. Данные свойства предоставляются производителем инструмента, что обеспечивает достоверность параметрической модели инструмента фактическому инструменту. Фрагмент алгоритма для параметрического моделирования фрезерного инструмента с учетом особенностей представления данных об инструменте разными производителями представлен в таблице.

Таблица. Фрагмент алгоритма для параметрического моделирования фрезерного инструмента

Параметр инструмента в NX	Подтип инструмента	Название применяемого параметра из ISO 13399 с расшифровкой	Формула для расчета параметра модели инструмента
(D) Диаметр	Концевая фреза	$DC$ – диаметр резания	$D = DC$
	Торцевая фреза	$DCX$ – максимальный диаметр резания	$D = DCX$
(R1) Нижний радиус	Для монолитного инструмента	$Re$ – радиус при вершине	$R1 = Re$
	Для сборного инструмента	$Re$ – радиус при вершине (пластины)	$R1 = Re$
(L) Длина	Концевая и торцевая фрезы	$LU$ – рабочая длина; $LB_1$ – длина корпуса; $LF$ – функциональная длина	$(L)Длина = LU \rightarrow \neg$ $(L)Длина = LB_1 \rightarrow \neg$ $(L)Длина = LF$
(FL) Длина режущей части	Концевая и торцевая фрезы	$APMX$ – максимальная глубина резания	$FL = APMX$

В рамках исследования была произведена унификация представления информации о режущем инструменте разных поставщиков при помощи стандарта ISO 13399. С помощью введенных алгоритмов было разработано специальное программное обеспечение, заполняющее библиотеки инструмента. Подобным образом была разработана библиотека инструмента, состоящая из 77 фрезерных и 106 сверлильных инструментальных сборок. Результаты работы были внедрены на гибком производственном участке для изготовления корпусных деталей предприятия АО «ГОЗ Обуховский завод».

## Литература

1. Технология работы со сборным инструментом для оборудования с ЧПУ: Бюро ESG [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://esg.spb.ru/articles/197/> (дата обращения: 03.02.2021).

2. Вилкина М. В. Современный подход к обработке металла: программирование и инструмент // Ритм машиностроения. – 2017.- №8. С - 16-22.
3. Библиотека технологических ресурсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sapr.ru/article/23626> (дата обращения: 10.02.2021).
4. Ведмидь П.А. Основы NX САМ. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 216 с.
5. ГОСТ Р 55341-2012/ ISO/TS 13399-100:2008. Представление и обмен данными по режущим инструментам.

УДК 519.254

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ****Богомолов Ю.И.<sup>1</sup>****Научный руководитель – к.т.н. Митягин С.А.<sup>1</sup>****Консультант – д.ф.-м. н. Соболевский С.Л.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Университет ИТМО<sup>2</sup>Нью-Йоркский университет

Статья предлагает инновационное представление данных для пространственно-временных транзакционных сетей. Вторая часть работы посвящена описанию трансформаций сети и моделирования социального взаимодействия. Данные операции используют предложенное представление данных, что позволяет совместить временной, пространственный, потоковый и сетевой анализ внутри одной системы.

**Ключевые слова:** пространственно-временная сеть, моделирование социального взаимодействия, структура данных, модель гравитации, модель радиации.

Многие процессы и события в современном мире могут быть представлены в виде транзакционных пространственно-временных сетей. Примеры включают общение по телефону, поездки на транспорте, операции покупки/продажи, взаимодействие с социальными сетями. Каждое из этих событий представляет собой транзакцию, которая совершается в пространстве и времени.

Развитие мобильных технологий и информационных систем привело к экспоненциальному росту объема пространственно-временных данных, что в свою очередь увеличило привлекательность исследований в этом направлении. Транзакции помогают описать и проанализировать социальные и экономические взаимодействия между людьми либо между человеком и юридическим лицом. Дополнительные сложности анализа вызваны тем, что различные виды взаимодействия порождают многослойные сети.

Каждая из трех представленных подзадач – временной анализ, пространственных анализ и сетевой анализ – хорошо изучена и описана в литературе. В то же время ни одна из известных нам систем не позволяет проводить анализ, который одновременно оперирует с сетевой структурой и пространственно-временными измерениями данных. Наша цель: разработать масштабируемое решение, которое позволяет автоматизировать стандартные методы обработки и анализа пространственно-временных сетей.

Чтобы продемонстрировать практическую пользу нашей модели, мы рассмотрим ее применение к задаче моделирования социального взаимодействия в пространстве. Заметим, что социальное моделирование применяется к широкому спектру реальных процессов, примерами являются коммуникации между людьми, миграция населения, торговые потоки между городами и странами. На текущий момент самой популярной в этой области является модель гравитации [1]. Также популярность набирает модель радиации [2]. Рассмотрим обе модели подробнее.

Модель гравитации социальных взаимодействий является аналогом закона гравитации Ньютона:

$$T_{i,j} = k \frac{p_i^\alpha p_j^\beta}{d^\lambda}. \quad (1)$$

Данная модель утверждает, что взаимодействие  $T$  между локациями  $i$  и  $j$  прямо пропорционально степени населения  $p$  обеих локаций и обратно пропорционально степени расстояния  $d$  между локациями.  $k$  – это нормализующая константа, а показатели степеней являются параметрами модели. Модель гравитации успешно применяется на практике к широкому набору задач. Из недостатков следует выделить тот факт, что модель не учитывает привлекательность других локаций региона.

Чтобы решить данную проблему, была предложена модель радиации:

$$T_{i,j} = T_i \frac{p_i p_j}{(p_i + s_{i,j})(p_j + s_{i,j})}. \quad (2)$$

Основное отличие модели радиации состоит в том, что вместо расстояния между локациями модель использует общее население всех локаций  $s$  в окружности с центром в локации  $i$  и радиусом  $d$ . Из ограничений модели следует заметить зависимость взаимодействия от  $T_i$  (сумма исходящего взаимодействия из локации  $i$ ).

Наша задача состоит в разработке новой модели данных, которая позволяет производить не только операции фильтрации и агрегации, но и поддерживает стандартные методы моделирования. Таким образом, на практике сразу после перевода исходных данных в предложенное представление пользователи получают доступ к набору поддерживаемых моделей.

В основе нашей модели данных лежит ориентированный псевдограф и две функции меток. Первая функция возвращает метки для вершин псевдографа, а вторая определяет метки для дуг. Каждая метка в общем случае представляет собой вектор, который описывает атрибуты вершины либо дуги.

С каждой вершиной мы ассоциируем геопространственный объект, который не пересекается с геопространственными объектами других вершин. Векторы атрибутов для дуг, в свою очередь, содержат временное измерение. Заметим, что множество меток дуг представляет из себя временной ряд, в то время как множество меток вершин содержит пространственное разбиение.

$$STTN = (V, A, \Sigma_V, \Sigma_A, o, d, L_V, L_A, space, time), \quad (3)$$

где  $V$  – множество вершин,  $A$  – множество дуг,  $\mathring{a}_V$  – алфавит меток множества вершин,  $\mathring{a}_A$  – алфавит меток множества дуг,  $o$  – функция соответствия начальной вершины дуги,  $d$  – функция соответствия конечной вершины дуги,  $L_V$  – функция меток для вершин,  $L_A$  – функция меток для дуг,  $space$  – пространственное свойство меток вершин,  $time$  – временное свойство меток дуг.

Рассмотрим предложенную модель на конкретном примере данных: поездки на такси за определенный промежуток времени в исследуемом городе. Такие данные широко используются для изучения транспортной системы города и мобильности горожан.

В целях обеспечения анонимности данные для каждой из поездок на практике содержат не конкретные координаты, а блок начала и конца поездки (в качестве блока может выступать квартал или любое другое пространственное разбиение города, которое предоставляет достаточную точность). Каждый блок города в нашей модели удобно представить в виде вершины графа, а каждую поездку - в виде дуги между двумя блоками. Метка каждой дуги содержит вектор с атрибутами поездки (такими как время начала поездки, время конца поездки, стоимость и так далее). А метки вершин содержат геопространственные координаты каждого блока и дополнительные атрибуты, необходимые для нашего анализа (например количество жителей в указанном блоке) (рис. 1).

Предложенное представление данных объединяет в себе сетевую структуру данных и пространственно-временные измерения, что, в свою очередь, позволяет определить новые виды высокоуровневых операций. Работа с пространственно-временными сетями на практике часто требует переход от одной административно-территориальной единицы к другой, так как один набор данных может быть определен для каждого квартала, а другой только для целого района города.



Рис. 1. Представление данных о поездках на такси в виде сети

Наша модель данных позволяет определить операцию трансформации для сети: `group_nodes(grouping_condition, label_agg_func)`, где `grouping_condition` - это разбиение вершин на непересекающиеся группы, а функция `label_agg_func` позволяет вычислить метку группы вершин на основании меток набора вершин, которые входят в группу. Для примера, описанного выше, `grouping_condition` определяет разбиение районов города на кварталы. А функция `label_agg_func` помогает вычислить метку района города на основании меток кварталов: если в векторе хранятся только данные о населении квартала - то население района будет можно посчитать как сумму показателей по каждому из кварталов района (рис. 2).

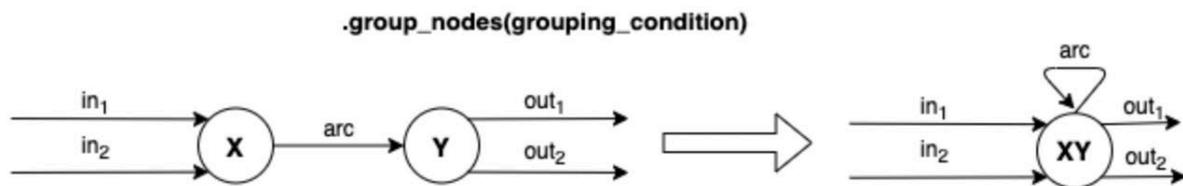


Рис. 2. Объединение вершин сети

Заметим, что данная трансформация возвращает новую пространственно-временную сеть, в которой в качестве вершин выступают уже районы города. А дуги исходной сети между кварталами одного района становятся циклами. Геопространственные координаты районов также могут быть автоматически вычислены на основании объединения кварталов. Описанная операция представляет очень простой интерфейс, который позволяет одновременно модифицировать структуру сети и ее пространственно-временные характеристики. По аналогии мы определяем операции трансформации сети для агрегации входящих/исходящих дуг и операции фильтрации.

Перейдем к более сложным примерам: моделирование социального взаимодействия в обобщенной пространственно-сетевой сети. Сначала мы рассмотрим модель гравитации (1). Население локации является характеристикой вершин нашей сети и может быть представлено в виде элемента вектора метки вершины, в то время как исходные данные социального взаимодействия (которые используются для обучения модели) являются характеристиками

ребер сети. На основании геопространственных координат мы можем вычислить расстояние между любыми вершинами, в нашей реализации используется расстояние между центроидами пространственных областей:

$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, Y_C = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N}. \quad (4)$$

Заметим, что такой подход определяет корректное расстояние, если исходные координаты заданы в системе плоских прямоугольных координат. Такой же подход может применяться для координат в геоцентрической системе координат, но он будет давать погрешность для областей с большой площадью пространства в силу кривизны Земли. Таким образом, модель сети содержит достаточное количество структурной информации для использования модели гравитации.

Для модели радиации (2)  $T_i$  (сумма исходящего взаимодействия из локации  $i$ ) может быть вычислена на основании сетевой структуры с помощью суммирования взаимодействия всех исходящих ребер. Общее население всех локаций  $s$  в окружности заданного радиуса и с известным центром также тривиально вычисляется на основании геометрических операций, описанных выше.

Предложенная модель представления пространственно-временных сетей предлагает унифицированное представление и интерфейс для обработки, фильтрации, агрегации и моделирования данных. Модель хорошо показала себя при применении к транспортным и социальным сетям, а также при анализе мобильности горожан на основе данных переписи населения. Короткий список предложенных трансформаций позволил автоматизировать большинство шагов обработки пространственно-временных данных, которые мы встретили на практике. Ссылку на прототип реализации указанной модели можно найти в списке литературы [3].

В дальнейшей работе мы планируем расширять набор поддерживаемых существующих моделей и разработать инновационные методы моделирования на основании сетевой структуры и пространственно-временных компонент.

### Литература

1. Zipf G.K., «The P 1 P 2/D hypothesis: on the intercity movement of persons» // American sociological review. 1946. P. 677–686.
2. Simini F., González M., Maritan A., Barabási A.L., «A universal model for mobility and migration patterns» // Nature. 2012. P. 96–100.
3. Реализация STTN [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/yuribogomolov/sttn> (дата обращения: 08.05.2021).

УДК 004.72

## ПРОБЛЕМАТИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОСРЕДСТВОМ СЕГМЕНТАЦИИ СЕТИ

Бондарева А.Д.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кузнецов А.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе исследованы существующие решения по обеспечению безопасности информационных сетей. Определено влияние конфигурации информационных сетей на уровень безопасности информационных ресурсов. Исследованы подходы к проведению сегментации сети. Предложена концепция системы принятия решений для перестроения сети по требованиям информационной безопасности.

**Ключевые слова:** информационная инфраструктура, топология сети, информационная безопасность, программно-ориентированная сегментация, разграничение доступа.

### Введение

В век информатизации и цифровизации общества является неоспоримой необходимостью обеспечения информационной безопасности (ИБ). В рамках решения задач повышения эффективности защиты информации возникает проблематика определения безопасной конфигурации информационной инфраструктуры для защиты наиболее критичных для бизнес-процессов информационных ресурсов.

Первым делом компании защищают периметр сети, покупают межсетевые экраны, считая, что внешние угрозы становятся неактуальными. Однако подключение к внутренней сети остается возможным вследствие ошибок конфигурации и уязвимостей программного обеспечения средств защиты или, например, атак методами социальной инженерии. Защита внешнего периметра никак не отразится на работе внутреннего нарушителя информационной безопасности, так как чаще всего в организациях используются плоские сети, построенные на принципе «неявного доверия». Таким термином называют сети, в которых не обеспечивается разграничение информационных потоков, в том числе на сетевом уровне [1].

Для защиты информации в таком случае применяется принцип разграничения сетевого доступа. Для этого применяется подход деления сети на компоненты и настройка маршрутизации между ними, называемый сегментацией сети. Сетевой трафик между группами и сегментами контролируется или блокируется в зависимости от установленных политик безопасности.

При таком подходе даже при отсутствии защищенного периметра сети вероятность реализации внешних угроз безопасности снижается за счет изоляции критически важных узлов, что снижает совокупный риск полной компрометации информационной инфраструктуры. Также сегментация сети позволяет обеспечить целостность и доступность ресурсов за счет локализации инцидента и изоляции его в отдельном сегменте.

Недостатком сегментации является то, что существующая и отлаженная сеть требует значительных изменений, а соответственно, больших финансовых и трудозатрат.

Существует два основных подхода к проведению сегментации:

1. Программная сегментация, при которой осуществляется закупка специализированных средств защиты информации, программного и аппаратного оборудования, которое организует сетевой трафик и разграничивает сетевой доступ на основе собственных алгоритмов и проприетарных протоколов.
2. Физическая сегментация, при которой осуществляется проведение комплексного обследования бизнес-процессов компании, определение информационных потоков между подразделениями, проектирование защищенной информационной сети, закупка оборудования, перенастройка существующих подключений.

Первый вариант характерен большими затратами на закупку оборудования, его внедрение, обучение персонала работе с ним, а также технической поддержке. Второй же

вариант требует много ручного труда ИТ- и ИБ-специалистов с вовлечением в процедуру определения требуемого доступа большого количества персонала разных подразделений.

#### **Анализ существующих решений по сегментации сети**

Принципом работы программно-определяемых сетей является формирование виртуального уровня сети и виртуализация сетевых ресурсов, что позволяет разделить процессы передачи и управления данными.

Одним из примеров такого решения является TrustSec от компании Cisco. Данная технология основана на модификации сетевого стека протоколов. Кадрам, передающимся на канальном уровне, присваиваются метки групп безопасности, которые содержат информацию о конкретных сессиях доступа [2].

Достоинствами такого решения являются централизованное управление политиками безопасности и разграничением доступа, применение только доверенных устройств и отсутствие необходимости дополнительного конфигурирования оборудования. Однако технология функционирует только на основе оборудования Cisco, имеет проблемы в настройке сетевого соединения через WAN, а при выходе из строя сервера авторизации или сервера управления политиками доступа функционирование сети нарушается.

Сегментация на основе намерений Fortinet аналогично предыдущему решению применяется для интеллектуальной сегментации информационной инфраструктуры [3]. Она строится на применении на границах сегментов сети дополнительных межсетевых экранов нового поколения FortiGate (NGFW) для блокировки вредоносной активности. Сегментация Fortinet основана на концепции нулевого доверия, которая предусматривает проверку всех пользователей и приложений в сети. Фильтрация пакетов осуществляется как с помощью списков разрешенных элементов, так и на основе данных, получаемых от систем обнаружения вторжений [3].

Среди преимуществ решения можно выделить отсутствие необходимости в модификации сетевой архитектуры, комплексное отслеживание сетевого трафика за счет взаимодействия межсетевых экранов, а также возможность блокировать распространение в сети вредоносных программ. В то же время данное решение также работает только на оборудовании от одного производителя и мало функционально в отсутствии связей с другими решениями от Fortinet.

Третий способ построения сегментированной сети – использование программных компонентов на узлах сети, которые управляются централизованно и позволяют ограничивать нежелательный трафик на уровне отдельной машины. В данном случае речь идет о микросегментации – вырожденном состоянии сегментации, когда каждый отдельный узел сети фактически представляет собой отдельный сегмент. Принятие решения о допустимости передачи того или иного сетевого пакета принимается специальным программным обеспечением, установленным на каждом компьютере в пределах сети.

К таким программным межсетевым экранам относится, например, TrustAccess от Кода Безопасности. Этот продукт осуществляет фильтрацию сетевого трафика на основе правил. В качестве исходных данных для ограничения сетевых соединений используется информация о служебных и прикладных протоколах, пользователях и группах пользователей, а также различные временные характеристики [4].

Другие примеры программных решений для ограничения трафика – ViPNet Personal Firewall и ViPNet Endpoint Security от Infotecs или StoneGate FW/VPN от Stonesoft. Эти программные продукты осуществляют создание защищенной виртуальной сети поверх физической. Между устройством пользователя и сетевым ресурсом создается зашифрованный VPN канал, который гарантирует конфиденциальность передаваемых по сети сведений. За счет наличия функций межсетевого экранирования эти продукты осуществляют фильтрацию трафика непосредственно на устройствах пользователей.

На основе вышеизложенного можно выделить такие достоинства микросегментации, как максимально точная настройка ограничения трафика за счет фильтрации на конечных устройствах, а также возможность полного исключения нежелательного трафика в сети. В то

же время, нельзя не отметить существенные недостатки микросегментации, препятствующие ее широкому применению: во-первых, получение привилегий учетной записи с максимальными правами доступа на конечном устройстве может привести к отключению межсетевого экрана и взаимодействию с произвольными физически доступными сетевыми устройствами; во-вторых, настройка разграничения доступа на каждом устройстве и поддержание актуальности правил требуют существенных трудозатрат. Кроме того, в крупных сетевых инфраструктурах подобное решение может оказаться более дорогостоящим вариантом в сравнении с аппаратными платформами.

Продолжением концепции виртуализации автоматизированных рабочих мест и серверов стала виртуализация сетевого взаимодействия. Построение виртуальной сетевой инфраструктуры подразумевает назначение правил разграничения доступа для каждого субъекта в сети, как для виртуальных машин, так и для пользователей или приложений. Наиболее распространенным и широко известным решением данного класса является VmWare NSX, который реализует концепцию микросегментации. В VmWare NSX применяется схожий с VmWare ESXi подход: для управления виртуальными машинами используется специальный сетевой гипервизор [5]. Особенностью решения является возможность контроля сетевого взаимодействия как на канальном или сетевом, так и на более высоких уровнях стека сетевых протоколов. Дополнительно продукт поддерживает некоторые функции межсетевых экранов, системы обнаружения вторжений и балансировщика нагрузки.

Наиболее существенным достоинством VmWare NSX можно считать простоту настройки и администрирования сетевой инфраструктуры. За счет виртуализации построенная карта допустимых сетевых взаимодействий не зависит от физической структуры сети и не требует ее модификации для разграничения сетевого доступа. Кроме того, решение позволяет настраивать правила доступа с большей степенью детализации, чем рассмотренные ранее решения, за счет фильтрации на уровнях от транспортного и выше. Однако для построения полноценной сетевой инфраструктуры на основе VmWare NSX требуется организовать работу организации в виртуальной среде.

#### **Выводы по существующим решениям**

Программная сегментация основывается на наложении виртуальной программно-определяемой сети поверх существующей физической ИТ-инфраструктуры. Управление в таких сетях централизовано, что упрощает администрирование сети и сокращает затрачиваемые на поддержание ресурсы.

Наиболее существенным недостатком данного решения является его ориентированность на строго определенное оборудование. Для построения системы безопасности на основе этого подхода требуется либо уже обладать достаточным количеством оборудования, либо произвести существенные финансовые затраты на его закупку.

Кроме того, сегментация, основанная на программных решениях, не обладает устойчивостью к атакам, связанным с повышением привилегий на устройствах сети. Такие атаки могут привести к отключению программных модулей и получению возможности взаимодействовать с физически доступными устройствами, доступ к которым ограничивается с использованием программного обеспечения. В иных случаях для этих систем характерно наличие единой точки отказа, выход из строя которой нарушает работоспособность сети.

Другим недостатком данных решений является неоптимальность создаваемых правил разграничения доступа. Создаваемая дополнительная нагрузка на устройства коммутации и маршрутизации может создать угрозу нарушения доступности информации в информационной системе.

Для любого программного обеспечения характерно наличие уязвимостей, а несвоевременное обновление программного обеспечения влечет дополнительные риски информационной безопасности. В крупных информационных системах обновления не всегда устанавливаются оперативно. Кроме того, даже обновления не могут защитить от уязвимостей нулевого дня. Иными словами, программное обеспечение не может гарантировать изоляцию трафика между связанными сегментами.

Наконец, исследованные продукты не решают проблему анализа существующей сетевой инфраструктуры. Для выполнения сегментации необходимо выделить все особенности существующей сети, в том числе субъекты и объекты безопасности, информационные потоки, конфигурация устройств и т.д. Рассмотренные продукты позволяют лишь упростить и ускорить реализацию необходимых правил разграничения доступа. Поэтому они представляют собой инструменты для решения прикладной задачи и фактически не реализуют методики сегментации сети по требованиям информационной безопасности.

### **Концепция предлагаемого решения**

Учитывая описанные недостатки существующих решений, актуальной представляется задача разработки методов и способов проектирования сетевой инфраструктуры в соответствии с требованиями информационной безопасности.

К решениям данного класса может предъявляться множество требований. Одним из важнейших среди них можно считать организацию физического разделения сети на компоненты. Невозможно полностью устранить риски информационной безопасности, однако уменьшение количества связей между сегментами сети и настройка правил разграничения доступа на узлах позволяют существенно их снизить.

Методы сегментации сети должны учитывать специфику построения сетевой инфраструктуры. Часто организация безопасной работы в сети может быть возможна исключительно путем конфигурирования существующих устройств. Алгоритмы модификации сетевой инфраструктуры для выполнения требований информационной безопасности могут значительно упростить процесс построения системы безопасности.

Разрабатываемые методы должны учитывать сведения о возможных атаках на сетевую инфраструктуру. В некоторых случаях вероятность реализации угрозы может быть сведена к минимуму при устранении сетевой связности.

Наиболее острой проблемой при разделении сети на сегменты остается выявление правил разграничения доступа и построение оптимальной с точки зрения информационной безопасности структуры сети. На основе проделанного анализа существующих решений в области безопасности сетевой инфраструктуры представляется целесообразной разработка методов и алгоритмов для автоматизации и обоснования решений по внесению изменений в конфигурацию сети для повышения уровня безопасности.

Концепцией предлагаемого решения является разработка системы поддержки принятия решений на основе применения методов машинного обучения. Данная система должна осуществлять самостоятельный анализ исходных данных: существующих соединений, степени критичности активов, количества и типов сетевого оборудования и др. Затем, используя данные о методах и способах реализации сетевых атак и возможных уязвимостях, система должна оценивать возможность реализации угроз безопасности информации и генерировать специализированные метрики безопасности. На основе расчета рисков и метрик информационной безопасности определяется оптимальная сетевая инфраструктура. Наконец, система должна осуществлять поиск путей построения этой инфраструктуры или наиболее приближенной к ней, а также определять необходимое количество перестроений для достижения требуемого уровня безопасности с учетом заданных ограничений.

Так как сегментация сети подразумевает разделение сети на изолированные фрагменты, предлагаемая система должна самостоятельно классифицировать пользователей и ресурсы на группы, объединенные общими требованиями к безопасности или существующими бизнес-процессами и оперирующие схожими информационными потоками.

Важным аспектом при разработке такой системы является разработка критериев безопасности сетевой инфраструктуры на основе информации о современных методах осуществления атак. Поэтому предлагаемая система будет учитывать реальную реализуемость и опасность современных атак на средства и системы и в меньшей степени зависеть от экспертного подхода, а также позволит строить более сложные системы ранжирования критичности данных систем.

Подобная система может быть применена не только для проведения физической сегментации существующей сети, но и как средство анализа бизнес-процессов и определения необходимых настроек для внедрения средств программной сегментации.

#### **Выводы**

1. На сегодняшний день существуют только прикладные решения по разграничению сетевого доступа, основанные на построении программной виртуальной сети поверх существующей инфраструктуры.
2. Нет готовых решений по исследованию и перестроению сети по требованиям безопасности. Данные операции выполняются вручную и на основе экспертного мнения без использования качественных и количественных характеристик безопасности сети.
3. Необходима разработка методов проведения сегментации сети, позволяющих автоматизировать процесс принятия решений по перестроению сети и определению требуемых правил разграничения сетевого доступа.

Результаты работы предполагается использовать при построении безопасной сетевой инфраструктуры в организациях произвольного размера. Для этого предполагается разработка программного комплекса, включающего в себя как средства сбора и анализа информации о сетевой инфраструктуре, так и механизмы поддержки принятия решений на основе собранных сведений.

#### **Литература**

1. Abid M., Samonte A. Robust Security with Intent-based Segmentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fortinet.com/blog/business-and-technology/achieving-business-goals-with-intent-based-segmentation> (дата обращения: 16.03.2021).
2. Внедрение сегментации на основе целей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fortinet.com/ru/solutions/enterprise-midsize-business/scalable-flexible-segmentation> (дата обращения: 16.03.2021).
3. Межсетевой экран следующего поколения (NGFW). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fortinet.com/ru/products/next-generation-firewall> (дата обращения: 30.03.2021).
4. TrustAccess [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.azone-it.ru/trust-access> (дата обращения: 31.03.2021).
5. VMware Network and Micro-Segmentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/solutions/vmware-network-microsegmentation-solution-overview.pdf> (дата обращения: 29.03.2021).

УДК 004.056:342.84

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ДЕАНОНИМИЗАЦИИ УЧАСТНИКА ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ

Голованов А.А.<sup>1</sup>, Иогансон И.Д.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., доцент Беззатеев С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 "Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем".*

В данной работе рассматриваются уязвимости протокола анонимизации и оценивается вероятность деанонимизации участников электронного голосования с целью дальнейшей оценки возможных рисков, которые могут возникнуть при использовании технологии электронного голосования.

**Ключевые слова:** анонимизация, электронное голосование, информационная безопасность, риски, протокол.

С увеличением вовлеченности технологий в различные сферы жизни общества возникает необходимость отходить от традиционных способов организации механизмов социального управления. Однако для полноценного переноса общественных процессов на информационные технологии требуется решить массу проблем.

Одним из таких механизмов является голосование. Важнейшей проблемой перехода от традиционного голосования к электронному является сложность обеспечения анонимности избирателей. Для решения данной задачи существует множество протоколов анонимизации, некоторые из которых успешно применяются для организации анонимных сетей. Однако подобные решения несовершенны, они не могут обеспечить абсолютную анонимность.

Целью данной работы является оценка вероятности деанонимизации участников электронного голосования.

Во многих системах электронного голосования применяется так называемая смешанная сеть – технология анонимизации, которая используется также, например, в I2P-сетях [1]. Схематический принцип работы такой сети в контексте электронного голосования представлен на рис. 1.

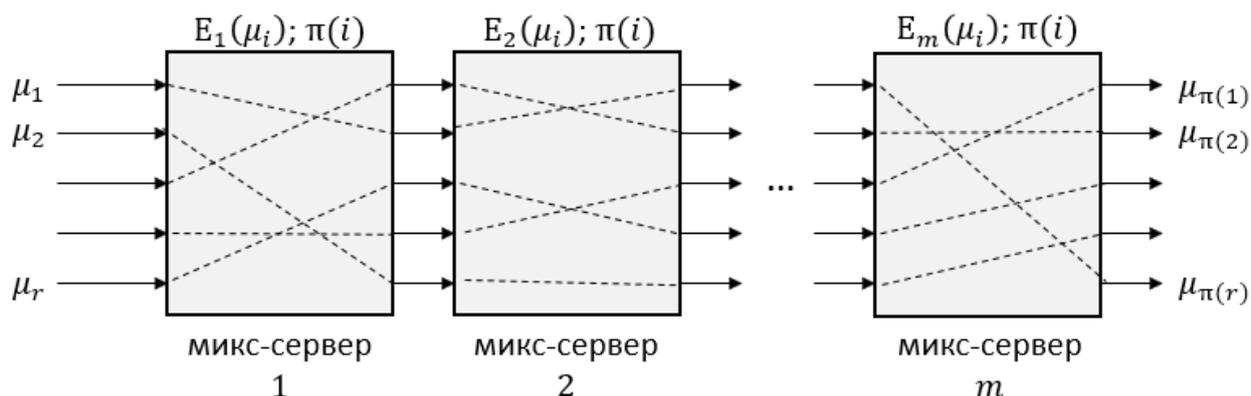


Рис. 1. Принцип работы смешанной сети

Дано  $r$  сообщений:  $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r)$  от разных отправителей, предварительно зашифрованных с помощью специальной функции  $E$ . Сообщения собраны в кортеж – так называемый пучок. Пучок проходит через ряд из  $m$  ( $m \geq 2$ ) независимых серверов, называемых микс-серверами. Каждый микс-сервер под номером  $j$  подвергает входные сообщения операции перешифрования  $E_j(\mu_i)$ , и весь пучок – операции перемешивания (функция случайной перестановки  $\pi(i)$ ). Функции перешифрования  $E_j(\mu_i)$  и иницирующего

шифрования  $E$  выбраны таким образом, что их последовательное применение возвращает исходное сообщение. Таким образом, на выходе сети получается пучок из анонимизированных сообщений:  $(\mu_{\pi(i)}, \mu_{\pi(2)}, \dots, \mu_{\pi(r)})$ . Так как информация о перемешивании пучка остаётся только на стороне микс-сервера, то для каждого из выходных сообщений практически невозможно отследить отправителя. В контексте голосования отправители – избиратели, сообщения – их бюллетени.

Описанный протокол позволяет недобросовестным микс-серверам незаметно исказить сообщения. Чтобы публично верифицировать корректность работы сети, проводится рандомизированная частичная проверка (Randomized Partial Checking, RPC) [2]. Для этой процедуры требуется независимый участник протокола – наблюдатель, который последовательно для каждого микс-сервера случайным образом выбирает  $s$  входных сообщений (параметр  $s$  задаётся). Микс-сервер, в свою очередь, должен раскрыть выходные сообщения для запрошенных входных, а также каким образом было проведено их преобразование. Важно, чтобы наблюдатель для каждого следующего сервера выбирал сообщения, не соответствующие раскрытым на предыдущем. RPC мотивирует микс-серверы действовать по протоколу.

Будем считать, что цель злоумышленника – деанонимизация хотя бы одного избирателя. Другими словами, ему необходимо раскрыть траекторию одного сообщения от начала сети до её конца. Также будем считать, что злоумышленник способен скомпрометировать один микс-сервер с вероятностью  $p$ .

Атака проведена успешно, когда злоумышленник способен отследить траекторию конкретного сообщения. Тогда для успешной атаки должны быть выполнены следующие условия:

$$\text{скомпрометировано } k \text{ серверов из } m, \text{ где } \lfloor \frac{m}{2} \rfloor \leq k \leq m - 1.$$

Между любыми 2 скомпрометированными серверами стоит не более одного нескомпрометированного.

При проведении RPC наблюдателем должно быть выбрано одно и то же сообщение на каждом нескомпрометированном сервере.

Вероятности выполнения условий приведены в формулах (1), (2) и (3) соответственно. В данных формулах используются следующие обозначения:  $m$  – количество микс-серверов,  $k$  – количество скомпрометированных микс-серверов,  $p$  – вероятность компрометации одного микс-сервера,  $r$  – количество сообщений в пучке и  $s$  – количество сообщений, проверяемых при RPC. Нотация  $\binom{n}{k}$  означает число сочетаний из  $n$  по  $k$ .

$$p_c(p, m, k) = \binom{m}{k} \cdot p^k (1 - p)^{m-k}, \quad (1)$$

$$p_s(m, k) = \frac{\binom{k+1}{m-k}}{\binom{m}{k}}, \quad (2)$$

$$p_t(m, k, s, r) = \left(\frac{s}{r}\right)^{m-k-1}. \quad (3)$$

Также следует выделить отдельный случай, когда  $k = m$ . В этом случае злоумышленник точно сможет провести атаку. Вероятность данного случая равна  $p^m$ .

Таким образом, вероятность деанонимизации одного пользователя можно вычислить по формуле:

$$P_d(p, m, r, s) = p^m + \sum_{k=\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}^{m-1} p_c(p, m, k) \cdot p_s(m, k) \cdot p_t(m, k, s, r). \quad (4)$$

Подставив в формулу (4) выражения из формул (1), (2), (3), получаем формулу для вычисления значения  $P_d$ :

$$P_d(p, m, r, s) = p^m + \sum_{k=\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}^{m-1} p^k (1-p)^{m-k} \cdot \binom{k+1}{m-k} \cdot \left(\frac{s}{r}\right)^{m-k-1}.$$

Графики зависимости величины  $P_d$  от  $s$  и  $m$  представлены на Рис. 2 и 3 соответственно. При фиксированном  $m$  функция  $P_d$  от переменной  $s$  растёт полиномиально. Учитывая, что при увеличении  $s$  растёт вероятность искажения бюллетеней, параметр  $s$  следует выбирать исходя из комплексных оценок ущерба и экономических соображений. При фиксированном  $s$  функция  $P_d$  от переменной  $m$  уменьшается экспоненциально. Это говорит о том, что при добавлении каждого нового сервера в сеть вероятность атаки падает всё медленнее, а значит, есть относительно небольшая верхняя граница для  $m$ , выходить за которую становится невыгодно.

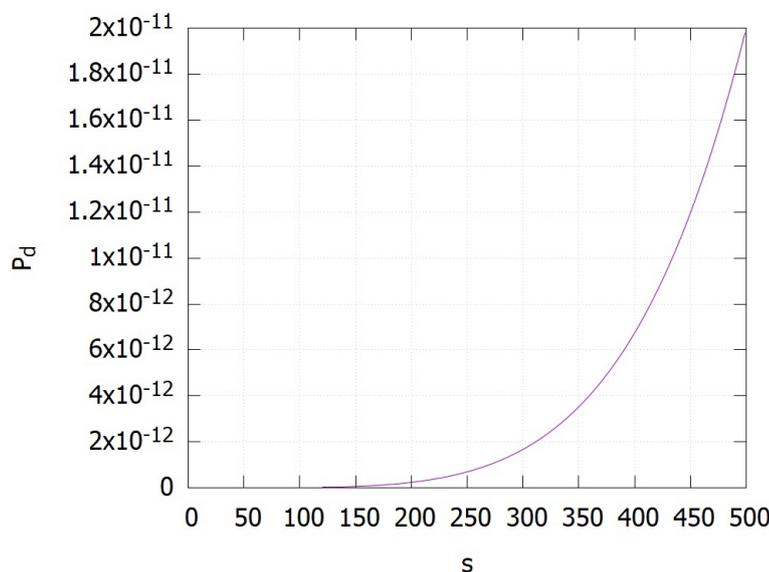


Рис. 2. График зависимости  $P_d$  от  $s$  при  $p = 0,01$ ;  $m = 10$ ;  $r = 1000$

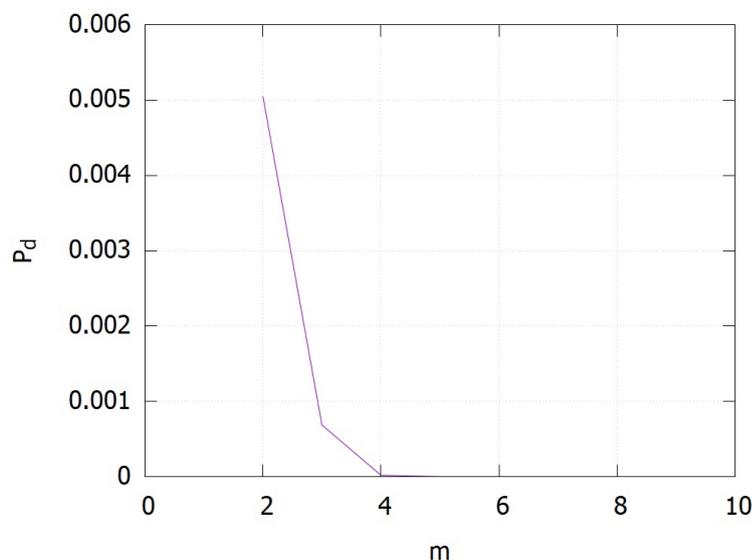


Рис. 3. График зависимости  $P_d$  от  $m$  при  $p = 0.01$ ;  $s = 250$ ;  $r = 1000$

Таким образом, получена количественная характеристика смешанной сети – подсистемы протокола электронного голосования, которую можно использовать как инструмент при анализе рисков и выборе параметров  $m$  и  $s$ . Получено представление о поведении вероятности деанонимизации при разных значениях параметров. Дана рекомендация не использовать большое количество микс-серверов в сети, поскольку прирост безопасности на больших числах незначителен.

В дальнейшей работе предполагается оценка вероятности искажения результатов, исследование влияния количества кандидатов в голосовании на безопасность системы.

### **Литература**

1. Chaum D. L. Untraceable electronic mail, return addresses, and digital pseudonyms // Communications of the ACM. – 1981. – №February 1981. – С. 84–88.
2. Jakobsson M., Juels A. and Rivest R. L. Making Mix Nets Robust for Electronic Voting By Randomized Partial Checking // Proceedings of the 11th USENIX Security Symposium. – USENIX Association, 2002.

УДК 004.5

## ЗАКОНЫ ЮЗАБИЛИТИ В ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ: ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Горло В.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет

В работе рассмотрена возможность применения законов юзабилити в пользовательских интерфейсах и их актуальность. Разработана обучающая система по генетике с использованием эвристик и проведён сравнительный анализ методов проверки эвристической оценки, в ходе которого были выявлены достоинства и недостатки каждого из методов и сделаны выводы по наиболее эффективному их использованию.

**Ключевые слова:** пользовательский интерфейс, эвристики, обучающая система, методы проверки эвристической оценки, проектирование интерфейсов.

В настоящее время всё более важным становится вопрос удобства и понимания интерфейса сайта. Ежедневно в сети появляются сотни новых сайтов, и чаще всего структура сайта слишком запутана, а на страницах слишком много ненужной информации. Именно для того, чтобы таких сайтов было как можно меньше, существует понятие юзабилити, которое характеризует комфортное взаимодействие с сайтом. Знание и применение основных законов юзабилити способствует сохранению интереса у посетителя сайта.

Целью проекта была разработка обучающей системы с применением основных принципов проектирования интерфейсов, проведение сравнительного анализа методов проверки эвристической оценки и доказательство актуальности использования законов юзабилити в разработке интерфейса системы.

Для разработки дизайна сайта был выбран графический редактор Figma. Он предназначен для проектирования web-сайтов и мобильных приложений. Figma упрощает работу разработчиков: предоставляет информацию CSS об элементах, используемых в дизайне.

Один из наиболее известных специалистов в области юзабилити – это Якоб Нильсен [1]. Ещё в 1980-х он начинал работу над простотой дизайна сайтов, их структурой и вопросами удобства пользовательских интерфейсов. Он разработал 10 принципов проектирования интерфейсов – 10 эвристик [2]. И даже сегодня, спустя несколько десятилетий, его принципы остаются актуальными.

В процессе проектирования обучающей системы были проанализированы все 10 эвристик и применены с учётом специфики разрабатываемой системы:

1. Отображение системного статуса.

Вне зависимости от того, где находится пользователь в системе, определение своего местоположения не должно становиться для него трудностью. Сквозная навигация в виде «хэштегов» упростит поиск тем, а указатели подскажут контекст.

2. Взаимосвязь системы и реального мира.

Интерфейс должен говорить с пользователем на одном языке, а поскольку аудитория обучающей системы – это ученики старших классов и абитуриенты медицинских вузов, то динамичная вёрстка сайта полностью оправдана.

3. Пользовательский контроль и свобода.

Система должна предоставлять пользователю полный контроль для достижения желаемого результата. Именно поэтому в обучающую систему были внедрены функции: пройти тест заново и подсказка во время тестирования.

4. Последовательность и стандарты.

Структура сайта соответствует сложившимся паттернам проектирования интерфейса: в «хедере» находятся общие элементы управления сайтом, а в теле сайта расположены ситуационные элементы.

5. Помощь в определении и исправлении ошибок;

Интерфейс должен быть отзывчивым. Именно поэтому вместе с уведомлением об ошибках во время тестирования есть соответствующее описание ошибки.

6. Узнаваемость лучше воспоминаний;

Элементы мотивации в процессе обучения крайне важны. Строка прогресса в верхней части обучающей системы информирует пользователя о его успеваемости. К этому элементу интерфейса можно обратиться вне зависимости от того, на какой странице пользователь находится.

7. Гибкость и эффективность использования;

Дать пользователю возможность прервать сеанс обучения и при следующем входе вернуться в его последнее состояние.

8. Эстетичный и минималистичный дизайн;

Однотонная стилистика, линейная иконографика и строгая типографика является атрибутом функциональной составляющей обучающей системы.

9. Лояльность системы;

Подсказка в тестировании – опциональный элемент, который характеризует интерфейс корректным и лояльным. Помимо чётких механик пользовательского пути, важно помнить о человеческом факторе, потому что интерфейс разрабатывается для людей.

10. Документация и помощь.

Интуитивно понятный интерфейс не станет хуже, если на некоторые потенциальные вопросы пользователя будут даны ответы. Однако эта информация является второстепенной, но к ней легко обратиться.

Применённые эвристики не являются строгими правилами, а являются рекомендациями в процессе проектирования пользовательских интерфейсов. Каждую эвристику можно интерпретировать в зависимости от аудитории, цели и специфики системы. Каждый день появляется большое количество подобных обучающих систем, которые взаимодействуют с пользователем по-новому, тем самым создают новые руководства к проектированию интерфейсов.

Эвристическая оценка – это полная оценка пользовательского интерфейса [3]. Целью эвристической оценки является выявление проблем использования, возникающих в процессе взаимодействия обучающегося с системой, а также нахождение их решений. Процесс эвристической оценки проводится по известному набору принципов – эвристик.

Существует 3 метода проверки эвристической оценки: эвристический анализ, когнитивное прохождение и пользовательское тестирование. Частой ошибкой является использование этих терминов как взаимозаменяемых. Хотя каждый из них индивидуален и отличается от других.

В эвристическом анализе можно выделить 3 ключевых достоинства: быстрая реализуемость, дешевизна и отсутствие необходимости использования потенциальных пользователей. Тогда как недостатки данного метода заключаются в том, что иногда он выглядит слишком субъективно (за неимением тестирования ему не хватает «доказательств») и некоторую трудность вызывает нахождение специалистов, которые обладают достаточным опытом и навыками для проведения данного метода. В то же время как достоинства пользовательского тестирования в том, что данный метод более приближён к реальности, в нём находятся большее количество проблем в пользовательских интерфейсах системы, а также оцениваются и другие качества UX (за пределами юзабилити). К недостаткам этого метода можно отнести: человеческий фактор (некоторые ошибки могут оказаться субъективными, в то время как другая часть может быть пропущена), продолжительность и трудозатраты (автоматизированное тестирование занимает гораздо меньше времени), и при использовании такого метода невозможно смоделировать большое количество пользователей. Анализируя, можно сказать, что оба метода не исключают друг друга, так как на этапе эвристической оценки системы они чередуются. Например, при оценке сайта обучающей системы лучше сначала провести пользовательское тестирование. Далее будут исправлены

ошибки и обновлён дизайн. После этого будет проведён снова эвристический анализ. И такой алгоритм проводится до тех пор, пока оба метода не дадут удовлетворительный результат. Если говорить о когнитивном прохождении, то можно выделить такие достоинства: все инструменты метода автоматизированы и доступны для прохождения онлайн, за счёт генерации результатов онлайн можно сделать эффективные и надёжные выводы в краткие сроки. К недостаткам можно отнести то, что обучающийся «спотыкается» об интерфейс, а затем его последовательность действий оценивается и уже потом делаются выводы. Другими словами, обучающийся должен найти и выполнить оптимальный порядок действий для определения последовательных процессов. Очевидно, что если сравнить пользовательское тестирование и когнитивное прохождение, то гораздо эффективнее применять пользовательское тестирование, но полностью исключать метод когнитивного прохождения было бы нецелесообразно.

В результате создана обучающая система с применением основных принципов проектирования интерфейса, а также был проведён сравнительный анализ методов проверки эвристической оценки. Проведенная работа указывает на то, что применение эвристик в проектировании систем действительно актуальны.

### **Литература**

1. Юзабилити по Якобу Нильсену. Skillbox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://skillbox.ru/media/design/yuzabiliti\\_po\\_yakobu\\_nilsenu/](https://skillbox.ru/media/design/yuzabiliti_po_yakobu_nilsenu/) (дата обращения: 27.02.2021).
2. Эвристики для проектирования пользовательского интерфейса. Medium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://whitekafka.medium.com/10-f5c394b3234> (дата обращения: 27.02.2021).
3. Эвристическая оценка, методы её проведения. Uprock [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uprock.ru/translation/heuristic-evaluation> (дата обращения: 27.02.2021).

УДК 004.056.53

## МЕТОДИКИ АНАЛИЗА БЛОКОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАМЕНЫ ПРИ АТАКАХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Дакуо Ж.-М.Н.

Научный руководитель – к. т. н. Таранов С.В.

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».*

В ходе работы были исследованы две атаки дифференциального криптоанализа с внедрением адаптивной ошибки на примере легковесного шифра DES Light: внедрение нулевой ошибки и атака на таблицы замены. Были предложены способы противодействия этим атакам для блочных легковесных шифров.

**Ключевые слова:** шифр DES Light, S-box, дифференциальный криптоанализ с внедрением ошибки, нулевая ошибка, система Current Error Detection (CED).

Повсеместное распространение в настоящее время получили умные устройства, для их защиты из-за ограниченности ресурсов необходимо прибегать к использованию легковесных шифров, например, DES Light. На данный момент нет эффективных способов противостоять угрозе дифференциального криптоанализа с внедрением ошибки (DFA). В работе предлагается рассмотреть две атаки. В рамках работы разработаны и описаны методики по защите и анализу S-box'a алгоритма шифрования.

Исходя из данных из работы [1] о том, что на микропроцессорах выделяется до 20% вычислительной мощности на весь защитный блок устройства, традиционные криптографические методы защиты информации становятся неприменимы из-за своей большой ресурсоемкости.

Большинство легковесных шифров проектируются с оглядкой на возможности их атаки с использованием дифференциального криптоанализа (ДК), S-box алгоритма шифрования DES в том числе. По формуле (1) видно, что таблицы замены устойчивы к ДК. А использование их в сочетании со слоем перестановки делает невозможным их вычисление за полиномиальное время.

$$\{x \in F_2^6 \mid S(x) + S(x + \Delta_1) = \Delta_0\} \leq 16. \quad (1)$$

Формула (1) гласит, что для всех комбинаций входного дифференциала  $\Delta_1$  количество повторяющихся выходных дифференциалов  $\Delta_0$  не превышает 16. Другими словами, если через функцию, удовлетворяющую этому условию, пропустить все возможные шестибитные слова, то на выходе S-box'a будет получено не больше 16-и повторяющихся значений. Но DES Light уязвим для комбинированных атак ДК с внедрением адаптивных ошибок.

Рассмотрим атаку на таблицу замены S-box'a более подробно. Для этого мной была разработана программа на языке программирования Python 3.9, моделирующая внедрение различных ошибок в алгоритм шифрования. Используется обычная модель злоумышленника. Нарушитель может внедрять ошибки и задавать любой ее характер: кратность или точный вектор. Он может коррелировать ошибку с входными данными. Другими словами, он использует функциональные зависимости для внедрения ошибок. Рассмотрим мультипликативную ошибку. Говоря другими словами, выходное значение S-box'a будет изменяться следующим образом:

$$S'(x) = S(x) * \text{error},$$

где  $S(x)$  – это функция S-box, error – это внедрённая ошибка. Результаты внедрения ошибки – на рисунке 1.

Диф. выход	0x0	0x1	0x2	0x3	0x4	0x5	0x6	0x7	0x8	0x9	0xA	0xB	0xC	0xD	0xE	0xF
Диф. вход 0x0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Диф. вход 0x1	0	8	8	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	8	16	8
Диф. вход 0x2	0	16	0	0	0	0	0	0	16	16	0	0	0	16	0	0
Диф. вход 0x3	0	0	0	8	0	8	8	8	8	0	0	0	16	0	0	8
Диф. вход 0x4	0	0	0	0	16	0	0	0	0	16	16	0	0	0	0	16
Диф. вход 0x5	0	8	0	0	8	8	0	8	0	0	8	16	0	8	0	0
Диф. вход 0x6	0	0	16	0	0	0	0	16	16	0	0	0	0	16	0	0
Диф. вход 0x7	0	0	8	8	0	8	8	0	8	0	8	0	16	0	0	0
Диф. вход 0x8	0	16	8	0	16	0	0	8	0	0	8	0	0	0	0	8
Диф. вход 0x9	0	8	0	0	0	16	8	0	0	0	8	0	8	0	8	8
Диф. вход 0xA	0	0	0	8	0	0	8	0	0	32	0	8	0	0	8	0
Диф. вход 0xB	0	0	0	0	8	0	8	16	8	0	0	8	8	8	0	0
Диф. вход 0xC	0	0	0	8	0	0	8	0	0	0	24	0	0	24	0	0
Диф. вход 0xD	0	8	0	8	0	16	0	0	0	0	8	8	8	0	0	8
Диф. вход 0xE	0	0	8	16	0	0	16	8	0	0	8	0	0	0	0	8
Диф. вход 0xF	0	0	16	8	8	0	0	0	8	0	0	0	8	8	8	0

Рис. 1. Зависимость выходных значений дифференциала S-box'a DESL от входных дифференциалов при внедрении мультипликативной ошибки равной 0x6: 0x3 и 0x0

Мультипликативная ошибка нарушила нормальное распределение выходных значений дифференциалов. То есть вероятность появления определённого дифференциала при заранее заданном входном дифференциале превышает  $2^{-2}$ . В нашем случае равна  $\frac{32}{64} = 2^{-1}$ . Это делает S-box DESL уязвим к дифференциальному криптоанализу.

Также существует «нулевая атака» на шифр. Она заключается в том, что перед последним замешиванием раундового ключа злоумышленник внедряет ошибку, обнуляя один из битов шифр текста. Это, в свою очередь, позволяет после побитового сложения по модулю два с раундовым ключом получить на выходе один из его битов. И после 64 повторений и меняя вектор атаки, злоумышленник сможет получить последний раундовый ключ целиком и тем самым облегчить себе задачу по получению следующих частей ключа и полное получение исходного ключа шифрования. Схема атаки представлена на рисунке 2.

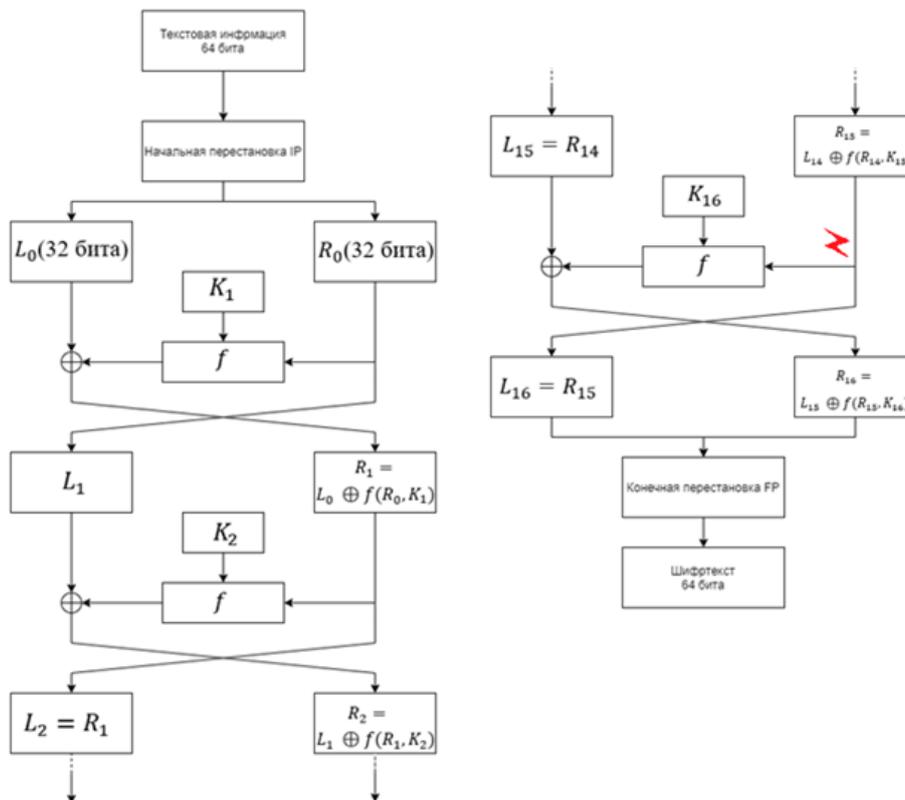


Рис. 2. Схема атаки на шифр DES Light

Для противодействия дифференциальному криптоанализу с внедрением адаптивной ошибки можно использовать различные системы противодействия несанкционированному доступу (НСД). Например, система обнаружения ошибок CED. Для защиты от атак дифференциального криптоанализа с внедрением ошибки возможно использование системы обнаружения атак [2]. Использование системы функционального контроля позволит еще на этапе производства шифрующего устройства защитить его от атак, связанных с нарушением работы алгоритма шифрования. Пример схемы устройства с использованием CED показан на рисунке 3, где  $x_1, x_2 \dots x_{64}$  – это биты входной информации, блок  $P(x)$  – это шифр,  $G(x)$  – это функциональный контролер,  $p(x_1), p(x_2) \dots p(x_{64})$  – выход с  $P(x)$ ,  $g(x_1), g(x_2) \dots g(x_{64})$  – выход с  $G(x)$ ,  $z_1(x)$  и  $z_2(x)$  – выход с тестера.

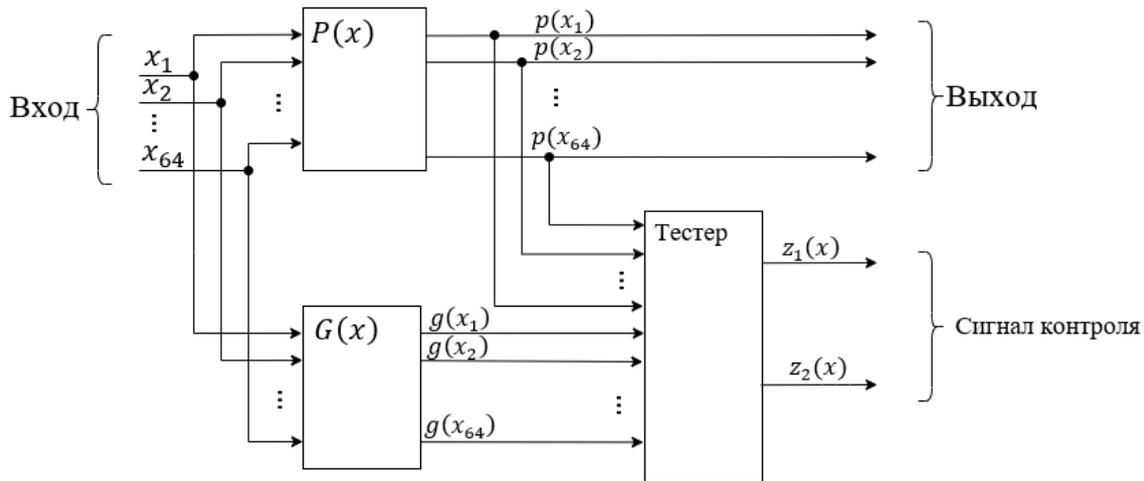


Рис. 3. Схема DES Light с подключенной к ней системой CED

Вторая эффективная контрмера против НСД: необходимо разработать новый S-box на основе новой bent функции [3], соответствующей дополнительному условию устойчивости (2). Дополнительное условие позволяет функции из безопасного полинома, пройдя через преобразования, вызванные внедрением ошибки, перейти в такой же безопасный полином.

$$\{x \in F_2^6, y \in F_2^6 \mid (S(x) + S(x + \Delta_I)) * f(y)_{\Delta_I} = \Delta_0\} \leq 16, \quad (2)$$

где  $f(y)_{\Delta_I}$  - мультипликативная ошибка.

Третье, что возможно противопоставить злоумышленнику, который способен вносить изменения в шифрующую схему только путем изменения напряжения в сети, к которой подключено шифрующее устройство. Схема дифференциальной защиты представлена на рисунке 4.

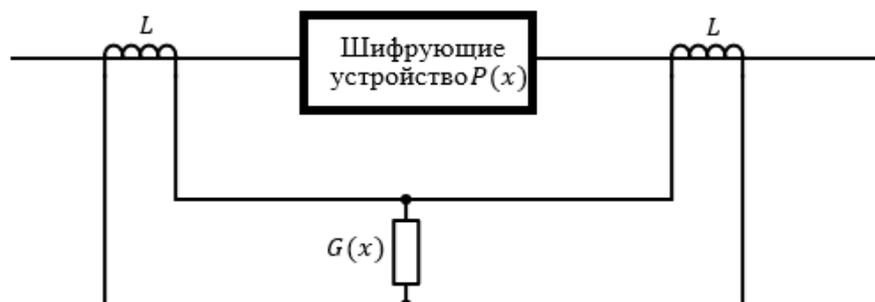


Рис. 4. Схема DES L с подключенной обнаружителем внедрения ошибок

Основная идея схемы заключается в том, что при аномальном токе в сети в катушках  $L$  образуется ток индукции, и контролер  $G(x)$ , подключенный к ним, сможет распознать несанкционированный доступ, и оператор или само устройство предпримет необходимые действия.

В ходе работы над статьей были разобраны два примера различных атак DFA и разработаны способы противодействия им. Каждый из них имеет свои достоинства и может быть использован для устранения уязвимостей умных устройств в зависимости от имеющихся ресурсов. В дальнейшем планируется рассмотреть другие атаки DFA, а также других представителей легковесной криптографии.

#### **Литература**

1. Poschmann A. Lightweight Cryptography - Cryptographic Engineering for a Pervasive World. 2009. 179 с.
2. Обнаружение опасных ошибок на рабочих выходах комбинационных логических схем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-opasnyh-oshibok-na-rabochih-vyhodah-kombinatsionnyh-logicheskikh-shem/viewer> (дата обращения: 26.12.2020).
3. Токарева Н. Н. Нелинейные булевы функции: бент-функции и их обобщения // Издательство LAP LAMBERT Academic Publishing (Saarbrücken, Germany). 2011. ISBN: 978-3-8433-0904-2. 180 с.

УДК 004.056.53

## ВЛИЯНИЕ ПЛАНИРОВЩИКА НА ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ВЕРИФИКАЦИИ ДИКТОРА

Двойникова А.А.<sup>1</sup>, Садикова А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассматривается применение различных планировщиков обучения (англ. scheduler) нейронных сетей для задачи текстонезависимой верификации дикторов. Для экспериментальных исследований использовалась база данных VoxCeleb1, которая содержит в себе различные речевые высказывания 1211 дикторов. В работе проводился анализ влияния различных планировщиков обучения нейронных сетей, представленных в библиотеке PyTorch языка программирования Python, а также 2 алгоритма планировщика, представленных в литературных источниках. Как показывают экспериментальные исследования, наименьшая EER = 3,2857 достигается при использовании планировщика обучения StepLR и оптимизатора adam.

**Ключевые слова:** верификация диктора, планировщик обучения, нейронные сети, текстонезависимая верификация, ResNet34.

### Введение

Планировщик обучения (англ. scheduler) – это механизм процесса оптимизации набора различных параметров нейронной сети. Конечная цель планирования, как правило, заключается в оптимизации одного или нескольких параметров, таких как затраты, доходы, прибыль, время или эффективность. Эта динамика подразумевает, что задачи, а также ресурсы имеют различные ограничения, которые делают планирование сложным процессом [1]. Таким образом, график должен быть разработан таким образом, чтобы получить оптимальный результат, принимая во внимание ограничения. Для обучения глубоких нейронных сетей планировщик обучения играет большую роль в поиске наилучшего результата. Поэтому анализ алгоритмов планировщика обучения является актуальной задачей.

Исследования, направленные на нахождение эффективного алгоритма оптимизации параметров нейронных сетей для задачи верификации дикторов, проводятся различными учеными [2-4]. На сегодняшний день существует большое количество алгоритмов планировщика обучения, реализованных как математическим путем, так и программным, например в библиотеки PyTorch [5] языка Python хранится порядка 10 механизмов процесса оптимизации. Как показывают различные исследования, наиболее востребованными являются алгоритмы из PyTorch, такие как StepLR [6], CycleLR [7], CosineAnnealingLR [8] и т.п. Зачастую новые усовершенствованные алгоритмы, описанные в статьях, внедряются в библиотеки Python со значительной временной задержкой. Существует множество алгоритмов, предложенных различными исследователями, представленных в математическом виде [9-12], которые могут быть эффективными для разных задач обучения нейронных сетей, и именно поэтому необходимо анализировать и адаптировать под собственные задачи современные подходы к планированию обучения. Как можно заметить, существует большое количество различных алгоритмов планировщика обучения нейронных сетей, но до сих пор не найден алгоритм, который был бы максимально эффективным для различных задач и данных. Поэтому подбор наилучшего механизма процесса оптимизации является важным этапом обучения нейронных сетей, который позволит повысить точность в задачи распознавания диктора.

### Подход

Для построения системы верификации дикторов используется алгоритм, представленный на рисунке 1.

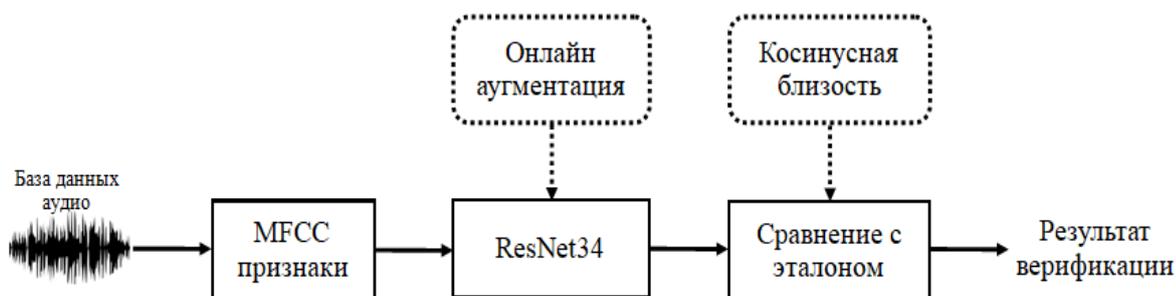


Рис. 1. Алгоритм верификации дикторов

Первым этапом из аудиозаписей извлекаются mfcc признаки, затем они подаются на вход нейронной сети ResNet34 [13], архитектура которой показана на рисунке 2

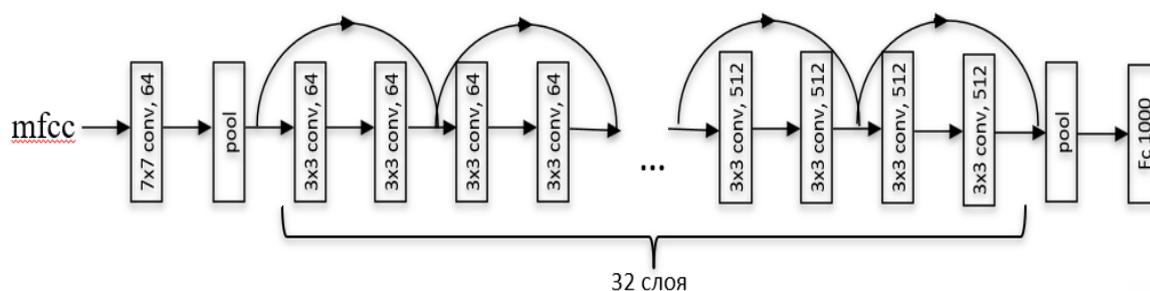


Рис. 2. Архитектура нейронной сети ResNet34

ResNet34 необходима для получения векторов признаков аудиозаписей, для обучения на вход подаются mfcc признаки с разметкой по идентификационным номерам дикторов из базы данных, тем самым происходит обучение классификатора дикторов, после того, как обучение завершилось, извлекается вектор размерностью 1000 из предпоследнего слоя нейронной сети. Во время обучения ResNet34 происходит онлайн аугментация, она необходима для того, чтобы добавить вариативности к данным. Далее полученные признаки сравниваются с эталонными значениями с помощью косинусного расстояния по формуле (1).

$$\cos(T, P) = \frac{\sum_{i=1}^N T_i * P_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N T_i^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N P_i^2}}, \quad (1)$$

где  $T$  – вектор эталонного значения,  $P$  – вектор предсказанного значения,  $N$  – длина векторов.

Если косинусное расстояние выше установленного порога, значит, верификация прошла успешно, если ниже порога, то верификация не была выполнена. Одной из главных метрик оценки систем верификации является метрика Equal Error Rate (EER), она показывает значение пересечения ошибок первого (англ. False Acceptance Rate, FAR) и второго рода (англ. False Rejection Rate, FRR).

#### Базы данных

Для построения системы верификации дикторов по акустическим признакам использовалась база данных VoxCeleb1 [14]. VoxCeleb1 содержит в себе более 100 000 высказываний 1251 дикторов различной национальности, речь которых извлекалась из видео на YouTube. Набор данных сбалансирован по половому признаку дикторов, 55% – мужчин и 45% – женщин. Речевые высказывания дикторов записывались в различных условиях, например, открытый стадион, студийное интервью, запись как на профессиональные, так и на периферийные устройства.

Для онлайн аугментации использовались 2 базы данных: MUSAN [15] и Simulted room impulse response database [16]. MUSAN представляет набор аудиозаписей, объемом 108 часов, различной музыки, речи и шума, а Simulted room impulse response содержит в себе порядка 100 импульсных откликов в 200 различных помещениях, с помощью данной базы данных можно добавлять в исходные акустические данные эффект реверберации.

### Экспериментальные исследования

В данной работе проводятся экспериментальные исследования, направленные на подбор оптимального планировщика обучения для нейронной сети ResNet34 в задаче текстонезависимой верификации дикторов по акустической информации. В библиотеке PyTorch [5] языка программирования Python представлены несколько алгоритмов планировщика обучения [17], большинство из них будут применены для поставленной задачи, например, такие как StepLR, OneCycleLR, CycleLR, CosineAnnealingWarmRestarts, CosineAnnealingLR, ExponentialLR, MultiStepLR, MultiplicativeLR и LambdaLR. Также в работе рассмотрены современные алгоритмы планировщиков обучения, представленные исследователями Huang G. [11] и Nanda A. [12]. В статье [11] предложен новый алгоритм планировщика обучения под названием Cyclic Cosine Annealing. Суть алгоритма заключается в том, что весь процесс обучения делится на  $M$  циклов, каждый из которых начинается с большой скорости обучения, а заканчивается маленькой. Формула (2) отображает алгоритм Cyclic Cosine Annealing.

$$lr(t) = \frac{lr_0}{2} \left( \cos \left( \frac{\pi \cdot \text{mod}(t-1, \lfloor \frac{T}{M} \rfloor)}{\lfloor \frac{T}{M} \rfloor} \right) + 1 \right), \quad (2)$$

где  $lr$  – это скорость обучения,  $lr_0$  – начальная скорость обучения,  $t$  – номер итерации,  $T$  – количество всех итераций,  $M$  – количество итераций за один цикл.

Авторы статьи [12] решили модифицировать описанный выше метод и предложили свой алгоритм Incremental Cosine Annealing, суть которого заключалась в следующем, для каждого цикла они увеличивали максимальное значение скорости обучения на  $c$ , где  $c = 0.001$ , причем параметр  $c$  в 10 раз меньше начальной скорости обучения, равному 0.01. Алгоритм Incremental Cosine Annealing показан в формуле 3.

$$lrmax_t = lrmax_{t-1} + c, \quad (3)$$

где  $lrmax$  – это максимальное значение скорости обучения.

На рисунке 3 слева показан график скорости обучения при использовании алгоритма Cyclic Cosine Annealing, а справа, при использовании алгоритма Incremental Cosine Annealing. На оси абсцисс показан параметр learning rate ( $lr$ ) – скорость обучения, по оси ординат – эпохи обучения нейронной сети.

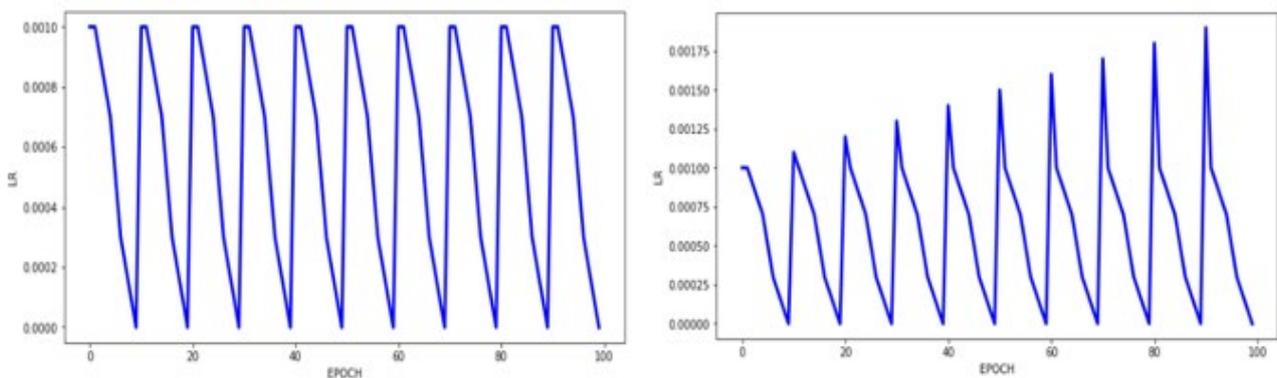


Рис. 3. Графики скорости обучения при Cyclic Cosine Annealing и Incremental Cosine Annealing

Для сравнительных результатов работы различных планировщиков все эксперименты были запущены при одинаковых параметрах. Обучение происходило на 100 эпохах, валидация осуществлялась каждые 10 эпох. Функция  $\text{loss} - \text{softmaxproto}$ , размер батчей – 50, количество мел в  $\text{filterbanks}$  – 80. В таблице представлены результаты, выраженные метрикой EER, верификации дикторов при использовании различных алгоритмов scheduler в комбинации с оптимизаторами adam и sgd.

Таблица. Результаты верификации дикторов при использовании различных планировщиков

Scheduler	Оптимизатор	
	adam	sgd
StepLR	<b>3.2857</b>	4.8878
Incremental Cosine Annealing [5]	<b>3.3016</b>	4.9923
CosineAnnealingWarmRestarts	<b>3.3016</b>	5.2494
Cyclic Cosine Annealing [4]	<b>3.3760</b>	5.0846
CycleLR	4.7761	<b>3.4518</b>
CosineAnnealingLR	<b>3.7230</b>	5.6271
OneCycleLR	5.5579	<b>3.8652</b>
LambdaLR	<b>3.9130</b>	6.6139
ExponentialLR	<b>3.9130</b>	6.6458
MultiplicativeLR	<b>3.9198</b>	6.5365
MultiStepLR	<b>4.9729</b>	8.2992

Из результатов, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что наименьший EER = 3.2857 при обучении на 100 эпохах достигается путем использования алгоритма StepLR и adam. Также можно заметить, что предложенный алгоритм Incremental Cosine Annealing в статье [12] действительно улучшает точность верификации по сравнению с алгоритмом Cyclic Cosine Annealing, предложенным в статье [11].

### Заключение

В рамках данной работы анализировалось влияние различных алгоритмов планировщика на обучение нейронной сети архитектуры ResNet34L в задаче верификации дикторов. Были изучены предложенные алгоритмы scheduler в библиотеке PyTorch, а также рассмотрены 2 алгоритма из других литературных источников. Наилучший результат верификации дикторов, выраженный метрикой EER = 3.2857, достигается путем использования планировщика StepLR и оптимизатора adam при обучении на 100 эпохах. Также было выявлено, что подход, предложенный в исследуемых литературных источниках, занимает 2 место по точности верификации (EER = 3.3016) из рассмотренных 11 алгоритмов планировщика обучения и отстает от лидирующей позиции всего на 0.0159. Поэтому можно сделать вывод о том, что современные подходы, предложенные в литературе, могут быть эффективнее существующих. Из экспериментальных исследований можно заметить, что алгоритмы планировщика обучения в комбинации с различными методами оптимизаторов помогают улучшить обучение нейронных сетей для задачи верификации дикторов.

### Литература

1. Boukir K., Béchenec J. L., Déplanche A. M. Requirement specification and model-checking of a real-time scheduler implementation // Proceedings of the 28th International Conference on Real-Time Networks and Systems. 2020. С. 89-99.
2. Giraldo J. S. P. et al. 18W SoC for near-microphone keyword spotting and speaker verification // 2019 Symposium on VLSI Circuits. IEEE. 2019. С. 52-C53.
3. Ramos-Lara R. et al. SVM speaker verification system based on a low-cost FPGA // 2009 International Conference on Field Programmable Logic and Applications. IEEE. 2009. С. 582-586.
4. Lee K. A., Vestman V., Kinnunen T. ASVtorch toolkit: Speaker verification with deep neural

- networks // SoftwareX. 2021. Т. 14. С. 100697.
5. Collobert R., Bengio S., Mariéthoz J. Torch: a modular machine learning software library. Idiap. 2002.
  6. Li J., Sun H. An Attention Based Neural Network for Jet Tagging // arXiv preprint arXiv:2009.00170. 2020.
  7. Jodelet Q., Gripon V., Hagiwara M. Transfer Learning with Sparse Associative Memories // International Conference on Artificial Neural Networks. Springer, Cham. 2019. С. 497-512.
  8. Li X. et al. Neural architecture search for fault diagnosis // arXiv preprint arXiv:2002.07997. 2020.
  9. Loshchilov I., Hutter F. Decoupled weight decay regularization // arXiv preprint arXiv:1711.05101. 2017.
  10. Jaderberg M. et al. Population based training of neural networks // arXiv preprint arXiv:1711.09846. 2017.
  11. Huang G., Li Y., Pleiss G., Liu Z., Hopcroft J.E., Weinberger K.Q., Snapshot ensembles: Train 1, get M for free, in: 5th Int. Conf. Learn. Represent // ICLR 2017. arXiv:1704.00109. 2017.
  12. Nanda A. et al. Combined center dispersion loss function for deep facial expression recognition // Pattern Recognition Letters. 2020. Vol. 141. P. 8-15.
  13. Anisimov D., Khanova T. Towards lightweight convolutional neural networks for object detection //2017 14th IEEE international conference on advanced video and signal based surveillance (AVSS). IEEE. 2017. С. 1-8.
  14. Nagrani A., Chung J., Zisserman A., «VoxCeleb: a largescale speaker identification dataset» In INTERSPEECH 2017 // 18th Annual Conference of the International Speech Communication Association, August 20-24, Stockholm, Sweden, Proceedings. 2017. P. 2616–2620.
  15. Snyder D., Chen G., Povey D. Musan: A music, speech, and noise corpus // arXiv preprint arXiv:1510.08484. 2015.
  16. Ko T. et al. A study on data augmentation of reverberant speech for robust speech recognition //2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2017. С. 5220-5224.
  17. Torch.optim – PyTorch 1.8.1 documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pytorch.org/docs/stable/optim.html> (дата обращения: 13.05.2021).

УДК 004.9

## НЕЙРОСЕТИ В МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Денисова А.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – профессор Бессмертный И.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Данная работа раскрывает особенности распознавания изображений в мобильных устройствах на примере задачи распознавания показаний коммунальных счетчиков. Детальнее рассматриваются потенциальные проблемы при распознавании чисел с изображений приборов и способы разрешения этих проблем.

**Ключевые слова:** Нейронные сети, мобильные приложения, машинное обучение, распознавание объектов, автоматизация считывания.

Машинное обучение оказалось мощным инструментом классификации и анализа изображений в различных областях применения. Однако контролируемое машинное обучение требует большого количества данных для обучения модели, хранение и обработка которых создают серьезные системные требования для аппаратуры. Поэтому многие исследования сосредоточены на развертывании облачного машинного обучения, которое использует преимущества подключения к Интернету для удаленных вычислений с интенсивным использованием данных. Однако этот подход имеет определенные недостатки, например, связанные с задержкой и конфиденциальностью, которые необходимо учитывать в контексте конфиденциальных данных. Недавняя тенденция в развитии глубоких нейронных сетей заключается в расширении доступности приложений глубокого обучения на платформы, которые более ограничены в ресурсах и энергии, например, мобильные устройства. После обучения модель развертывается на мобильном устройстве, где происходит процесс распознавания: предоставляется новое тестовое изображение. Все вычисления выполняются локально, там же, где хранятся тестовые данные. Такой подход снижает задержку, сохраняет пропускную способность, память устройства и улучшает конфиденциальность информации.

Можно наблюдать современную тенденцию ко всё более частому использованию мобильных приложений не только для общения, но и для развлечения, учебы и работы. Например, активно используются банковские мобильные приложения, а также приложения с картами [1, 2]. То же самое касается и использования нейронных сетей, которые все чаще встречаются в повседневной жизни. Например, в банковской сфере для распознавания валюты или для анализа опасных ситуаций на дороге [3, 4].

В данной работе возможности технологии нейронных сетей в мобильных устройствах рассматриваются на примере задачи считывания показаний коммунальных счетчиков. Нейронные сети позволяют автоматизировать фиксирование измерений устройств за счет методов распознавания объектов на фото.

Задача считывания показаний измерительных приборов имеет ряд специфик, ограничений и затруднений. В ходе работы было установлено, что благодаря использованию AutoML Vision Edge вместе с Mobile Vision API удалось создать пользовательскую модель нейронной сети, которая обучена специально распознавать цифры, а также модель для обнаружения области индикаторов на приборе, при этом точность распознавания как области индикатора, так и самих значений прибора достаточно высока, однако некоторые аспекты негативно влияют на результаты распознавания.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на предварительную программную обработку снимков и использование фильтров с целью повышения точности распознавания. Одним из возможных путей сокращения ошибочных ситуаций является предварительный анализ, позволяющий определить «узнаваемость» чисел с фото. Реализация данного метода подразумевает определение области каждой цифры на изображении, выбор подходящего определения признаков для каждой цифры, выбор классификатора.

Анализ для фильтрации изображений может производиться по следующим этапам:

- обработка фото до распознавания;
- выделение цифр и обучение/подготовка тестовых данных;
- извлечение признаков;
- обучение;
- прогнозирование;
- валидация результатов.

На этапе предварительной обработки фото шум удаляется с фона исходного изображения (рис. 1) и повышается резкость картинки (рис. 2).

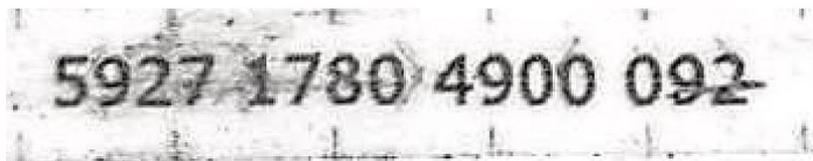


Рис. 1. Исходное фото

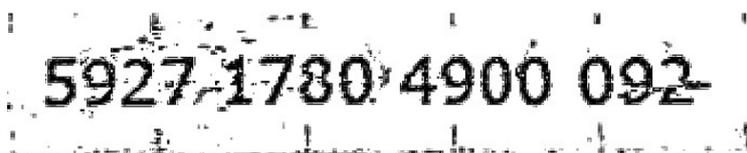


Рис. 2. Фото без шума

Далее производится этап обрезки изображения, в результате которого обнаруживаются границы области числовых показаний и выделяются части этой области, непосредственно отображающие цифры уже из преобразованной картинке. Когда фото обработано и обрезаны «поля», на оставшейся области будет проще распознать, где расположены цифры в пределах рамки, так как координаты каждого элемента будут статичны от левого верхнего угла полученной области.



Рис. 3. Инвертирование фото, с которого удален шум

Для определения характерных признаков картинок используется HOG (Histogram of Oriented Gradient) - гистограмма направленных градиентов. Для применения этой техники требуется инвертировать черные и белые пиксели.

Далее предлагается экспериментально подобрать количество пикселей белого цвета, которое продемонстрирует, отображает ли рассматриваемая область показания прибора или же является однотонными «полями», которые подлежат удалению. На рисунке 4 продемонстрировано, что если значение пикселей белого цвета недостаточно, то эти поля будут обрезаны. Если значение достаточное - данная область будет ограничивать необходимую для распознавания зону с показаниями сверху (рис. 5). Хорошо видно, где количество белых пикселей меньше рассчитанного порогового числа, а где больше.



Рис. 4. Определение верхней границы

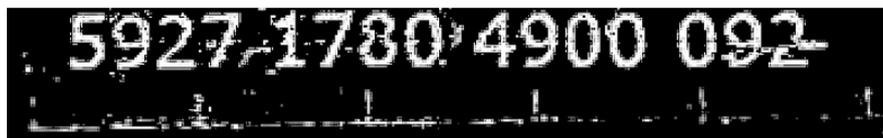


Рис. 5. Фото с удаленными «полями»

Тот же метод можно использовать для того, чтобы удалить «поля» с других сторон фото, как показано на рисунке 6. В качестве выходного обработанного фото получен рисунок 7.

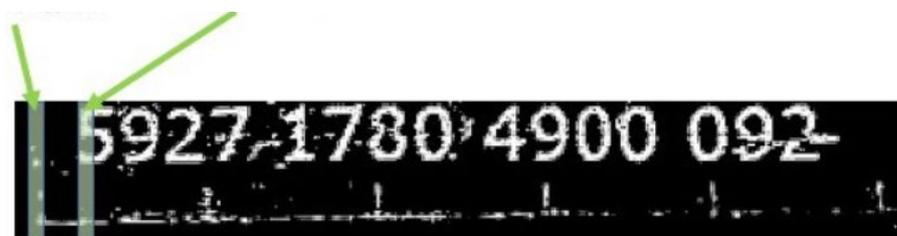


Рис. 6. Удаление краев слева



Рис. 7. Итог обработанного фото

После вышеперечисленных этапов отображенные числовые знаки будут располагаться на определенных координатах от левого верхнего угла полученной картинке, что облегчит процесс вычленения их в пределах ограниченной области. Для того, чтобы были собраны тренировочные и тестовые данные, каждый числовой символ «вырезается» из обработанной картинке, файлы классифицируются и разделяются по различным директориям значимостью от «0» до «9».

Гистограмма направленных градиентов активно применяется в задачах распознавания, например, текстов. Для классифицирования и определения «схожести» цифр требуется задать характерные черты, уникальные для рассматриваемый числовых символов. Алгоритм машинного обучения реализуется за счет этого процесса выделения отличающих характеристик.

После требуется сформировать данные для обучения и для тестов. Для этого результативный набор обучающих данных делится на две группы. Результат используется для обучения с использованием классификатора k-nearest neighbor algorithm (k -NN), обученная модель сохраняется.

Процесс обработки и предсказания показаний на новых фото будет производиться в той же последовательности шагов: определение областей цифр, для того чтобы обучить модель, после классификация с помощью k-NN функции.

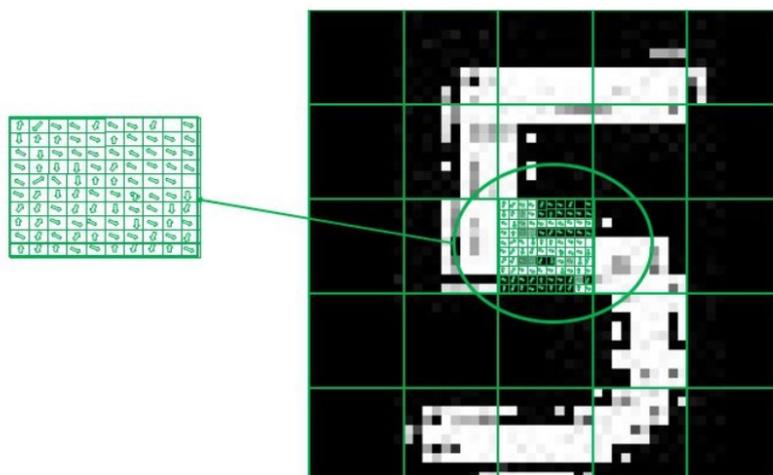


Рис. 8. Демонстрация принципа работы HOG

Результатом работы методов алгоритма с применением k-NN будут следующие выходные данные: цифровое значение в границах 0 – 9, как предполагаемый распознанный символ, и степень предполагаемой точности оценки распознавания по каждому числовому классу. Таким образом, если на картинке, например число «7», то на выходе работы метода могут быть следующие значения: 7 и  $[[0 \ 0.3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.7 \ 0 \ 0]]$ . Данный результат можно трактовать так, что числовой символ был определен по большей части как «7» на 70%, но также классификация распознала символ как «1» на 30%.

Как итог в ходе алгоритма имеется вектор с кортежами, демонстрирующими результаты распознавания как связку значений предсказанная цифра-процент достоверности. Фото подается на ручное редактирование или же удаление из набора обучающих данных в случае, если предполагаемое значение не достигает 1.0 (100%).

Пример вектора кортежей:

$[(6, 1.0), (5, 1.0), (3, 0.7), (1, 1.0), (9, 1.0), (0, 0.9), (6, 1.0), (2, 1.0), (8, 0.7), (4, 1.0), (5, 1.0), (8, 1.0), (1, 1.0), (3, 0.8), (9, 1.0)]$ .

Таким образом, в качестве меры по сокращению ошибок при распознавании показаний счетчика есть возможность использовать предварительный анализ, включающий в себя предварительную обработку фото и дальнейшую фильтрацию изображений по степени «узнаваемости» показаний. Однако необходимо учитывать, что такой подход может добавить нагрузку системе и при этом значительно сократить количество данных для обучения модели и ее тестирования. Дальнейшие исследования могут быть направлены на дополнение проекта модулем категоризации счетчика и определение показаний на основе принадлежности определенной категории, а также исследование случаев, когда прибор имеет вращающиеся цифры, поскольку это является одной из основных причин ошибок.

## Литература

1. Balapour A., Nikkhah H. R., Sabherwal R. Mobile application security: Role of perceived privacy as the predictor of security perceptions //International Journal of Information Management. – 2020. – Т. 52. – С. 102063.
2. Ejiri M. et al. Automatic recognition of engineering drawings and maps //Image analysis applications. – CRC Press, 2020. – С. 73-126.
3. Alawi A. E. B. et al. Yemeni Paper Currency Recognition System Using Deep Learning Approach //Advances on Smart and Soft Computing. – Springer, Singapore, 2021. – С. 61-69.
4. Xu H., Srivastava G. Automatic recognition algorithm of traffic signs based on convolution neural network //Multimedia Tools and Applications. – 2020. – С. 1-15.

**УДК 004.89**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛЕТОК ТРОМБОЦИТОВ**

**Елагина Е.А.**

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Существует ряд заболеваний, которые можно диагностировать на ранних стадиях с помощью анализа крови, в частности, при оценке свертывающей способности крови в первую очередь определяется уровень тромбоцитов. В настоящее время выделение и подсчет количества клеток крови при лабораторном анализе биологического материала медицинским работником является трудозатратным процессом. Развитие области медицинской визуализации становится важной задачей вследствие растущей потребности в автоматизированной, быстрой и эффективной диагностике. В представленной работе решение данной проблемы предлагается на основе систем искусственного интеллекта, в частности, с использованием метода опорных векторов (SVM), представляющего собой усовершенствованную технику на основе ядра и используемого для классификации данных, в сравнении со свёрточной нейронной сетью (CNN) модели VGG.

**Ключевые слова:** метод опорных векторов, SVM, свёрточные нейронные сети, CNN, машинное обучение (МО), глубокое обучение.

### **Введение**

В данной работе рассматривается приложение метода опорных векторов к процессу автоматизации идентификации и подсчета количества клеток тромбоцитов. Визуализация помогает врачам анализировать изображения, выявлять аномалии внутренних структур, что особенно важно при исследовании мазков периферической крови. Подсчет количества тромбоцитов важен, поскольку они выполняют две основных функции: формирование тромбоцитного агрегата – первичной пробки, закрывающей место повреждения сосуда – и предоставление своей поверхности для ускорения ключевых реакций плазменного свёртывания. Относительно недавно установлено, что тромбоциты также играют важнейшую роль в заживлении и регенерации повреждённых тканей, выделяя из себя в повреждённые ткани факторы роста, которые стимулируют деление и рост клеток. Факторы роста представляют собой полипептидные молекулы различного строения и назначения.

### **Метод опорных векторов**

Существует множество методов решения данной задачи, на основе проведенного аналитического обзора было принято решение использовать метод опорных векторов (support vector machines, SVM). SVM – очень мощный и гибкий класс алгоритмов обучения с учителем как для классификации, так и регрессии. Возможности данного метода расширяются при его комбинации с ядрами (kernels), что позволяет проецировать данные в пространство с большей размерностью, определяемое полиномиальным и гауссовыми базисными функциями, благодаря чему появляется возможность аппроксимировать нелинейные зависимости с помощью линейного классификатора. Очевидно, что есть данные, не допускающие линейного разделения, но их можно спроецировать в пространство более высокой размерности, а следовательно, будет достаточно линейного разделителя. Потенциальная проблема, возникающая при использовании указанной методики, заключается в том, что при проецировании  $N$  точек на  $N$  измерений могут потребоваться колоссальные объемы вычислений. Однако, благодаря процедуре kernel trick обучение на преобразованных с помощью ядра данных можно провести неявно, то есть даже без построения полного  $N$ -мерного представления ядерной проекции. Эта процедура является частью SVM и одним из больших преимуществ метода.

Реальные наборы данных часто бывают зашумлены и неоднородны, в них могут отсутствовать признаки. Одним из очень интересных приложений машинного обучения является анализ изображений с использованием пиксельных признаков для классификации.

На практике анализируемые данные очень редко оказываются достаточно однородными, и простых пикселей будет недостаточно. Это привело к появлению методик выделения признаков, например, с помощью гистограммы направленных градиентов (HOG), которая преобразует пиксели изображения в векторное представление, чувствительное к несущим информации признакам изображения.

Цель извлечения признаков – уменьшение исходного набора данных путем измерения определенных свойств или функций, которые отличают один входной шаблон от другого. Извлеченные признаки становятся входными данными для классификатора, который будет считаться соответствующими свойствами изображения в пространстве признаков. Если доступно только несколько обучающих образов, каждая из структур может иметь несколько обучающих примеров, в которых фактически присутствует тромбоцит (PLT). После первоначального выбора потенциально хороших функций наиболее целесообразно выбрать небольшой набор «хороших» функций PLT. Алгоритм автоматического выбора функций может использоваться для дальнейшего сужения до набора, состоящего из наиболее важных из них.

### **Решение задачи с помощью свёрточной нейронной сети**

Решить задачу классификации можно с использованием стандартной нейронной сети с прямым распространением ошибки, однако, данный подход является устаревшим. Наиболее желательными являются методы, основанные на применении сверточных нейронных сетей (CNN), предназначенные для работы с интенсивностью пикселей и изучением различающих фильтров для высокоточной классификации изображений. Нами была выбрана сеть модели VGG, являющейся моделью для распознавания признаков.

### **Архитектура сети модели VGG**

Первый свёрточный слой имеет 32 фильтра размером 3x3. Нами была использована функция активации ReLU (Rectified Linear Unit). Также использовались функция максимума (MaxPooling), метод исключения (Dropout) и пакетная нормализация (Batch Normalization). Пакетная нормализация масштабирует входные данные для дальнейшей передачи их на последующий слой сети. Доказано, что метод нормализации эффективно стабилизирует и сокращает число шагов обучения сети (CNN). К слоям субдискретизации (подвыборки) применялась функция постепенного уменьшения размера (т.е. ширины и высоты) входного слоя. Метод исключения «выключает» случайные нейроны между слоями. Вследствие этого процесс становится более устойчивым: сокращается переобучение, увеличивается точность и нейросеть лучше распознает незнакомые изображения. В рассматриваемой задаче 25% нейронных соединений между слоями случайным образом «выключаются» для каждого шага обучения. Далее два свёрточных слоя, в составе которых имеется 64 фильтра размером 3x3, чередуются с двумя слоями ReLU. В третьем наборе слоев три свёрточных слоя, у каждого из которых число фильтров удвоилось с 64 до 128, а размер остался прежним, чередуются с тремя слоями ReLU. Далее идут полностью связанные слои (Dense). Последний слой соединён с тремя выходами (так как в нашем наборе данных три класса). Слой softmax возвращает вероятность принадлежности к определённому классу для каждой метки.

### **Результаты**

Для реализации метода был выбран язык программирования Python. С использованием метода опорных векторов (SVM) с радиальной базисной функцией (RBF), дополненной гистограммой направленных градиентов (HOG) для определения признаков, была построена и обучена модель. Работоспособность метода протестирована на имеющемся тестовом наборе данных, содержащим 300 изображений клеток.

Точность обучения модели на основе метода опорных векторов достигает 98% на тестовом наборе данных. Результаты распознавания модели представлены на рисунке 1.

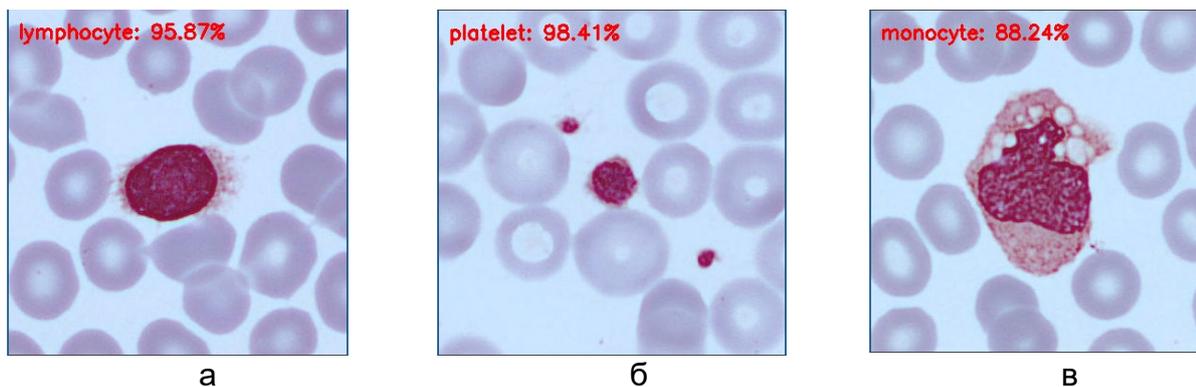


Рис. 1. Распознавание модели, основанной на методе опорных векторов: а) лимфоцит, б) тромбоцит, в) моноцит

Свёрточная нейронная сеть была также реализована на языке программирования Python. Работоспособность нейросети протестирована на имеющемся тестовом наборе данных, содержащим 3000 изображений клеток (рис. 2).

Потери при обучении и точность обучения (SmallVGGNet)

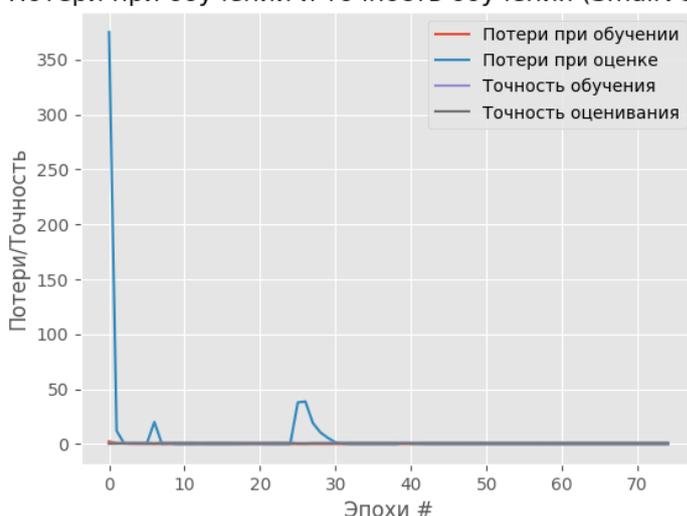


Рис. 2. График потерь и точности при обучении

Из графика потери точности при обучении (рисунок 1) можно увидеть, что модель нейронной сети не страдает от переобучения. Точность обучения составляет 86%. Результаты распознавания свёрточной нейронной сети представлены на рисунке 3.

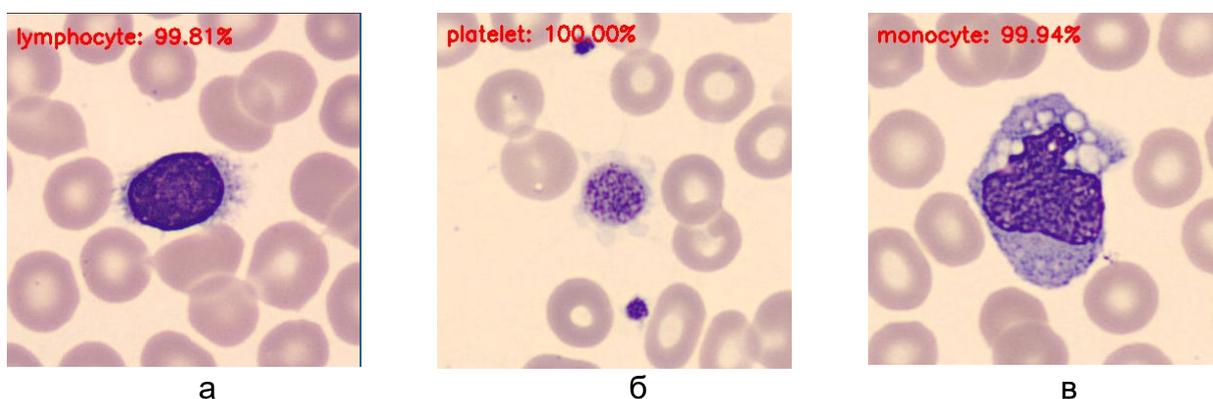


Рис. 3. Распознавание сверточной нейронной сети: а) лимфоцит, б) тромбоцит, в) моноцит

**Выводы**

Классификация методом опорных векторов (SVM), по данным более ранних исследований, достигала точности 98%. Следовательно, можно сделать вывод о том, что SVM является мощным методом классификации по ряду причин:

1. Зависимость метода от относительно небольшого количества опорных векторов означает компактность модели и небольшого объема используемой оперативной памяти.
2. Фаза предсказания после обучения модели занимает очень мало времени.
3. Этот метод хорошо подходит для многомерных данных, в том числе, с количеством измерений большим, чем количество выборок, что является непросто условием работы для других алгоритмов.
4. Интеграция с ядерными методами делает метод универсальным, обеспечивает приспособляемость к множеству типов данных.

Следует заметить, что у метода имеются и недостатки:

1. При значительном количестве обучающих выборок вычислительные затраты могут оказаться непомерно высокими.
2. Результаты зависят от выбора параметра размытия  $C$ . Его необходимо выбирать с помощью перекрестной проверки, которая также может потребовать значительных вычислительных затрат при росте размеров наборов данных.
3. У получаемых результатов отсутствует непосредственная вероятностная интерпретация. Ее можно получить путем внутренней перекрестной проверки, но это также потребует больших вычислительных затрат.

Результаты показывают, что точность классификатора CNN продолжает расти с увеличением объема входных данных, приближаясь к максимальной точности классификации более 99%. С другой стороны, хотя точность классификации классификатора SVM изначально выигрывает от большего объема данных, его производительность менее стабильна и страдает от переобучения, когда объем входных обучающих данных увеличивается до более чем 3000 изображений.

**Литература**

1. Haefele B. D. Generative optical modeling of whole blood for detecting platelets in lens-free images/ B. D. Haefele, Christian Pick, Ziduo Lin, Evelien Mathieu, Stuart C. Ray, René Vidal // *Biomed. Opt. Express*. 2020. V.11. -P.1808-1818.
2. Rivenson Y. Deep learning in holography and coherent imaging/ Y. Rivenson, Y. Wu, A. Ozcan // *Light Sci Appl*. -2019. -V.8. -P.85
3. Meng N. Large-Scale Multi-Class Image-Based Cell Classification with Deep Learning/ N. Meng, E.Y. Lam, K. K. Tsia, H. K. So// *IEEE journal of biomedical and health informatics*. 2019. V.23(5). P.2091–2098.
4. Kaestner L. Trends in the Development of Diagnostic Tools for Red Blood Cell-Related Diseases and Anemias / L. Kaestner, P. Bianchi// *Frontiers in physiology*. 2020. V.11. P. 387.
5. Go T. Label-free sensor for automatic identification of erythrocytes using digital in-line holographic microscopy and machine learning / T. Go, H. Byeon, S. J. Lee//*Biosensors & bioelectronics*. 2018. V.103. P.12–18.
6. Bacon K. Past, Present, and Future of Affinity-based Cell Separation Technologies/ K. Bacon, A. Lavoie, B. M. Rao, M. Daniele, S. Menegatti // *Acta biomaterialia*. 2020. V.112. P.29–51.
7. Kim Jo G. Learning-based screening of hematologic disorders using quantitative phase imaging of individual red blood cells/ G. Kim, Y. Jo, Y. Cho, H. Min, Y. Park // *Biosensors & bioelectronics*. 2019.V.123.P.69–76.
8. Huang X. Machine Learning Based Single-Frame Super-Resolution Processing for Lensless Blood Cell Counting. / X. Huang, Y. Jiang, X. Liu, H. Xu, Z. Han, H. Rong, H. Yang, M. Yan, H. Yu // *Sensors (Basel, Switzerland)*. -2016.-V.16(11).-P.1836.
9. Jo Y. Quantitative Phase Imaging and Artificial Intelligence: A Review / Y. Jo, H. Cho, S. Y. Lee, G. Choi, G. Kim // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2019. V. 25.P.1-14.

**УДК 004.056**

**RAPTOR: DISTRIBUTED INTELLIGENT DIAGNOSTICS SERVICE  
FOR VIDEO STREAMS**

**Заглубоцкий А.В., Березина А.С.**

**Научный руководитель - к.т.н. Попов И.Ю.**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В данном докладе представлен проект Raptor, автоматизирующий анализ видеопотока с камер и предоставляющий удобный и простой в использовании интерфейс для добавления и настройки задач. Raptor представляет собой масштабируемую систему, автоматизирующую анализ видеопотока с большого количества камер, а также упрощающую написание и подключение новых модулей анализа.

**Ключевые слова:** WebRTC, анализ видеопотоков, сжатие видеоизображений, распределенные системы, REST API.

**Введение**

У многих крупных организаций есть не менее крупный парк IP-камер. На разных точках нужно выполнять различные задачи, которые, без дополнительной настройки видеопотока, сложно запустить в работу.

Целью проекта было создание масштабируемой системой, которая берет на себя всю работу по передачи видеопотока и позволяет разработчикам заниматься написанием анализа, а не настройкой получения видеопотока.

**Протокол и кодек для работы**

В качестве протокола, используемого на камерах видеонаблюдения, был выбран RTSP. Это протокол прикладного уровня для настройки и управления доставкой данных со свойствами в реальном времени. RTSP позволяет осуществить контролируемую доставку данных в реальном времени, таких как аудио и видео.

Для первой версии проекта был выбран кодек видеопотока H.264. H.264 – это открытый лицензированный стандарт с поддержкой самых эффективных на сегодняшний день технологий сжатия видеоизображения. Кодек H.264 без ущерба для качества изображения может снижать размер файла цифрового видео более чем на 80% по сравнению с форматом Motion JPEG и на 50% - по сравнению со стандартом MPEG-4 Part 2. Что означает гораздо меньшие требования к полосе пропускания для передачи и объему памяти для хранения видеофайла. Или же, с другой стороны, возможность получения гораздо лучшего качества видеоизображения при той же скорости передачи данных.

**Архитектура**

При создании архитектуры были выбраны такие параметры: удобство масштабирования, простой интерфейс для взаимодействия, возможность возврата системы к предыдущей версии.

В итоге было решено использовать микросервисную архитектуру, в которой каждый сервис находится в собственном Docker-контейнере и изолирован от других систем. В качестве оркестратора контейнеров был выбран Kubernetes, а версии подписываются хешем последнего коммита, который был добавлен в master-ветку, что позволяет откатиться до более стабильной версии проекта.

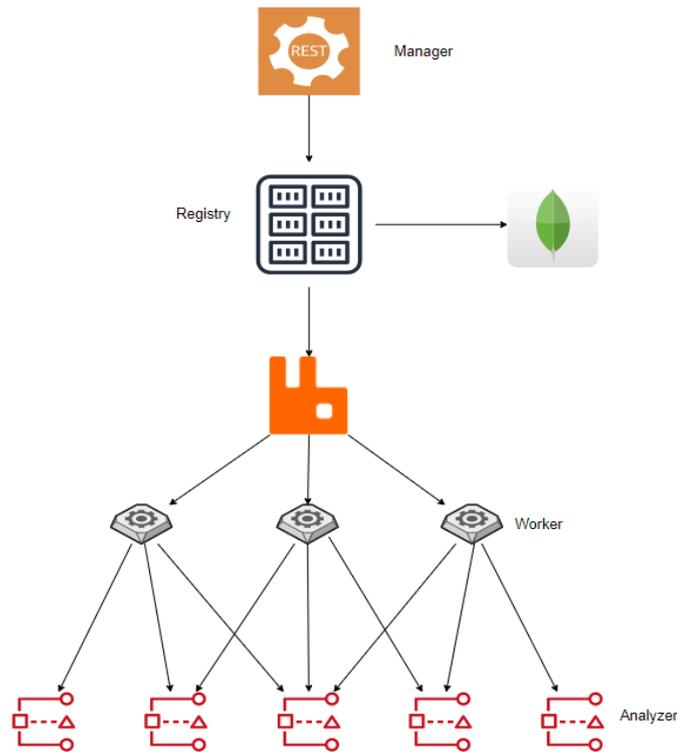


Рис. 1. Архитектура проекта

### Registry

Перед тем как отправить сервису новую задачу, разработчику необходимо зарегистрировать в registry новый анализатор. Сервис записывает полученную информацию в БД и хранит до того момента, как пользователь не решит остановить его работу или удалить из системы.

```
{
  "name": "count_human",
  "info": "Counts the number of people on the video"
  "addr": "https://{ip}:{port}"
}
```

Рис. 2. JSON для регистрации анализатора

После добавления всех анализаторов разработчик может отправить запрос на добавление новой в задачи в формате JSON, где должен перечислить адрес камеры и имена анализаторов, которые должны выполнять свои функции на данном видеопотоке. При успешном запросе он получает uuid для своей задачи, по которому может контролировать процесс: остановить, удалить или получить отчет по задаче.

```
{
  "ip_camera": "rtsp://<user>@<password>:<ip>@<port>",
  "info": "Test face recognition"
  "jobs": ["face", "count"]
}
```

Рис. 3. Формат JSON для задач

После того как вся информация будет зафиксировано в БД, registry отправляет в очередь RabbitMQ задачу, откуда воркеры могут ее получить и начать работу с ней.

### **Worker**

Данный сервис реализует всю необходимую логику для передачи видеопотока. Для начала он проверяет доступность видеопотока по полученному адресу и в случае невозможности получения, возвращает информацию о том, что такой камеры не существует. При успешном соединении воркер проверяет соответствие кодека и в случае отрицательного результата отклоняет выполнение задачи, переходя к другим анализаторам в списке. Если все предыдущие этапы были успешно пройдены, начинается процесс соединения с анализаторами. Для решения данной проблемы была выбрана технология WebRTC.

Воркер отправляет запрос на адрес анализатора через API, передавая дескриптор сессии и в ответ получает уже удаленного сервиса. На данном этапе было осуществлено логическое соединение между сервисами. Следующим этапом является передача Ice candidate объекта. Отличие от дескрипторов сессии состоит в том, что устанавливать нужно только удаленных кандидатов. Редактирование здесь запрещено и не может принести никакой пользы. После того как будет установлена связь на логическом и физическом уровне, данные начнут приходить на анализаторы, и разработчикам остается только обрабатывать.

### **Применение**

Данную систему можно использовать для анализа видео с камер аудиторий, где можно будет контролировать количество обучающихся в соответствии с правилами по противодействию распространению коронавирусной инфекции. Данный пример – не единственный, потому что сервис позволяет подключать любые варианты анализа видео.

### **Литература**

1. RFC 2326 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc2326>. (дата обращения: 08.05.2021).
2. RFC 6184 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc6184#page-4>. (дата обращения: 08.05.2021).
3. WebRTC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://webrtc.org/>. (дата обращения: 08.05.2021).

УДК 35.24.12

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ КУБИТА ЧЕРЕЗ ТУРБУЛЕНТНУЮ АТМОСФЕРУ

Зайцева Е.В., Попов И.Ю.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Попов И.Ю.

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Исследована передача запутанного состояния через турбулентную атмосферу. Кубиты кодируются модами Гауссова пучка. Рассмотрено определение гауссова пучка и его некоторые свойства, необходимые для рассмотрения передачи кубитов. Рассмотрена простейшая модель турбулентности, представленная в виде функции Грина для уравнения Гельмгольца.

**Ключевые слова:** кубиты, квантовые коммуникации, турбулентность, возмущения атмосферы, кодирование кубита.

С каждым годом растут объемы информации, обрабатываемой компьютерами и сложность алгоритмов. И это рождает потребность в появлении более эффективных подходов к вычислениям и передаче данных. В данный момент активно развиваются технологии, основанные на квантовых эффектах, а наиболее разработанным методом передачи сигналов является использование оптоволоконных каналов.

К сожалению, данный подход имеет определенные недостатки: квантовая запутанность исчезает при прохождении сигнала в канале, что не позволяет осуществлять передачу на большие расстояния. В качестве решений данной проблемы предлагается использовать более устойчивые к потерям протоколы передачи, устанавливать квантовые повторители или изменить тип передачи данных. В данной работе предлагается к рассмотрению вопрос о передаче квантовых сигналов с помощью гауссовых пучков света.

Передача квантовых сигналов, основанная на распространении гауссовых пучков света, является эффективным и экономичным методом для коммуникации на большие расстояния. Однако различные возмущения в атмосфере способны снижать качество передаваемого сигнала. А потому необходимо исследовать то, какое влияние оказывает атмосфера на передачу сигнала.

В данной работе предлагается построить модель турбулентности в виде точечного источника. Построение данной модели будет строиться из формулы для гауссова пучка и построенной для нее функции Грина.

Рассмотрим процесс кодирования кубита с помощью светового гауссова пучка. Для этого приступим к введению этого понятия. Свойства светового пучка определяются с помощью уравнений Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &= \frac{\partial D}{\partial t}, \operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \\ \operatorname{div} D &= 0, \operatorname{div} B = 0, \\ D &= \varepsilon E, B = \mu H, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $H, B$  – вектор напряженности магнитного поля и вектор магнитной индукции соответственно,  $E, D$  – вектор напряженности электрического поля и вектор электрической индукции. Последние два уравнения являются уравнениями связи, в которых  $\varepsilon \in \mathbb{R}$  – диэлектрическая проницаемость среды, а  $\mu \in \mathbb{R}$  – магнитная проницаемость среды.

Однако данная система уравнений не всегда удобна для исследовательских целей, а потому часто совершают переход к уравнению [1]:

$$\Delta u + \varepsilon \mu \omega^2 u = f(x, y, z). \quad (2)$$

В данном уравнении (2)  $\Delta$  – оператор Лапласа,  $u$  – любая компонента векторов  $E, D, H$  и  $B$ , а  $f(x, y, z)$  – функция источника. Решение данного уравнение представимо в следующем виде, именуемом модой гауссова пучка:

$$\varphi_{mn} = \sqrt{\frac{2}{\pi W^2}} \exp\left(-((x-r)^2 + y^2) \left(\frac{1}{W^2} + \frac{ik}{2R}\right) + i(1+m+n) \phi(z_{ap})\right) H_m\left(\frac{\sqrt{2}(x-r)}{W}\right) H_n\left(\frac{\sqrt{2}y}{W}\right). \quad (3)$$

Введем представление кубита через моды гауссова пучка. Как известно, при кодировании поляризационными состояниями кубит являет собой:

$$|H\rangle + \beta |V\rangle, \quad (4)$$

где состояние  $|H\rangle$  означает, что фотон находится в горизонтальном режиме, а состояние  $|V\rangle$  означает, что фотон находится в вертикальном режиме [2].

Зафиксируем два различных режима с индексами  $m_1, n_1$  и  $m_2, n_2$  для кодирования кубита,  $m_1, n_1, m_2, n_2 \in \mathbb{Z}^+$ ,  $(m_1, n_1) \neq (m_2, n_2)$ .

Предположим, что фотон может находиться в одном из этих двух состояний (мод). Пусть бесконечное множество функций (3) упорядочено, где  $\varphi_{m_1 n_1}$  имеет номер позиции  $k$ , а  $\varphi_{m_2 n_2}$  – номер позиции  $\ell$ . Запишем состояние фотона в виде  $|\dots 0_{k-1} 1_k 0_{k+1} 0_{k+2} \dots\rangle$ , где «1», находящееся в  $k$ -й позиции, означает, что фотон находится в режиме  $\varphi_{m_1 n_1}$  числа  $k$ :  $|\dots 0_{k-1} 1_k 0_{k+1} 0_{k+2} \dots\rangle$ . Пусть это состояние является первым базовым состоянием («0») вычислительного кубита. Соответственно, фотонное состояние  $|\dots 0_{\ell-1} 1_{\ell} 0_{\ell+1} 0_{\ell+2} \dots\rangle$  (что означает, что фотон находится в режиме  $\varphi_{m_2 n_2}$ ) — это второе базовое состояние («1») вычислительного кубита. Кубит можно представить в виде линейной комбинации двух состояний:

$$\alpha |\dots 0_{k-1} 1_k 0_{k+1} 0_{k+2} \dots\rangle + \beta |\dots 0_{\ell-1} 1_{\ell} 0_{\ell+1} 0_{\ell+2} \dots\rangle, k \neq \ell. \quad (5)$$

В этой системе кодирования мы используем два фотона и четыре режима для двухкубитового состояния  $\varphi_{m_i n_i}, i = 1, 2, 3, 4$ . Два элемента «1» в обозначении двухфотонного состояния  $|01_{k_1} \dots 1_{k_2} 0\rangle$  означают, что первый фотон в состоянии  $\varphi_{m_1 n_1}$  находится под номером  $k_1$ , второй фотон, находящийся в состоянии  $\varphi_{m_3 n_3}$ , – в  $k_2$ . Таким образом проиллюстрирован факт того, что существует соответствие между индексами положения и модами, и приведен пример кодирования кубита с помощью мод гауссова пучка. Это позволяет говорить о возможности построения квантовых коммуникаций с помощью световых гауссовых пучков [3]. Например, в данных обозначениях можно переписать двухфотонное квантовое состояние как

$$|\varphi\rangle_{mn} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|1\rangle_{m_1 n_1} |0\rangle_{m_2 n_2} |0\rangle_{m_3 n_3} |1\rangle_{m_4 n_4} |0\rangle_{m_5 n_5} |0\rangle_{m_6 n_6} |0\rangle_{m_7 n_7} \dots - |0\rangle_{m_1 n_1} |1\rangle_{m_2 n_2} |1\rangle_{m_3 n_3} |0\rangle_{m_4 n_4} |0\rangle_{m_5 n_5} |0\rangle_{m_6 n_6} |0\rangle_{m_7 n_7} \dots). \quad (6)$$

Или в другом виде:

$$|\varphi\rangle_{mn} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|100100 \dots\rangle - |01100 \dots\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}} (|1001\rangle - |0110\rangle). \quad (7)$$

Для того, чтобы в будущем рассмотреть возможное влияние неоднородности среды (турбулентности) и флуктуации её параметров на качество передачи сигнала, необходимо

ввести понятие турбулентности. Однако математическое описание данного явления несколько затруднено его столь разнообразной природой. В данной работе мы ограничимся лишь рассмотрением простейшего случая неоднородности среды - точечный источник.

Влияние точечного источника на распространение световых в среде можно описать с помощью теории операторов. Для уравнения Гельмгольца (9) воздействие точечного источника можно описать с помощью построения расширения оператора  $-\Delta \in L_2(\mathbb{R}^3)$ [4]. Но для начала введем основные определения, необходимые для работы.

Если  $B$  – расширение симметрического оператора  $A$

$$A \subset B, \text{ то } B^* \subset A^*.$$

Если  $B$  – симметрический оператор, то есть  $B \subset B^*$ , следовательно

$$A \subset B \subset B^* \subset A^*.$$

Таким образом, можно заключить, что всякое симметрическое расширение оператора  $A$  является сужением оператора  $A^*$  [].

Для симметрических операторов вводится понятие дефектного подпространства. Пусть  $\lambda$  – произвольное невещественное число. Для симметрического оператора  $A$  введем  $\mathfrak{N}_\lambda$  и  $\mathfrak{N}_{\bar{\lambda}}$  как области определения для операторов  $A - \lambda I$  и  $A - \bar{\lambda} I$  соответственно. Ортогональные дополнения к  $\mathfrak{N}_\lambda$  и  $\mathfrak{N}_{\bar{\lambda}}$  называются дефектными подпространствами оператора  $A$  и обозначаются как  $\mathfrak{N}_\lambda$  и  $\mathfrak{N}_{\bar{\lambda}}$ . Справедливо утверждение о том, что дефектные подпространства  $\mathfrak{N}_\lambda$  и  $\mathfrak{N}_{\bar{\lambda}}$  являются собственными подпространствами оператора  $A^*$ , отвечающими собственным числам  $\lambda$  и  $\bar{\lambda}$  соответственно.

Как уже было отмечено выше, для того чтобы выяснить влияние точечного источника возмущений, необходимо построить расширение для оператора Лапласа из уравнения Гельмгольца.

Для этого необходимо построить сужение в  $u_0$  такое, что

$$u_0 \in \mathcal{D}(-\Delta_0) = \{u, u(0) = 0\},$$

где  $-\Delta_0$  – симметрический несамосопряженный. Области определения для оператора  $-\Delta_0$  и  $-\Delta_0^*$  связаны следующим соотношением:

$$\mathcal{D}(-\Delta_0) \subset \mathcal{D}(-\Delta_0^*).$$

Для работы потребуется формула фон Неймана для симметрического оператора [5], которая дает более точное выражение

$$\mathcal{D}(A^*) = \mathcal{D}(A) \oplus \mathfrak{N}_{\lambda_0} \oplus \mathfrak{N}_{\bar{\lambda}_0},$$

для которого  $\lambda$  – некоторое регулярное невещественное собственное значение, определяемое следующим соотношением:

$$(-\Delta - \lambda)u = 0.$$

Однако для работы для нас наиболее удобным будет использовать следующее соотношение:  $k = \sqrt{\lambda}$ . Таким образом, поведение в окрестности точечного источника описывается выражением

$$u_0 + a_{\lambda_0} \frac{e^{i\sqrt{\lambda_0}|x|}}{4\pi|x|} + a_{\bar{\lambda}_0} \frac{e^{i\sqrt{\lambda_0}|x|}}{4\pi|x|}.$$

Рассмотрим подробнее действительную и мнимую части  $\frac{e^{i\sqrt{\lambda_0}|x|}}{4\pi|x|}$ :

$$Re \frac{e^{i\sqrt{\lambda_0}|x|}}{4\pi|x|} \sim \frac{1}{4\pi|x|} \text{ и } Im \frac{e^{i\sqrt{\lambda_0}|x|}}{4\pi|x|} \sim const.$$

Рассмотрим два элемента  $u, v \in \mathcal{D}(A^*)$ . Элемент  $u$  представим в виде

$$u = u_0 + aG(x, 0, k_0).$$

Помимо этого, необходимо в последующих исследованиях уточнить, как именно влияет точечный источник на качество квантового сигнала. Предлагается сделать это, разложив функцию-источник на моды и изучив, при каких условиях качество сигнала ухудшается.

Таким образом, в данной работе был приведен обзор подходов к передаче квантовых сигналов с помощью гауссовых световых пучков. Приведен способ кодирования сигнала на примере двухкубитной квантовой системы. Построена модель точечного источника возмущений. На основе полученных результатов в дальнейшем будет исследовано влияние возмущений на передаваемые сигналы.

### Литература

1. Гончаренко А. М.: Гауссовы пучки света / А. М. Гончаренко. - Изд. второе, стер. - М. : КомКнига. 2005. С. 15-19.
2. Mitschke, F.: Fiber Optics: Physics and Technology. Springer, Berlin. 2009. С.323-327.
3. Faleeva, M., Popov, I.: Entanglement transmission through turbulent atmosphere for modes of Gaussian beam. Quantum Information Processing. 2020. С.72-81.

УДК 004.4

## ТЕСТИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА

Захаров О.О.<sup>1</sup>, Компаниец Р.И.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Дудкин А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В статье рассматривается вопрос тестирования защищенности информационных систем с помощью подхода Red Team Operations, сравниваются существующие продукты для постэксплуатации и предлагается подход к созданию программного комплекса с применением многоагентного подхода, позволяющего улучшить качество тестирования и упрощающего деятельность специалистов по информационной безопасности.

**Ключевые слова:** тестирование защищенности, информационно-телекоммуникационная сеть, Red Team Operations, постэксплуатация, информационная безопасность, компьютерные атаки.

Организации регулярно сталкиваются с целевыми компьютерными атаками, и их количество стремительно растет: по данным компании Positive Technologies в четвертом квартале 2020 года было зафиксировано 600 инцидентов. По сравнению с аналогичным периодом 2019 года прирост составил 41,2% [1]. Для улучшения безопасности организации на рынке существует множество услуг по проверке защищенности: пентест, киберучения, аудит информационной безопасности, но, несмотря на эффективность данных мер, они нацелены на точечную оценку в течение короткого промежутка времени.

Для непрерывной оценки устойчивости информационной инфраструктуры, готовности службы информационной безопасности по реагированию на атаки, в том числе и продолжительные – АРТ (Advanced Persistent Threat), существует подход Red Team Operations.

Отличительные особенности метода Red Team Operations:

1. Проверяющие пытаются по-настоящему проникнуть в систему, эксплуатируя все возможные уязвимости в системе.
2. У команды есть конкретная цель, они не ограничены в средствах, в том числе и во времени.
3. Специалисты стремятся действовать втайне от персонала заказчика.
4. Команда работает с реальной инфраструктурой заказчика, применяют те же инструменты, что и потенциальные злоумышленники.

Для проведения действий внутри сети специалистам требуются инструменты для постэксплуатации, которые способны преодолевать средства защиты информации и выполнять необходимые для команды задачи.

Рассмотрим некоторые особенности реализации популярных инструментов: Cobalt Strike с его программным агентом Beacon и Metasploit с Meterpreter, выявим недостатки и предложим подход к созданию программного комплекса, позволяющего упростить деятельность специалистов по информационной безопасности и улучшающего качество тестирования.

1. Связь с командным сервером и между агентами.

Cobalt Strike поддерживает каналы связи по протоколам HTTP, HTTPS, DNS, а также именованные каналы (named pipes) через протокол SMB, что позволяет строить внутри скомпрометированной сети peer-to-peer (одноранговую) сеть агентов. Отличительной особенностью от большинства других средств для постэксплуатации является наличие механизма маскировки HTTP трафика под уже существующие индикаторы компрометации [2].

Meterpreter использует HTTP, HTTPS, есть возможность использования именованных каналов [3].

Их общим недостатком является то, что сложно, а зачастую невозможно использовать каналы связи, созданные другими разработчиками.

2. Расширение возможностей инструмента по требованию без перекомпиляции.

Red Team может тестировать как сеть с узлами – обычными компьютерами, так и, например, базовые станции сотовой связи - для этого требуются разные модули. Расширение функционала по требованию без перекомпиляции обеспечивает гибкий подход для тестирований различных сетей.

Программный агент Cobalt Strike Beacon может быть расширен с помощью Beacon Object Files (BOF). Эти модули являются однопоточными для Beacon, поэтому не могут быть запущены постоянно – BOF блокирует все остальные задачи. Meterpreter имеет свою систему расширений «extensions», но ее возможности ограничиваются базовыми действиями на удаленном компьютере – перечислением файлов, управлением питанием и т.д.

Недостатком является то, что применение модульной системы ограничивается либо использованием простых модулей, либо модулей на основе тех функций, что предоставляет агент.

Новый подход к созданию программного комплекса для постэксплуатации заключается в том, что у оператора есть возможность собрать нового агента, с необходимыми модулями (в том числе и каналы связи) и логикой. Схема агента приведена на рисунке 1.

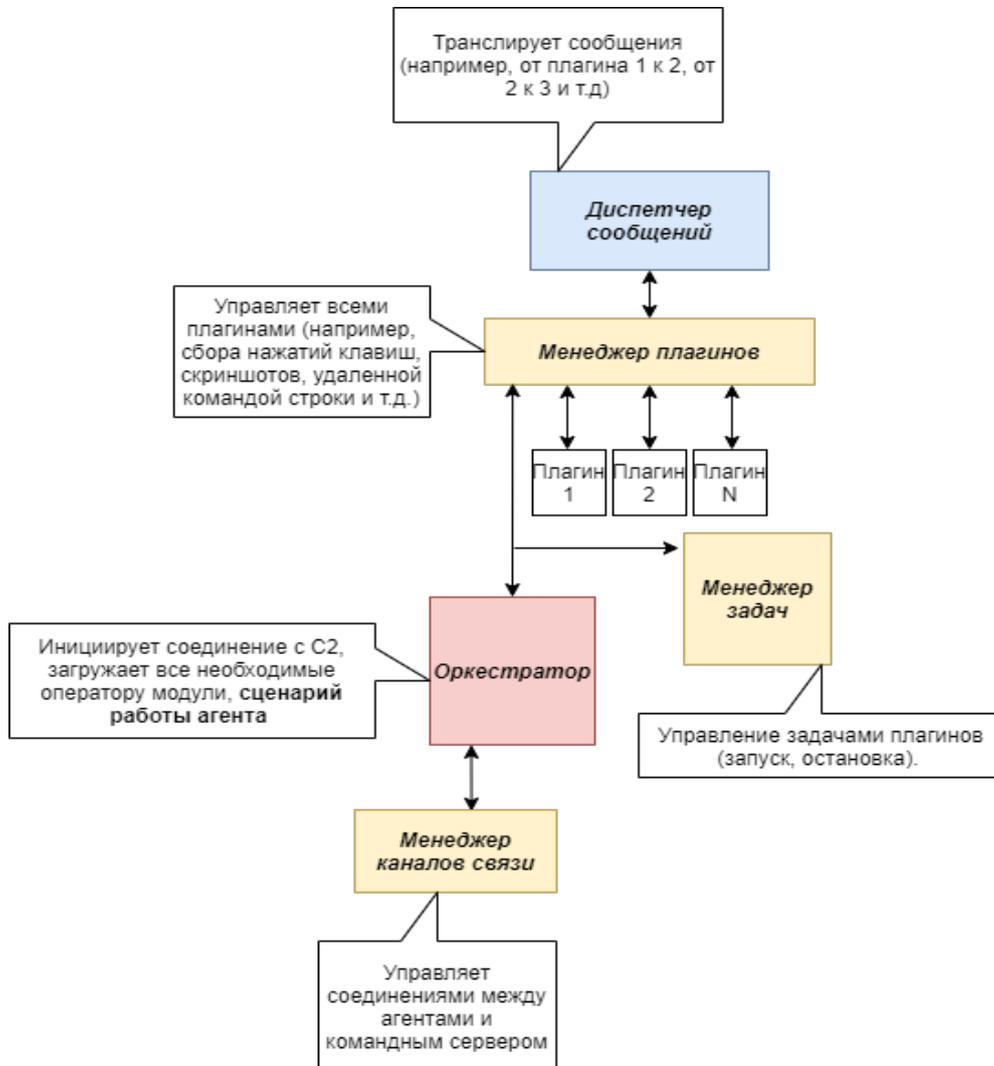


Рис. 1. Архитектура программного агента с применением нового подхода

Предлагаемый подход позволяет реализовывать логику работы оператору специально под его задачи, позволяя комбинировать одиночные модули для реализации необходимого функционала, а в случае необходимости – разработать модуль любой сложности.

Примером решаемой задачи может являться сбор информации со съемных устройств хранения данных и применения их в качестве средства связи между физически изолированными компьютерами (рис. 2).

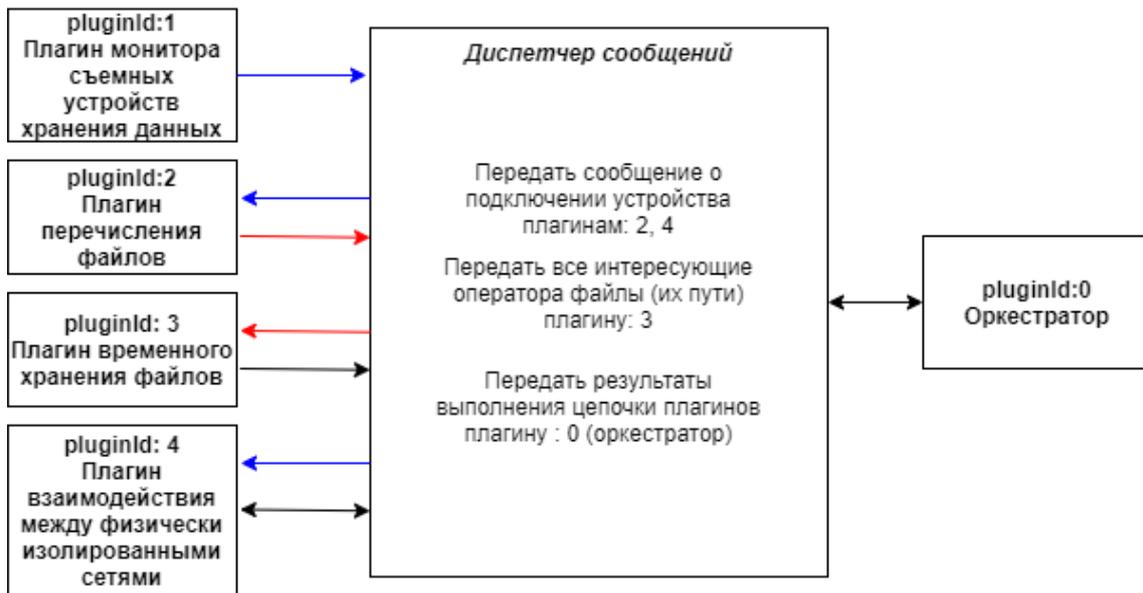


Рис. 2. Обработка данных от плагинов диспетчером сообщений

Применение многоагентного подхода с использованием различных каналов связи позволяет обходить межсетевые экраны, получать доступ к физически изолированным сетям (рис. 3).

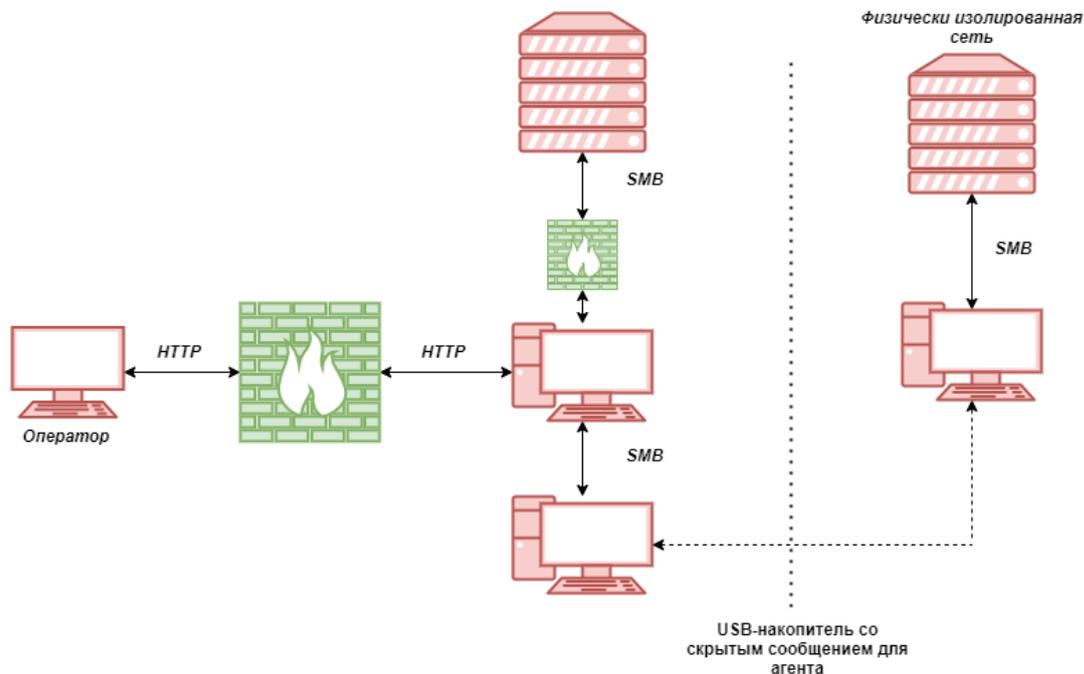


Рис. 3. Пример работы программного агента в тестируемой компьютерной сети

В результате анализа средств постэксплуатации были выявлены недостатки инструментов, применяемых для тестирования по методу Red Team Operations. Предложенный в статье подход учитывает выявленные недостатки, а разрабатываемый прототип программного комплекса [4], создающийся на его основе, способен реализовать следующие механизмы:

- менеджера каналов связи с командным сервером, в том числе созданных сторонними разработчиками;
- системы плагинов, позволяющей гибко подстраиваться под различные задачи, возникающие при тестировании;
- диспетчера сообщений, реализующего взаимодействие между плагинами, тем самым позволяя реализовывать сложную логику при помощи простых, одиночных плагинов;
- менеджера задач, позволяющего выполнять несколько задач одновременно, а также реализующего очередь задач, что позволяет работать агенту асинхронно.

### **Литература**

1. Актуальные киберугрозы: IV квартал 2020 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2020-q4/> (дата обращения 23.04.2021)
2. Cobalt Strike – официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cobaltstrike.com/> (дата обращения 23.04.2021)
3. About the Metasploit Meterpreter [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.offensive-security.com/metasploit-unleashed/about-meterpreter/> (дата обращения 23.04.2021)
4. Захаров О. О. Программный комплекс тестирования защищенности территориально распределенной информационно-телекоммуникационной сети на основе применения многоагентного подхода / Захаров О.О. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021613841 от 16.03.2021, РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ, 2021г.

УДК 67.05

**ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АЛГОРИТМАХ  
КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ АДДИТИВНОЙ ОБРАБОТКЕ****Зименко К.В.<sup>1</sup>, Афанасьев М.Я.<sup>1</sup>****Научный руководитель – к.т.н. Афанасьев М.Я.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».*

В работе описывается эффект нежелательной динамики экструзии, возникающий при печати по технологии послойного наплавления. Рассматриваются вызываемые при этом дефекты, а также алгоритмы, применяемые для стабилизации давления в экструдере. Приводятся принципы их работы и основные недостатки. В качестве решения предлагается оптимизация алгоритма контроля давления, предполагающая применение машинного обучения.

**Ключевые слова:** трехмерная печать, ЧПУ, контроль давления, экструдер, linear advance, машинное обучение, нейронная сеть.

Одной из наиболее распространенных технологий трехмерной печати является печать по методу послойного наплавления (FDM, Fused deposition modeling). Она подразумевает создание трёхмерных объектов за счёт нанесения последовательных слоёв материала, повторяющих контуры цифровой модели. В качестве материалов выступают термопласты в виде катушек нитей. Материал подаётся в экструдер – устройство с механическим приводом для подачи нити, где с помощью нагревательного элемента происходит плавка материала и его экструзия через сопло.

Одной из причин появления дефектов при FDM печати является нежелательная динамика экструзии, которая вызывается изменением скорости рабочего органа. Если скорость выхода материала из печатающей головки остается постоянной, то при ее замедлении материала окажется слишком много, а при ускорении недостаточно.

Легче всего проявление данного дефекта можно продемонстрировать с помощью рисунка 1. Это типичная форма укладки материала во время печати с различным ускорением. Видно, что начинается изменение толщины слоя накладываемого материала при ускорении (зона 2) и торможении печатающей головки (зона 4). Дефекты продолжают проявляться некоторое время, пока подача материала не подстроится под изменившуюся скорость (начало зон 3 и 5). Поскольку такие дефекты серьезно влияют на допуски в углах, то полученные изделия часто требуют дополнительной обработки для удаления лишнего материала, особенно если требуется посадка с натягом или малые допуски [1]. Во избежание их возникновения необходимо применение алгоритмов, которые смогли бы заранее изменять интенсивность подачи материала и таким образом сохранять форму слоя.

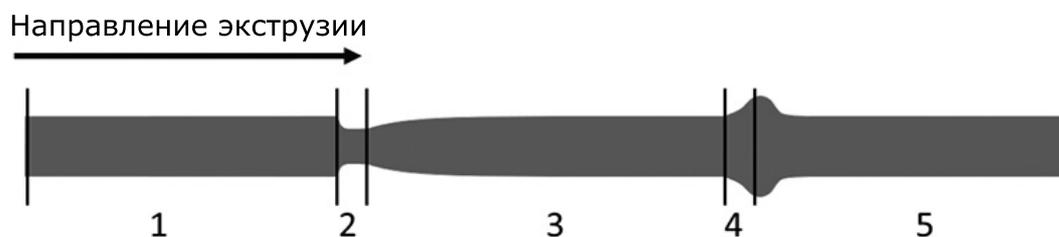


Рис. 1. Форма укладки материала при изменяющейся скорости печати

Так как эта область аддитивного производства очень динамично развивается, сообщество энтузиастов активно разрабатывает и применяет практические технологии и методики еще до того, как их проанализируют в академических исследованиях. Одной из

таких широко используемых, но еще не описанных технологий как раз и являются алгоритмы компенсации нежелательной динамики экструзии.

Первым алгоритмом с открытым исходным кодом, пытающимся исправить описанные дефекты, стал алгоритм Advance. Он был разработан Мэттом Робертсом в 2019 году и реализован в программном обеспечении (ПО) Marlin [2]. В нем предполагалось, что основной причиной неточностей было сжатие нити в экструдере и потеря давления в сопле из-за ускорения материала. Позже было указано, что на потерю давления влияют силы трения, а не силы, вызванные ускорением. И уже на основе этой идеи разработчики реализовали новую версию алгоритма, получившую название JKN-advance и встроенную в ПО Sailfish [3]. Основываясь на тех же физических принципах, разработчики Marlin создали алгоритм линейного опережения или Linear Advance, который сейчас является самой распространенной версией [4].

Принцип работы алгоритма можно описать следующим образом. Предполагается, что силы, действующие на направляющие волокна, равны силам, возникающим из-за падения давления в сопле [1]. В силах, вызванных падением давления, присутствует вклад от сил трения и ускорения материала на выходе из сопла, причем первая является доминирующей. Зависимость между скоростью и силами, действующими на сопло, принимается линейной. Зависимость между скоростью и сжатием нити также линейна и связана с фактором запаздывания  $K$ . Расчет подтверждает, что на перепад давления влияет множество факторов, и поэтому требуется настройка принтера индивидуально для каждого типа материала и температуры.

Логическая схема работы экструдера и алгоритма показана на рисунке 2. Параметр KLA помогает корректировать давление нити в сопле. Применение алгоритма заключается в нахождении нужного значения этого параметра экспериментальным путем.

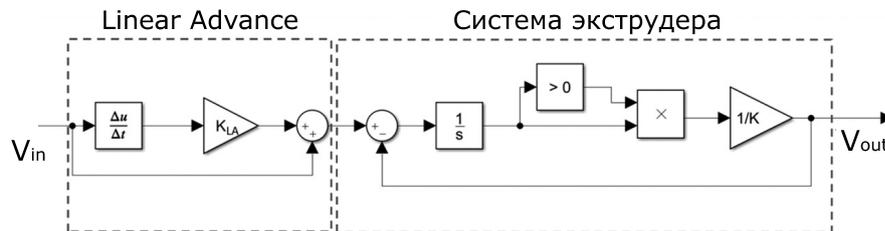


Рис. 2. Логическая схема работы экструдера и Linear Advance [1]

Несмотря на то, что данный алгоритм позволяет существенно выровнять давление в сопле при печати, у него есть ряд серьезных недостатков, которые можно условно разделить на две группы.

Первая группа проблем связана с самим параметром компенсации. Так как он может быть найден только эмпирически, но при этом зависит от множества параметров, то для каждого типа сопла, материала и параметров печати его требуется подбирать заново с помощью экспериментов, на что уходит много времени. Недостаточность исследований приводит к неопределенности того, как на эти алгоритмы влияют характеристики процесса, такие как высота слоя, материал, и геометрия сопла [1].

Второй проблемой является инертность алгоритма. Скорость подачи материала корректируется, но происходит некоторое запоздание между началом проявления дефекта и его компенсацией. Для более ровного слоя его необходимо применять несколько заранее, однако для этого потребуются изменения в алгоритме для предсказания изменения давления в сопле. Также он отрицательно влияет на производительность: чтобы снизить инертность, средняя скорость печати несколько снижается. Наконец, алгоритм рассчитан на линейный разгон/торможение печатающей головки, а при других типах профилей скорости дает неточные результаты.

Отдельным следствием из описанных недостатков является проблема, связанная с

режимами печати. Для FDM есть два режима печати — внешняя стенка и заполнение, и Advance алгоритмы, как правило, применяются только для стенок, чтобы не увеличивать время печати. Однако стабилизация давления при заполнении тоже важна для повышения качества печати.

В качестве решения предлагается оптимизация алгоритма с применением машинного обучения. Требуется снизить инертность алгоритма и повысить среднюю скорость печати, а также найти способ получения значения параметра компенсации аналитически, без необходимости проведения серий экспериментов. Задачу планируется решить при помощи обучаемых нейронных сетей.

Снизить инертность при компенсации предлагается с помощью алгоритма предсказания изменения направления движения головки. При работе с участками траектории в ЧПУ системе знание последующих перемещений рабочего органа всегда ограничено размером кадрового буфера, который имеет конечный размер. Часто возникает ситуация, когда он быстро наполняется короткими кадрами, которые не дают полной информации о движении в будущем. Поэтому напрямую информацию о последующем повороте получить нельзя. Предлагается обучить модель, которая будет предсказывать изменения в направлении движения вне зависимости от заполненности кадрового буфера. За несколько шагов до поворота или криволинейного участка траектории будет передаваться сигнал к модулю управления экструдером, где будет инициироваться корректировка скорости подачи нити несколько раньше, выравнивая слой. Так можно минимизировать инерцию алгоритма и повысить среднюю подачу.

Для определения параметра компенсации предлагается обучить модель для предсказания необходимого значения параметра. Его не нужно будет находить эмпирически, что сэкономит время. Также вместо примерного определения на основе экспериментов параметр будет определяться точнее.

Проблемой в обоих случаях является отсутствие готовых наборов данных для обучения моделей. Задача получения данных с траекториями движения рабочего органа при печати может быть решена достаточно просто. Так как при печати изделия из-за его многослойности экструдер совершает большое число перемещений, то даже печати небольшого числа деталей будет достаточно, чтобы получить достаточный объем данных с различными видами движения (повороты, движение по прямой и кривой). А так как заданная в G-кодах траектория в ЧПУ системе проходит несколько этапов анализа, на которых данные оказываются логично сгруппированы, то их удобно использовать без дополнительной разметки. Так как стоит задача предсказания динамических параметров движения, то, помимо статических данных (параметры траектории), было решено добавить в наборы показания от внешнего датчика (акселерометра), который даст дополнительную информацию для обучения.

При обучении модели для расчета параметра компенсации проблема отсутствия данных сочетается с зависимостью искомого значения от большого числа параметров. Следовательно, необходимо большое число экспериментов. Решить проблему можно, сначала обучив модель для одного типа оборудования: для стандартного сопла и наиболее популярного в печати вида пластика. Есть некоторая стандартная комбинация параметров, которая используется в установках чаще всего. Например, в целом сохраняется пропорция диаметр сопла в два раза больше толщины слоя, чаще всего 0,4 мм диаметр сопла и 0,2 мм толщина слоя.

Схема работы предлагаемого алгоритма вместе с этапами анализа траектории ЧПУ системой представлена на рис. 3. В основу модели работы ЧПУ положена система с открытым исходным кодом Smoothieware. После интерпретатора команды из G-кодов преобразуются в участки траектории, которые поступают в модуль предварительного анализа геометрии, а после в модуль контроля скорости. На этом этапе, параллельно с формированием профиля скорости, будет применена обученная модель предсказания поворотов на основе данных, полученных из модуля анализа геометрии.

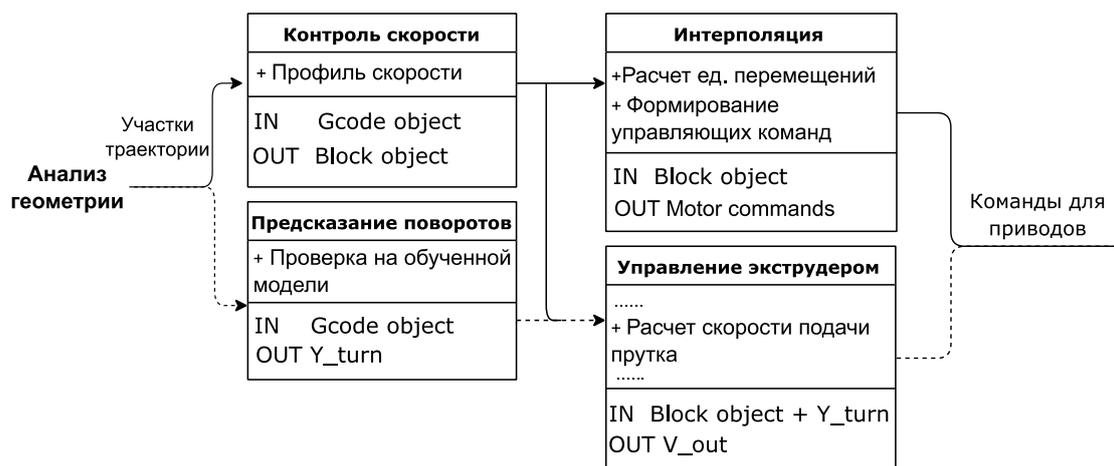


Рис. 3. Схема работы алгоритма при анализе траектории в ЧПУ системе

Далее данные передаются в модуль управления экструдером, где рассчитывается скорость подачи материала. Если в пределах нескольких шагов ожидается изменение направления движения, то с помощью модели расчета параметра KLA происходит стабилизация давления в сопле. Таким образом, процесс компенсации начнется заранее, и не потребуются снижение средней скорости печати.

В заключении, предложенная оптимизация алгоритма контроля динамики экструзии на основе применения обучаемых нейронных сетей позволит существенно улучшить качество печати. Обученная модель предсказания поворотов снизит инертность и повысит среднюю скорость печати, а модель расчета параметра компенсации избавит от необходимости проведения серий экспериментов для его нахождения. Планируется получить наборы данных для обучения моделей и применить полученный алгоритм в ЧПУ системе для 3D печати в прототипе модульной платформы технологического оборудования.

### Литература

1. Tronvoll S., Popp S., Elverum C., Welo T. Investigating pressure advance algorithms for filament-based melt extrusion additive manufacturing: theory, practice and simulations // Rapid Prototyping Journal. Vol. 25/5. 2019. pp. 830-839.
2. Mattr Roberts' Firmware [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://reprap.org/wiki/Mattr Roberts'\\_ Firmware](https://reprap.org/wiki/Mattr Roberts'_ Firmware) (дата обращения: 03.05.2021).
3. Jetty Firmware Manual [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://makerbot.wikidot.com/jetty-firmware#toc46> (дата обращения: 03.05.2021).
4. Sineos, S. Linear advance. Marlin firmware [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://marlinfw.org/docs/features/lin\\_advance.html](http://marlinfw.org/docs/features/lin_advance.html) (дата обращения: 03.05.2021).
5. Razvi S.S., Feng S., Narayanan A., Lee Y.-T., Witherell P. A Review of Machine Learning Applications in Additive Manufacturing // Proceedings of the ASME 2019 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference 2019. pp. 1-10.

УДК 534.222

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ  
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ СВАРНЫХ  
СОЕДИНЕНИЯХ СТАЛЕЙ РАЗНЫХ СТРУКТУРНЫХ КЛАССОВ**

**Карпова М.В.<sup>1</sup>, Запруднова А.Н.<sup>1</sup>, Кузнецов М.С.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – д.т.н., доцент Барат В.А.<sup>1</sup>**

**Консультант – к.т.н., доцент Марченков А.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

*Работа выполнена в рамках проекта «Диагностика разнородных сварных соединений перлитной и аустенитной сталей методом акустической эмиссии», выполняемого при финансовой поддержке НИУ «МЭИ» в виде гранта на выполнение программы прикладных научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и ИТ» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020-2022 гг. (проект № 20/22- 0000028/44).*

Разнородные сварные соединения являются сложным объектом исследования, так как различие свойств свариваемых материалов приводит к образованию в таких соединениях зон с высоким градиентом химического состава и микроструктуры, а также к возникновению значительных остаточных напряжений [1]. В настоящей работе проведены экспериментальные исследования, целью которых является установление возможности выявления дефектов сплошности в сварных соединениях методом АЭ. В работе исследованы разнородные сварные соединения сталей 09Г2С и 12Х18Н10Т, полученные с использованием различных технологий сварки. Проведены испытания растяжением с регистрацией в процессе испытания сигналов АЭ, по результатам которых было установлено, что по параметрам сигналов АЭ в исследуемых сварных могут быть обнаружены дефекты типа «непровар».

**Ключевые слова:** Акустическая эмиссия, акустико-эмиссионный контроль, разнородные сварные соединения, диагностика, дефекты.

В современной практике неразрушающего контроля для выявления дефектов в сварных соединениях используется, как правило, ультразвуковой и рентгеновский контроль. Однако эти методы при контроле разнородных сварных соединений обладают ограниченной чувствительностью: наличие узких прослоек (например, в сварных соединениях перлитной стали с аустенитной – обезуглероженной и карбидной прослоек) создает структурные помехи, маскирующие наличие дефектов.

Применение метода АЭ для диагностики разнородных сварных соединений является потенциально более успешным по сравнению с традиционными методами контроля. Метод АЭ отличается от остальных методов неразрушающего контроля тем, что дефект выявляется не как нарушение сплошности при зондирующем воздействии физическим полем исследуемого объекта, а как источник упругих волн, вызванных релаксацией механических напряжений при деформации и разрушении материала, при его нагружении. На основании активности наблюдаемого процесса, его энергетических характеристик, а также по форме наблюдаемых сигналов можно определить стадию развития и опосредованно – степень опасности выявленного дефекта. Благодаря этим особенностям метод АЭ успешно используется для идентификации механизмов разрушения при решении сложных проблем в области материаловедения (например, идентификация механизмов деформации сталей, контроль структурообразования бетона при твердении и др.).

Метод АЭ хорошо зарекомендовал себя при контроле аустенитных сталей. В ряде работ подтверждена высокая чувствительность метода к определению источников АЭ, таких как трещины и коррозионные повреждения, метод АЭ позволил выявлять дефекты размером порядка 30-50 мкм. Метод АЭ широко применяется для контроля материалов со сложной структурой, для выявления дефектов, для уточнения механизма повреждения и даже для прогнозирования остаточного ресурса. Поскольку метод АЭ не предполагает зондирующего

воздействия на объект контроля, неоднородность структуры сложного объекта не создает помех для обнаружения дефектов [2].

Объектом исследования данной работы являются разнородные сварные соединения сталей 12X18H10T и 09Г2С, которые имеют широкое применение в энергетическом машиностроении, в частности – при изготовлении элементов оборудования и трубопроводов на ТЭС и АЭС. Применение разнородных сварных соединений сталей позволяет обеспечить существенную экономию дорогостоящего материала и добиться высоких функциональных свойств сварных конструкций.

Для изготовления комбинированных сварных соединений были использованы две пары листов толщиной 3 мм, которые сваривали с применением двух технологий – аргонодуговой сварки с присадочной проволокой и электронно-лучевой сварки. На части сварных соединений намеренно получали дефект типа «непровар». При электронно-лучевой сварке непровар получали за счет смещения луча относительно стыка, при аргонодуговой сварке – за счет сварки на низком значении тока дуги. На рисунке 1 в качестве примера представлены фотографии поперечных микрошлифов сварных соединений, полученных аргонодуговой сваркой.

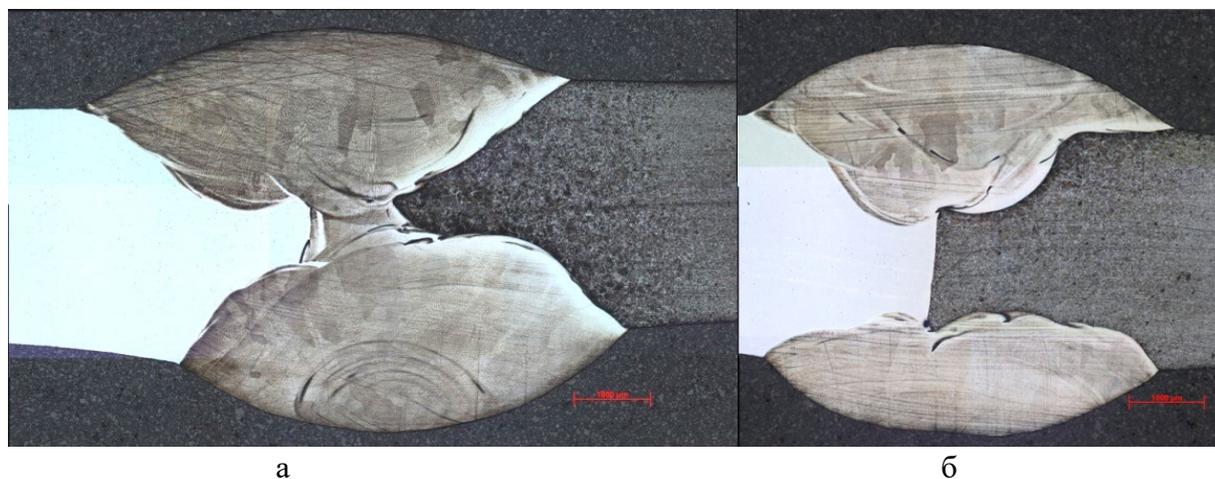


Рис. 1. Фотографии поперечных микрошлифов разнородных сварных соединений сталей 09Г2С и 12X18H10Т, полученных аргонодуговой сваркой без дефектов (а) и с дефектом типа «непровар» (б)

Из полученных сварных соединений вырезали образцы для испытаний растяжением. Изготавливали плоские образцы с шириной рабочей части 20 мм – это минимальная ширина, на которой можно удобно разместить преобразователи акустической эмиссии. Геометрию образца старались выполнить максимально близко к геометрии пропорционального плоского образца типа I по ГОСТ 1497-84 толщиной 3 мм.

Были проведены механические испытания на растяжение образцов сталей 09Г2С и 12X18H10Т, а также дефектных и бездефектных образцов из исследуемых сварных соединений с помощью метода АЭ. Испытания проводили на универсальной испытательной машине Instron 5982 (рис. 2) со скоростью деформирования 2 мм/мин. Преобразователи акустической эмиссии (ПАЭ) в четырех местах с помощью изолянта закреплялись на каждом образце, по одному с каждой стороны в начале рабочей части и по одному – непосредственно вблизи шва (на сварных образцах) или на 3 – 4 см от центра рабочей части (для образцов из основного металла). При растяжении образцов ПАЭ регистрировали сигналы акустической эмиссии. Из каждой группы испытывали по 3 – 7 образцов. В процессе испытаний регистрировались характеристики механических свойств металла образцов и параметры АЭ, проводилась локализация повреждений.

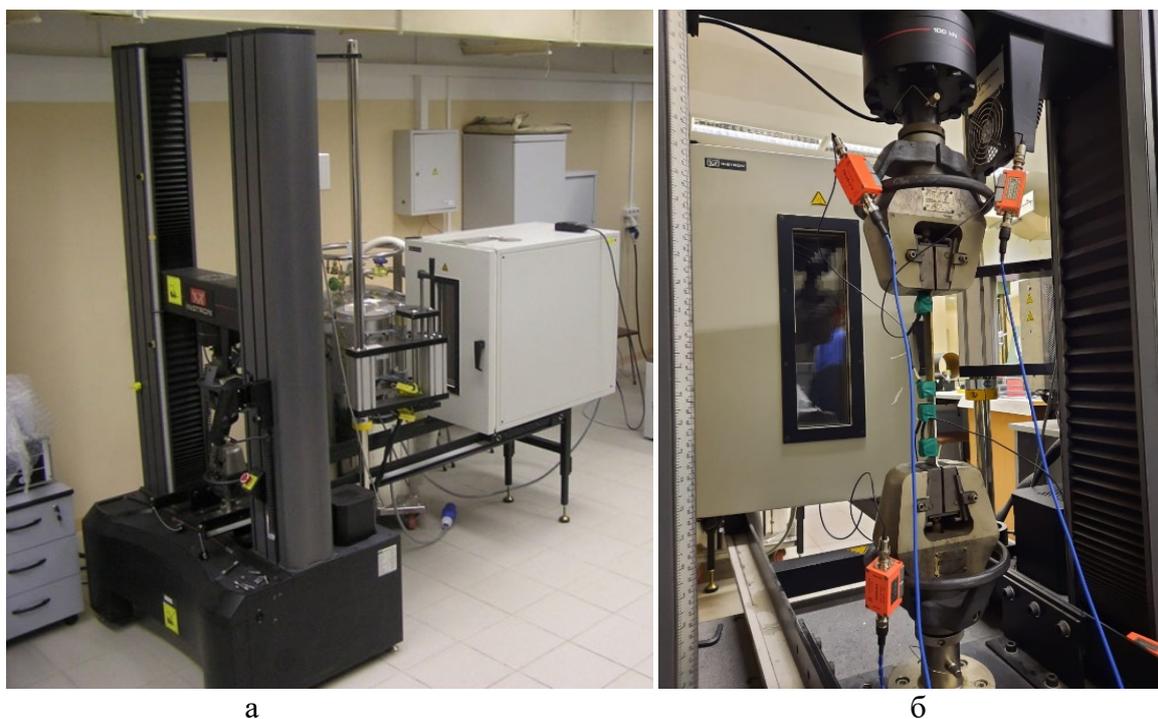


Рис. 2. Универсальная испытательная машина Instron 5982 (а) и фото образца в захватах с закрепленными датчиками АЭ (б)

Создана конечно-элементная модель разнородной пластины с точечным источником акустической эмиссии, который генерирует импульсный сигнал в форме дельта-функции. Для уточнения параметров модели проведен эксперимент по исследованию акустического тракта пластин из сталей 09Г2С и 12Х18Н10Т, представленный на рисунке 3.

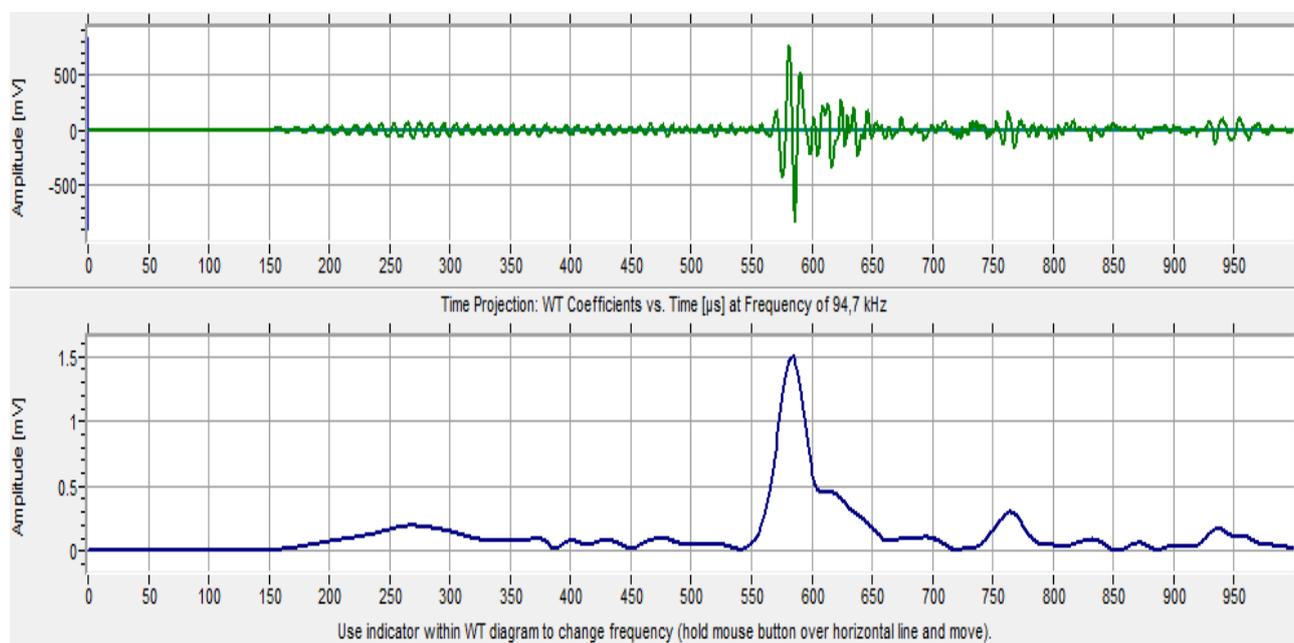


Рис. 3. Исследование параметров акустического тракта

На рисунке 4 в качестве примера показана диаграмма растяжения разнородного сварного соединения без дефектов, полученная аргонодуговой сваркой, с наложением параметров АЭ.

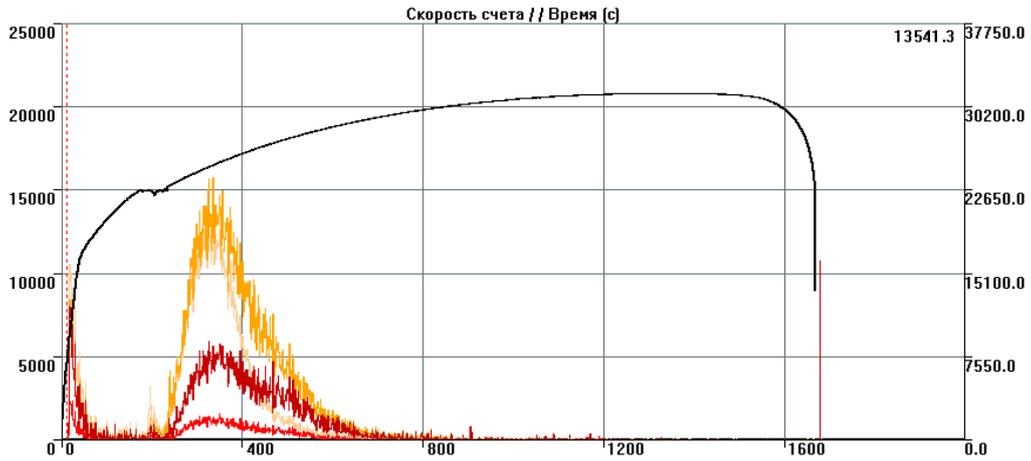
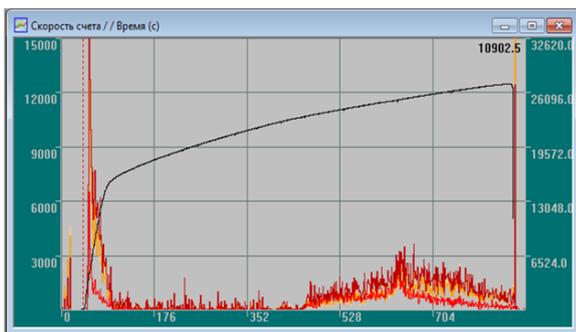
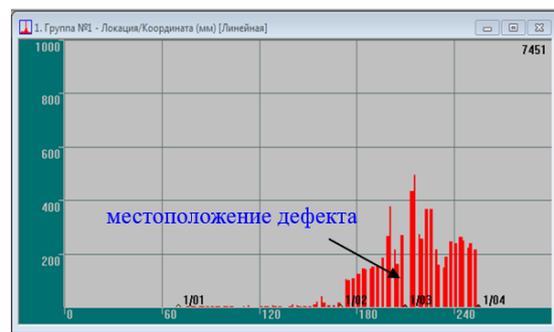


Рис. 4. Диаграмма растяжения комбинированного сварного соединения стали 09Г2С и 12Х18Н10Т с наложением параметров зарегистрированных при растяжении сигналов АЭ

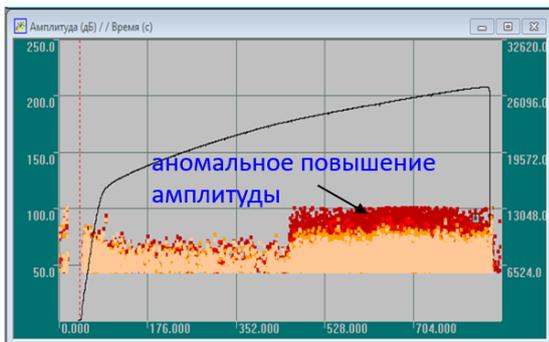
Совместный анализ диаграмм растяжения образцов и параметров зарегистрированных сигналов АЭ позволили выявить, что дефекты разнородного сварного соединения являются источниками акустической эмиссии и могут быть выявлены с помощью акустико-эмиссионного неразрушающего контроля. Результаты контроля образцов с дефектами позволили выявить особенности сигналов, характеризующих наличие непровара – аномальное повышение амплитуды зарегистрированных сигналов, увеличение скорости счета (рис. 5).



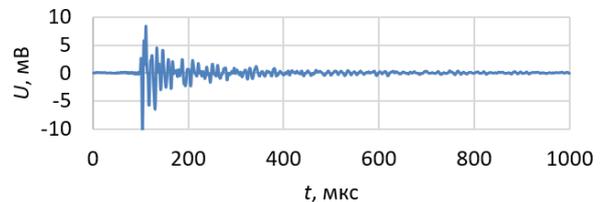
скорость счета АЭ



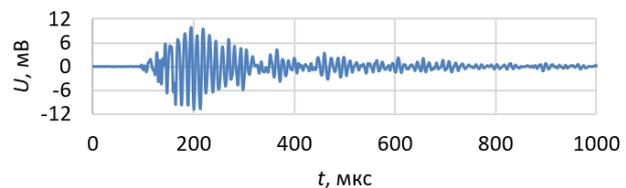
результат локации



амплитуды импульсов АЭ



Форма сигнала, соответствующая дефекту сварного соединения



Форма сигнала, соответствующая деформации основного металла

Рис. 5. Результаты испытаний растяжением с применением метода АЭ для образца с дефектом типа «непровар»

Наличие дефекта проявляется аномальным повышением амплитуд импульсов АЭ, наличием выраженного пика на схеме локации, а также появлением импульсов определенной формы – большой амплитуды с малым временем нарастания переднего фронта.

Проведенные исследования показали, что дефекты разнородного сварного соединения могут быть выявлены с помощью метода акустической эмиссии. Пластическая деформация металла и интенсивное деформационное упрочнение подтверждаются характерными признаками АЭ данных. Имеется соответствие между характером деформации и данными акустической эмиссии на каждой стадии деформирования комбинированных образцов растяжением, а наличие дефектов в сварном соединении характеризуется аномальным повышением параметров зарегистрированных сигналов АЭ.

### Литература

1. Goncharov A.L., Marchenkov A.Yu., Terentyev E.V., Zhmurko I.E., Sliva A.P. Study of structural non-homogeneity impact on mechanical properties of dissimilar weld joints of carbon steel 20 and corrosion-resistant austenitic 12Kh18N10T steel // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 681. No. 012016.
2. Карпова М.В., Запруднова А.Н., Кузнецов М.С. Диагностика разнородных сварных соединений перлитной и аустенитной сталей методом акустической эмиссии // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, [2021]. - <https://kmu.itmo.ru/digests/article/7259>. (Дата обращения 20.05.2021).

УДК 681.513.2

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМ АППАРАТОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭКСТРАКТА ХМЕЛЯ

Колесник Н.С.<sup>1</sup>, Ентякова В.Ю.<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н., доцент Маргун А.А.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

Представлена система управления жидкостными теплообменными аппаратами в производстве экстракта хмеля. Предложенная система управления основывается на методе скользящих режимов и наблюдателе Люенбергера полного порядка.

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, экстракция хмеля, система автоматизации, метод скользящих режимов.

На сегодняшний день в пивоваренной промышленности широко используется хмельной экстракт, обладающий рядом преимуществ по сравнению с сухим хмелем. Однако сам процесс экстракции является более трудоёмким, поэтому его эффективная автоматизация остаётся востребованной. Процедура экстракции требует управления температурой теплообменных аппаратов. В них происходит конденсация углекислого газа и введение углекислоты в сверхкритическое состояние. Из-за сложностей идентификации параметров системы управление зачастую осуществляется с помощью ПИД-регулятора, настройка которого производится эмпирическим путем, что снижает эффективность системы управления, ее динамические и статические показатели качества, либо требует сравнительно высоких вычислительных мощностей [1, 2, 3]. Альтернативой является использование метода скользящих режимов, эффективность которого подтверждается в следующих современных исследованиях [4, 5].

Объектом управления служит двухконтурный жидкостный нагревающий теплообменный аппарат, во внутреннем контуре которого протекает углекислота, во внешнем – нагревающая жидкость (вода). Проектируемая система управления имеет типовой состав: средства измерения, контроллер и клапан, регулирующий подачу нагревающей жидкости (рис. 1).

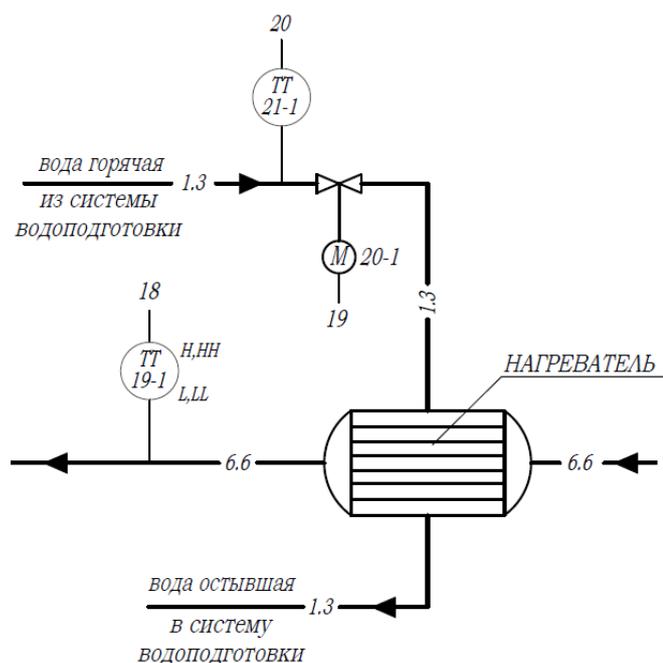


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

В таблицах 1 и 2 представлены параметры и переменные технологического процесса.

Таблица 1. Параметры аппарата

Параметр процесса	Значение
Теплоёмкость CO <sub>2</sub>	870 Дж/кг°С
Теплоёмкость воды	1000 Дж/кг°С
Масса воды	10 кг
Масса теплообменника	60 кг
Масса CO <sub>2</sub>	20 кг
Коэффициент теплопередачи стали	50 Вт/(м°С)
Коэффициент теплопередачи меди	401 Вт/(м°С)
Поверхностная площадь воды	5 м <sup>2</sup>
Поверхностная площадь теплообменника	15 м <sup>2</sup>
Поверхностная площадь CO <sub>2</sub>	5 м <sup>2</sup>

Таблица 2. Параметры технологического процесса

Переменные состояния	Значение
Температура CO <sub>2</sub> перед нагревателем	6°С
Температура CO <sub>2</sub> после нагревателя	40°С
Температура окружающей среды	25°С
Температура нагревающей жидкости	80°С

Средства измерения включают в себя датчики температуры, которые измеряют температуру окружающей среды, нагревающей жидкости (воды) и рабочей жидкости (углекислоты). Эти данные вместе с сигналом от оператора, задающим желаемую температуру углекислоты, передаются на контроллер. После чего контроллер вырабатывает управляющее воздействие на клапан, открывая или закрывая его, тем самым поддерживая температуру CO<sub>2</sub> на выходе из теплообменника на заданном значении.

Математическая модель аппарата представлена в следующем выражении:

$$C_{rz} * m_{rz} * dT_{rz} = a_m * F_{rz}(T_{to} - T_{rz})dt,$$

$$C_{to} * m_{to} * dT_{to} = a_m * F_n(T_n - T_{to})dt - a_{st} * F_{to}(T_{to} - T_{os})dt - a_m * F_{rz}(T_{to} - T_{rz})dt,$$

где  $C$  – теплоёмкость,  $m$  – масса,  $T$  – температура,  $F$  – площадь поверхности,  $a$  – коэффициент теплопереноса; индексы:  $rz$  – рабочая жидкость (углекислота),  $to$  – теплообменный аппарат,  $os$  – окружающая среда,  $n$  – нагреватель (горячая вода).

Приведём систему уравнений к виду модели Вход-Состояние-Выход:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases}.$$

В качестве вектора состояния и входного воздействия используем:

$$x = \begin{bmatrix} T_{rz} \\ T_{to} \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} T_{os} \\ T_n \end{bmatrix}.$$

Тогда матрицы А и В примут следующий вид:

$$B = \left| \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ \frac{a_{os} \cdot F_{os}}{C_{to} \cdot m_{to}} & \frac{a_{to} \cdot F_{to}}{C_{to} \cdot m_{to}} \end{array} \right| \quad A = \left| \begin{array}{cc} -\frac{a_{rz} \cdot F_{rz}}{C_{rz} \cdot m_{rz}} & \frac{a_{rz} \cdot F_{rz}}{C_{rz} \cdot m_{rz}} \\ \frac{a_{rz} \cdot F_{rz}}{C_{to} \cdot m_{to}} & \frac{-a_{to} \cdot F_{to} - a_{os} \cdot F_{os} - a_{rz} \cdot F_{rz}}{C_{to} \cdot m_{to}} \end{array} \right|.$$

Подставив коэффициенты, получим:

$$B = \left| \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0,18 & 0,01 \end{array} \right| \quad A = \left| \begin{array}{cc} -1 & 1 \\ 0,09 & -0,27 \end{array} \right|.$$

Так как на выходе объекта управления производятся измерения температуры углекислоты, то матрица С будет равна:

$$C = [1 \quad 0].$$

Так как популярный ПИД-регулятор в данном случае требует трудоёмкой настройки и в случае некорректной работы может привести к аварийной ситуации, в данной работе применён метод скользящих режимов.

Метод скользящих режимов отличается высокой робастностью по отношению к параметрическим отклонениям. Данный алгоритм формирует закон управления, обеспечивающий протекание процесса по той динамической траектории, которую задает разработчик.

Введём понятие ошибки регулирования  $E$  – разность между выходом и заданным значением температуры углекислоты:

$$E = T_{rz} - T_{rz}^*.$$

Тогда скорость изменения ошибки равна производной ошибки:

$$E' = T_{rz}' - T_{rz}^{*'} = T_{rz}'.$$

Клапан имеет два положения: в открытом на вход подаётся температура нагревающей жидкости, в закрытом – температура теплообменного аппарата.

В данном случае выбрана такая поверхность скольжения, что при положительном произведении ошибки и скорости изменения ошибки  $E' \cdot E > 0$  происходит переключение положения.

В таком случае входное воздействие можно представить в виде следующего уравнения:

$$U = \begin{cases} T_n, & \text{при } E' \cdot E > 0 \\ T_{to}, & \text{при } E' \cdot E < 0 \end{cases}$$

Как правило, к недостаткам скользящего режима относят необходимость высокочастотных переключений вблизи положения равновесия. Данный недостаток в разработанной системе не является существенным в силу инерционности клапана.

Для реализации разработанного алгоритма управления требуется измерение производной температуры. Поэтому для оценки данной величины в работе используется наблюдатель Люенбергера, обладающий простотой инженерной реализации.

$$\begin{aligned} \hat{\dot{x}} &= A\hat{x} + Bu + K(y - \hat{y}), \hat{x}(0) = \hat{x}_0, \\ \hat{y} &= C^T \hat{x}. \end{aligned}$$

Матрица  $K$  задаётся исходя из требований к системе. В данном случае заданное время сходимости ошибки наблюдения равно десяти секундам. Тогда собственные числа будут равны трём. Значит, матрица наблюдателя  $K$  примет следующие значения:

$$K = \begin{vmatrix} 1,68 \\ 2,7 \end{vmatrix}.$$

Моделирование произведено в ПО MatLab, где дополнительно были смитированы ограничения:

- инерционность клапана (управляющий сигнал проходит через фильтр в виде аperiodического звена с задержкой 0,05 с).
- квантование датчиков (температура измеряется с точностью 0,1°C);
- шумы при измерениях, искажающие температуру не более чем на 0,5°C;
- случайные отклонения температур окружающей среды и нагревающей жидкости до 5 и 10 градусов соответственно.

По итогам работы получены следующие результаты моделирования:

- максимальное отклонение составляет 1,6°C;
- время переходного процесса 53 секунды,
- перерегулирование 4 %.

Также были получены графики переходного процесса (рис. 2) и ошибки выхода (рис. 3).

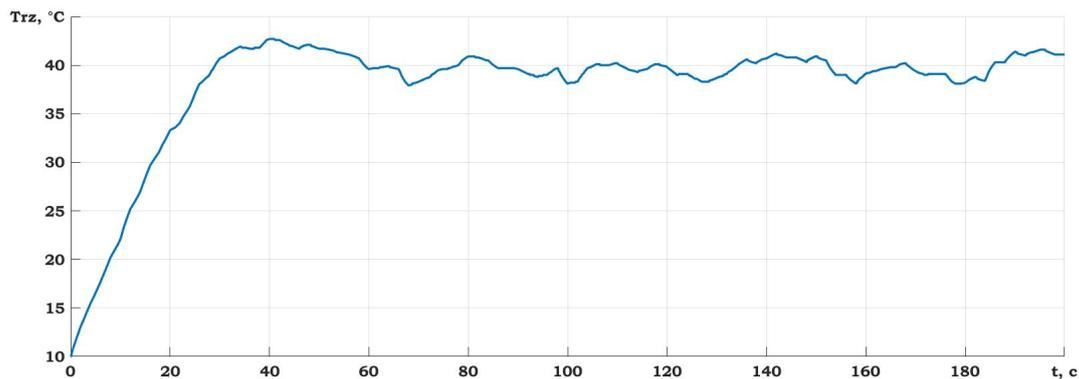


Рис. 2. График переходного процесса

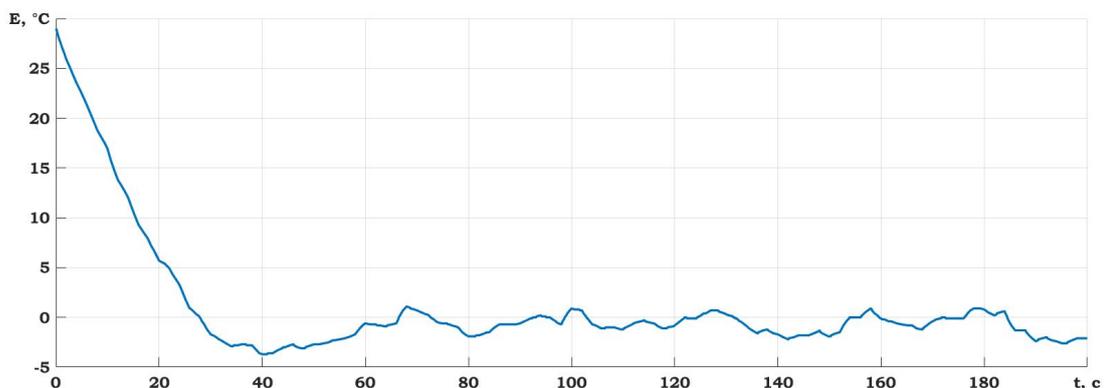


Рис. 3. График ошибки выхода

В результате исследования была разработана система управления теплообменным аппаратом в производстве экстракта хмеля, включающая в себя метод скользящего режима и наблюдатель Люенбергера полного порядка. Для проверки работоспособности предложенного

подхода была построена математическая модель теплообменного аппарата. Результаты компьютерного моделирования подтвердили эффективность предложенного подхода.

### Литература

1. Данилушкин И. А., Гусева М. А. Структура системы модального управления теплообменным аппаратом // Восьмая всероссийская научная конференции "Математическое моделирование и краевые задачи". СамГТУ: 2011. С. 44–47.
2. Costa S. J., Ferreira R., Igreja J. M. Temperature control on double-pipe heat-exchangers // 14th APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing, CONTROLO 2020. V. 695 LNEE. P. 293-302.
3. Somasundar Reddy C., Balaji K. A Genetic Algorithm (GA)-PID Controller for Temperature Control in Shell and Tube Heat Exchanger // 1st International Conference on Computational Engineering and Material Science, ICCEMS 2020; GM Institute of Technology Davangere, Karnataka; India; 17 July 2020 до 18 July 2020. V. 925. № 012020.
4. Shah D., Shah A., Mehta A. Higher order networked sliding mode controller for heat exchanger connected via data communication network // European Journal of Control. 2021. V. 58. P. 301-314.
5. Ma Z, Mao X, Cai L, Liu X. Study on Nonlinear Heat Exchanger Control System of Heat Conduction Oil of Vessel // 4th International Conference on Control Science and Systems Engineering, ICCSSE 2018, № 8724799, P. 16-20.

УДК 620.9

## СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР С БИМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Кондратьева К.С.<sup>1</sup>, Осипов Е.В.<sup>1</sup>, Николаев А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Монахов Ю.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрено проектирование исполнительного механизма солнечного трекера с биметаллическим приводом, работающим за счет осуществления поворота панели к солнцу, в результате изменения геометрии биметаллической пружины от нагрева солнцем. А также приведено теоретическое обоснование работоспособности данного привода путем имитационного моделирования, проработанной конструкции в программном обеспечении MATLAB.

**Ключевые слова:** солнечный трекер, биметалл, биметаллический привод, имитационное моделирование, MATLAB.

Привод – энергосиловое устройство, приводящие в движение механизмы. Сплавы с памятью формы обладают движущим эффектом благодаря преобразованию тепловой энергии в механическую, способны восстанавливать значительные неупругие деформации при нагревании. Такой эффект основан на принципе разности коэффициентов теплового расширения двух металлов, что приводит к различным тенденциям изгиба биметалла.

Биметаллические пластины имеют бистабильную структуру, которая может служить рулевым механизмом и, следовательно, сокращает количество необходимых деталей [3]. Под воздействием солнечных лучей биметаллическая полоса будет гнуться и деформироваться из-за внутренних деформаций под влиянием температуры. Изменение формы бистабильных ламинатов удерживает солнечный элемент перпендикулярно свету для получения максимальной солнечной энергии за счет возможности поддержания двух противоположных стабильных состояний без внешней нагрузки. Перемещения, обеспечиваемые бистабильной структурой, интегрированной биметаллическими лентами, намного больше, чем перемещение каждого компонента по отдельности, поскольку биметалл может переходить из одного стабильного состояния в другое при изменении температур. Особенность таких термочувствительных элементов – это линейная зависимость деформации от температуры. Альтернативные формы самого привода помогут повысить производительность, например, плоские спиральные пружины. Исходя из этого было решено разработать исполнительный механизм солнечного трекера с биметаллическим приводом.

Принцип работы биметаллического привода заключается в осуществлении поворота вслед за источником теплового излучения (солнцем) за счет изменения геометрии биметаллических пластин от нагрева. При нагревании от солнечного света биметаллическая полоса будет изгибаться и деформироваться из-за влияния температуры в зависимости от зоны тени, тем самым увеличивая солнечный поток, перехватываемый панелью. Важным решением является выбор способа передачи движения от исполнительного механизма на солнечную панель, в нашем случае движение будет происходить именно благодаря биметаллическому приводу. Перемещение Солнца происходит по дуге с достаточно малой скоростью. Для ориентации панели необходимо определить минимальный угол поворота при разнице температур. Целесообразно свести слежение за Солнцем к вращательному движению по вертикальной оси. Тогда, если ввести требование к конструкции, заключающееся в ее статическом и динамическом уравнивании, можно наиболее минимизировать момент инерции, потери на трение и сопротивление движению за счет вращения на единственной точке опоры – игле.

Созданная конструкция трехмерной модели солнечного трекера представлена на рисунке 1., сочетает простоту, эффективность и небольшую себестоимость;

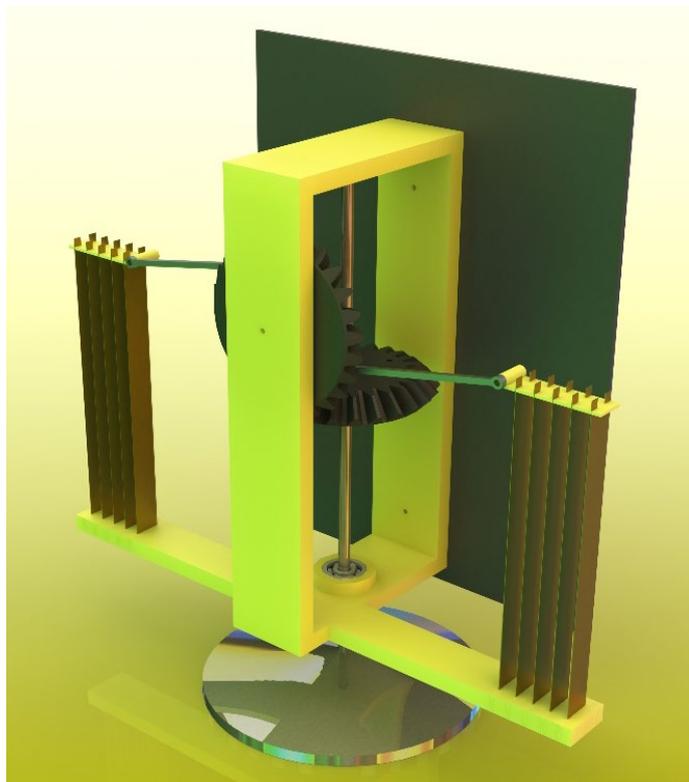


Рис. 1. Трехмерная модель, разработанной конструкции солнечного трекера с биметаллическим приводом

Конструкция разрабатываемого пассивного солнечного трекера будет включать десять биметаллических полос из сплава никеля и латуни, расположенных симметрично по обе стороны на пластмассовой раме. Для увеличения усилия несколько пластин соединены в батареи с помощью соединителя с пазами (рис. 2), конструкция которого обеспечивает свободное перемещение кривошипного механизма, гарантирует надежность зацепления и синхронизацию движения при тепловой деформации биметаллических пластин блока.

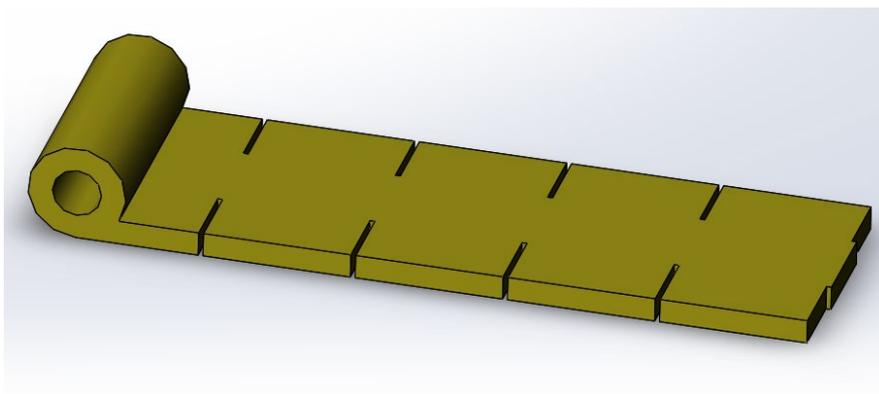


Рис. 2. Соединитель биметаллических пластин

Нижние концы пластин жестко закреплены к раме, а верхние посредством тяг и угловой передачи соединены с осью вращения. В связи с тем, что на движущий эффект биметалла влияет как температура нагрева, так и расположение пластин, было выбрано их вертикальное базирование, оптимальное с точки зрения теории расчета выбранной массогабаритной модели. В качестве материала биметаллических актуаторов были выбраны сплав из никеля инвар 36Н и латунь Л90, такое сочетание может обеспечить большее усилие и высокую деформацию для привода, благодаря различным коэффициентам температурного расширения. Концы более освещенных (нагретых) пластин деформируются в направлении стороны инертного

компонента, имеющего меньший коэффициент температурного расширения, что приводит в движение угловую передачу, которая поворачивает раму к солнцу. То есть металл верхней части (активный слой) при нагревании расширяется больше, чем нижний (инвар), поэтому стержень изгибается. При выравнивании освещенности разница в температуре у пластин исчезает, и вращательный момент, создаваемый батареями пластин компенсируется, поворот рамы прекращается.

Убедиться в достаточности развиваемого усилия помог расчет траектории движения рабочей панели солнечного трекера при разнице температуры биметаллических батарей исполнительного механизма  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  для разрабатываемой конструкции. Для того, чтобы увеличить развиваемые усилия, батареи пластин состоят из пяти полос, длина каждой полосы  $100\text{ мм}$ , толщина  $0,2\text{ мм}$ , материалы, из которого изготовлены пластины – инвар 36Н с меньшим коэффициентом температурного расширения и латунь Л90, обладающая большим коэффициентом температурного расширения.

Для количественной оценки движения биметаллической пластины, вызванной разницей температуры, необходимо оценить прогиб на свободном конце. Изменение кривизны для нормального биметалла находится по формуле:

$$\Delta x = \frac{3}{2}(\alpha_1 - \alpha_2) \frac{t}{h}, \quad (1)$$

где  $\alpha_1 - \alpha_2 = 16,5 \times 10^{-6} (1/^{\circ}\text{C})$  – разность коэффициентов линейного расширения;  
 $h = 0,2\text{ мм}$  – толщина биметаллической пластины;  
 $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$  – разница освещенности;

$$\Delta x = \frac{3}{2}(16,5 * 10^{-6}) \frac{10}{0,2} = 0,0012 \text{ (мм)}.$$

Зная изменение  $\Delta x$  кривизны, можем определить перемещение биметалла следующим образом:

$$\Delta \lambda = \frac{3}{2}(\alpha_1 - \alpha_2) \frac{t}{h} \int^l l z dz = \frac{3}{2}(\alpha_1 - \alpha_2) \frac{\Delta t l^2}{h} \frac{1}{2}. \quad (2)$$

Приложим к концу биметалла единичную силу, тогда изгибающий момент  $M_1$  в произвольном сечении будет  $M_1 = I_z$ .

Исходя из этого, получим перемещения конца пружины длиной  $100\text{ мм}$  при разнице освещенности  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta \lambda = \frac{3}{2}(16,5 - 10^{-6}) \frac{10}{0,2} * \frac{100^2}{2} = 6,2 \text{ (мм)}.$$

Изгиб батарей пластин ведет к повороту ведущего колеса, найдем угол поворота ведущего колеса при перемещении на  $6,2\text{ мм}$ , тогда угол поворота ведущего колеса составляет:

$$\alpha_{\text{вед.колесо}} = \arctg 0,3875 = 21,2^{\circ}.$$

Таким образом, при равном количестве зубьев ведущего и ведомого колеса угол поворота рамы  $\alpha_{\text{рама}} = \alpha_{\text{вед.колесо}} = 21^{\circ}$ . Исходя из геометрических размеров затеняющего элемента и рамы, такое значение угла поворота является достаточным для выхода из затемнения более холодного блока пластин и выравнивания усилий, в соответствии с рис. 2.

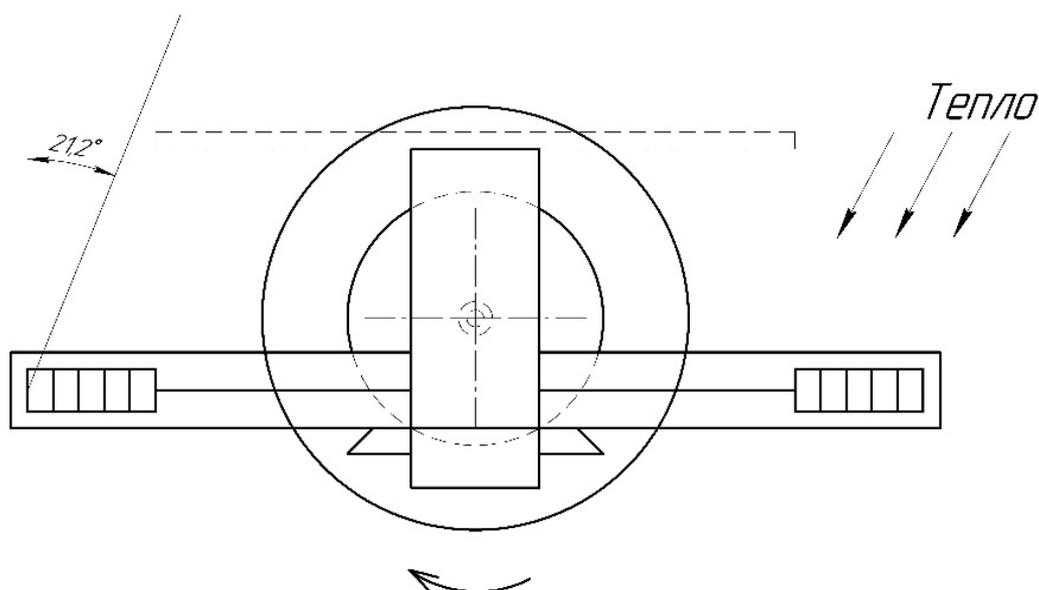


Рис. 2. Функциональная схема выхода из затенения

Моделирование солнечного трекера с биметаллическим приводом было реализовано в MATLAB с помощью блоков Simscape в среде Simulink. На Рис. 3 представлена визуализация имитационной модели исполнительного механизма солнечного трекера с биметаллическим приводом в окне Mechanics Explorer.

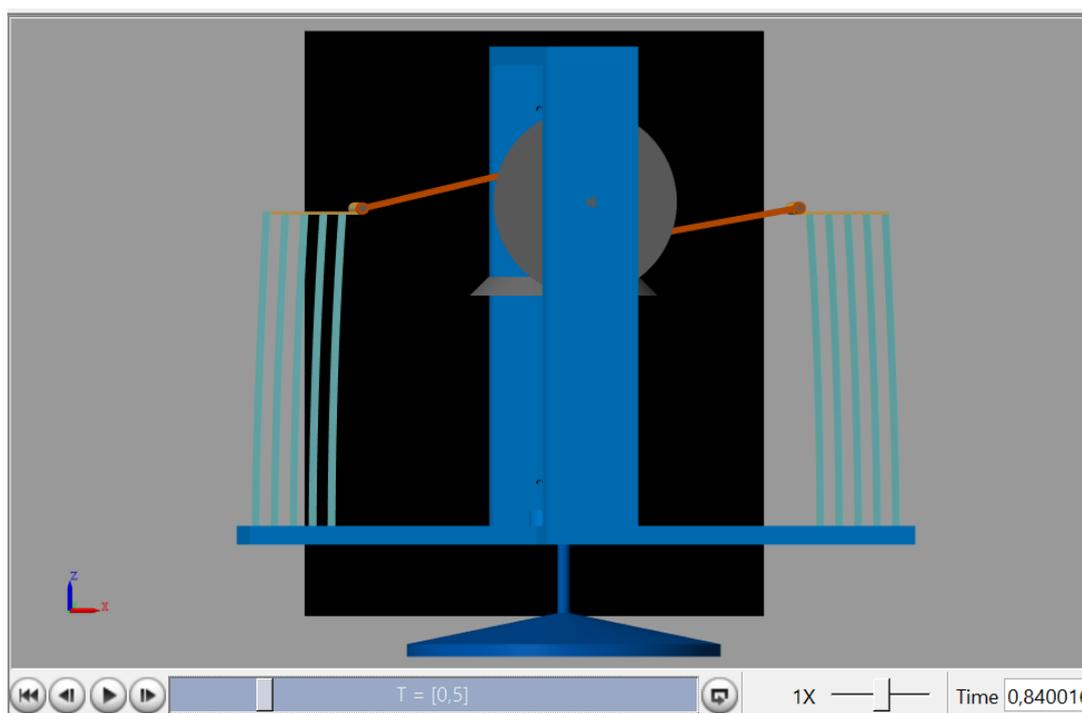


Рис. 3. Визуализация имитационной модели исполнительного механизма солнечного трекера с биметаллическим приводом в окне Mechanics Explorer

Результатом моделирования является график зависимости угла поворота механизма от времени при разнице температуры. На рисунке 4 продемонстрирована зависимость угла поворота механизма от времени при разнице температуры  $10^{\circ}\text{C}$ , исходя из которого можно заметить следующую закономерность, чем дольше по времени держится разница температуры, тем на больший угол поворачивается рама. Наиболее значимое перемещение достигается в течение 6 – 8 часов.

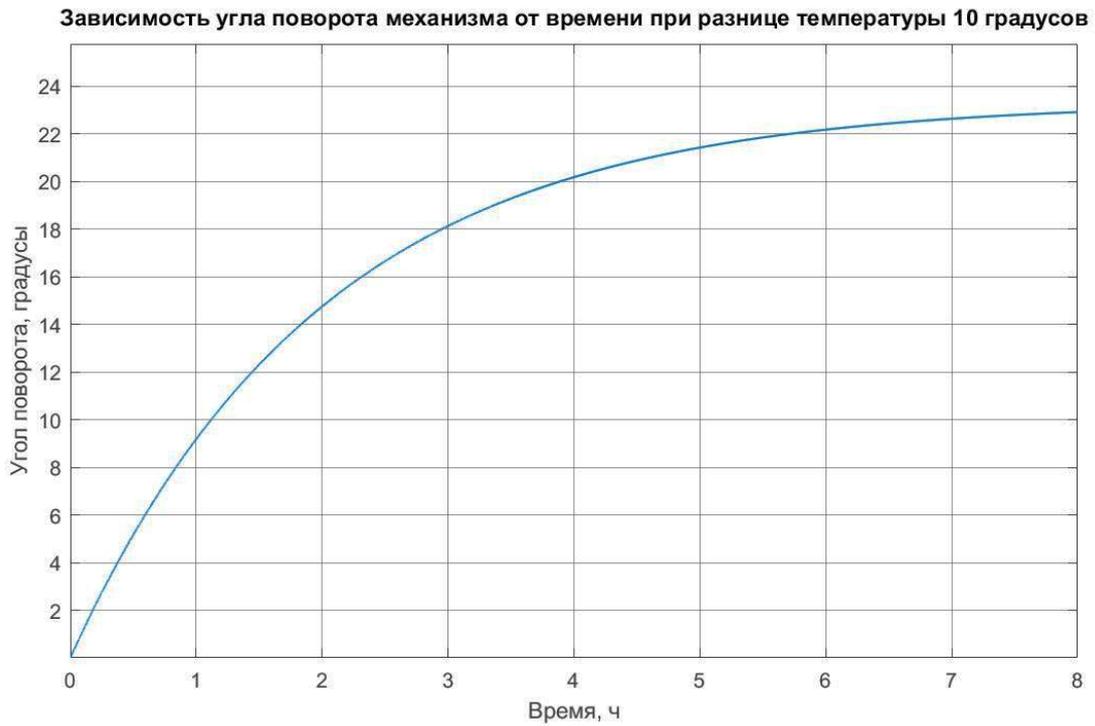


Рис. 4. График зависимости угла поворота механизма от времени при разнице температуры 10 градусов

График моментов сил, действующих на механизм при разнице температур на рисунке 5, демонстрирует, что развиваемый момент весьма мал, но такого значения будет достаточно для приведения в движение системы, ведь имитационная модель конструкции спроектирована таким образом, что сопротивление вращению минимально.

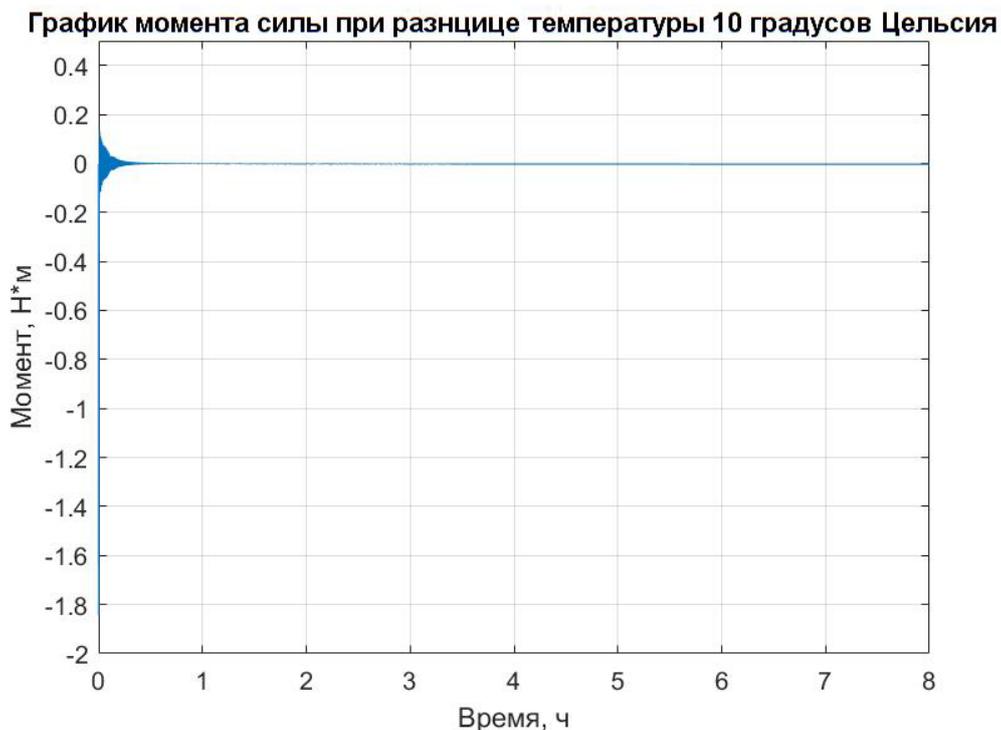


Рис. 5. График моментов сил, действующих на механизм при разнице температур

Таким образом, расчет перемещения прогиба биметалла показал достаточный показатель для дальнейшей работы по определению углов поворота солнечного трекера. Имитационная модель была сформирована в подсистему с возможностью изменения входных параметров для расчёта величины прихода солнечного света (тепла) на блоки биметаллических пластин, для возможности имитации различных режимов теплового воздействия в разное время года. Наличие возможности установления режима работы солнечного трекера позволяет оценить его эффективность в заданных климатических условиях.

Экспериментальные результаты показывают, что предложенная имитационная модель с данным принципом слежения за солнцем вполне осуществима. Пассивный солнечный трекер может быть широко использован в инженерных областях, так как благодаря использованию биметаллических пластин его масса была значительно уменьшена.

### **Литература**

1. Кашкаров А. Солнечные батареи и модули как источники питания // Современная электроника. 2015. №5. С.8–15
2. V.Brailovski, S.Prokoshkin, P.Terriault F.T. Shape memory alloys: fundamentals, modeling and applications. Quebec, Canada: Ecole de technologie superieure. 2003. P. 124–128.
3. Zheng Zhang, Kai Pei, Min Sun, Helong Wu, Xiaochen Yu, Huaping Wu, Shaofei Jiang, Feng Zhang // A novel solar tracking model integrated with bistable composite structures and bimetallic strips. DOI:10.1016/j.compstruct.2020.112506.
4. Racharla S.S, Rajan K.D., Solar tracking system – a review // International Journal of Sustainable Engineering, 2017. V. 10. P. 72–81.
5. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/546895/> (дата обращения 7.03.2021).

УДК 004.056

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ХЕШ-ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Костенкова А.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Ли И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

В работе рассмотрены особенности применения различных типов алгоритмов хеширования в современных системах. Представлен анализ актуальных решений с использованием хеш-функций для хранения паролей пользователей в базах данных, функций формирования ключа и механизмов проверки целостности информации. Перечислены альтернативные способы их реализации и основные уязвимости.

**Ключевые слова:** хеширование, криптография, функции формирования ключа, соль, пароли.

Хеширование – односторонняя функция, позволяющая формировать строку данных фиксированной длины независимо от размера исходного файла [1]. Хеш-функции используются для различных задач, например, для проверки целостности файлов или хранения паролей пользователей в базах данных [1]. Функция является необратимой – при нынешних вычислительных мощностях просчитать ее значение достаточно легко, но из полученного хеша узнать исходные данные практически невозможно [2]. В большинстве случаев использование «чистого» хеша уже неактуально, но на его базе построено множество различных алгоритмов, для каждого из которых существует своя более узкая задача.

**Особенности хеш-функций.** Для понимания преимуществ использования хеш-функций следует определить их особенности:

1. Хеширование позволяет преобразовать любой файл в строку фиксированной длины, которая будет зависеть от выбранного алгоритма. Например, для хеш-функции MD5 длина хеша будет составлять 128 бит (32 шестнадцатеричных символа), а для SHA3-512 – 512 бит (128 шестнадцатеричных символов). Независимо от первоначального размера файла хеш всегда будет иметь одну и ту же длину [1].
2. Из полученного хеш-значения (хеша) должно быть невозможным (практически невозможным) получение прообраза.
3. Обладает лавинным эффектом: при малейшем изменении первообразного файла новый хеш будет изменен не на несколько байт, а полностью. Именно это свойство хеш-функций и позволяет успешно интегрировать его в механизмы проверки целостности файлов или электронно-цифровой подписи (ЭЦП).
4. Расчет дайджеста должен легко реализовываться и не требовать больших затрат времени и вычислительных ресурсов (если не требуется обратного), как на программном, так и на аппаратном уровнях.

Если длина у хеш-функции всегда одна, то число значений, которое оно может принять – конечное, а число обрабатываемых данных – бесконечное. Чем короче хеш-значение, тем выше вероятность коллизии. Хеш-коллизии – явление, при котором разные прообразы дают одинаковый хеш. Хеш-коллизии являются проблемой, так как создаются ситуации, дающие возможность пройти сверку хеша данных даже без нахождения истинного прообраза.

Отдельно выделим требования к криптографическим хеш-функциям:

1. Сопротивление к нахождению первого прообраза. Достигается из свойства одностороннего преобразования хеш-функций.
2. Сопротивление к нахождению второго прообраза. Должно быть невозможным или практически невозможным нахождение прообраза, которое было не равно изначально хешируемому сообщению, но имеет такое же хеш-значение. Данное требование достигается при устойчивости хеш-функции к коллизиям [2].
3. Сопротивление к нахождению коллизий.

Многие ранее популярные хеш-функции мы уже не можем считать криптостойкими, они подвержены атакам удлинения сообщений или нахождению коллизий [3].

**Проверка целостности файлов.** «Лавинный эффект», скорость вычисления и длина хеша позволяют хеш-функции быть отличным способом решить проблему проверки целостности. Хеширование не обеспечивает безопасность передаваемого файла [1], за его шифрование отвечают другие механизмы. Значение хеш-функции позволяет определить факт изменения файла – при малейшей модификации хеш-значение будет абсолютно другим.

Использование «чистого» хеша сейчас актуально только в локальных условиях, например, если вы копируете какой-либо большой файл. Для проверки корректности передачи будет достаточно просчитать хеши первоначального файла и его копии, после чего сверить [1]. Применение обычных контрольных сумм в глобальной сети неактуально: если у злоумышленника найдется способ изменить сам прикрепленный файл, он сможет изменить и указанный к нему хеш на сайте [1]. Хеш-сумма будет подтверждать корректность скачивания файла, но не его аутентичность.

Для проверки целостности сообщений лучше использовать MAC (Message authentication code) или HMAC (Hashing message authentication code), а для проверки подлинности файла наилучшим решением останется ЭЦП. MAC и HMAC – криптографические хеш-функции с использованием ключа. Данные функции подразумевают наличие у клиента и сервера одного секретного ключа, используемого как для хеширования, так и для проверки. Использовать HMAC для проверки целостности сообщений безопаснее, чем обычный хеш [4]. HMAC работает незначительно медленнее, чем обычная хеш-функция, так как само сообщение там также хешируется всего один раз, дальнейшие преобразования происходят уже с его хешем.

**Применение хеш-функций для хранения паролей в базах данных.** Хеш не является гарантией безопасности данных, его прообраз также можно просчитать, но при правильном использовании алгоритмов хеширования в совокупности с другими средствами вычисление паролей пользователей будет слишком ресурсозатратным и практически невозможным, а соответственно и непривлекательным для злоумышленника. Строку данных, которая является паролем для авторизации пользователя, мы можем хранить несколькими способами: неизмененную строку; зашифрованную строку; хеш от строки.

В первом случае, если злоумышленник получит доступ к нашей базе данных, все данные для авторизации сразу попадут к нему.

Во втором случае мы можем использовать шифрование. Безусловно, методы классической криптографии для обеспечения безопасности современной системы рассматривать даже не стоит, тогда остается современная криптография с использованием ключей. Строка пароля хранится в базе данных в зашифрованном виде, во время прохождения авторизации пользователя пароль надо будет расшифровывать при помощи ключа, соответственно, он тоже должен храниться на сервере. Это является большой уязвимостью, так как при обнаружении ключа злоумышленником он сможет расшифровать все пароли без особого труда.

Третий способ – в базе данных хранить хеши паролей, при авторизации сверять их с просчитанным хешем от введенных пользователем данных. Однако и в этом случае возникают проблемы: одной из особенностей хешей является то, что значение хеш-суммы от одной и той же информации будет всегда одинаковым. То есть, если брать в качестве примера сервис с большим количеством пользователей, то с очень высокой вероятностью найдутся пользователи с одинаковыми паролями, а соответственно и с одинаковыми значениями хеш-сумм.

Стоит отметить, что не любые алгоритмы хеширования следует использовать для хранения паролей [3], например, алгоритм MD5 долго был актуален, но в данное время узнать первообразную функцию MD5-хеша относительно легко, особенно если это касается парольных фраз. В Интернете без особых проблем можно найти огромные словари для перебора значений пароля, собранные из наиболее популярных паролей

среднестатистического пользователя. С добавлением дополнительных правил вариации в словаре находят большую часть первообразных строк.

Решить данную проблему можно несколькими способами. В первом случае потребуется использовать актуальные хеш-функции, которые более устойчивы к коллизиям, в отличие от предшествующих им алгоритмов, построенных на основе структуры Меркла-Дамгора [3], а также использование случайной сгенерированной строки – соли, чтобы невозможно было сопоставить одинаковые пароли пользователей. Использование соли также позволит сделать атаку радужными таблицами невозможной, так как хеши у паролей будут различными и не совпадать с ранее просчитанными злоумышленником. Соль лучше всего использовать динамическую, так как при использовании одной статической соли для всех пользователей злоумышленник (хоть не сможет использовать уже готовую радужную таблицу) сможет сгенерировать новую для данного значения соли. В случае с динамической солью будет невозможно сгенерировать одну таблицу хешей, и подбирать пароли придется только методом «грубой силы», что, вероятнее всего, будет крайне нерезультативно при больших объемах, и просчет даже нескольких паролей будет занимать много времени. Вторым способом реализации является использование функций формирования ключа (KDF) [5].

**Функции формирования ключа.** Даже при использовании современных хеш-функций и соли остается перебор при помощи «грубой силы». Даже если это кажется слишком ресурсозатратным, стоит понимать, что вычислительные мощности становятся все выше, что делает данные атаки актуальными.

Для того чтобы решить данную проблему, можно намеренно понизить скорость просчета хешей, сделать это можно при помощи функции формирования ключа [5]. Например, такой как PBKDF2, bcrypt или scrypt. В сочетании с солью вычисления прообраза станут практически невозможными при современной вычислительной мощности.

Растяжение пароля – рекурсивный или итеративный алгоритм, который будет вычислять хеш-значение самого себя требуемое количество раз. Позволяет повысить энтропию ключа для повышения безопасности [5]. Однако использование циклического растяжения ключа не будет являться оптимальным решением. В данном случае следует использовать именно сложновычисляемые алгоритмы, которые используют хеш-функции, требующие относительно больших объемов памяти для вычисления. Данная задержка будет приемлема при одноразовой авторизации настоящего пользователя, но успешную атаку «грубой силой» сделает крайне маловероятной.

**Выводы.** В данной работе были приведены основные особенности хеш-функций, разобраны актуальные методы их применения в таких областях как механизм проверки целостности файлов и хранения пароля, приведены примеры неправильного использования, а также указаны оптимальные и современные решения вышеперечисленных задач.

### Литература

1. Easttom W. «Modern Cryptography. Applied Mathematics for Encryption and Information Security» // Springer. 2021. P. 205-224.
2. Tirtea R. «Cryptographic hash functions. Trends and challenges» // Journal of Computer Science and Control Systems. 2009. V.2. P. 62-63.
3. Dobraunig C., Eichlseder M., Mendel F. «Analysis of SHA-512/224 and SHA-512/256» // ASIACRYPT 2015: Advances in Cryptology ASIACRYPT 2015. 2015. P.612-630.
4. Najjar M., «d-HMAC — An improved HMAC algorithm» // (IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security. – 2015.V.13. №4. P. 89-96.
5. Krawczyk H., «Cryptographic Extraction and Key Derivation: The HKDF Scheme» // CRYPTO'10: Proceedings of the 30th annual conference on Advances in cryptology. 2010. P.631-648.

УДК 004.032.26

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Котосов С.В.<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка модели торговой платформы и алгоритмы оптимизации её функционирования с помощью интеллектуальных методов».*

В работе рассмотрены основные методы и подходы к прогнозированию финансовых временных рядов. Особое внимание уделено интеллектуальным методам решения задачи прогнозирования временного ряда, основанным на искусственных нейронных сетях. С помощью каждого из рассмотренных методов сделаны прогнозы для нескольких финансовых временных рядов, проанализированы полученные результаты.

**Ключевые слова:** финансовые временные ряды, прогнозирование, статистические методы, искусственный интеллект, машинное обучение.

Наличие торговой платформы, которая представляет собой набор программных средств, является необходимым и обязательным условием для начала торговли, чтобы обеспечивать взаимодействие между пользователем и брокером. В настоящее время существует немало торговых платформ, каждая из которых предоставляет пользователю необходимый функционал. Одна из самых важных функций торговой платформы – отображение котировок и предоставление различных инструментов для анализа данных. В связи с этим встает задача прогнозирования временного ряда, задача поддержки принятия решения. В существующих торговых платформах в основном используются различные комбинации классических методов математической статистики.

В последнее время особую актуальность приобрели исследования в области искусственного интеллекта, некоторые из которых показывают хорошие результаты в рамках анализа данных, а значит, и решения задачи прогнозирования финансового временного ряда. Целью данной работы являлся анализ методов прогнозирования финансового временного ряда, выявление особенностей применения, определение достоинств и недостатков.

В математических терминах задача прогнозирования временного ряда представляет собой предсказание вещественного скалярного ряда. Суть задачи заключается в поиске такой функции, которая будет зависеть от всей известной информации к моменту прогнозирования [1]. Задачу прогнозирования можно определить как классификацию и регрессию. В рамках данной работы речь пойдет именно о регрессионном анализе.

При решении задачи прогнозирования финансовых временных рядов могут возникнуть следующие проблемы, например, нестационарность или наличие в данных выбросов. Для решения вышеуказанных проблем используются стабилизирующие преобразования: логарифмирование, дифференцирование и фильтрация выбросов.

На рисунке 1 представлена классификация моделей временных рядов [2]. В данной работе были выбраны три наиболее известных метода из каждой группы. Статистические: линейная регрессия, экспоненциальное сглаживание и модель авторегрессии-скользящего среднего (ARIMA); машинного обучения: многослойный перцептрон (MLP), сверточная нейронная сеть (CNN) и рекуррентная нейронная сеть (RNN).

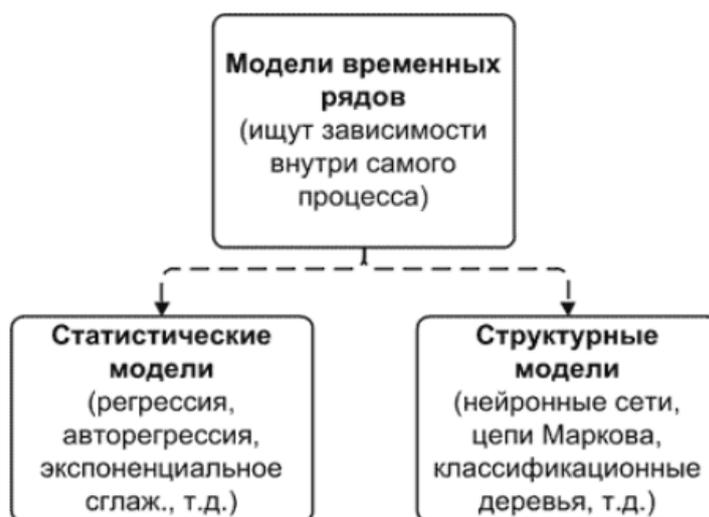


Рис. 1. Классификация моделей временных рядов

В качестве тестовых данных были выбраны два финансовых временных ряда: курс криптовалюты Bitcoin (BTC/USD) и стоимость акций компании Apple (AAPL) за период с апреля 2016 года по апрель 2021 года [3, 4]. Указанные временные ряды представляют собой набор значений биржевого курса по отношению к доллару США с периодичностью в один день. Для каждого из рядов был проведен тест Дики-Фуллера для проверки стационарности временного ряда, который указал на их нестационарность, поэтому перед использованием статистических методов было проведено дифференцирование ряда – нахождение первых разностей соседних значений.

В качестве критериев оценки качества прогноза были выбраны следующие статистические меры, указанные в таблице 1.

Таблица 1. Описание статистических мер, используемых для оценки качества прогноза

Статистическая мера	Формула	Описание
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N  y_t - \hat{y}_t $	Использовалась в качестве критерия оценки качества итогового прогноза
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ y_t - \hat{y}_t }{y_t} * 100\%$	Использовалась в качестве критерия оценки качества итогового прогноза
Среднеквадратичная ошибка (MSE)	$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2$	Использовалась в качестве критерия оценки качества прогноза внутри моделей машинного обучения

Для каждого ряда был построен прогноз с помощью выбранных методов. Тестовые данные были разделены в соотношении 85 % – обучающая выборка, 15 % – тестовая выборка. В качестве ключевого параметра для обучения и построения прогноза использовалось биржевое значение на момент завершения торгов. В качестве среды для построения моделей

машинного обучения был выбран язык программирования Python со специализированными библиотеками Tensorflow, Keras и scikit-learn для создания искусственных нейронных сетей.

Стоит отметить тот факт, что для модели-авторегрессии-скользящего среднего ARIMA (p,d,q) был произведен подбор коэффициентов p и q, по итогам которого лучший результат при прогнозировании дала модель ARIMA (2,1,2).

Пример визуализации полученного прогноза представлен на рисунке 2 на примере прогноза с помощью рекуррентной нейронной сети.



Рис. 2. Визуализация полученного прогноза для курса валюты BTC/USD с помощью рекуррентной нейронной сети

В таблице 2 представлены результаты прогнозирования каждого из временных рядов каждым из методов.

Таблица 2. Результаты эксперимента

Тип модели	Курс BTC/USD		Стоимость акций AAPL	
	MAPE	MAE	MAPE	MAE
Линейная регрессия	3,69	264,8	0,98	1,86
Экспоненциальное сглаживание	3,96	258,3	1,06	1,74
ARIMA (2,1,2)	3,46	50,8	1,03	1,18
MLP	5,69	411,8	2,35	2,54
CNN	5,41	315,9	2,17	2,45
RNN	5,77	269,5	0,78	1,32

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что ARIMA-модель дала один из лучших результатов для каждого из финансовых временных рядов. Также стоит отметить и рекуррентную нейронную сеть, методы линейной регрессии и экспоненциального сглаживания, которые показали возможность применения для решения задачи прогнозирования. Модели MLP и CNN показали не лучшую точность прогнозов, но могут быть использованы в дальнейшем в качестве методов решения подзадачи классификации.

В ходе работы были рассмотрены некоторые из методов прогнозирования финансовых временных рядов. Рассмотренный эксперимент подтвердил эффективность использования некоторых из методов при решении задачи прогнозирования. Полученные результаты будут использованы в дальнейшем исследовании.

В дальнейшей работе планируется рассмотреть возможность применения других интеллектуальных методов прогнозирования временного ряда: генетические алгоритмы, цепи Маркова, классификационные деревья, а также их комбинаций.

### Литература

1. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. Time Series Analysis Forecasting and Control. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. 756 p.
2. Э.Е. Тихонов. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие. Невинномысск: СевероКавказский государственный университет, 2006. С. 63–64.
3. Yahoo Finance [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://finance.yahoo.com/quote/AAPL/history?p=AAPL> (дата обращения 13.03.2021).
4. Yahoo Finance [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://finance.yahoo.com/quote/BTCUSD=X> (дата обращения: 13.03.2021).

УДК 004.77

## АЛГОРИТМ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВЩИКА НА БАЗЕ КОМПОНЕНТОВ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

Кочнева О.Р.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Соснин В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>2</sup>ООО «Техкомпания Хуавэй»

В работе предложен новый алгоритм, позволяющий гарантировать минимальную пропускную способность, распределять неиспользованную пропускную способность, а также ограничивать сверху пропускную способность различным классам трафика на основе проприетарного планировщика и компонентов с открытым исходным кодом.

**Ключевые слова:** QoS, планирование, алгоритм, пропускная способность, Linux, открытый исходный код.

### Введение

Трудно представить жизнь без видеозвонков, использования облачных хранилищ и различных стриминговых сервисов. Поэтому задача обеспечения качества обслуживания (QoS) в сети является как никогда актуальной. Отсутствие настройки сетевого планировщика или его неправильная конфигурация может отразиться на качестве соединения, что особенно ощутимо в высоконагруженных системах. Существует множество как бесплатных, так и платных планировщиков сетевых пакетов. Наибольший интерес для QoS представляют классовые иерархические планировщики, которые позволяют контролировать определенные типы трафика и распределять сетевые ресурсы в соответствии с их нуждами. Не все существующие решения поддерживают иерархию классов трафика и помимо этого обладают еще рядом недостатков, таких как невозможность гарантировать минимальную пропускную способность, ограничивать сверху пропускную способность или распределять пропускную способность в соответствии с весом класса, либо их интеграция в операционную систему связана с большими накладными расходами. Ни один из доступных планировщиков не удовлетворяет всем этим критериям одновременно в явном виде. В работе предложен алгоритм сетевого планировщика с предьявленными свойствами на основе базового функционала планировщиков HFSC и HTB.

### Обзор предметной области

В обзоре рассмотрены планировщики сетевых пакетов, представленные в открытом доступе и бесплатные для использования в ОС Linux, а также платные альтернативы.

Планировщики на основе веса трафика:

- SFQ (Stochastic Fairness Queuing) – бесклассовая дисциплина планирования очередей. SFQ позволяет избежать ситуации “вечного” простоя потока трафика и таким образом является представителем честного планировщика;
- DRR (Deficit Round Robin) – классовая дисциплина обслуживания, является более гибкой заменой SFQ;
- WFQ (Weighted Fair Queuing) и CBWFQ (Class Based WFQ) – обеспечивают честное разделение полосы пропускания в зависимости от веса потока трафика. В случае перегрузок высокоприоритетные потоки функционируют без изменений, а низкоприоритетные ограничиваются.

### HFSC (Hierarchical Fair Service Curve)

HFSC – иерархический планировщик пакетов, основанный на кривых обслуживания. HFSC позволяет предоставить конкретную пропускную способность для листовых узлов в иерархии, распределить пропускную способность между классами согласно их весу, а также ограничить класс трафика сверху с использованием управляющих параметров: ls (linkshare, бит/с) – разделение канала между классами трафика,

ul (upper limit, бит/с) – верхняя граница выделенной пропускной способности канала для класса трафика.

#### **НТВ (Hierarchical Token Bucket)**

НТВ - иерархический планировщик, позволяющий контролировать использование исходящей полосы пропускания по заданному каналу с использованием следующих управляющих параметров: ceil (бит/с) для ограничения пропускной способности сверху и rate (бит/с) для перераспределения оставшейся пропускной способности.

#### **Планировщик пакетов в гипервизоре VMware - hClock**

Сетевой планировщик hClock, встроенный в гипервизор VMware, обладает следующими возможностями: резервирование минимальной пропускной способности (параметр reservations – R, бит/с), ограничение пропускной способности сверху (параметр Limit – L, бит/с) и перераспределение оставшейся пропускной способности (безразмерный параметр Shares – S). В hClock распределение оставшейся пропускной способности происходит с использованием одной из семантик SUM (R, S) или MAX (R, S) [1].

- MAX (R, S): распределение пропускной способности происходит в соответствии с пропорциями, указанными в параметре S с учетом ограничений, задаваемых параметрами R и L.
- SUM (R, S): распределение пропускной способности происходит в соответствии с параметром R, а оставшаяся пропускная способность после того, как все узлы получили свой минимум, распределяется на основе S с учетом верхней границы L.

#### **Патент: метод для контроля пропускной способности классов (BW management system)**

Система BW management system включает в себя модуль управления BW для управления пропускной способностью потоков, организованных в иерархическое дерево полосы пропускания (Hierarchical Binary Tree - НВТ). Система обеспечивает возможность резервирования пропускной способности, установки верхней границы и взвешенного распределения оставшейся пропускной способности [2].

#### **Алгоритм планирования SG-QoS**

Алгоритм SG-QoS – это алгоритм планирования, основанный на кривых обслуживания. Он разрабатывался для эффективной поддержки приложений с гарантией задержки, приложений с гарантией IOPS (input/output operations per second) и приложений без требований качеству обслуживания (best-effort applications). Алгоритм SG-QoS более эффективен, чем HFSC в облачных системах хранения [3].

#### **Сравнительный анализ рассмотренных планировщиков**

Для проведения сравнения были выделены следующие критерии:

1. Доступность реализации: открытый исходный код или бесплатное использование.
2. Простота интеграции в ОС Linux.
3. Поддержка иерархических конфигураций.
4. Гарантия минимальной пропускной способности (Reservations).
5. Взвешенное перераспределение трафика (Shares).
6. Ограничение пропускной способности сверху (Limit).
7. Наличие контроля доступа (admission control).

На основе проведенного анализа наибольшему количеству критериев удовлетворяют алгоритмы hClock и BW-management и из алгоритмов, находящихся в открытом доступе и легко интегрируемых в ОС Linux НТВ и HFSC.

Для устранения недостатков HFSC и НТВ в настоящей работе предлагается новое решение, реализующее для этих дисциплин механизм контроля доступа и управления пропускной способностью, аналогичных механизмам в hClock, и не требующее перекомпиляции модулей ядра Linux. Предложенные новые алгоритмы будем называть соответственно семантикам hClock следующим образом: HFSC-RLS-SUM, HFSC-RLS-MAX, НТВ-RLS-SUM и НТВ-RLS-MAX.

Таблица 1. Сравнение аналогов

Критерий	SFQ	DRR, QFQ	НТВ	HFSC	WFQ, CBWFQ	hClock	BW	SG-QoS
1. Доступность	+	+	+	+	+	-	-	-
2. Простота интеграции	+	+	+	+	-	-	-	-
3. Иерархия	-	+	+	+	-	+	+	+
4. Резервирование	-	-	-	-	-	+	+	-
5. Вес	-	+	+	+	+	+	+	+
6. Ограничение	-	-	+	+	-	+	+	+
7. Контроль доступа	-	-	-	-	-	+	+	-

### Описание алгоритма

Описание алгоритма будет строиться с использованием параметров для планировщика HFSC.

Обозначения и сокращения:

- $n$  = количество классов;
- $CT$  = пропускная способность, Мбит/с;
- $UT$  = нераспределенная пропускная способность, Мбит/с;
- $AC$  = контроль доступа;
- $R = \{r_i\}_{i \in [1, n]}$  – множество параметров reservations, Мбит/с;
- $L = \{l_i\}_{i \in [1, n]}$  – множество параметров limit, Мбит/с;
- $S = \{s_i\}_{i \in [1, n]}$  – множество параметров shares;
- $UL = \{ul_i\}_{i \in [1, n]}$  – множество параметров ul для HFSC или ceil для НТВ, Мбит/с;
- $LS = \{ls_i\}_{i \in [1, n]}$  – множество параметров ls для HFSC или rate для НТВ, Мбит/с.

### Общая идея алгоритма

1. Проверить правила контроля доступа для входных параметров  $R, L$ .
2. Отобразить параметры  $R, L, S$  на выходные параметры  $LS, UL$ .

### Отображение параметров:

Параметры  $R, L, S$  класса трафика отображаются на параметры планировщиков НТВ и HFSC. Распределение оставшейся пропускной способности осуществляется с использованием SUM-подобной или MAX-подобной семантики по формулам (1) и (2) соответственно, при условии  $l_i = CT, i \in [1, n]$ .

$$SUM: ls_i = r_i + \frac{s_i}{\sum_{j=1}^n s_j} * (CT - \sum_{k=1}^n r_k), \quad (1)$$

$$MAX: ls_i = \max(r_i, \frac{s_i}{\sum_{j=1}^n s_j} * CT). \quad (2)$$

Псевдокод алгоритма HFSC-RLS-SUM в общем виде для произвольного  $L$ :

1. for  $i$  in  $[1, n]$ :
2.  $ul_i = l_i, ls_i = r_i$
3. while  $UT \neq 0$  or  $LS \neq UL$ :
4.  $UT = CT - \sum_{i=1}^n ls_i$
5.  $SS = \sum_{i=1}^n s_i$ , where  $ul_i \neq ls_i$
6. for  $i$  in  $[1, n]$ :
7. if  $ul_i == ls_i$ : continue
8.  $ls_i = ls_i + \frac{UT * s_i}{SS}$
9.  $ls_i = \min(ul_i, ls_i)$
10. return  $LS, UL$

Псевдокод алгоритма HFSC-RLS-MAX в общем виде для произвольного  $L$ . В алгоритм введена дополнительная переменная-маркер  $is\_set_i$ , определяющая состояние

класса  $i$  (вычислен  $ls_i$  для класса или нет), и  $ST$ , отображающая оставшуюся пропускную способность, которая используется для проверки окончания алгоритма, в отличие от  $UT$ , которая используется для вычисления  $LS$ :

1. if  $\sum_{i=1}^n l_i < CT$  return  $LS = L, UL = L$
2. for  $i$  in  $[1, n]$ :  $ul_i = l_i, ls_i = 0, is\_set_i = False$
3. while  $True$ :
4.      $ST = CT - \sum_{i=1}^n ls_i$
5.      $UT = CT - \sum_{i=1}^n ls_i$ , where  $is\_set_i$
6.      $SS = \sum_{i=1}^n s_i$ , where not  $is\_set_i$
7.     Do rounding  $LS$
8.     if  $ST == 0$ : break
9.     for  $i$  in  $[1, n]$ :
10.         if  $is\_set_i$ : continue
11.          $p = \frac{UT * s_i}{SS}$
12.         if  $p \leq r_i$ :
13.              $ls_i = r_i, is\_set_i = True$
14.             for  $j$  in  $[1, n]$ :
15.                 if  $ls_j \neq r_j$ :  $ls_j = 0, is\_set_j = False$
16.             break
17.         else:  $ls_i = \min(p + 1, ul_i)$
18. return  $LS, UL$

### Тестирование алгоритма

Для тестирования работы алгоритма использовались 2 виртуальные машины с Ubuntu Server 18.04 в VirtualBox с настроенными сетевыми интерфейсами (рис. 1):

- `enp0s8` – виртуальный адаптер хоста для связи с виртуальными машинами серверами через `ssh`. Ограничений на пропускную способность нет.
- `enp0s9` – внутренняя сеть для взаимодействия виртуальных машин между собой. Машинам присвоены статические адреса. Есть ограничения на пропускную способность в размере 100 Мбит/с.

Для эмуляции трафика и сбора логов о распределении пропускной способности использовалась утилита `iperf3` [4]. Для конфигурирования дисциплины планирования HFSC – утилита `tc`.

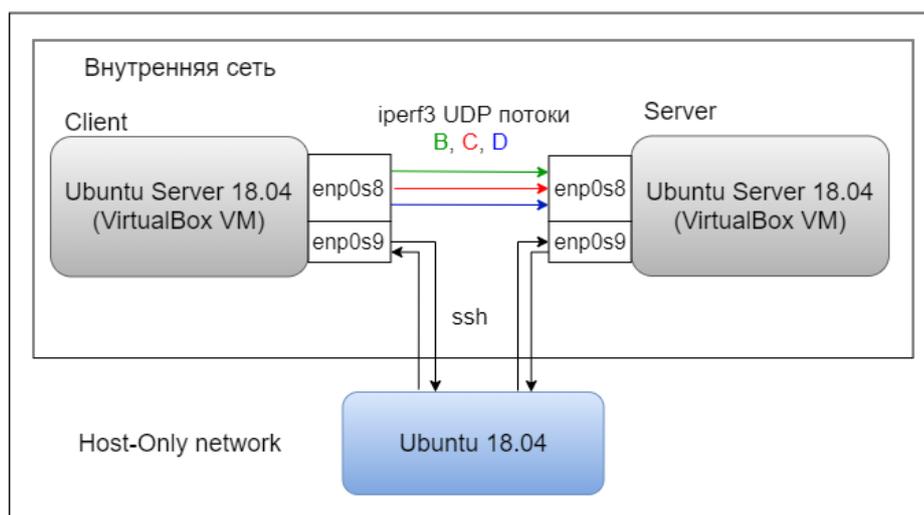


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В качестве примера работы алгоритма использовалась следующая иерархия классов (рис. 2).

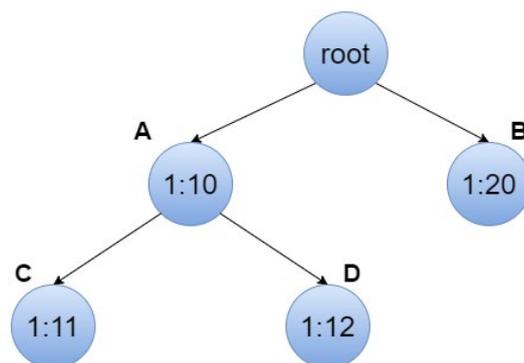


Рис. 2. Иерархия классов

Положим, что классы A и B должны делить пропускную способность между собой в отношении 1:1, без ограничений сверху. А дочерние классы C и D должны делить пропускную способность, выделенную классу A в отношении 1:5, причем классу C должно гарантированно быть выделено 20 Мбит/с. В таблице 2 и таблице 3 представлены параметры R, L, S для данной конфигурации и отображённые значения ul, ls для HFSC. Ожидаемые для hClock значения скорости приема RX потоков на стороне Server при условии передачи насыщенных потоков со стороны Client вычислены вручную по формулам (1) и (2) соответственно. Фактические значения получены с помощью применения алгоритма HFSC-RLS-SUM и HFSC-RLS-MAX. Общая пропускная способность составляет 100 Мбит/с.

Таблица 2. Распределение пропускной способности HFSC-RLS-SUM

Поток трафика		hClock-параметры (Мбит/с)			HFSC-параметры (Мбит/с)		RX расчетная для сценария (Мбит/с)		RX фактическая для сценария (Мбит/с)	
		R	L	S	ls	ul	B + C + D	C + D	B + C + D	C + D
A	1:10	20	-	1	60	100	-	-	-	-
B	1:20	0	-	1	40	100	40	-	38.9 ± 0.1	-
C	1:11	20	-	1	26	100	26	33	25.3 ± 0.1	42.1 ± 0.1
D	1:12	0	-	5	34	100	34	67	33 ± 0.1	55.1 ± 0.1

Таблица 3. Распределение пропускной способности HFSC-RLS-MAX

Поток трафика		hClock-параметры (Мбит/с)			HFSC-параметры (Мбит/с)		RX расчетная для сценария (Мбит/с)		RX фактическая для сценария (Мбит/с)	
		R	L	S	ls	ul	B + C + D	C + D	B + C + D	C + D
A	1:10	20	-	1	50	100	-	-	-	-
B	1:20	0	-	1	50	100	50	-	48.6 ± 0.1	-
C	1:11	20	-	1	20	100	20	20	19.4 ± 0.1	38.9 ± 0.1
D	1:12	0	-	5	30	100	30	80	29.2 ± 0.1	58.3 ± 0.1

Результат, полученный конфигурацией HFSC параметрами, вычисленными алгоритмом, совпадает с результатом работы базового алгоритма hClock при полной загруженности сети. При отсутствии потока, или потоков, трафика распределение пропускной способности может значительно отличаться от расчетной, так, для семантики SUM в таблице 2 различие при существовании 2-х из 3-х потоков трафика составляет 36 % и 18 %. Для MAX семантики ожидаемые значения для потоков C и D отличаются от полученных на 100 % и 25 %

соответственно. Это объясняется тем, что в HFSC передается 2 параметра, на которые отображены 3 параметра. Точная оценка отличий расчетных значений от фактических на данном этапе проведена не была. Несмотря на то, что различия могут быть существенны, это не влияет на количество зарезервированной пропускной способности и ее ограничения сверху, различия только в распределении оставшейся пропускной способности. Классу трафика гарантированно предоставится пропускной способности не меньше, чем было при насыщенном трафике у всех классов. Данное поведение является особенностью реализованного алгоритма.

#### **Заключение**

Разработанное решение позволяет осуществлять распределение пропускной способности между классами трафика на основе параметров R-reservations, L-limit, S-shares, реализуя SUM-подобную и MAX-подобную семантику, и обладает следующими свойствами:

- распределение пропускной способности аналогично распределению, представленному в алгоритме hClock, если все классифицированные потоки насыщенные или при отсутствии резервирования;
- простота интеграции в ОС Linux, не требующая перекомпиляции или реконфигурирования ядра;
- наличие GPL-лицензии.

Ограничением алгоритма является необходимость в указании пропускной способности сети. Все материалы доступны в открытом виде в репозитории [5]. Разработка может применяться в гипервизорах с открытым исходным кодом (для управления трафиком виртуальных машин), программных маршрутизаторах (для управления трафиком абонентов), Android-устройствах и любых других устройствах, ОС которых основана на ядре Linux (для управления трафиком приложений).

#### **Литература**

1. Billaud J. P., Gulati A. hClock: Hierarchical QoS for packet scheduling in a hypervisor //Proceedings of the 8th ACM European Conference on Computer Systems. 2013. С. 309-322.
2. Prakash P. et al. System and method to control bandwidth of classes of network traffic using bandwidth limits and reservations : пат. 9929962 США. 2018.
3. Zhang Y. et al. Dynamic scheduling with service curve for QoS guarantee of large-scale cloud storage //IEEE Transactions on Computers. 2017. Т. 67. №. 4. С. 457-468.
4. Утилита iperf3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iperf.fr/> (дата обращения: 14.04.2021).
5. Репозиторий проекта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/OlgaKochneva/rls-network-schedulers> (дата обращения: 14.04.2021).

УДК 004.934.2

## СЕРВИС ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЗАПИСЕЙ ДЕЛОВЫХ ТЕЛЕФОННЫХ РАЗГОВОРОВ

Кузьмичева К.Е.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., доцент Лямин А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе предлагается подход к решению задачи распознавания эмоций в деловых телефонных разговорах методами машинного обучения, на основе которого проектируется и разрабатывается программный модуль.

**Ключевые слова:** аффективные вычисления, анализ тональности, машинное обучение, речевой сигнал, распознавание речи, шумоочистка, диаризация.

Аналитика телефонных разговоров развита хуже других каналов коммуникаций с клиентами. Это связано с тем, что звонки нужно записывать, прослушивать и после этого анализировать. С помощью технологии распознавания эмоций в речи звонки можно анализировать автоматически. Обработав негативную информацию в записях, ее можно систематизировать и выявить узкие места в процессах работы с клиентами. Кейсы для каждой компании сугубо индивидуальны, и мест для внедрения очень много.

Эмоциональный окрас речи может передаваться по двум каналам: интонация голоса и смысловое содержание сказанного. При этом эмоции, полученные по текстовому и голосовому каналу, часто не совпадают. Поэтому анализ тональности лишь по одному из каналов недостаточен. Деловым разговорам особенно присуща сдержанность в проявлении эмоций, поэтому, как правило, позитивные и негативные фразы произносятся абсолютно безэмоциональным голосом. Однако бывают и противоположные ситуации, когда слова не имеют эмоционального окраса, но голос ярко показывает настроение человека.

Также преимуществом одновременного анализа и текста, и голоса является возможность выделения частных случаев сарказма. Например, когда слова похвалы произносятся с агрессией в голосе.

Пока наиболее обоснованный с научной точки зрения метод — это определение валентности эмоций: позитивной, негативной и нейтральной [1]. Большое количество классов эмоций резко снижает качество распознавания, поэтому сосредоточимся только на определении валентности эмоций. Причём нейтральной будет считаться речь, которую нельзя точно отнести к положительной или отрицательной валентности.

По ходу разговора эмоции могут сильно измениться, поэтому давать однозначный ответ об эмоциональном состоянии человека на протяжении всей записи не имеет смысла. Нужно нарезать запись на фрагменты и оценивать их отдельно. По результатам можно будет построить график изменения эмоционального настроения речи на протяжении всего разговора.

Общий алгоритм работы сервиса заключается в следующих этапах:

1. Шумоочистка.
2. Диаризация.
3. Распознавание текста.
4. Нарезка записи на отдельные реплики.
5. Оценка тональности по тексту и по голосу для каждой реплики.
6. Вывод суммарных оценок тональности для каждого говорящего.

При проектировании сервиса была выбрана микросервисная архитектура, в рамках которой создается несколько независимых друг от друга приложений, решающих только одну задачу. Схема архитектуры сервиса приведена на рисунке 1.

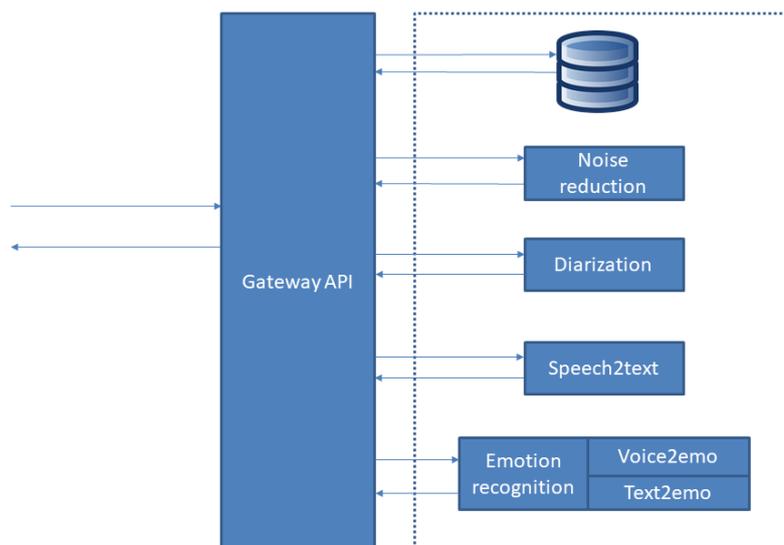


Рис. 1. Архитектура сервиса для обработки и анализа записей телефонных разговоров

Все микросервисы были написаны на языке программирования Python на базе фреймворка Django. Связь между ними происходит по протоколу HTTP через интерфейс REST API. В качестве СУБД был использован PostgreSQL. Развертывание системы производилось с помощью технологии Docker. Все контейнеры, кроме Gateway, были помещены в закрытый контур. Далее рассмотрим подробнее каждый из микросервисов.

- Gateway API производит аутентификацию пользователей посредством JWT и выполняет роль прокси-сервера, направляя запросы к другим микросервисам.
- Noise reduction подавляет шумы в переданной аудиозаписи. Основан на библиотеке RNNoise.
- Diarization определяет принадлежность участков речи на аудиозаписи тому или иному говорящему. Основан на библиотеке pyAudioAnalysis.
- Speech2text выполняет функцию распознавания речи. Основан на библиотеке VOSK-API.
- Emotion recognition оценивает тональность текстовых и голосовых сообщений. Для оценки эмоций в тексте была использована библиотека Dostoevsky, а для оценки эмоций в голосе не было найдено подходящей библиотеки, поэтому для реализации модуля Voice2emo была создана собственная модель. Для работы над этим модулем компанией ООО "ЭМ Си Арт" была предоставлена их база с записями телефонных разговоров. Из нее был выделен и размечен 421 отрезок от 1 до 7 секунд.

Поскольку в открытом доступе нет размеченных русскоязычных данных эмоциональной речи, изначально была использована берлинская база Emo-DB.

Из речевого сигнала с помощью библиотеки Librosa выделялась следующая информация:

- мел-кепстральные коэффициенты (mfcc);
- частота цветности (chroma);
- мел-спектрограмма (mel);
- спектральный контраст (contrast);
- тональные центроиды (tonnetz).

На этих данных было обучено несколько моделей библиотеки Scikit-learn. Лучший классификатор выбирался на основе показателя точности предсказаний (соотношение количества корректных предсказаний к общему количеству данных). Наилучшего результата достиг MLPClassifier с точностью 79.268%. Однако при тестировании на размеченных данных

из реальных записей деловых телефонных разговоров российской компании точность оказалась равной только 22.983%, что вызвало необходимость обучать модели на своих данных. В результате лучшим классификатором при работе с базой данных ООО "ЭМ Си Арт" стал BaggingClassifier с точностью распознавания 55.294%.

Также была обучена и протестирована модель сверточной нейронной сети, так как, согласно исследованиям, сети с данной архитектурой имеют высокую эффективность в задачах распознавания [2]. Построенная сеть имела два сверточных слоя с 256 фильтрами и ядром 5×5, слой пулинга и один полносвязный слой, который производил классификацию эмоций по трем валентностям. В результате обучения такой сети точность распознавания была равна 62.352%. Увеличение или уменьшение количества слоев приводило к потерям в точности.

После увеличения количества размеченных записей до 566 точность распознавания увеличилась до 66.666%. Это говорит о необходимости дальнейшего расширения набора данных, что приведет к увеличению точности распознавания эмоций в голосе. На рисунке 2 и 3 представлены результаты замера точности полученной нейронной сети.

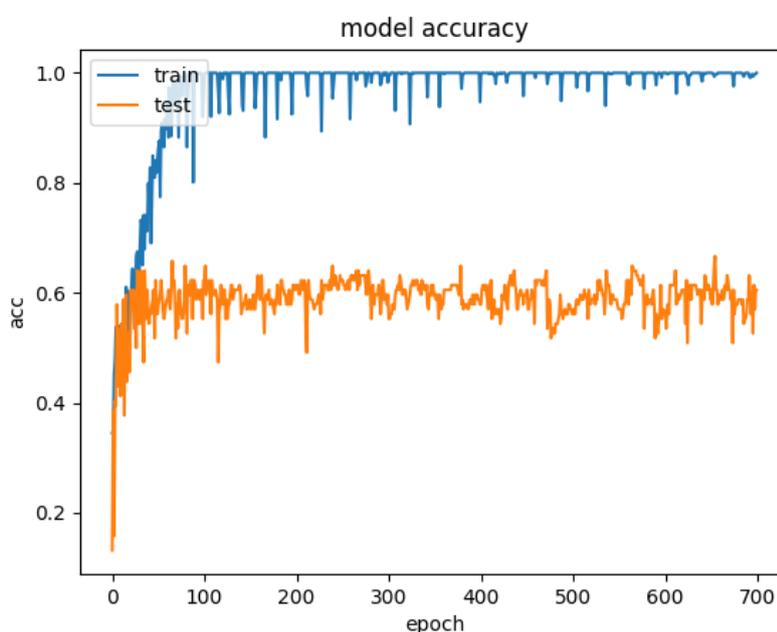


Рис. 2. График точности при обучении модели

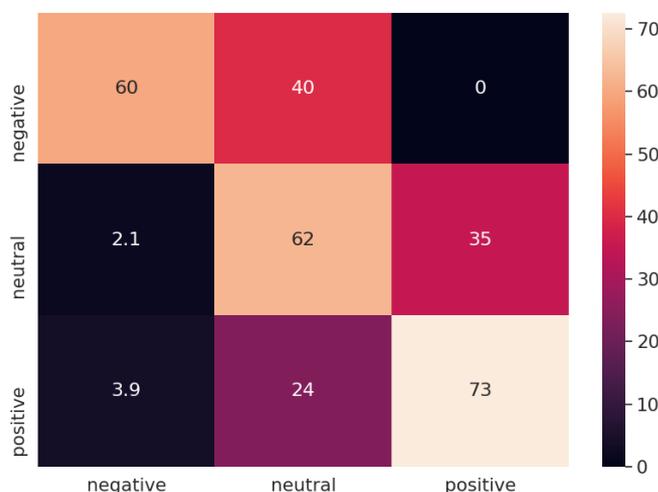


Рис. 3. Матрица ошибок в процентах

Пример результата работы разработанного сервиса на реальной записи разговора приведен на рис. 4. По оси абсцисс отложено время разговора в миллисекундах. Каждый график показывает изменение валентности эмоций конкретного участника разговора.

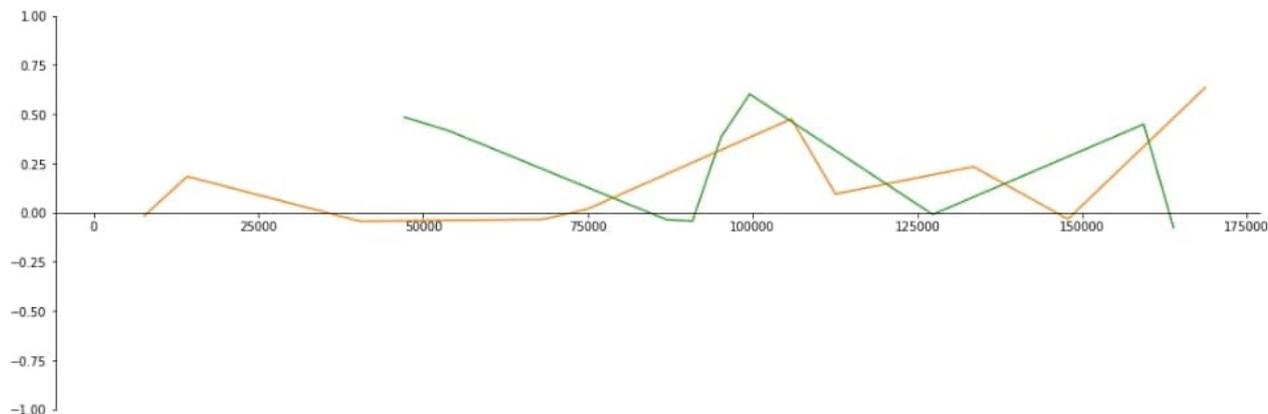


Рис. 4. График распознанных сервисом эмоций на примере одной аудиозаписи

В работе представлен результат исследования на тему распознавания эмоций в деловой речи. В ходе работы были использованы русскоязычные записи телефонных разговоров коммерческой организации. Данные были вручную обработаны и размечены. На основе созданной базы данных были обучены несколько моделей. Лучшая из них была использована в разрабатываемом сервисе. Был спроектирован и реализован RESTful-сервис на Django REST Framework с возможностью пользователям выполнять к его API запрос на распознавание эмоций в аудиозаписи телефонного разговора. Результат возвращается в формате JSON и содержит дискретизированные по времени оценки в интервале от -1 до 1 для каждого участника разговора. Значения оценок находятся в интервале от -1 до 1, где -1 – абсолютно негативная экспертная оценка, а 1 – абсолютно позитивная.

### Литература

1. Алешин Т.С., Редько А.Ю. Принципы подготовки баз речевых данных для задачи распознавания эмоционального окраса речи человека по речевому сигналу // Современные наукоемкие технологии. № 6. 2016. С. 229-233.
2. Сергунов Д.И., Артемова А.А., Гришунов С.С. Система распознавания эмоций по голосу на основе сверточной нейронной сети // E-Scio. № 7. 2019. С. 66-72.

УДК 004.43, 004.6

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЯЗЫКОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ В ВЕБЕ

Лазаренко А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.п.н, профессор Готская И.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены часто используемые форматы данных при разработке веб-приложений. Представлена разработанная авторская система критериев для исследований языков, а также результаты проведенного сравнительного анализа языков представления данных в вебе, которые планируется использовать для проведения дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** XML, JSON, YAML, TOML, форматы данных, сравнительный анализ, критерии сравнения.

Постоянное развитие цифровых технологий инициирует активное внедрение различных программных продуктов, позволяющих работать с большими объемами данных. Для разработки веб-приложений зачастую требуется знание нескольких языков программирования, которые в совокупности позволяют достичь желаемого результата. Ввиду большого количества средств разработки перед каждым разработчиком возникает необходимость выбора языка. На выбор формата конфигурации опытными разработчиками оказывают влияние уровень знания этого языка и опыт его использования. Из-за недостаточного опыта начинающие разработчики не всегда могут подобрать подходящий формат данных или выбрать язык для изучения.

Проанализировав сообщества опытных отечественных и зарубежных программистов-практиков, для проведения исследования были выбраны следующие языки представления данных – XML, JSON, YAML и TOML.

XML (eXtensible Markup Language «расширяемый язык разметки») был изначально задуман в качестве языка описания форматов документов WWW (World Wide Web). Происходит от SGML (Standard Generalized Markup Language «стандартный обобщенный язык разметки»), может считаться метаязыком, не привязан к языкам программирования или операционным системам, используют для манипуляций, структурирования, трансформации и запросов данных [1].

JSON (JavaScript Object Notation «обозначение объектов JavaScript») – формат представления структурированных данных, основанный на языке JavaScript. В основном используется для передачи данных в клиент-сервисных веб-приложениях, а также для группировки объектов и структур данных в виде набора компонентов, образующих программные блоки, которые позволяют хранить и обрабатывать сложные записи переменных разных типов [2].

YAML (YAML Ain't Markup Language «YAML – не язык разметки») – первоначально разработчиками утверждалось, что это полная замена XML, но затем приоритет сместился на обеспечение наиболее гибкого описания данных. Позволяет наиболее полно отображать основные типы данных, используемые современными языками программирования, предлагая при этом максимальную простоту как для человеческого, так и для программного анализа [3].

TOML (Tom's Obvious, Minimal Language «очевидный, минимальный язык Тома») – формат конфигурационных файлов, спроектированный для обеспечения человекочитаемости, с одной стороны, и однозначного сопоставления с хеш-таблицей, с другой. Имеет открытую, постоянно дополняемую спецификацию [4].

Для проведения сравнительного анализа была сформирована собственная система критериев [5]. Разработанные критерии являются универсальными, так как их можно использовать для сравнительного изучения и анализа любого формата данных. При формировании системы критериев учитывались часто используемые критерии как

зарубежными, так и отечественными разработчиками. Итоговые критерии для проведения сравнительного анализа:

- человекочитаемость;
- поддержка языками программирования;
- сериализации;
- десериализации;
- безопасность данных;
- проверка входных данных;
- расширяемость;
- распространённость;
- динамика развития.

Оценка происходила по балльной системе от 1 до 5, где 1 – очень плохо, 5 – очень хорошо. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице.

Таблица. Результаты сравнительного анализа

Критерий/Язык	XML	JSON	YAML	TOML
Человекочитаемость (удобство чтения)	3	5	5	5
Поддержка языками программирования	5	5	3	4
Сериализация	3	5	5	4
Десериализация	3	5	5	4
Безопасность данных	4	4	4	4
Проверка входных данных	5	5	4	3
Расширяемость	4	4	4	4
Распространенность	5	5	3	3
Динамика развития	2	4	2	5

Для каждого из языков было выведено средневзвешенное значение на основе баллов по критериям сравнения. Средневзвешенное значение – это среднее значение с учетом различной ценности (веса, важности) каждого из критериев. Средневзвешенное значение рассчитывается по формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n y_i},$$

где  $\bar{X}$  – средневзвешенное значение,  $y_i$  – «вес» критерия,  $x_i$  – поставленный балл.

На рисунке представлен график с рассчитанными средневзвешенными значениями.

Проведенный сравнительный анализ языков представления данных показал, что из выбранных форматов данных самый универсальный язык на данный момент – это JSON. Недостатками формата является его ограниченность типов данных и отсутствие поддержки сложных конфигураций. До разработки JSONa основным языком являлся XML, главные недостатки – избыточный синтаксис, а также повышение потребности к хранилищу и пропускной способности при повышении детализации кода. Вокруг него было разработано множество программных средств, а уже реализованные готовые продукты довольно трудно перевести на новые форматы данных. В основном язык YAML используется в определенных службах (Azure DevOps, GitLab), так как не во всех языках разработки имеется полная поддержка данного формата, что затрудняет отладку. Язык TOML – относительно новый формат данных, поддерживающий множество типов данных, но ввиду его малой распространенности редко используется в разработке.

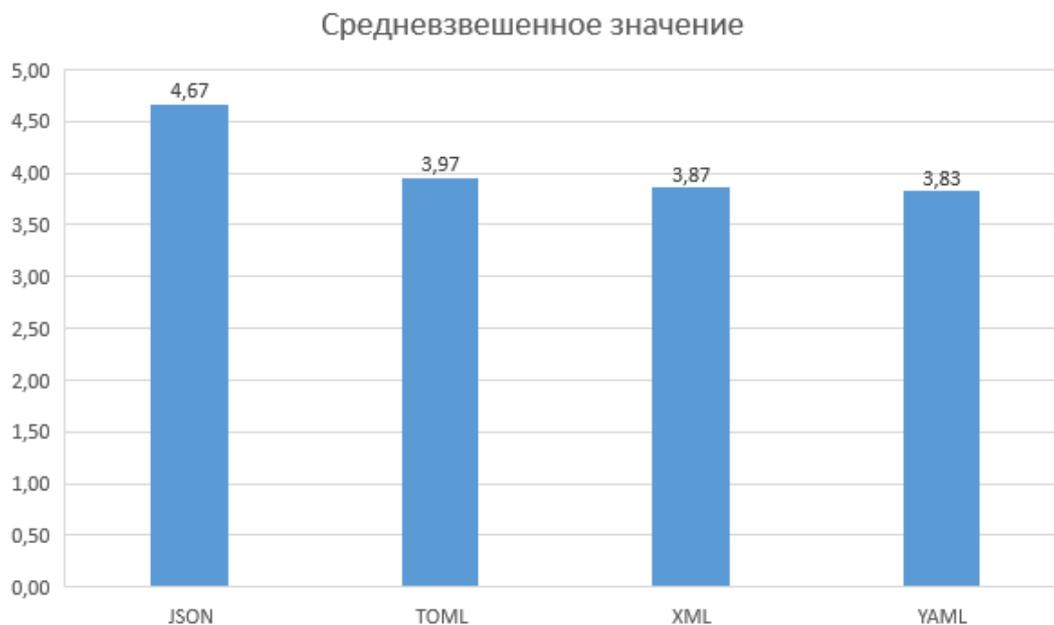


Рисунок. График средневзвешенных значений

Результаты проведенного исследования позволили сделать вывод, что исследуемые языки в условиях разработки простых приложений взаимно заменимы. При усложнении конфигурации приложения требуется сделать выбор определенного языка, взвешивая его достоинства и недостатки, возможность поддержки данного формата языком программирования. Определение целей конфигурации данных рекомендуется производить на раннем этапе жизненного цикла приложения, на этапе его проектирования.

Предполагается, что представленная система критериев может помочь начинающим разработчикам в выборе формата обмена данными для изучения или в разработке. Поскольку в сравнительном анализе использовались не все доступные форматы данных, а только наиболее популярные, то рекомендуется использовать не только результаты исследования, но и сами критерии исследования.

### Литература

1. Extensible Markup Language (XML). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.w3.org/XML/> (дата обращения 20.12.2020).
2. Введение в JSON [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.json.org/json-ru.html> (дата обращения 20.12.2020).
3. YAML. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yaml.org> (дата обращения 20.12.2020).
4. TOML v1.0.0 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://toml.io/en/v1.0.0> (дата обращения 20.12.2020).
5. Лазаренко А. Формирование системы критериев для сравнительного изучения и анализа языков представления данных в вебе // Современное образование: традиции и инновации. 2021. № 2. С. 112-114.

УДК 005.1

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ПРОЕКТАМИ

Ларин М.Е.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Шиков А.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы «Метод и модели эффективного управления взаимодействием распределенных команд в условиях повышенной нагрузки». В статье рассматриваются актуальные проблемы управления ИТ-проектами, которые ставятся перед руководителем проекта, задачи, которые необходимо решить, а также производится сравнение существующих подходов и моделей при организации ИТ-проекта.

**Ключевые слова:** ИТ-проекты, модели управления ИТ-проектами, методологии управления проектами, планирование ИТ-проекта, спринты.

В современном мире большое место в экономической отрасли занимают ИТ-проекты. Оптимизация и автоматизация бизнес-задач, целью которых является экономия и сокращение издержек, – один из самых распространенных запросов бизнеса к разработчикам информационных систем. Правильное управление ИТ-проектом, исключение ошибок, учет всех особенностей реализации и сокращение издержек является сложной управленческой задачей. «ИТ - наиболее динамично развивающаяся сфера. Опоздание с продуктом на несколько месяцев может стать фатальным. Жизненный цикл продуктов чрезвычайно короток, а для поддержания жизнеспособности продукта требуются постоянные совершенствования и дополнения (обновления программы, новые версии продукта, новые функции в старых продуктах или же совершенно новые версии продуктов)» [1].

### Проблемы, возникающие перед руководителем ИТ-проекта

По опыту организации российских и международных ИТ-проектов, основные трудности в управлении информационными проектами связаны с неэффективной организацией рабочего процесса и отсутствии координации действий между подгруппами коллективов. «Актуальной проблемой реализации проектов в сфере интернет-сервисов, в особенности для России, является отсутствие единого подхода к стандартизации. Несмотря на то, что в настоящий момент существует большое количество методологий по управлению проектами, многие российские компании не используют их на практике» [2].

Исследования, проведенные в области управления ИТ-проектами, показывают, что руководители и менеджеры зачастую совершают ряд типичных ошибок, не позволяющих выстроить эффективные процессы реализации:

1. Недостаточный уровень получения требований от заказчика.

Заказчик не всегда понимает, что ему необходимо разработать. Как показывает практика, руководитель проекта и заказчик имеют проблемы с полным и достаточным описанием того, что система должна реализовывать и как должна реагировать на различное поведение пользователя. Руководитель проектов должен обеспечить полный цикл сбора требований согласно практикам, существующим в данной области. Не полностью зафиксированные требования к системе приводят к издержкам: изменения сроков, исправление системы, - что существенным образом увеличивает время реализации проекта. Опыт лучших проектов доказывает необходимость в совместном формировании требований рабочей группой из представителей заказчика и ИТ-компании.

2. Отсутствие ресурсов, необходимых для работы инженеров, тестировщиков и аналитиков.

Для полноценной работы всех членов команды необходима подготовка большого количества инфраструктурных ресурсов. Под такими ресурсами понимаются сервера для разработчиков, окружение для проведения ручного, автоматического и нагрузочного тестирования, демонстрационные сервера и т.д. Своевременное и подготовленное окружение предоставить при возникшей необходимости достаточно проблематично и занимает продолжительное время.

### 3. Низкая скорость вовлечения новых членов команды в рабочий процесс.

Информационные проекты соединяют в себе специалистов различных отраслей знаний. С одной стороны, в проекте принимают участие работники заказчика, которые отвечают за определение бизнес-функций проекта. С другой стороны, технические специалисты, разрабатывающие систему, не всегда обладают необходимыми знаниями в предметной области. В связи с этим руководство проекта должно обеспечить максимально быстрый, эффективный трансфер знаний для всех членов команды.

#### **Задачи руководителя проекта**

Организация разработки и внедрения информационных систем являются сложными управленческими задачами. Грамотное и эффективное построение процессов позволяет достичь основных целей управления проектом:

##### 1. Оценка трудозатрат.

Отличительной особенностью высокотехнологичных информационных систем является сложность и многокомпонентность. Эффективная реализация подобных систем требует описания высокоуровневых архитектурных прототипов с последующей декомпозицией на ряд модульных подсистем. Также стоит отметить, что термин “разработка” включает в себя ряд дополнительных сопроводительных процессов, таких как:

- анализ и сбор требований;
- имплементация;
- тестирование;
- внедрение.

Данный процесс является последовательным. Это означает, что смещение сроков любого из данных этапов автоматически блокирует время начала выполнения следующего шага. Таким образом, модульная многокомпонентность требует высокой точности оценки трудозатрат, необходимой для реализации как отдельных модулей, так и системы в целом.

##### 2. Эффективное планирование проектов с выявлением ключевых фаз IT-проекта.

Заказчику информационных систем необходимо понимание того, когда проектируемая система может быть интегрирована в бизнес и начать приносить ощутимую прибыль. Для этого возникает потребность во взаимодействии между руководителем проекта и заказчиком по вопросам соблюдения сроков. Достижимое описание и планирование ключевых фаз проекта является важным показателем для руководителя проекта.

##### 3. Координация работы внутри коллектива и сокращение времени простоя.

Как было указано выше, в ходе реализации проекта возникают ситуации, требующие уточнения требований к программному продукту, тестирование рабочих версий прототипа, сдвиги сроков сдачи проекта. Данные издержки должны быть заложены при планировании трудозатрат, однако их сокращение является важной задачей для руководства проекта.

#### **Современные подходы и модели**

При разработке информационных систем и программных продуктов выделяют следующие основные фазы:

1. Формирование требований.
2. Проектирование.
3. Реализация.
4. Тестирование.
5. Внедрение.

Для уменьшения издержек и снижения сложностей в организации работы специалистов, реализующих программный продукт, были использованы типовые модели ведения IT-проектов. Цель данных практик состоит в стандартизации и единообразии подходов для решения текущих задач. Рассмотрим основные типы:

##### 1. Водопадная модель.

Водопадная модель разработки программного обеспечения считается классической моделью ведения и описания жизненного цикла IT-проекта. Данная модель характеризуется жестким разделением проекта на фазы, описанные выше. Водопадный жизненный цикл

допускает переход с очередного этапа на следующий только после завершения текущей фазы. Данная особенность требует детального и полного сбора требований и формирования документационной литературы.

Преимущества:

- детальное планирование;
- полная документация на каждом этапе проекта;
- прогнозируемость и легкость оценки трудозатрат;
- переход к следующему этапу только после полного завершения предыдущего.

Недостатки:

- тяжелая адаптация к изменениям;
- высокая стоимость устранения ошибок;
- невозможность пользоваться частями системы до полной реализации целого продукта.

«Весь проект планируется заранее без каких-либо возможностей для изменения требований. Этот подход предполагает, что время и стоимость являются переменными, а требования фиксированы. Все фазы процесса происходят линейно, последовательно. Каждый проект имеет один и тот же жизненный цикл, который включает в себя такие этапы, как разработка требований, планирование, реализация, тестирование, ввод в действие. Такие методологии проектного управления рассматриваются как жесткие. При их применении проектные менеджеры часто сталкиваются с проблемами исполнения бюджета и соблюдения сроков реализации проекта» [3].

## 2. Спиральная модель.

Очевидным недостатком водопадной модели является отсутствие гибкости и высокая сложность адаптации системы под меняющиеся требования. Спиральная модель призвана обнаружить возникающие изменения и принять меры по их реализации как можно раньше. Каждая итерация представляет собой создание отдельной версии проекта. На каждом шаге дополнительно производится анализ, уточнение требований, разработка и тестирование. На каждом этапе дополнительно производится оценка рисков и стоимости трудозатрат.

Преимущества:

- адаптируемость системы к внешним изменениям;
- снижение издержек и рисков, связанных с обнаружением ошибки;
- пригодность для версионных информационных систем и программ.

Недостатки:

- высокая стоимость трудозатрат;
- одни и те же задачи выполняются несколько раз;
- большая длительность проекта.

## 3. Гибкие методологии.

Водопадная и спиральная методологии просты для понимания, до сих пор распространены и пользуются популярностью у проектного менеджмента. Однако недостатки обоих подходов и потенциальные риски сдвига сроков проекта заставляют применять другие модели.

Гибкие методологии являются новым подходом к ведению информационных проектов, базирующимся на итерационных моделях. Основная идея гибких методологий заключается в организации коротких и частых фаз, называемых спринтами. Каждый спринт занимает от двух до четырех недель. В течение данного периода производятся все активности, которые необходимы для проведения приемо-сдаточных испытаний в конце спринта: анализ, оценка, архитектурное проектирование, разработка, тестирование, внедрение. Наиболее популярные гибкие решения предлагает методология Agile и гибкий фреймворк Scrum.

«Agile (гибкие) методы определяют новую роль менеджера проекта по сравнению с традиционной. Вместо тщательного планирования деятельности в рамках проекта, менеджер проекта управляет короткими циклами разработки. Разработаны гибкие методы управления проектами для обработки изменяющегося вклада участников проекта в определение

результатов проекта; это дополняется свободной структурой и формализацией рабочих задач, и сосредоточением внимания на быстрых и малых результатах. Согласно этому подходу, гибкие методологии обеспечивают согласование результатов проекта с заинтересованными сторонами» [4]. Основным отличием от водопадной и спиральной моделей является то, что в гибкой методологии спринты являются независимыми друг от друга и не требуют проведения одних и тех же работ по несколько раз.

Преимущества:

- гибкость;
- адаптируемость к изменчивостям бизнеса и требований;
- частый контакт с заказчиком;
- промежуточные версии проекта могут быть внедрены сразу использоваться для решения бизнес-задач.

Недостатки:

- высокая интенсивность работ;
- высокие требования к разработчикам;
- требуются навыки и опыт применения спринтов руководителем проекта.

Сравнивая преимущества и недостатки описанных выше моделей, а также согласно исследованиям в области проектного менеджмента, можно сделать вывод о том, что на текущий момент гибкие методологии являются наиболее популярным подходом при организации и управлении IT-проектами. Это подтверждает использование гибкой технологии такими компаниями, как Amazon, Apple, Facebook, Google, Uber и др. «Гибкость на организационном уровне, на уровне портфеля, как и на уровне проекта требует, чтобы во всех аспектах предприятия, была реакция на изменения и риски в условиях сотрудничества и адаптивности. Создавая стратегическую гибкость и гибкость портфеля, можно дать возможность организации направить бизнес к успеху» [5].

### **Заключение**

На основании современного анализа подходов в менеджменте по реализации информационных подходов были сформированы основные задачи и проблемы, решение которых является обязательным для руководства. Также были рассмотрены часто встречающиеся подходы к управлению IT-проектами. На основании сравнения существующих подходов был сделан вывод, что наиболее практичной методологией является гибкая методология.

«В целом, управление проектами в сфере информационных технологий не столь специфично, но имеет ряд своих особенностей, которые стоит учитывать при разработке проекта. Открытость информации и простота ее получения позволяет компаниям по всему миру изучать опыт крупных IT-компаний и применять его для своих проектов. При этом, для российских компаний характерно пренебрежение некоторыми важными этапами реализации IT проектов (такими как планирование, тестирование, анализ обратной связи) в угоду срокам, что вызвано небольшим количеством компаний конкурентов. Однако рост конкуренции на IT-рынке в России приведет к тому, что информационные продукты компаний будут совершенствоваться, а методология проектной деятельности будет сформирована на основе полученного опыта» [2].

### **Литература**

1. Локтионов Д. А., Масловский В. П. Критерии применения Agile-методологии для управления проектом // Креативная экономика. 2018. №6. С.839-854.
2. Громова А. А. Специфика управления проектами в сфере информационных технологий // Материалы Афанасьевских чтений. 2016. №4 (17). С.135-143.
3. Александрова Т. В. Повышение эффективности проектного управления в организации на основе гибкой методологии Agile // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. №9, с.11-15.
4. Пучков, И. И. Управление IT-проектами // Молодой ученый. 2017. № 49 (183). С. 78-81.

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/183/46925/> (Дата обращения: 20.02.2021).

5. Овсянникова П. А., Морозова О. А. Проблемы применения гибких методологий управления портфелем ИТ-проектов в крупной организации // Проблемы Науки. 2017. №17 (99). С 3.
6. ГОСТ 54871-2011 Проектный менеджмент. Требования к управлению программой.99. с. 22-26.
7. ГОСТР ИСО 21500-2014. Руководство по проектному менеджменту: Национальный стандарт РФ: ОКС 03. - М.: Стандартиформ. 2015. 45 с.
8. Вольфсон Б. Гибкие методологии разработки //Б. Вольфсон. Санкт-Петербург: Питер. – 2017. С.64-82.

УДК 004.5

## ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ГРАФИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ

Левин П.К.<sup>1</sup>, Щур. С.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В статье проанализирована проблема эффективности графической навигации при ориентировании в учреждениях с большим количеством объектов, рассредоточенных на больших площадях. Рассмотрены основные факторы обозначенной проблемы, проанализированы способы её решения с помощью цифровых информационных средств.

**Ключевые слова:** графическая навигация, ориентация на местности, большие территории, эргономика, мобильные приложения, дополненная реальность, приложения-навигаторы, пользовательский сценарий.

Проблема навигации остро встаёт в организациях, чьи подразделения располагаются в обширных комплексах, которые насчитывают множество корпусов, расположенных друг от друга на расстояниях не минутной доступности. Примером такой не вполне дружественной для человека среды могут служить кампусы крупных научно-образовательных центров. В России таковыми могут считаться Санкт-Петербургский государственный университет, государственный архитектурно-строительный университет, Технологический институт или Политехнический университет Петра Великого. Последний был выбран в качестве объекта для изучения или анализа. Ежегодно данный вуз принимает около 5 тысяч новых студентов, помимо учеников колледжа и лицея. Всего в Политехе учится более 33 000 студентов, работают более 1900 преподавателей и научных работников и около 3500 сотрудников администрации и обслуживающего персонала.

Таблица 1. Какие приложения навигаторы вы используете?

Приложение-навигатор	Доля ответов
Google Maps	32%
Яндекс.Карты (Yandex.Maps)	45,2%
Яндекс.Навигатор	12,9%
2GIS	26,9%
MAPS.ME	4,3%

Таблица 2. У вас была проблема найти в Политехе нужное здание, подразделение или аудиторию?

Вариант ответа	Процент ответивших
Никогда	32%
Один раз я не смог найти нужный корпус, службу или подразделение.	45,2%
Несколько раз я не мог найти нужное здание или подразделение	12,9%

Ежегодно студенты и сотрудники университета сталкиваются с проблемой ориентации на территории кампуса. Его площадь превышает 190 га и включает в себя 171 здание: учебные корпуса, общежития и объекты внутренней инфраструктуры (спортивные комплексы, столовые, типографии и т.д.). Только что принятый студент вынужден тратить множество усилий для запоминания расположения корпусов, а также входов в здания, сервисов и служб. При проведении опросов среди студентов и преподавателей стало известно, что более 50% референтов испытывали или до сих пор систематически испытывают трудности при ориентации на территории кампусов. Помимо вопросов о трудностях с ориентацией на местности, опрос выявлял у фокус-группы опыт взаимодействия с цифровыми сервисами

навигации и средствами визуализации. Исследование показало, что большинство опрошенных людей используют мобильные навигаторы (преимущественно Яндекс.Карты и Google Maps) на устройствах с операционной системой Android. В таблицах 1 – 2 представлены результаты опросов фокус-группы.

Анализ типичного сценария поведения студента первого курса позволяет определить причины трудностей ориентации на территории кампуса. Выявленные причины можно распределить на две группы:

#### **Проблемы визуальной эргономики**

1. Основные маршруты передвижения людей по кампусу пролегают на дистанции от стен учебных корпусов и часто отделены от них зелёными насаждениями. Большие расстояния (иногда достигающие 30 м) и густые ветви деревьев затрудняют процесс считывания названия корпусов и номера домов.
2. Таблички часто выполнены из чёрного металла, они не контрастны и потому плохо читаемы. Усугубляет ситуацию и отсутствие единого стиля в оформлении табличек и указателей.
3. Указатели расположены редко (промежуточная дистанция 170 – 500 м). Корпуса не подписаны.

#### **Особенности городской среды:**

1. Корпуса архитектурно однообразны, их сложно различать.
2. Здания имеют много входов, которые часто расположены не на самых популярных маршрутах перемещения студентов.
3. Часто сквозные проходы перегорожены временными заборами.
4. В большинстве зданий кампуса отсутствует или слабо внедрена система внутренней визуальной или звуковой навигации (не везде указаны этажи, номера аудиторий, указатели не дают исчерпывающего понимания расположения служб и подразделений). Не все здания отображены на онлайн-картах корректно.

В обозначенных условиях остро встаёт проблема доступности информации о расположении корпусов и подразделениях университета. Наиболее эффективным и популярным решением в мировой практике является создание приложений-помощников для студентов, которые могли бы сочетать в себе доступ к перечисленным выше данным и систему навигации на «проблемной территории». IT-разработчиками уже предпринимались попытки решить данную проблему с помощью специально разработанных предложений-навигаторов: «PolyLook» и «PolyNavi». Оба приложения включают в себя карту и схему помещений Главного здания. Однако в обоих приложениях есть некоторые недоработки:

Оба приложения не дают информацию о службах и подразделениях Политеха.

Планы зданий предельно схематичны и не дают информации о расположении входов в здание, а также об их внешнем виде, а также о переходах между этажами.

Приложения имеют линейную структуру с обязательной авторизацией, что вызывает негативный эмоциональный отклик у пользователя. Это противоречит принципам эргономики вычислительных систем, поскольку повышает потенциальное количество ошибок при вводе данных [1].

Проблему навигации на территории кампуса предлагается решить с помощью приложения-навигатора для смартфона, в котором отображение реальной среды будет дополнено графическими блоками с информацией о здании, попавшем в объектив смартфона. Дополненная реальность (Augmented reality, далее AR) как способ взаимодействия позволяет дополнить схематичное отображение географических объектов, а также упростить ориентацию пользователя в пространстве, в том числе относительно сторон света [2]. Приложение на смартфоне также позволяет решить проблему поиска информации о расположении служб и зданий. Более того, оно может позволить устранить необходимость монтировать особо крупные вывески со всех сторон каждого строения, для прочтения и систематизации которых студент тратит много времени и вынужден дополнительно перемещаться и менять точку обзора.

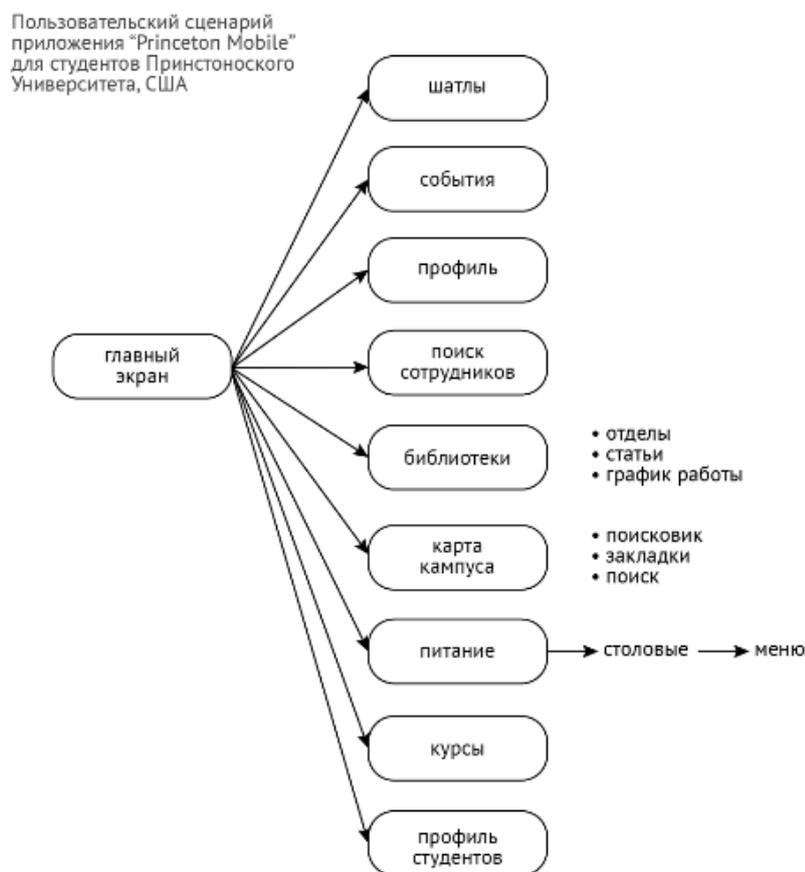


Рис. 1. Структуры пользовательского интерфейса для студентов Принстонского университета США

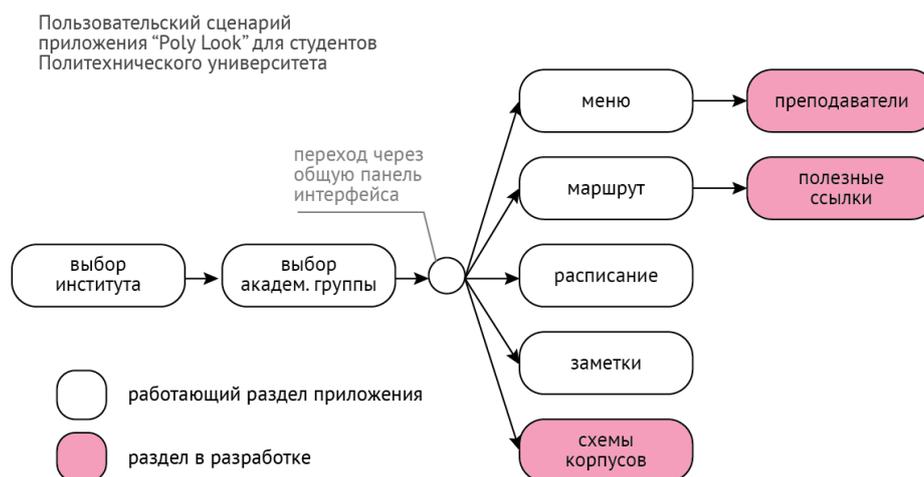


Рис. 2. Структуры пользовательского интерфейса для студентов Принстонского университета США (слева) и приложения "Poly Look" (справа)

В ходе изучения зарубежных и отечественных аналогов был определён оптимальный набор функций:

1. «Сканирование» корпусов, позволяющее определить объект, на который направлен телефон, и его содержимое. Эта функция осуществляется с помощью технологии SLAM

(simultaneous localization and mapping — одновременная локализация и построение карты), которая определяет положение телефона относительно сторон как света, и как следствие - направление камеры смартфона.

2. Отображение карты территории с возможностью построения маршрута и отслеживания местоположения пользователя через GPS.
3. Поисковый алгоритм, с помощью которого можно найти информацию о подразделении или сотруднике Политехнического университета. Важное дополнение – возможность сохранять полезные объекты поиска.

На данный момент самым надёжным и быстроразвивающимся методом создания AR-проектов является использование игровых движков. Самыми распространёнными среди них являются Unreal Engine, разработанный компанией Epic Games, и Unity, разработанный Unity Technologies. Вторая платформа предпочтительна, поскольку создаваемые в ней проекты оптимизированы под объём памяти мобильных устройств, что существенно для поддержания стабильности и скорости работы приложения на смартфоне.

Для решения проблемы ориентации использовалась технология ARCore, разработанная компанией Google в 2017 году, и программный пакет AR Foundation, включающий в себя несколько важных разработок в AR, в первую очередь трекинг окружающей среды, определение геолокации по GPS и распознавание визуальных маркеров (точек привязки в реальном пространстве).

Результатом исследования стала разработка концепции прототипа AR-приложения для «сканирования» городской среды Политехнического университета. Наведя телефон на конкретное здание, студент может получить исчерпывающую информацию о его содержимом. В будущем его можно дополнить полной базой данных о сотрудниках и подразделениях университета, а также расширить облачное хранилище маркеров, которое позволит ориентироваться не только на уровне корпусов, но и на этажах, и среди учебных аудиторий. Применение AR-технологий позволяет сократить количество действий, которые пользователь совершит для получения информации о расположении нужных подразделений. Вместо того, чтобы посмотреть на табличку, достать телефон, открыть приложение, ввести запрос и прочитать справку, пользователь наводит телефон на здание и сразу получает информацию о нём. Возможное применение облачной базы данных может убрать необходимость заходить на веб-сайт Политехнического университета или звонить в деканаты, на что студент также тратит много времени.

Отдельным потенциальным плюсом может быть внедрение возможности для пользователя самостоятельно изменять карту, добавляя новые точки, которые будут общедоступны для других пользователей и могут содержать полезную для них информацию: качественный общепит рядом с Политехом, актуальные пароли wi-fi, информация о закрытии входов и выходов на территорию кампуса и т.п. Применение этого цифрового сервиса может убрать лишнюю стрессовую нагрузку на пользователя и поможет снизить количество опозданий на занятия и другие мероприятия, что в целом положительно скажется на образовательном процессе.

## Литература

1. Мунипов В. М. «Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: рек. М-вом образования РФ в качестве учебника для студентов высших учебных заведений» / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. М. : Логос, 2001. 276 с.
2. Смолин А. А., Жданов Д. Д., Потемин И. С., Меженин А. В., Богатырев В. А. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности: Учебное пособие – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2018. 58 с., также в режиме доступа - <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2321.pdf> (дата обращения: 20.02.2021).

УДК 004.773

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ACTIVE DATA ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ В ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Литвинов Е.М.<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н. Виксин И.И.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе предложен подход применения Active Data (AD) для улучшения защиты конфиденциальности устройств, которые можно отнести к категории Fog Computing (FC/Туманные вычислители), EDGE и IoT. Отличительной особенностью рассматриваемых устройств (IoT, EDGE) являются очень ограниченные вычислительные ресурсы: flash память (ПЗУ) составляет порядка 16 Мб, оперативная память (RAM) – порядка 1-2 Мб.

**Ключевые слова:** туманные вычислители, IoT, EDGE, Fog Computing.

Общее число различных IoT устройств растет с каждым годом. Например, согласно [1], ожидается порядка 25 миллионов IoT устройств уже в 2021 году. Помимо всего прочего «Интернет вещей» проникает в нашу жизнь повсеместно: умные часы, различные фитнес трекеры, различные умные лампочки и другие различные датчики, которые могут использоваться для построения «умного дома». В связи с этим становится немаловажным вопрос безопасного и надежного общения как между самими датчиками, так и при общении различных устройств с «облаком» посредством туманных вычислителей, которые, в свою очередь, могут быть представлены различными шлюзами (gateway) и роутерами (router).

Для того, чтобы убедиться, что вопрос кибербезопасности актуален, рассмотрим несколько примеров, которые подтверждают, что современные IoT устройства подвержены различным видам атак. Например, [2] показывает, что «умная лампочка» сохраняла в своей прошивке пароль от домашней Wi-Fi сети в открытом виде. Помимо этого, имеющиеся аппаратные механизмы защиты прошивки (в данном случае это E-fuses биты, которые должны предотвращать несанкционированный доступ к прошивке и которые можно сбросить только полным стиранием flash-памяти микроконтроллера) не были активированы. Помимо этого, исследователям удалось извлечь корневые сертификаты и приватный ключ асимметричного шифрования.

Другим наглядным примером может быть исследование [3], показывающее, как злоумышленник, подключившись к «умному выключателю», расположенному в «публичной зоне», может проникнуть в технологическую или корпоративную сеть организации.

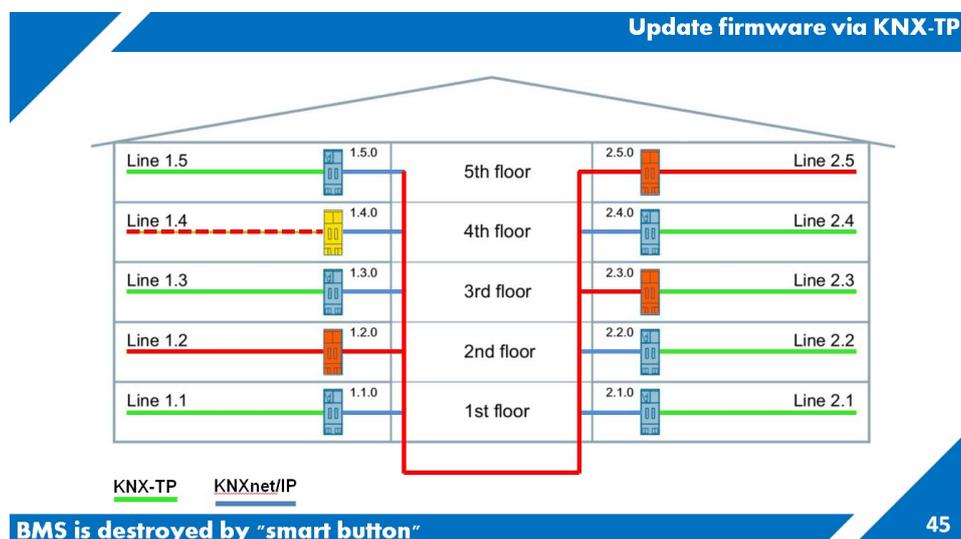


Рис. 1. Эшелонированная атака со стороны «умного выключателя»

На рисунке 1 показана «финальная» стадия эшелонированной атаки, когда злоумышленник, подключившись к «умному выключателю» в «публичной зоне» (выключатель, расположенный в номере отеля), сначала взял под контроль управление различными шлюзами (gateway) и оконечное оборудование (управление освещением в соседних номерах). Помимо этого, автор исследования показывает возможности, как злоумышленник может обновить прошивку и/или конфигурация как оконечных устройств, так и различных шлюзов, что, в свою очередь, предоставит прямой доступ к технологической и, возможно, корпоративной сети из публичных мест.

Помимо различных новостей о взломе IoT и исследований, актуальный список угроз для различных «конечных» устройств можно увидеть в OWASP Top 10 [4], который, хоть и опубликован в 2018 году, но не теряет своей актуальности на текущий момент.

Перед тем как переходить к рассмотрению Active Data технологии, сначала определимся, какие устройства будем защищать, так как конечные устройства, в зависимости от контекста и/или пользователя, могут быть как «умные лампочки» с использованием “bare metal” прошивки, так и полноценный компьютеры, вычислительная мощность которых превосходит в десятки раз микроконтроллеры. Рисунок 2 как раз демонстрирует все многообразие «конечных устройств»:

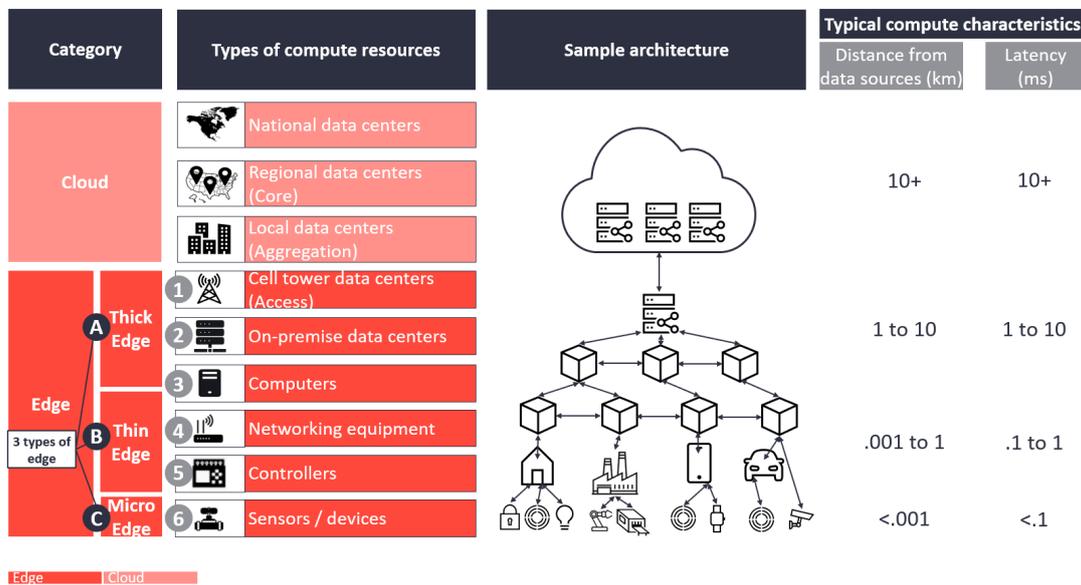


Рис. 2. Разнообразие оконечных устройств в зависимости от «типа» пользователя [5]

Как видно из рисунка 2, для сотовых операторов «конечное устройство» будет представлено базовой станцией, в то время как для пользователя конечным устройством будет являться «умная лампочка» или «умный датчик движения». Основная отличительная особенность – «конечные устройства» сотовых операторов обладают значительной вычислительной мощностью и возможностью работать под той или иной операционной системой.

Наше исследование фокусируется на улучшении конфиденциальности при обмене данными между конечными устройствами (так называемые EDGE устройства) и различными роутерами и шлюзами (так называемые Fog Computing устройства).

Одним из рассматриваемых подходов для решения задачи обеспечения информационной безопасности устройств FC является технология Active Data (AD), обеспечивающая повышение уровня конфиденциальности информации при общении между туманными вычислителями. Основная идея данной технологии заключается в том, что устройство получает некоторый объем данных и безопасно исполняет код, представленный в этих данных. Основой исполнения подобного рода кода являются виртуальные машины. Данный подход рассматривается в [6] и [7].

Однако ключевой трудностью являются ограниченные ресурсы конечных устройств. Если gateway/router работают под управлением Linux, то конечные устройства имеют baremetal firmware и/или в лучшем случае ту или иную разновидность embedded RTOS, для которой уже не применимы стандартные возможности (например, iptables).

На данный момент прорабатывается вариант создания урезанной по функциональности виртуальной машины посредством языка «C». Это позволит использовать виртуальную машину на различных архитектурах. Также разработан алгоритм установления безопасного соединения между двумя узлами. Общая схема алгоритма представлена на рисунке 3:

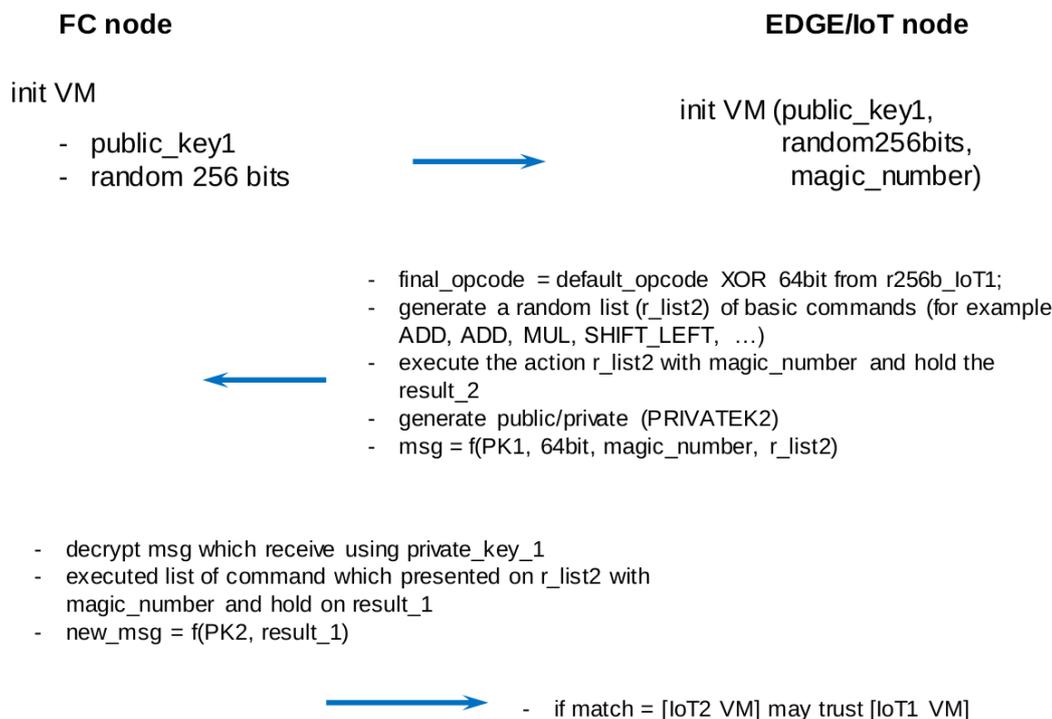


Рис. 3. Схема установления безопасного соединения с помощью технологии Active Data

Основные шаги:

1. На устройстве номер 1 происходит инициализация виртуальной машины. В ходе инициализации генерируются приватный и публичный ключ внутри самой виртуальной машины.
2. Публичный ключ и произвольные 256 бит данных по открытым каналам передаются на второе устройство.
3. На втором устройстве происходит инициализация виртуальной машины, но на вход поступают публичный ключ от первого устройства, произвольные 256 бит, а также некое произвольное число (magic\_number), которое было сгенерировано вторым устройством.
4. В ходе инициализации виртуальной машины на втором устройстве финальные опкоды команд генерируются через операцию XOR со случайными 64 битами, полученными от устройства 1.
5. Также генерируется случайный список базовых команд, таких как «добавить», «сложить», «умножить», ..., а также выполнение этих команд с magic\_number и последующим сохранение результата внутри виртуальной машины.
6. Выполняются арифметические действия из этого списка со случайным числом, которое передавалось как аргумент при инициализации виртуальной машины.
7. Генерируется связка приватный/публичный ключ для виртуальной машины, запущенной на втором устройстве.

8. Внутри виртуальной машины происходит шифрование сообщения с помощью публичного ключа, полученного от первого устройства. В сообщение входит `magic_number`, список команд, полученных на пятом шаге, а также выбранные 64 бита, которые использовались для формирования финальных опкодов из шага 4, публичный ключ сгенерированный на шаге 7.
9. Сформированное сообщение из шага 8 передается на первое устройство.
10. На первом устройстве внутри виртуальной машины происходит расшифровка сообщения. Извлекаются 64 произвольных бита и осуществляется динамическая смена опкодов, аналогичная шагу 4.
11. Происходит выполнение списка команд с `magic_number`. Результат выполнения шифруется с помощью публичного ключа от второго устройства.
12. Полученное зашифрованное сообщение из шага 11 отправляется на устройство 2.
13. Внутри виртуальной машины на втором устройстве происходит расшифровка и сравнение результата с результатом, полученным на пятом шаге.
14. Если значения совпадают, считается, что виртуальная машина, запущенная на втором устройстве, может доверять виртуальной машине, запущенной на первом устройстве.

Дальнейшее развитие работы – реализация озвученного выше алгоритма. Оценка быстродействия, а также потребляемые ресурсы (RAM, flash) для реализации данной технологии.

### Литература

1. Gartner Identifies Top 10 Strategic IoT Technologies and Trends / Gartner [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-11-07-gartner-identifies-top-10-strategic-iot-technologies-and-trends> (дата обращения: 05.05.2021).
2. Pwn the LIFX Mini white / LimitedResults [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://limitedresults.com/2019/01/pwn-the-lifx-mini-white/> (дата обращения: 05.05.2021).
3. BMS is destroyed by "smart button" / Egor Litvinov [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hackinparis.com/archives/2019/#talk-2019-bms-is-destroyed-by-smart-button> (дата обращения: 05.05.2021).
4. OWASP Top 10 Internet of Things 2018 / OWASP [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://owasp.org/www-pdf-archive/OWASP-IoT-Top-10-2018-final.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
5. IoT edge computing – what it is and how it is becoming more intelligent / Matthew Wopata [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iot-analytics.com/iot-edge-computing-what-it-is-and-how-it-is-becoming-more-intelligent/> (дата обращения: 05.05.2021).
6. Abduljaleel Al-Hasnawi, Ahmed Al-Gburi. Protecting sensitive data in IoT using active data bundles // Researchgate.net Ноябрь 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/332403317\\_PROTECTING\\_SENSITIVE\\_DATA\\_IN\\_IOT\\_USING\\_ACTIVE\\_DATA\\_BUNDLES](https://www.researchgate.net/publication/332403317_PROTECTING_SENSITIVE_DATA_IN_IOT_USING_ACTIVE_DATA_BUNDLES) (дата обращения: 05.05.2021).
7. Viktor V Alexandrov, Sergey Kuleshov, Alexandra Zaytseva // Researchgate.net December 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/299861092\\_Active\\_Data\\_in\\_Digital\\_Software\\_Defined\\_Systems\\_Based\\_on\\_SEMS\\_Structures](https://www.researchgate.net/publication/299861092_Active_Data_in_Digital_Software_Defined_Systems_Based_on_SEMS_Structures) (дата обращения: 05.05.2021).

УДК 004.91

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
АДАПТАЦИИ УЗКОСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТОВ К ПОНЯТИЙНОМУ РЯДУ  
НЕКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

**Машина Е.А.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Работа посвящена обоснованию выбора набора технологических решений, позволяющих начать работы по созданию системы двунаправленного автоматизированного перевода специализированных текстов для нужд неквалифицированных читателей, производящийся внутри одного языка.

**Ключевые слова:** перевод, основанный на правилах, ЕВМТ-системы, технология Translation Memory, точность перевода, семантический анализ текста.

Наблюдаемые сегодня преобразования, связанные с очередной научно-технической революцией, неуклонно приводят к расширению понятийного ряда практически всех отраслей знаний, науки и технологий, которые не успевают естественным образом интегрироваться в каждодневные языки общения. Поэтому сегодня стремительно нарастает разрыв между семантикой специализированных и «каждодневных» языков, повсеместно приводящий к «непонятности» профессиональных (или около профессиональных) текстов для широкой аудитории [1].

Развитие науки и техники, выпускающее на рынок все более технологичные, а значит, и более сложные образцы «пользовательских решений», неуклонно приводит к тому, что детальное описание их функционирования все более усложняется для понимания конечного пользователя, что влечет за собой неправильное толкование им разнообразных «пользовательских инструкций», что, в свою очередь, приводит к хроническому нежеланию пользователей детально знакомиться с подготовленными для них материалами, что ведет к неполному использованию возможностей предложенных средств или даже к ошибкам эксплуатации [2].

Вместе с тем, открытость информационных ресурсов и высокопроизводительные средства телекоммуникации открывают конечным пользователям практически неограниченный доступ к узкоспециализированным текстам, которые дополнительно могут расширить знания непрофессиональных реципиентов об объекте из информационного интереса. Однако и в этом случае отсутствие необходимой квалификации в ситуативно-интересующей предметной области не позволяет пользователю в полном объеме воспринять необходимую информацию.

В связи с этим актуальной видится задача создания автоматизированных механизмов адаптации профессиональных информационных ресурсов для непрофессиональных пользователей, фактически сводящейся к созданию своеобразных переводчиков «с профессионального на быденный». Причем, следует иметь в виду, что наличие и обратного преобразования в подобной инструментарию тоже кажется желательным, в том числе и для повышения адекватности обработки пользовательских запросов.

В настоящее время задача поддержки непрофессионального пользователя в освоении им узкоспециализированных текстов в большинстве случаев решается, как и в предыдущие годы, путем использования многочисленных интерактивных словарей специальных терминов или разнообразных справочников [3], что не может быть признано удовлетворительным, учитывая современную степень развития полностью автоматизированных средств лингвистического перевода. Таким образом, ставится задача построения средства автоматической трансформации специализированных текстов для непрофессионалов внутри одного языка «на лету».

На первый взгляд кажется, что решение задачи создания так называемой «вавилонской Золотой рыбки» для перевода профессиональных текстов на язык непрофессионалов, проходящее фактически внутри одного языка, не так сложна, как создание переводчика между различными языками, имеющими порой совершенно иную структуру построения сообщений, и при ее решении можно воспользоваться лишь стандартными алгоритмами «интерлингвистических» переводчиков. Однако существует ряд причин, не позволяющих эффективно использовать технологии межязыкового автоматического перевода для адаптации специализированных текстов для нужд непрофессионалов, проводимой внутри одного языка, в первую очередь из-за повышенных требований к однозначности перевода и частому отсутствию в каждомдневном непрофессиональном языке узкоспециальных терминов, смысл которых требуется дополнительно разъяснять неквалифицированному читателю.

Совершенно очевидно, что в ближайшее время в связи с существенными различиями в структуре понятийных систем различных отраслей знания ожидать создания универсального решения для адаптации узко-специализированных текстов практически невозможно. Однако при создании подобных систем перевода все же представляется целесообразным необходимо использовать наиболее универсальные решения, позволяющие создать ограниченное число таких профессиональных трансляторов внутри одного языка.

Для этого есть смысл обратиться к опыту отраслей знаний, уже на протяжении длительного периода разрабатывающих практически все способы перевода «с профессионального на быденный» и «обратно» [4, 5].

Анализ развития современных систем машинного перевода показывает, что, воспользовавшись существующими наиболее производительными мировыми наработками, возможно достаточно быстро создать такое средство адаптации профессиональных текстов, основываясь на широко используемых сегодня методах глубокого обучения, которые позволяют выстраивать варианты перевода на основе уже полученных данных) [6].

Однако прямое использование описанных выше методов перевода (лежащих в основе большинства современных автоматизированных переводчиков) практически неприменимо в случае переводов «с профессионального» на «каждодневный неквалифицированный», поскольку на сегодняшний день повсеместно отсутствуют систематизированные «зеркальные базы текстов» достаточного объема, на которых возможно проведение обучения нейросетей. При этом известно, при небольших объемах сопоставимой информации говорить о правильности и устойчивости перевода, построенного на методах глубокого обучения, практически невозможно [7]. И это практически закрывает возможности использования методов обучения для построения систем адаптации узкоспециализированных текстов для неквалифицированных пользователей, т.к. основными требованиями к подобному переводу являются его точность и однозначность [2]).

В связи с этим ставится задача определения иного подхода к построению автоматизированной системы адаптации специализированного медицинского контента. В связи с чем предлагается воспользоваться возможностями трансфера технологий перевода из отраслей, где также определяющим являются точность и однозначность преобразований терминов и языковых структур, сочетающаяся с постоянным расширением знаний и обновляющемся словарном запасе.

Выбирая общую технологию автоматической адаптации профессионального контента для нужд непрофессионального пользователя, следует обратить внимание на то, что узкоспециализированные тексты хорошо структурированы, а использующиеся в них термины и описания действий большей частью стандартизованы в специализированные цепочки действий, часто называемые протоколами [8].

В связи с этим представляется целесообразным в первом приближении за основу технологии построения машинного перевода (с медицинского на каждыйдневный) взять Машинный Перевод на Примерах — Example-based Machine Translation (ЕВМТ) [9].

Причем следует отметить, что отдельные фрагменты алгоритмов перевода, основанного на примерах, (правда, в неавтоматическом режиме) уже давно и достаточно успешно

применяются в узкоспециализированных системах перевода отраслей знания, накладывающих на перевод особые требования к точности и однозначности [10, 11].

Результативность предлагаемой к использованию для адаптации узкоспециализированных текстов технологии перевода ЕВМТ большей частью обуславливается тем, что она, с одной стороны, не требует обширных баз данных «зеркальных текстов», необходимых для обучения, с другой стороны, не требует делать и глубокий лингвистический анализ, необходимый для создания систем перевода, основанных на правилах.

При ЕВМТ предложения переводимого (адаптированного) текста разбиваются на определённые фразы, затем происходит перевод этих простейших фраз с учетом уже накопленного ранее опыта перевода. А после этого из этих фраз-фрагментов строится окончательный перевод предложения [12].

При этом предполагаемая для построения систем перевода профессиональных текстов технология ЕВМТ позволяет не проводить предварительное выстраивание всеобъемлющей системы правил и исключений, необходимых для построения фраз, а использование фрагментов текстов, имеющих аналоги на языке, на который требуется перевод. Это позволяет говорить о ее универсальности для различных отраслей знания.

Еще одним механизмом, призванным повысить производительность создаваемого решения для адаптации узкоспециализированного контента, основанного на методах и алгоритмах ЕВМТ является технология Translation Memory (ТМ), повышающая скорость перевода за счет уменьшения объема проводимой работы при переводе повторяющихся фрагментов текстов [13].

При этом повышение производительности перевода обуславливается тем, что механизм ТМ базируется на сравнении фрагмента документа, подлежащего переводу, с данными, хранящимися в предварительно созданной базе переводов. И в общем массиве текста система находит сегменты, которые уже были однажды переведены, и выбирает для текущего использования максимально похожие переводы из базы уже осуществленных переводов Translation Memory.

Таким образом, на основе знаний о предыдущих успешных переводах системой создается собственный специализированный словарь перевода фрагментов текста и терминов, постепенно дополняющий предварительно подгруженные словари терминов и соответствий, составленные независимо от опыта использования системы.

Таким образом, применение технологии Translation Memory сильно упрощает механизмы «дообучения» системы перевода, фактически сводя их к подключению дополнительных словарей, создаваемых, в том числе, и на основе предыдущих успешных переводов.

Однако следует иметь в виду, что сравнительная простота реализации системы перевода, основанного на технологии ЕВМТ, обуславливает одну существенную особенность технологии, которую необходимо учитывать в областях, где определяющими требованиями к системе перевода являются точность и однозначность.

Для преодоления многозначности слов сегодня существует два основных направления, которые можно обозначить как «поверхностные» и «глубокие» подходы. Поверхностные подходы не предполагают знания семантики текста. Они просто применяют статистические методы к элементам текста, окружающим многозначное слово.

Глубокие подходы предполагают всестороннее знание оттенков значения слова, которые достаточно трудно использовать в сочетании с технологией ЕВМТ, поэтому представляется, что использование поверхностных подходов, основанных на статистике, для преодоления неоднозначности слов будет более предпочтительным для систем специализированного профессионального перевода, осуществляемого внутри одного языка [14].

Еще одной серьезной проблемой создания двунаправленной системы перевода между профессиональной и непрофессиональной языковой средой является задача перевода нестандартных слов и нестандартной речи вообще. Это может вызывать определенные при

перевод с местного источника или на разговорный язык. Понятно, что существующая проблема «нестандартных форм» практически не характерна для профессиональных и узкоспециализированных текстов, поскольку при их создании либо изначально пытаются избегать «нетривиальных» словоформ или терминов, либо в самом тексте содержатся все необходимые пояснения. Сложности же, накладываемые на перевод повседневной речи, которые создают проблемы при использовании машинного перевода запросов неквалифицированных пользователей в создаваемой системе перевода, будут решены введением в систему «ботов», уточняющих у пользователя значения вновь встретившихся слов. При этом полученное толкование вновь встретившегося «непрофессионального слова» будет для облегчения дальнейшей работы закрепляться в специализированном персональном разделе словаря «разговорных терминов», связанных с конкретным непрофессиональным пользователем системы [15].

Еще одной существенной проблемой, которую технологически необходимо решать при создании систем двунаправленных систем перевода узкопрофессиональных текстов на язык неквалифицированных пользователей является перевод так называемых именованных сущностей, которые представляют собой реальные объекты, которые могут быть названы собственным именем. При этом именованные объекты должны быть специально идентифицированы в тексте; так как в противном случае они могут быть ошибочно переведены как нарицательные [16].

С переводом именованных сущностей связана еще одна существенная проблема узкоспециализированных текстов на непрофессиональный, связанная с транслитерацией множества специализированных терминов, использующихся в профессиональных текстах. При этом следует отметить, что к настоящему времени создано достаточно большое количество подходов, связанных с решением проблемы транслитерации при переводе, применяемых в специализированных отраслях знания [17].

Перечисленные выше проблемы «смысловой точности перевода» при применении систем перевода специализированных текстов, основанных на примерах, несколько усложняются тем, что системы перевода, основанные на ЕВМТ технологии, не предусматривают проведение семантического анализа результирующего текста. В связи с чем без проведения дополнительных верификационных процедур, доверять результату перевода можно лишь с заданной степенью вероятности.

Поэтому, чтобы обеспечить необходимое качество перевода при использовании технологии ЕВМТ, в систему необходимо дополнительно вводить специализированные механизмы верификации получаемого результата, с целью оценки допустимости качества полученного результата перевода. При этом одним из вариантов такой автоматической проверки может стать метод регулируемого изменения объемов словаря фраз и понятий, доступного для создаваемого автоматического переводчика. Сравнительная оценка устойчивости получаемого результата к объему предоставляемого словаря будет говорить о качестве перевода. В настоящее время подобная система находится в состоянии разработки.

Из приведенного материала можно сделать вывод о том, что для построения двунаправленных систем автоматического перевода узкоспециализированного текста на язык неквалифицированных читателей наиболее подходит технология перевода, основанная на примерах. Ужесточение требований по точности и однозначности такого перевода приводит к необходимости расширения функциональности переводчика, основанного на примерах, целым рядом специализированных функций, по большей части обеспечивающих точность перевода отдельных понятий, при этом системе перевода необходим специализированный механизм верификации получаемого результата, который предлагается создавать на основе метода регулируемого изменения объемов словарей.

Наиболее перспективным направлением внедрения подобных систем автоматической генерации адаптированного для неквалифицированного пользователя узкоспециализированного контента является телемедицина в той ее части, которая относится к созданию пациенто-ориентированных информационных систем [18].

## Литература

1. Казакова, Т.А. Практические основы перевода. English - Russian / Т.А. Казакова. - М.: СПб: Союз., 2005. 320 с.
2. Судовцев, В.А. Научно-техническая информация и перевод / В.А. Судовцев. - М.: Высшая школа. 1989. 232 с.
3. Пумпянский, А.Л. Чтение и перевод английской научной и технической литературы / А.Л. Пумпянский. - М.: Академии наук СССР. 1961. 448 с.
4. Рецкер, Я.И. Теория перевода и переводческая практика. Очерки лингвистической теории перевода / Я.И. Рецкер. - М.: Р.Валент. 2004. 240 с.
5. Чернов, Г.В. Основы синхронного перевода / Г.В. Чернов. - М.: Высшая школа. 1987. 256 с.
6. Машина Е.А., Баркалов М.М. Возможности использования методов машинного обучения для анализа массивов фактографических данных, генерируемых при использовании пациенто-ориентированных телемедицинских систем // Сборник трудов VIII конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-19 апреля 2019г.). 2019. Т. 3. С. 260-263.
7. Rosch, E. H. Cognitive Representations of Semantic Categories // Journal of Experimental Psychology: General. 1975. Vol. 104. № 3, p. 192– 233.
8. Машина, Е.А., Нелепко, Н.Н. Структура и источники специализированных данных системы информационной поддержки муниципальных волонтеров, оказывающих доврачебную медицинскую помощь // Сборник трудов VIII конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-19 апреля 2019г.). 2019. Т. 3. С.267-270.
9. Somers, H. Example-based Machine Translation // Machine Translation. 1999. № 14, p. 113-157.
10. Борисов, В.В. Аббревиация и акронимия. Военные и научно-технические сокращения в иностранных языках / В.В. Борисов; под ред. А.Д. Швейцера. - М: Военное издательство. 2004. 320 с.
11. Брандес, М.П. Переводческая стилистика / М.П. Брандес. - М.: Высшая школа. 1988. 127 с.
12. H. Somers, "Review article: Example-based Machine Translation," Machine Translation, no. 14. 1999. pp. 113-157.
13. Федоров, А.В. Основы общей теории перевода. Лингвистические проблемы / А.В. Федоров. - М.: Филология три. 2002. 416 с.
14. Kit C., Pan H., Webster J. J. Example-based Machine Translation: A New Paradigm // Translation and Information Technology / S.W. Chan (ed.) -Hong Kong: Chinese University of Hong Kong. 2002. p. 57-78.
15. Аликина, Е.В. Переводческая семантография. Запись при устном переводе / Е.В. Аликина. - М.: АСТ. 2007. 156 с.
16. Влахов, С.И. Непереводимое в переводе / С.И. Влахов, С.П. Флорин. - М.: Р.Валент; Издание 4-е. 2009. 360 с.
17. Судовцев, В.А. Научно-техническая информация и перевод / В.А. Судовцев. - М.: Высшая школа. 1989. 232 с.
18. Машина Е.А. Особенности создания пациенто-ориентированных телемедицинских систем // Сборник трудов VIII конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 15-19 апреля 2019г.). 2019. Т. 3. С.256-259.

УДК 004.93, 631.4

**ПОСТРОЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ПАХОТНОГО  
ГОРИЗОНТА**

**Машина Е.А.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В настоящей статье описывается методика, позволяющая в автоматизированном режиме обрабатывать фотоизображения почвенного среза с целью определения типа пахотного горизонта.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, фото-детекция, convolutional neural network (CNN), почвоведение, земледелие.

В зоне рискованного земледелия, к которой относится существенная часть европейской территории Российской Федерации, на повышение сельскохозяйственной продуктивности почв большое значение имеет правильный выбор алгоритма культивации почв, в свою очередь однозначно определяемый типом пахотного горизонта [1].

В условиях средних и крупных аграрных для определения типа пахотного горизонта применяется большое количество комплексных лабораторных исследований [2], которые практически недоступны для небольших индивидуальных хозяйств, к числу которых относятся приусадебные и дачные хозяйства, собственники которых вынуждены самостоятельно по косвенным признакам определять характер возделываемых почв для принятия дальнейших решений по выбору дальнейших приемов их культивации, используя достаточно эффективные косвенные методы определения типа пахотных горизонтов [3].

Одним из таких косвенных методов определения типа почвенного горизонта (описывающим по косвенным признакам его минералогические, химические и агрохимические характеристики), является метод фито-индикации почвы, сводящийся к определению природных трав, произрастающих на исследуемой почве, анализируя состав которых, возможно с достаточно высокой точностью определить тип почвы [4]. Например, если растительный покров на исследуемом участке разрежен, то можно говорить о низком естественном плодородии. Высокая же и густая растительность будет свидетельствовать о насыщенности почвы питательными веществами [5]. При этом мох, осока, хвощ и щавель укажут на кислую почву, а мать-и-мачеха, клевер, сныть и крапива будут являться признаком нейтральной реакции почвы. Произрастание лебеды и горчицы полевой характерно для слабощелочных почв [6].

Таким образом, ставится задача путем анализа фотоизображений произрастающей на исследуемом участке растительности определить степень плодородия почвы и ее кислотность.

Разработанный метод автоматизированной фито-индикации строится на основе обработки элементов фотографических изображений с использованием методов машинного обучения, основанных на использовании производительного алгоритма сверточной нейросети (convolutional neural network, CNN), использующих некоторые аналогии зрительной коры головного мозга и входящих в состав технологий глубокого обучения [7].

Сверточные нейронные сети (CNN) состоят из нескольких слоев вычислительных нейронов, фактически представляющих собой математические функции, которые вычисляют взвешенную сумму нескольких входов и выдают значение активации.

При загрузке значений пикселей искусственные нейроны CNN выделяют их различные визуальные особенности.

При вводе анализируемого изображения в сверточную нейросеть (CNN) каждый из его слоев генерирует несколько карт активации, которые выделяют соответствующие особенности изображения. Причем каждый из вычислительных нейронов принимает в качестве входных данных фрагмент пикселей, умножает их значения цвета на свои веса, суммирует их, после чего «прогоняет» получившийся результат через функцию активации.

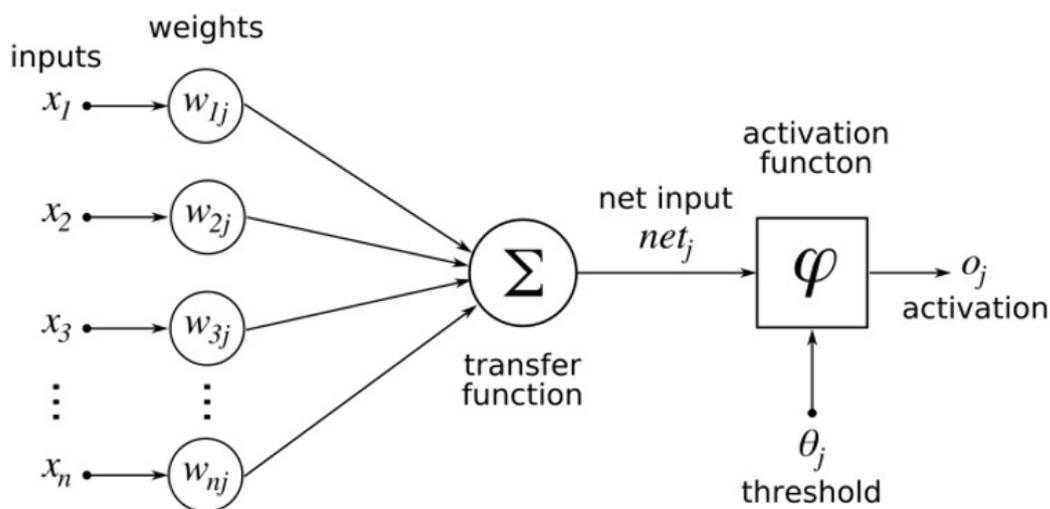


Рис. 1. Схема сверточной нейронной сети, использованной при создании алгоритма обработки изображений в автоматизированном методе фито-индикации типа почвенного горизонта

При этом первый (или нижний) уровень CNN обнаруживает основные особенности, такие как горизонтальные, вертикальные и диагональные края. Выходные данные первого слоя используются в качестве входных данных для следующего слоя, который извлекает более сложные элементы, такие как углы и комбинации кромок.

По мере того, как происходит углубление в расчетную модель сверточной нейронной сети, слои начинают обнаруживать высокоуровневые функции, такие как отдельные объекты, стебли, листья, соцветия и так далее. Таким образом, каждый слой нейронной сети будет извлекать определенные функции из входного изображения [8].

Операция умножения значений пикселей на их «веса» с последующим суммированием называется «сверткой». CNN обычно состоит из нескольких сверточных слоев, при этом последний уровень CNN – это уровень классификации, который принимает выходные данные последнего сверточного слоя в качестве входных данных.

На основе карты активации последнего сверточного слоя классификационный слой выводит набор оценок достоверности (значения от 0 до 1), которые определяют, насколько вероятно, что изображение принадлежит к «классу». Таким образом возможно построить нейросеть, определяющую вероятность того, что входное изображение содержит какое-либо из референтных изображений растений, используемых в методе фито-индикации, что, в свою очередь, позволяет определить класс почвы, на которой они произрастают.

Одна из серьезных задач, решаемых при разработке CNN для окончательной реализации создаваемого метода фито-индикации – это регулировка веса отдельных нейронов для извлечения нужных характеристик из изображений, называемый «обучением» нейронной сети.

Процесс обучения начинался со случайных весов. Во время обучения создаваемой нейросети был предоставлен большой набор данных изображений, аннотированных соответствующими референтными классами растений, используемых для фито-индикации типов почв. В качестве референтных изображений растений, используемых в создаваемом методе автоматизированной фито-индикации почвы, используются маркированные фотоизображения характерных для каждого вида почв растений [6].

По ряду образов не удалось набрать необходимое количество изображений, поэтому пришлось использовать методы расширения референтной базы, а именно: технологию перемешивания примеров горизонтального поворота и метод деформации изображений [9].

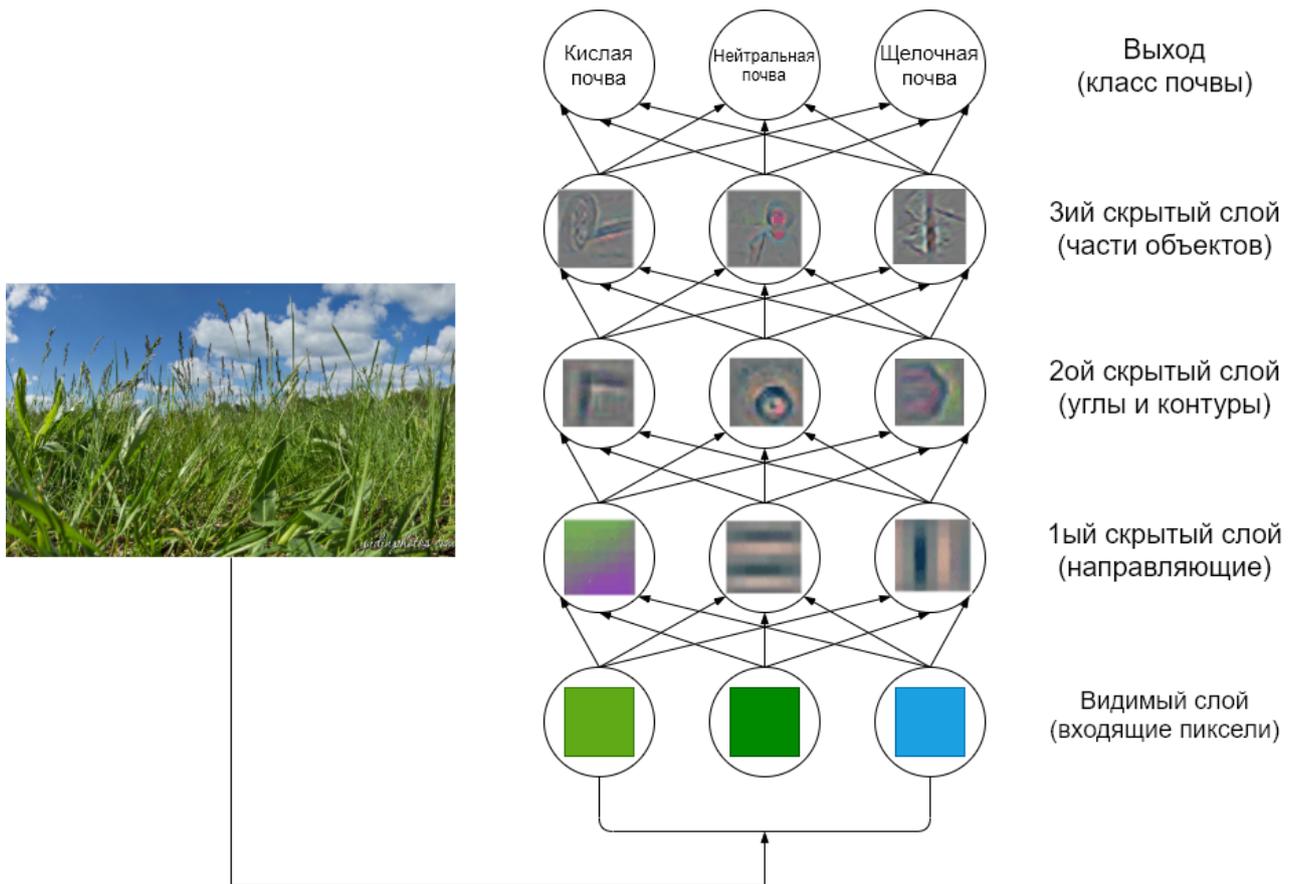


Рис. 2. Принципиальная схема обработки изображения при определении типа пахотного горизонта методом фито-индикации

На первом этапе обучения создаваемая нейросеть обрабатывала каждое случайное изображение, а затем сравнивает его вывод с правильной меткой изображения. Если выходные данные сети не соответствовали метке, то проводилась корректировка весов нейронов с тем, чтобы в следующий раз, при предъявлении того же изображения, «выход» был бы несколько ближе к правильному ответу. При этом исправления производились с помощью метода, называемого обратным распространением (backprop).

После последовательного проведения нескольких эпох обучения сети на всем объеме имеющихся референтных данных (15600 образов) удалось добиться «сходимости» сети, что означает, что процесс распознавания образов растительности стал настолько хорошим, насколько это возможно.

После проведенного предварительного обучения CNN были проведены тестовые испытания сети на тестовом наборе данных, которые не были частью процесса обучения. Верификация алгоритма в натуральных условиях полигона факультета почвоведения МГУ в поселке Чашкино Московской области.

В целом предварительные натурные испытания автоматизированной системы распознавания результатов косвенных определений типов почвенных горизонтов исключительно с использованием методов распознавания графических изображений на реальных тестовых примерах показали высокую эффективность при определении типа пахотного горизонта по косвенным признакам с использованием метода фито-индикации.

Анализ полученных результатов показал, что полученная с помощью описанного выше метода информация о типе пахотного горизонта позволяет обоснованно принять решение о выборе оптимального вида культивации почвы [2].

По результатам проведенных работ могут быть сделаны выводы о том, что для определения типа пахотного горизонта в условиях «любительского земледелия» возможно

использовать косвенные методы оценки фито-индикации с использованием анализа фотоизображений, производимого с применением методов машинного обучения.

Результаты приведенных в настоящей работе работ будут использованы при создании линейки программных продуктов «SmartHomeAgro», предназначенных для информационной поддержки самодеятельных земледельцев.

### Литература

1. Костычев П. А. Почвоведение / П. А. Костычев; под ред. В. Р. Вильямса. М.: Издательство Юрайт. 2019. 315 с.
2. Валько, В. П., А. В. Щур. Особенности биотехнологического земледелия / В.П. Валько, А. В. Щур; М-во сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, УО "Белорусский государственный аграрный технический университет". Минск: БГАТУ. 2011. 192 с.
3. Милановский, Е. Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобногидрофильные соединения / Е. Ю. Милановский. Москва: ГЕОС. 2009. 186 с.
4. Литвинович, А. В. Изменение содержания и состава гумуса дерновоподзолистых почв в процессе мелиоративного освоения и перехода от пашни к лесу: монография / А. В. Литвинович, И.А. Плылова, О. Ю. Павлова; Рос. акад. с.-х. наук, Агрофиз. НИИ Россельхозакад. - Санкт-Петербург, Пушкин. 2012. 91 с.
5. Добровольский, В. В. Избранные труды. Т. 2. Геохимия почв и ландшафтов / В.В. Добровольский. Москва: Научный мир. 2009. 752 с.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ. 2003. 216 с.
7. Sutskever I., Martens J., Dahl G., Hinton G. On the importance of initialization and momentum in deep learning. J. of Machine Learning Research. 2013. V. 28, No. 3. pp. 1139–1147.
8. Efitorov A., Dolenko T., Burikov S., Laptinskiy K., Dolenko S. Study of Efficiency of Dividing the Problem Space as a Means to Improve Solution of Multi-parameter Inverse Problem by Adaptive Methods. Procedia Computer Science. 2018. V.123. pp.122-127.
9. Селянкин В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений: учебное пособие / В.В. Селянкин //С-Пб: Лань. 2019. 152с.

УДК 004.4

## СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С НОСИМЫХ УМНЫХ УСТРОЙСТВ

Меинов А.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., проф. Бессмертный И.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В данной работе рассмотрен начальный этап в проектировании модели опорно-двигательного аппарата человека по неполным данным о положении тела в пространстве. Данная модель предназначена для сбора данных о движении человека и диагностики отклонений от нормы движений и отслеживании динамики прогресса.

**Ключевые слова:** опорно-двигательный аппарат, математическая модель, калибровка системы, фитнес браслет, акселерометр, гироскоп, декартовая система координат.

В современном мире построение и моделирование опорно-двигательного аппарата человека на основе сбора данных о движениях является главным вопросом уже несколько лет.

На текущий момент нет устройств, которые могли бы непрерывно проводить мониторинг состояния опорно-двигательного аппарата человека, поэтому появилась необходимость отслеживания тех или иных отклонений в движении. Отклонения могут отрицательно сказываться на здоровье человека, например, проблема со спиной при направленной осанке. Проведение диагностики опорно-двигательного аппарата будет осуществляться по заранее заложенным траекториям. Человек должен будет повторить определенные движения, при которых система сможет определить отклонения от нормы.

В дальнейшем планируется добавить непрерывный мониторинг состояния опорно-двигательного аппарата и рекомендаций в систему, которые не позволят усугубить состояние здоровья. Также эта система поможет людям, ведущим активный образ жизни, отслеживать свое состояние здоровья.

Пока существуют алгоритмы, которые лишь угадывают, какой физической активностью в данный момент занимается человек, например, спокойная ходьба или бег с ограниченным набором физических упражнений. Помимо этого, существует множество возможностей смоделировать движение человека при помощи веб камер и технологий на их базе с функцией захвата движений, такие технологии применяются в киноиндустрии.

В отличие от электромеханических движений, опорно-двигательный аппарат человека вводит новый класс многокомпонентной системы, в котором есть составные компоненты, такие как кости, которые соединены с помощью суставов. Свободно подвижные суставы человека выполняют множество различных функций, суставы обладают сложным строением по сравнению с простейшими суставами [1]. Механические движения не могут точно фиксировать кинематику и динамику костно-мышечной системы, поэтому стоит рассматривать модель с упрощенными соединениями суставных поверхностей, а также без учета всех факторов, влияющих на стабильность сустава (суставные капсулы). Но такие системы и движения сложно смоделировать с физическими и анатомическими изменениями, так как есть различия, которые происходят из-за уникальной структуры суставов человека, традиционные смоделированные соединения не могут точно фиксировать кинематику и динамику костно-мышечной системы [2].

В исследовании используются два фитнес браслета от компании Xiaomi, моделей MI Band третьего и пятого поколения. Данные устройства имеют малый вес и размер, а также имеют низкую рыночную стоимость по сравнению с другими аналогами, подробные характеристики браслетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики фитнес браслетов

	Xiaomi Mi Band 3	Xiaomi Mi Band 5
Экран	OLED, сенсорный, монохромный, 0.78", 128x80	OLED, сенсорный, цветной, 1.1", 294x120
Защита от воды	да, 5 атм	да, 5 атм
Датчики	Акселерометр, гироскоп, датчик сердечного ритма	Акселерометр, гироскоп, датчик сердечного ритма, барометр
Микрофон и динамик	нет	нет
Аккумулятор	110 мА*ч	125 мА*ч
Масса	20	23 г
Время работы с постоянной работой акселерометра, гироскопа и при синхронизацией данных по Bluetooth	17 дней	8 дней

Данные с устройств передаются по беспроводной связи Bluetooth. Полученные данные уже имеют первичную фильтрацию и формат, который можно разложить на три значения по осям X, Y, Z, с возможностью спроецировать на трехмерную плоскость декартовой системы координат. На рисунке 1 показаны данные, полученные с акселерометра и смоделированные в программе Matlab, где красная линия — это движения руки по оси X, желтая – по оси Y и синяя линия показывает движение по оси Z [3].

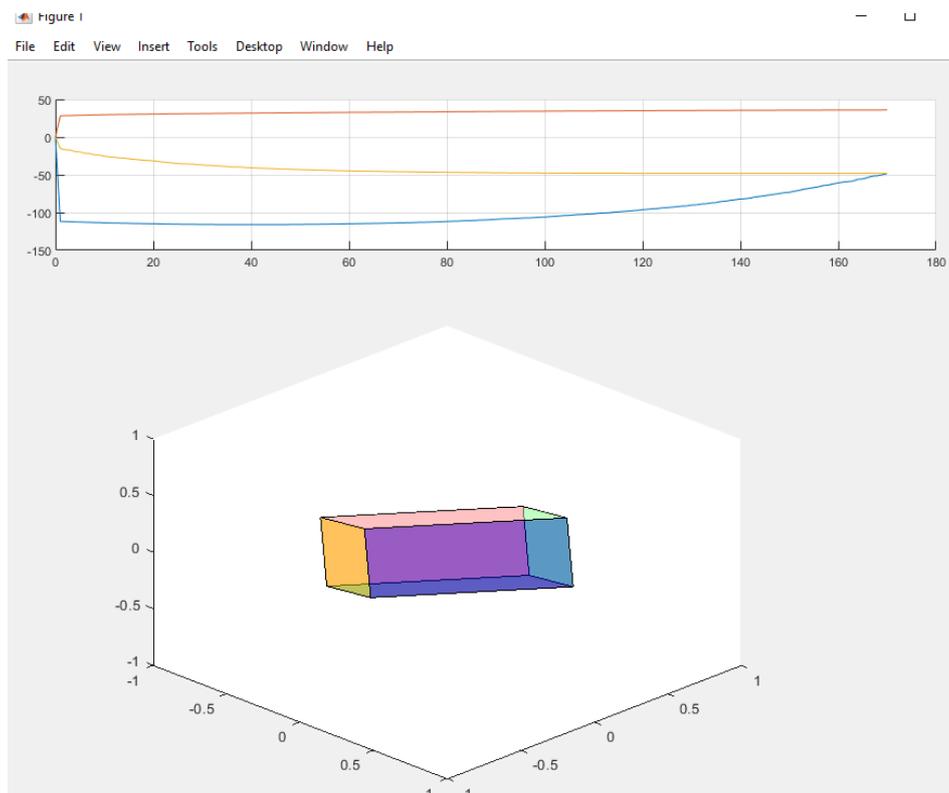


Рис. 1. Данные с акселерометра фитнес браслета

Модель опорно-двигательного аппарата представляет из себя набор точек в трехмерном пространстве, соединённых между собой. Каждая отмеченная точка на модели представляет собой координату, соответствующую опорной точке, например, локоть или бедро (рис. 2).

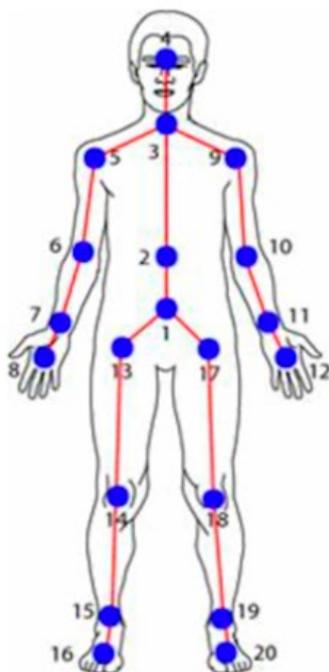


Рис. 2. Пример расположения опорных точек для моделирования опорно-двигательного аппарата

Первая версия экспериментальной модели опорно-двигательной системы строится на основе двух датчиков, которые расположены на запястье левой и правой руки, эти данные являются начальными опорными точками.

Начальным этапом для получения данных служит первичная калибровка датчиков относительно тела человека в трехмерной системе координат для определения положений рук в пространстве. Человек находится стоя с опущенными вниз руками вдоль тела, затем поднимает руку в сторону на 90 градусов и на 180 градусов вверх. Следующий этап калибровки проводится из исходного положения, рука внизу вдоль тела, руку необходимо поднять вперед на 90 градусов и на 180 градусов вверх. Из полученных результатов калибровки возможно определить вторую опорную точку – плечо. Далее пошагово определяются следующие опорные точки, которые находятся на плечах, локтях, позвоночнике и так далее, так строится первичная математическая модель, которая рассчитывается на том, что тело человека имеет определенные пропорции.

Данные результаты исследования позволят создать модель опорно-двигательного аппарата человека. Если применить к данной модели методы машинного обучения с учителем (когда дополнительные браслеты крепятся к локтям и коленям), то появляется возможность смоделировать более точные движения человека, а также проанализировать и сравнить здоровые и полноценные движения с движениями, которые имеют отклонения.

### Литература

1. Hossein E., Mohammad P., Mostafa R., Azin M., Mohamad P., Kinda K., « Efficient embedding of empirically-derived constraints in the ODE formulation of multibody systems: Application to the human body musculoskeletal system» // Mechanism and Machine Theory. 2019. P. 673–690.
2. Srinivasan J., Joseph J., Ponnuraj K. P., Murali P., Ajay B. T., « SmartWatch as a Kinaesthetic System for Shoulder Function Assessment» // 2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops).
3. МЭМС акселерометры, магнитометры и углы ориентации | Хабр [электронный ресурс] Режим доступа: <https://habr.com> (дата обращения: 12.05.2021).

УДК 004.056

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВНУТРЕННИХ НАРУШИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДЕВИАНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЕ

Меренков Д.Н.<sup>1</sup>

Научный руководитель – преподаватель практики Ищенко А.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрено девиантное поведение внутреннего нарушителя в организации. Предложена модель системы обнаружения внутреннего нарушителя на основе девиантного поведения в социальной группе. Проведен эксперимент в реальных условиях на предприятии с численностью пользователей информационной системы организации, превышающей отметку в 1000 человек, отражающий эффективность работы предложенной модели, которая позволяет обнаруживать внутренних нарушителей на 24% быстрее.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, внутренний нарушитель, девиантное поведение, кластеризация, социальные группы.

Информация является неотъемлемой частью деятельности каждой организации. Нарушение свойств безопасности информации, как правило, приводит к экономическим убыткам. Согласно данным аналитического отчета компании InfoWatch за 2020 год в России более 79% случаев всех утечек информации приходилось на внутренних нарушителей, из которых 77% признаны умышленными. С 2004 года количество утечек по вине внутренних нарушителей выросло в 14 раз и достигло отметки в 1423 инцидента [1].

Стремительно растущее число внутренних нарушителей требует обработки большего количества информации для их обнаружения, что неизбежно ведет к увеличению времени, необходимого для выявления нарушителей. Позднее противодействие угрозам, реализуемым внутренними нарушителями, может оказаться бессмысленным, поскольку информация к этому времени может быть скомпрометирована и использована третьими лицами. Следовательно, востребованным является более быстрое обнаружение внутреннего нарушителя до непосредственного момента реализации им угроз информационной безопасности.

Существующие на российском рынке решения, позволяющие обнаруживать внутренних нарушителей, основываются либо на сопоставлении текущего действия человека с заданным шаблоном разрешенных действий, выход за границы которых считается аномалией, либо на основе индивидуально составленного шаблона поведения для каждого из пользователей. Существующие решения не оценивают влияние социальной группы и внешних факторов на поведение человека и его изменение. В связи с этим необходимо создать систему, которая будет учитывать эти факторы. Целью работы является повышение уровня информационной безопасности организации за счет уменьшения времени реагирования на инциденты информационной безопасности, вызванные действиями внутреннего нарушителя

Сложность противодействия внутренним нарушителям заключается в том, что часть из них является легитимными пользователями информационных систем организации и обладает полномочиями на совершение определенных действий с информацией, входящими в круг их должностных обязанностей

В результате изучения трудов социологов, в число которых входил ученый калифорнийского университета Тамотсу Шибутани и член РАН Осипов Г. В., было определено, что поведение человека зависит от личных мотивов, поведения социальной группы, в которой состоит человек, и влияния внешних факторов [2, 3]. Также было определено, что участник социальной группы подвержен ее влиянию и с большой вероятностью действует так же, как и большинство ее членов.

Разработанная автором модель состоит из трех этапов:

1. Кластеризация людей в социальные группы на основе социально-значимых критериев человека.
2. Сбор данных о совершенных пользователями действиях в информационной системе.
3. Выявление девиантного поведения и дообучение модели.

В ходе реализации первого этапа работы модели использовался метод кластеризации k-means++, исходными данными для которого являлись социально-значимые критерии человека, такие как возраст, пол, финансовое положение, семейное положение, уровень образование, и тд. Для оценки наиболее подходящего количества кластеров использовался метод локтя. Для оценки согласованности внутри кластеров данных применялся метод силуэта. В результате было определено оптимальное количество кластеров – 8 (рис. 1).

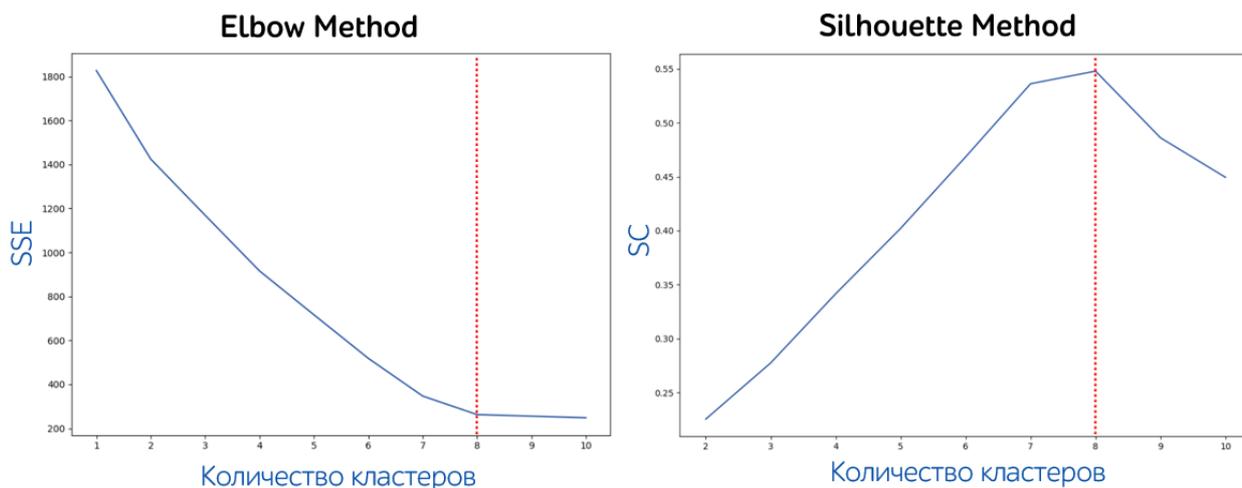


Рис. 1. Графики метода "локтя" и метода "силуэта"

Используя метод главных компонент, визуализируем полученное разбиение людей на кластеры (рис. 2). Как мы видим, метод кластеризации K-Means++ справился с задачей хорошо и смог разделить людей на непересекающиеся кластеры.

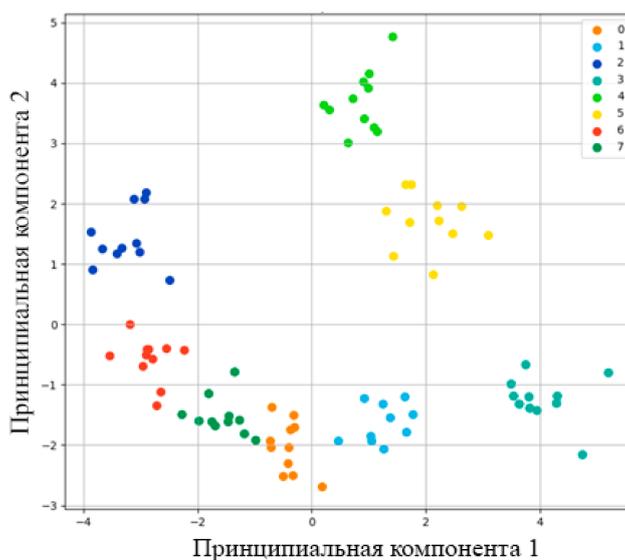


Рис. 2. Визуализация распределения людей по кластерам данных методом кластеризации k-means++ с помощью использования метода главных компонент

Второй этап работы модели заключается в сборе данных о произошедших событиях в информационной системе организации. При этом все действия необходимо считать

нормальными. Собираемые должны включать в себя идентификатор пользователя и социальной группы, к которой относится человек, совершенное действие, время совершения действия и внешние факторы, при которых происходило данное действие.

Третий этап работы модели основывается на первых двух и является основным для детектирования аномальных действий и, как следствие, обнаружения внутренних нарушителей.

Пусть  $M = \{m_0, m_1, \dots, m_n\}$  – множество всех событий, зафиксированных за время наблюдения, где  $m_i = (a_i, t_i, p_i, g_i, EF_i)$ , при этом  $a_i \in A, p_i \in P, EF_i \subset EF, g_i \in G$ , где

$A = \{a_i, a_{i+1} \dots a_j\}$  – множество всех анализируемых действий,

$P = \{p_i, p_{i+1} \dots p_j\}$  – множество всех сотрудников,

$G = \{g_i, g_{i+1} \dots g_j\}$  – множество всех социальных групп,

$EF_i = \{f_{i_j}, f_{i_{j+1}}, f_{i_n}\}$  – подмножество множества  $EF = \{f_i, f_{i+1}, \dots, f_n\}$  всех учитываемых внешних факторов,

$t_i$  – время суток, когда было зафиксировано событие.

Для каждого зафиксированного события  $m_i$  определяется значение девиантности  $dev_{m_i} \in \{0,1\}$ , где  $dev_{m_i} = 0$ , если событие  $m_i$  нормальное и  $dev_{m_i} = 1$ , если событие девиантное. Тогда примем за  $m_s = (a_s, t_s, p_s, g_s, EF_s)$  текущее действие сотрудника, для которого необходимо принять решение о его девиантности.

Рассчитаем значение функции  $Zp_i$  для каждого события  $m_i \in M$ , где исполнителем действия является человек, текущее действие которого анализируется в данный момент, и значение функции  $Zg_i$  для каждого события  $m_i \in M$ , где исполнителем действия является социальная группа, к которой относится этот человек.

$$Zp_i(m_i) = \frac{C}{H * E}, p_i = p_s, t_s - \tilde{t} \leq t_i \leq t_s + \tilde{t},$$

$$Zg_i(m_i) = \frac{C * B}{H * E}, g_i = g_s, t_s - \tilde{t} \leq t_i \leq t_s + \tilde{t},$$

где  $C = P(EF_i) - \sum_{j=1}^{P(EF_i)} |f_{i_j} - f_{s_j}|$  – количество совпавших внешних факторов события  $m_i$  с внешними факторами текущего события  $m_s$ , при этом  $f_{s_j} \in EF_s, f_{i_j} \in EF_i$ ;

$H = \sum_{j=1}^{P(EF_i)} |f_{i_j} - f_{s_j}|$  – расстояние Хемминга, являющееся мерой количества несовпавших внешних факторов события  $m_i$  с внешними факторами текущего события  $m_s$ , при этом  $f_{s_j} \in EF_s, f_{i_j} \in EF_i$ ;

$E = \sum_{j=1}^{P(EF_i)} w_j * (f_{i_j} - f_{s_j})^2$  – взвешенное расстояние Евклида, выражающее значение важности отсутствующих внешних факторов событий  $m_i$  и  $m_s$ , при этом  $f_{s_j} \in EF_s, f_{i_j} \in EF_i, w_j \in W$ ;

$\tilde{t}$  – некоторые временные рамки для поиска наиболее «близких» событий в множестве зафиксированных событий;

$W$  – множество всех экспертных оценок уровня влияния внешних факторов  $f_i \in EF$  на изменение действия;

$B$  – вероятность совпадения действий человека с действиями членов социальной группы, к которой относится человек;

$P(EF_i)$  – мощность множества  $EF_i$ .

Рассчитав значения  $Zp_i$  и  $Zg_i$ , найдем максимальные среди них. Множество аргументов  $m_i \dots m_{i+c}$ , соответствующих максимальным значениям функции  $Z$ , являются наиболее «близкими» событиями к текущему событию  $m_s$ , где  $c$  – количество таких событий.

Множество действий  $a_i \dots a_{i+c}$ , соответствующих  $m_i \dots m_{i+c}$ , является множеством нормальных действий, если значение девиантности событий  $dev_{m_i} \dots dev_{m_{i+c}} = 0$ .

Событие  $a_s$  считается девиантным, если  $a_s \notin a_i \dots a_{i+c}$ , где  $dev_{m_i(a_i)} = 0$  или  $a_s \in a_i \dots a_{i+c}$ , где  $dev_{m_i(a_i)} = 1$ .

Вычислив максимальные значения функции  $Z$ , мы найдем такие события, которые будут считаться наиболее «близкими» к текущему. Каждое текущее действие журналируется, и в случае, если оно распознано моделью как девиантное, оповещает службу безопасности об этом.

Тестирование работы модели проводилось в реальных условиях и заключалось в умышленном создании 40 инцидентов информационной безопасности. Инциденты заключались в обмене рабочими местами между сотрудниками, попытке доступа к закрытому сетевому хранилищу, скачивании большого объема файлов и тд. После этого двум сотрудникам службы безопасности было сообщено о том, что произошли инциденты информационной безопасности. Одному сотруднику была выдана разработанная модель, а второму нет. В результате работы модель смогла выявить 75% всех инициированных нарушений. Время расследования инцидентов информационной безопасности, за счет уменьшения времени реагирования, снизилось на 24%.

Модель позволяет реализовать меру А.13.2.1 ГОСТа Р ИСО/МЭК 27001–2006 за счет снижения времени реагирования на инциденты информационной безопасности и меру А.13.1.1 за счет оперативного оповещения службы безопасности о произошедшем инциденте информационной безопасности по соответствующим каналам связи. Таким образом, исходя из выполнения этих мер, согласно ГОСТу Р ИСО/МЭК 27001–2006, повышается уровень информационной безопасности организации, из чего следует, что цель работы достигнута [4].

В дальнейшей работе планируется увеличение количества анализируемых внешних факторов, социально-значимых критериев человека и проведение большего количества экспериментов для формирования более точных результатов работы модели.

### Литература

1. Утечки информации ограниченного доступа: отчет за 9 месяцев 2020 | InfoWatch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.infowatch.ru/analytics/reports/30708> (дата обращения: 27.04.2021).
2. Шибутани Т. Социальная психология / Т. Шибутани, АСТ Феникс, 1999. 544 с.
3. Осипов Г. В. Социология. Основы общей теории / Г. В. Осипов, Инфра-М, 2017. 912 с.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности.

УДК 57.087.1

## О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО БИОМЕТРИКАМ

Мешков А.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Девицына С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Севастопольский государственный университет

Показаны способы анализа эффективности методов многофакторной аутентификации по биометрикам субъекта. Представлены этапы оценки эффективности методов биометрической аутентификации. Объектом исследования являются биометрические данные, полученные с помощью фото, видео- и аудиофиксации, методы и системы обработки изображений лица и образцов голоса. Разработаны и представлены программные решения для обеспечения многофакторной аутентификации субъекта.

**Ключевые слова:** биометрия, аутентификация, голосовая идентификация, идентификация по изображению лица человека, Python.

Информационные технологии (ИТ) повсеместно используются для повышения уровня защищённости информации в организации. Многие компании относятся к категории объектов с пропускным режимом, поэтому вопросы идентификации и аутентификации являются актуальными, и их решение значительно влияет на безопасность не только объекта, но и информационных ресурсов, и, безусловно, самих сотрудников.

Для доступа на территорию используются различные системы контроля и управления доступом (СКУД), а также фото- и видеофиксация, металлодетекторы и турникеты. При использовании информационных систем организации субъектам, для получения доступа к сервисам, необходимо пройти этап аутентификации. Для повышения точности идентификации и безопасности системы в целом, как правило, используются разные критерии и несколько рубежей для входа или доступа к объекту. Такой способ называется многофакторным и имеет очевидные преимущества перед однофакторной аутентификацией.

Одним из самых распространённых методов дополнительной защиты является ввод одноразового пароля, полученного с помощью специального программного обеспечения (ПО) или посредством телекоммуникационной сети. Так как ПО может быть атаковано злоумышленниками, а сим-карта продублирована в центре оказания услуг телефонной связи какого-либо оператора, соответственно, данные могут быть скомпрометированы и использованы в дальнейшем для совершения мошеннических операций, эти методы становятся уязвимыми. В приведенном исследовании показано, что использование уникальных характеристик человека – его биометрических данных, и выбор типов биометрик для многофакторной аутентификации – актуальная задача, решение которой позволит организации не только повысить защищенность информации и поддерживающей инфраструктуры, но и оптимизировать расходы на внедрение средств защиты.

Целью разработки является совершенствование системы защиты информации в организации путем использования интеллектуальной системы многофакторной биометрической аутентификации субъекта. В данном случае используется верификационная биометрическая система, позволяющая подтвердить или опровергнуть факт принадлежности идентификатора предъявившему его субъекту (пользователю). Основным параметром эффективности верификационных систем является способность идентифицировать субъекта. Таким образом, параметр эффективности — это процент запросов, корректный ответ на которые находится среди нескольких найденных соответствий [4]. Также для оценки эффективности используют известные параметры ошибки: уровень ошибочных отказов (FRR, false-reject rate) и уровень ошибочных подтверждений (FAR, false-alarm rate) [3]. Система тем лучше, чем меньше значение FRR при одинаковых значениях FAR.

Как показал анализ информационных источников, наиболее популярным способом является идентификация субъекта по изображению лица. На предприятиях, в учреждениях и организациях для реализации систем безопасности широко используются системы контроля и

управления доступом и, в частности, видеонаблюдение. Так как однофакторные системы менее надежны, принято решение подобрать виды биометрик и их комбинации для повышения эффективности идентификации субъекта при условии ограничений ресурсов, в том числе с учетом финансового фактора.

Для оценки эффективности биометрической идентификации важно понимать, что организация, которая планирует вводить данную процедуру, должна использовать систему, удовлетворяющую некоторым условиям [4]:

- для идентификации необходимо, чтобы все пользователи предоставили образцы биометрик;

- уровень производительности системы должен соответствовать требованиям приложения;

- системный параметр должен быть настроен так, чтобы добиться требуемого уровня ошибочных подтверждений, что определяет соответствующий уровень ошибочных отказов.

Как показывает опыт, для большинства компаний приемлемым является использование комбинации двух биометрик, так как увеличение количества идентификационных признаков субъекта приводит к существенному удорожанию системы.

Рассмотрим и обобщим этапы оценки эффективности методов двухфакторной аутентификации. Отметим, что в связи с расширенной областью применения они обладают спецификой по сравнению с обобщенной схемой исследования. Этап первый – отработка моделей на эталонном образце; этап 2 – получение признаков; этап 3 – выбор порогов; этап 4 – проверка на линейную зависимость признаков; этап 5 – установка весов; этап 6 – проверка автоматической классификации.

Как показал анализ источников, для первого этапа возможно использование известных изображений и акустических сигналов, а также предложено использовать панграммы – контрольные фразы, включающие все буквы алфавита. Также для создания эталонного образца проводят самостоятельную разметку, используя рекомендации. Необходимо понимать, что в системах идентификации по голосу важно не распознать речь, а подтвердить личность говорящего, при этом различают распознавание, зависимое от текста и не зависимое от текста.

Имея ключевые отрезки, возможно проводить разведочный анализ с использованием спектрограмм, полученных на основе прямого преобразования Фурье:

$$X_k = \sum_{n=1}^N x_n \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi \cdot n \cdot k}{N}}. \quad (1)$$

С позиции анализа недостатком такого подхода является зависимость от размерности обрабатываемых данных, которая должна быть равна степени двойки. Поэтому прибегают к методу сдвига анализируемого отрезка, или дополнения его нулевыми значениями. В связи с этим велика вариативность спектрограммы, но, в целом, возможно оценить энергию сигнала, под которой будем понимать

$$\|\bar{x}\|^2 = \sum_{n=1}^N (x_n)^2. \quad (2)$$

Тут следует упомянуть теорему Парсеваля, которая устанавливает равенство между энергией сигнала и энергией его спектра. Долю энергии отрезка сигнала в любом частотном интервале можно рассчитать, не вычисляя при этом соответствующую трансформанту Фурье [1]. При этом выбор ширины и расположения каждого частотного интервала не зависит от длительности окна анализа сигнала.

На последнем этапе необходимо оценить соответствие автоматической разметки и разметки на слух. Рассмотрим две гипотезы.

Гипотеза основная  $H_0$ : фрагмент принадлежит субъекту.

Гипотеза альтернативная  $H_1$ : объект не идентифицирован.

В таблице 1 приведена матрица ошибок. Приняты обозначения: TP – истинно-положительное решение; TN – истинно-отрицательное решение; FP – ложно-положительное решение; FN – ложно-отрицательное решение.

Таблица 1. Матрица ошибок

Категория		Экспертная оценка	
		Положительная	Отрицательная
Оценка системы	Положительная	TP	FP
	Отрицательная	FN	TN

Точность рассчитывается по формуле:

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP}. \quad (3)$$

Полнота рассчитывается по формуле:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN}. \quad (4)$$

F-мера – это оценка, которая является чем-то средним между полнотой и точностью, позволяющая оценить баланс на основе гармонического среднего, так как в расчетах точность и полнота не могут иметь максимального значения:

$$F = 2 \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}. \quad (5)$$

Параметр расчета R-мера – это оценка, уменьшающаяся по мере выявления отличительных признаков, то есть аналогична F-мере, но имеет решающее значение для избыточной сегментации.

Параметры изменения R-меры от 0 до 100% (от эталонного значения):

$$r_1 = \sqrt{(100 - Recall)^2 + ((Precision - 1) \cdot 100)^2}, \quad (6)$$

$$r_2 = \frac{-(Precision - 1) \cdot 100 + Recall \cdot 100 - 100}{\sqrt{2}}, \quad (7)$$

$$R = \frac{abs(r_1) + abs(r_2)}{200}. \quad (8)$$

Основой расчета R-меры является расстояние алгоритма от эталонной точки, а не выигрыш в частоте попаданий, достигнутый за счет чрезмерной сегментации.

Проведен анализ эффективности использования разных комбинаций биометрик. Для примера выбрана пара: изображение лица и образец голоса субъекта. Выбор данных биометрик обусловлен рядом факторов: использование системы видеонаблюдения позволяет быстро интегрировать способ идентификации субъекта по изображению лица, а для идентификации по голосу достаточно использовать только звуковую плату и микрофон. Кроме того, указанные биометрики на сегодняшний день наиболее тщательно изучены и протестированы.

Программное решение представляет собой двухфакторную аутентификацию на основе анализа и сравнения с полученными образцами биометрических данных пользователя.

Для разработки данного ПО был использован высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической типизацией и автоматическим управлением памятью — Python. Кроме того, использованы технологии искусственного интеллекта при обучении нейросети распознаванию биометрик субъекта. Для реализации биометрической идентификации и аутентификации были использованы следующие инструменты:

По изображению лица:

- `dlib` – библиотека на C++, которая реализует нейросети и `face_recognition`;
- `face_recognition` – модуль для распознавания лица;
- `numpy` – методы линейной алгебры и массивы;
- `hdf5py` – библиотека для работы с файлами стандарта HDF5;
- `OpenCV` – библиотека компьютерного зрения.

По образцу голоса:

- `speech_recognition` – библиотека для распознавания речи;
- `librosa` – для обработки звука;
- `numpy` – методы линейной алгебры и массивы;
- `rocketsphinx` – библиотека для распознавания речи (оффлайн);
- `Google Speech Recognition` – модуль для распознавания речи (онлайн);
- `PyAudio` – модуль для работы со звуком.

Программа проводит успешную аутентификацию по изображению лица даже при наличии на субъекте головных уборов, очков, бороды, а по голосу – при наличии посторонних звуков, шумов. Это преимущество дает нейросеть, которая обучена на большом массиве данных и позволяет на основе технологий искусственного интеллекта выявлять требующиеся биометрики и точно идентифицировать субъект.

Разработано программное обеспечение, позволяющее имитировать двухфакторную аутентификацию по биометрикам. Практическое применение разработки возможно не только для аутентификации сотрудников и получения доступа к информационной системе или на территорию объекта. ПО может выявлять нарушителей доступа, тем самым позволяя предотвратить ряд угроз, например, таких как террористические акты или проникновение на охраняемую территорию неустановленных лиц. В силу того, что для внедрения и эксплуатации данного ПО не требуется значительное финансирование, затраты на реализацию разработанного решения не превышают стоимость защищаемой информации, соответственно, ПО может найти своё место на рынке программных продуктов для обеспечения безопасности, в том числе информационной, на предприятиях малого и среднего бизнеса, в государственных учреждениях, учебных заведениях и т.д. Интеграция в существующие системы безопасности позволит повысить эффективность их использования за счет точности идентификации субъекта и дополнительных возможностей контроля территории.

## Литература

1. Белов С. П., Прохоренко Е. И., Белов А. С. Метод частотно-временного анализа сигналов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Белгород. 2009. №1(56). С. 5-11.
2. Девицына С. Н., Елецкая Т. А., Балабанова Т. Н., Гахова Н. Н. Разработка интеллектуальной системы биометрической идентификации пользователя // Научные ведомости БелГУ. Серия: Экономика. Информатика. 2019. Том 46, № 1. С. 148-160.
3. Девицына С. Н., Мешков А. В. Обзор современных биометрических методов идентификации личности // Сборник тезисов докладов I Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения информационно-психологической безопасности личности». Севастопольский государственный университет. 2018. С. 77-80.
4. Филлипс П. Д., Мартин Э., Уилсон С. Л., Пржибоски М. Введение в оценку биометрических систем // Открытые системы. СУБД. Издательство «Открытые системы». 2000. №3.

УДК 004.921

## РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ “ТРЕНАЖЕР ПО АКАДЕМИЧЕСКОМУ РИСУНКУ” С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Михалева П.Н.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Махлай Д.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Доклад представляет собой процесс разработки мобильного приложения “тренажер по академическому рисунку” с элементами дополненной реальности. Проект может являться как дополнительным инструментом для подготовки обучающихся на художественных образовательных программах, так и решением проблемы недостаточной академической подготовки для тех, кто занимается самообучением в области изобразительного искусства.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, приложение, разработка, обучение, академический рисунок, искусство.

В ходе работы со студентами третьего и четвертого курсов в рамках предмета “Основы академического рисунка” при ОЦГТ ИТМО и последующего анализа целевой аудитории преподавателями был выявлен ряд проблем. В первую очередь, очевидным стал недостаток актуальной академической подготовки у студентов на момент начала освоения данной дисциплины. Из-за этой причины большая часть часов отводится на изучение основ, хотя при наличии в арсенале преподавателя инструмента, который мог бы являться тренажером в выполнении базовых заданий, учебные часы могли бы отводиться на более серьезные и востребованные задачи.

Если обратить внимание на ту часть целевой аудитории, которая не является учащимися каких-либо образовательных программ, а именно, людей, занимающихся самообучением в области изобразительного искусства, можно установить следующие проблемы: низкий интерес к необходимым, но не творческим упражнениям; потребность в пошаговой инструкции и наглядной демонстрации процесса решения задачи; не поэтапное обучение (то есть обучающийся не идет по самому “эффективному пути”) [1]; сложность в сопоставлении своей работы и желаемого результата, отсутствие наглядности; необходимость объемных референсов, будь то гипсовые фигуры или предметы натюрморта.

Исходя из анализа целевой аудитории, можно сделать вывод о необходимости вспомогательного инструмента для обучения в области изобразительного искусства. Таким инструментом может стать какое-либо обучающее приложение, тем не менее, оно должно заключать в себе как качественный обучающий материал, так и то, что может послужить для учащихся наглядным референсом. Это может быть 3D модель, загруженная в приложение, или встроенная AR, которая даст возможность пользователю рассмотреть необходимый объект с разных сторон.

При исследовании рынка было обнаружено несколько аналогов, решающих те или иные проблемы, выявленные в данном исследовании. Однако ни один из них не решает более двух перечисленных проблем. Например, существует ряд приложений, которые содержат библиотеки художественного материала разных уровней сложностей и формируют задания из пошагового создания эскиза. Такие приложения отвечают на пользовательскую потребность в пошаговой инструкции, а также предоставляют возможность сопоставления работы обучающегося и реального результата. Тем не менее такие приложения не имеют высокой обучающей значимости, так как, выполняя такие упражнения, обучающийся научится выполнению лишь ограниченного базой приложения количества задач, без возможности применения полученных навыков в будущих работах.

Для решения вышеуказанных проблем было решено спроектировать и разработать приложение, в котором бы учитывались потребности целевой аудитории, а также результаты анализа приложений-аналогов, связанных с изобразительным искусством.

Таблица 1. Плюсы и минусы аналога SketchAR

Плюсы	Минусы
Качественная AR	Отсутствие этапа объяснения
Большой выбор рисунков	Нет ориентировки на академический рисунок
Удобный интерфейс	Большой процент платного контента

Во-первых, для данного приложения был произведен подробный анализ планов обучения художественных школ, а также некоторых высших учебных заведений, специализирующихся на академическом образовании в сфере изобразительных искусств. Таким путем был выстроен наиболее эффективный план обучения основам академического рисунка, который лег в основу разрабатываемого приложения.

Во-вторых, в этом проекте также будут использованы элементы дополненной реальности, но, в отличие от аналогов, они должны решать ряд проблем, связанных с наглядностью, таких как наличие в приложении объемных референсов, которые можно сравнивать и рассматривать со всех сторон. На таких объемных предметах легче показывать способы построения и анализировать форму. Также элемент дополненной реальности даст возможность сопоставления работы и образца на одном листе, это поможет учащемуся избегать критических ошибок и четко видеть несоответствия.

В-третьих, приложение включает в себя элементы геймификации – прохождение уровней с постепенным повышением сложностей. Такой способ стимулирует учащихся решать поставленные задачи эффективнее, не пропуская необходимые для формирования ключевой базы навыков уровни [3].

Также обучающие инструкции представляют собой не просто поэтапные изображения, а качественные и наглядные видеоролики, в содержание которых входят голосовое сопровождение и объяснение ключевых понятий и действий.

Приложение было разработано в игровом движке Unity, для проектирования AR-компонента был задействован пакет разработки программного обеспечения Ar Core. Сцена дополненной реальности была структурирована согласно выявленным потребностям. На рисунке можно увидеть, что она содержит область для проецирования видеоинструкции, маркер (в более позднем варианте приложения было решено использовать как маркер QR код, так как такое изображение имеет большое количество мелких деталей и возможностей вариаций), а также объемный референс.

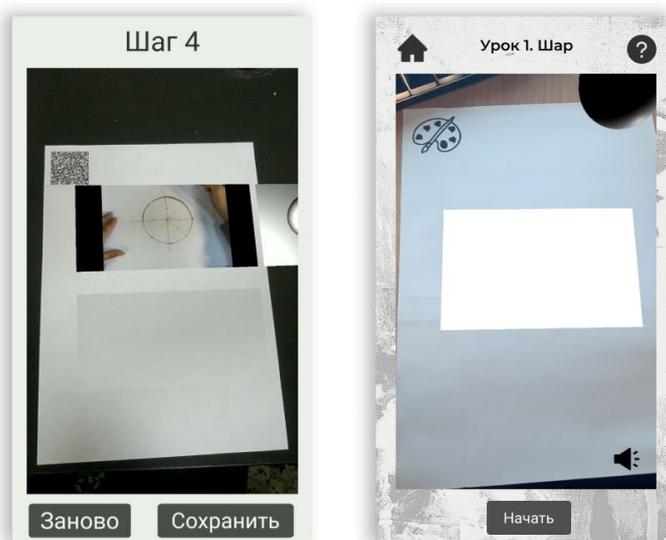


Рис. 1. Окно приложения и вариант дизайна интерфейса

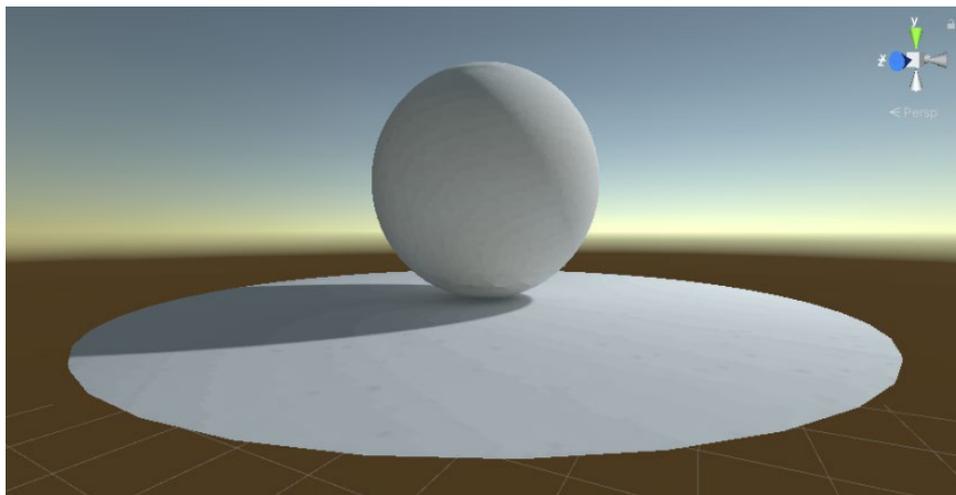


Рис. 2. Шар в качестве референса для первого упражнения

На рисунке представлен пример объемного референса, используемый в первом упражнении приложения. Для достижения более правдоподобной визуализации сферы было предпринято выполнить процедуру "запекания" освещения в сцене. Такой способ дает возможность создавать видеоинструкции, опираясь на существующий референс, и учитывать освещение заранее при объяснении соответствующего шага в процессе рисования.

На этапе тестирования приложения был проведен эксперимент с группой учащихся, не связанных с художественной сферой деятельности. По условиям эксперимента, шесть учащихся были разделены на три группы: первая группа выполняет задания с преподавателем; вторая группа выполняет задание с помощью приложения и третья группа - выполняет задачу с помощью инструкции в интернете. Задача учащихся - построить шар карандашом на бумаге, а также обозначить границу светотени.

По результатам эксперимента были проанализированы итоговые работы. Первая группа справилась с задачей, получила понимание построения и научилась четкому алгоритму действий, обоснованному преподавателем. Однако минус такого метода заключается в том, что преподавателю необходимо затрачивать учебное время на сопровождение процесса работы большого количества учащихся. А также, в условии выполнения заданий вне класса, преподаватель не сможет постоянно контролировать и многократно повторять объяснения.

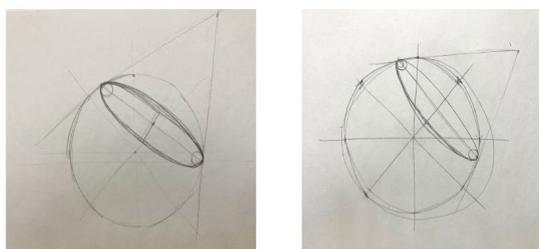


Рис. 3. Результаты тестирования. Первая группа

Вторая группа справилась с задачей. Недостатком такого метода оказалась техническая сложность в использовании приложения с дополненной реальностью, заключающаяся в том, что не все телефоны поддерживают данную технологию. Однако в будущих прототипах, в качестве решения этой проблемы, приложение можно разделить на две версии: с использованием AR и без.

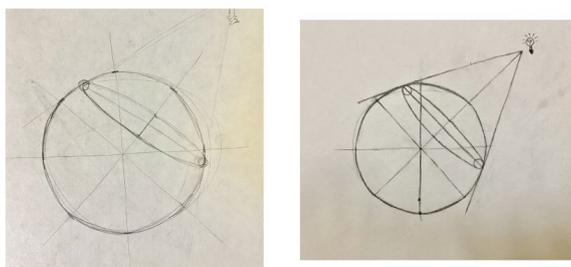


Рис. 4. Результаты тестирования. Вторая группа

В заключении - группа, работающая с инструкцией из интернета [2]., выполнила задачу недостаточно качественно, и, по результатам опроса, было выявлено, что учащиеся не до конца поняли обоснованность этапов построения, а также не научились правильно строить эллипсы.

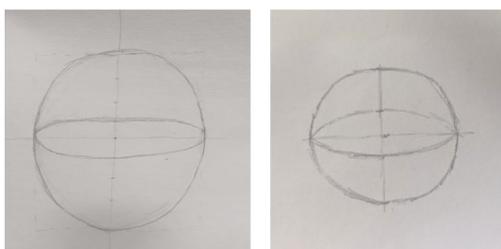


Рис. 5. Результаты тестирования. Третья группа

Итоговое приложение имеет несколько сценариев использования. В первую очередь, этот проект может стать средством для домашнего обучения академическому рисунку. Обучающийся сможет установить приложение на свой телефон и самостоятельно распечатать необходимый маркер для использования дополненной реальности. Пользователю также будут доступны инструкции в обычном формате видео, воспроизводящегося на экране. Вторым путем может стать внедрение приложения в программу обучения в учебных заведениях. Преподаватели смогут использовать это в качестве домашних заданий или дополнительного тренажера для учащихся. Также данный проект можно преобразовать в продукт, который можно продавать в магазинах, в комплект которого будет входить несколько листов, отмеченных маркером, для использования дополненной реальности (1 лист - 1 задание), необходимые инструменты, а также карточка с QR кодом, являющимся ссылкой на приложение в AppStore или Google Play.

### Литература

1. Савинов, А. М. Методические принципы учебного рисования как основа теории и практики обучения академическому рисунку / А. М. Савинов // Вестник Университета Российской академии образования. – 2010. – № 5. – С. 90-94. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16343065>
2. Как нарисовать шар: поэтапная инструкция для начинающих [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kch-school.ru/articles/kak-narisovat-shar-poetapnaya-instruktsiya-dlya-nachinayushchikh> (дата обращения: 29.03.2021).
3. Кравченко, К. А. Методические особенности обучения рисунку натюрморта в педагогическом вузе / К. А. Кравченко, О. В. Шаляпин // Философия образования. – 2016. – № 1(64). – С. 195-202. – DOI 10.15372/PNE20160119. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25871819>.

УДК 004.04

## ВСТРАИВАНИЕ ГОТОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ПРОТОТИП ЧАТ-БОТА

Муратова У.Д.<sup>1</sup>, Николов Г.М.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Балакшин П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».*

В данной работе была произведена интеграция чат-бота и сети DeepPavlov с целью улучшения характеристик разрабатываемого чат-бота. Также были подготовлены тестовые документы, которые не только облегчат процесс тестирования программы в будущем, но и помогут подготовить отчет о качестве программного продукта. После первого тестирования было выявлено дальнейшее направление исследования – необходимо переобучить нейросеть для получения желаемых результатов.

**Ключевые слова:** чат-боты, разработка, прототип, нейронные сети, тестирование.

В последние годы не прекращаются исследования и разработки различных чат-ботов, голосовых помощников и сопутствующих технологий. Эта статья является частью исследования, в котором рассматриваются различные проблемы, с которыми разработчик может столкнуться при создании собственного чат-бота. На сегодняшний день разработан прототип чат-бота, который может понять запрос пользователя благодаря пониманию его устной речи (с помощью модуля распознавания голоса). Однако существует проблема: один человек задает разные вопросы и надеется получить разные ответы. Для воспроизведения подобного поведения необходимо интегрировать в прототип нейронные сети.

Поэтому целью данной работы является встраивание выбранной на предыдущем этапе исследования нейронной сети в прототип чат-бота.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Разработать приложение, взаимодействующее с готовой нейронной сетью.
2. Подготовить тестовую документацию.
3. Провести тестирование.
4. По результатам тестирования сделать выводы.

### **Создание приложения**

Поскольку создание собственной нейросети является предметом различных дополнительных исследований, была выбрана нейронная сеть DeepPavlov [1] по следующим причинам: она может работать с русским языком, способна самостоятельно обрабатывать текст перед использованием непосредственно в нейросети (то есть встроен модуль NLP), эту нейросеть можно использовать в коммерческой разработке.

Благодаря тому, что часть прототипа на данный момент была уже разработана [2], было необходимо развернуть готовую нейронную сеть отдельно на сервере, а также встроить в приложение функцию, которая будет позволять пересылать сообщения на сервер. Пример работы прототипа сразу после встраивания нейросети представлен на рисунке 1.

### **Разработка тестовой документации**

Для тестирования разработанной программы необходимы два документа – план тестирования и список тестов. В качестве шаблона для плана тестирования был выбран соответствующий документ из методологии разработки программного обеспечения RUP (англ. Rational Unified Process) [3], поскольку он может предоставить полное и подробное описание будущих тестов.

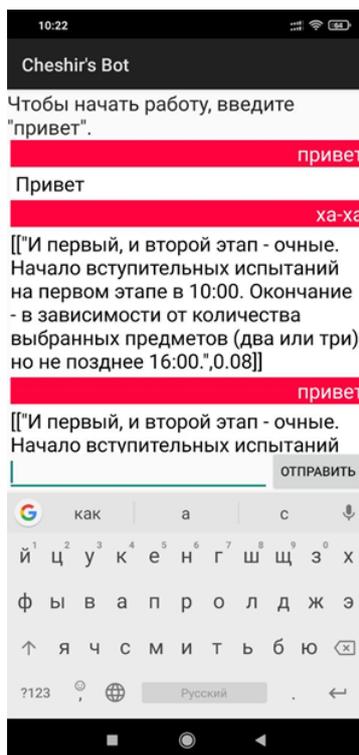


Рис. 1. Пример работы прототипа чат-бота

Согласно подготовленному плану тестирования был составлен список различных функциональных и нефункциональных тестов. Этот список поможет отслеживать наличие и качество разрабатываемого функционала и внешнего вида приложения. Например, один из этих тестов показан на рисунке 2.

Название теста	1. Запуск приложения
Предусловия	Разблокированный телефон с успешно установленным приложением.
Описание шагов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Найти иконку приложения</li> </ol>  <p>«Cheshir's bot»</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Нажать один раз на иконку.</li> <li>3. Подождать 1 минуту.</li> </ol>
Ожидаемый результат	Запускается прототип бота, под названием приложения сразу после запуска отображается фраза «Подготовка распознавателя», через некоторое время заменяется фразой «Чтобы начать работу, введите "привет"».
Результат прохождения теста	Passed
Комментарии	

Рис. 2. Пример теста

### Тестирование приложения

Тестирование приложения – это прохождение списка тестов и исполнение сценариев, описанных в данных тестах, с последующим указанием результатов прохождения, необходимых комментариев, возможных вариантов решения возникших ошибок. Все результаты указывались для каждого теста в отдельности (поле «Результат прохождения

теста» на рисунке 2), все найденные ошибки или идеи для улучшения вписывались в поле «Комментарии».

### **Коррекция приложения**

На основании анализа результатов тестирования можно сделать вывод, что нужно провести повторное обучение нейронной сети. Это поможет решить проблему с нахождением более правильного и корректного ответа на запрос пользователя. Эта работа требует дополнительного исследования: необходимо подготовить достаточно датасетов для обучения на русском языке, изучить процесс обучения модели и переобучить ее. Этот процесс может занять больше количество времени.

### **Заключение**

В итоге был разработан чат-бот, в который была интегрирована нейронная сеть, а также подготовлена тестовая документация. Проведенное тестирование показывает, что необходимо переобучение выбранной модели, для чего нужно подобрать и правильно отформатировать необходимые датасеты. Обновлённый прототип может быть использован в конкретных предметных областях, например в колл-центрах туристических операторов.

### **Литература**

1. DeepPavlov. An open source conversational AI framework [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://deeppavlov.ai/> (дата обращения: 23.12.2019).
2. Belenko M., Muratova U., Balakshin P., Burym N. Design, Implementation and Usage of Modern Voice Assistants // Proceedings of the 26th Conference of Open Innovations Association FRUCT - 2020, pp. 491-496.
3. Rational Unified Process: Overview [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scweb.uhcl.edu/helm/RationalUnifiedProcess/> (дата обращения: 08.01.2020).

УДК 004.056

## РЕПУТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Мыськив И.И.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Заколдаев Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».*

В данной статье рассматривается Цифровое предприятие Индустрии 4.0 и модель защищенного взаимодействия компонентов цифрового предприятия на основе адаптированной графовой модели Цифрового предприятия доверительной и репутационной модели безопасности.

**Ключевые слова:** цифровое предприятие, КФС, индустрия 4.0, система, компонент, угрозы, информационная безопасность, доверие, репутация, модель.

Развитие научно-технического прогресса в области проектирования и производства конечного продукта в части технологического процесса обеспечивает появление нового подхода в организации технологических процессов, направленных на изготовление и разработку необходимого продукта. Такой подход сейчас известен как Индустрия 4.0. Данный подход включает в себя развитие и внедрения передовых технических решений, таких как [1]:

- киберфизические систем (далее – КФС);
- промышленный интернет вещей;
- виртуализации и облачные технологии;
- технологии BigData, 3-D модели, Цифровые двойники.

Интеграция таких решений в единую систему технологического производства позволяет использовать алгоритм бесшовного технологического процесса автоматизированного изготовления изделий на Цифровом предприятии (далее – ЦиП).

На данный момент в мультиагентных и киберфизических системах используют такие методы:

1. Жесткой безопасности (идентификация и аутентификация, управление доступом, криптографической защита каналов связи, и др.).
2. Мягкой безопасности (модель полицейского участка, доверительные, репутационные модели, и др.) [2, 3].

Сложность систем ЦиП не позволяет в должной мере обеспечить защищённость ЦиП с использованием методов жёсткой безопасности, поэтому приоритетной задачей является разработка и применение методов мягкой безопасности, которые могут быть интегрированы с гетерогенными и распределенными системами ЦиП.

Также предприятия такого типа могут являться объектами критической информационной инфраструктуры и должны выполнять все требования Федерального закона №187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации от 26 июля 2017 года» и других нормативно-методических документов Российской Федерации по защите КИИ, что говорит о актуальности и необходимости в обеспечении информационной и функциональной безопасности ЦиП.

Основную архитектуру ЦиП описывают следующие компоненты [4]:

- производственное автоматическое оборудование, выполняющие набор заданных технологических операций, взаимодействующие с физическим окружением;
- производственная линия, представляющая собой совокупность производственного автоматического оборудования, реализующих технологические операции;
- транспортная система, обеспечивающая перемещение деталей, заготовок между производственными линиями;

– производственный участок, объединяющий набор производственных линий и транспортную систему, реализующих непрерывный (бесшовный и круглосуточный) технологический цикл изготовления конечного продукта или его части;

– система складского хранения, обеспечивающие учет и контроль движения комплектующих, готовых продуктов и компонентов ЦПИ;

– производственный цех, объединяющий набор производственных участков, транспортную систему и систему складского хранения и функционирующий под управлением системы управления производством (трёхуровневая архитектура управления).

Управление оборудованием производственного участка (цеха) осуществляет сервер(а), контролирующий серверы управления производственными линиями.

Серверы управления производственными линиями осуществляют управление непосредственно технологическим оборудованием.

Верхний уровень системы управления составляет сервер(а) ЦПИ, осуществляющий информационный обмен с серверами управления производственными участками (цехами).

Система управления ЦПИ обеспечивает:

– сквозную интеграцию цифровых производственных процессов предприятия;

– вертикальную и горизонтальную интеграцию технологических процессов производственного предприятия.

Типовая архитектурная схема рассматриваемого ЦПИ представлена на рисунке 1.

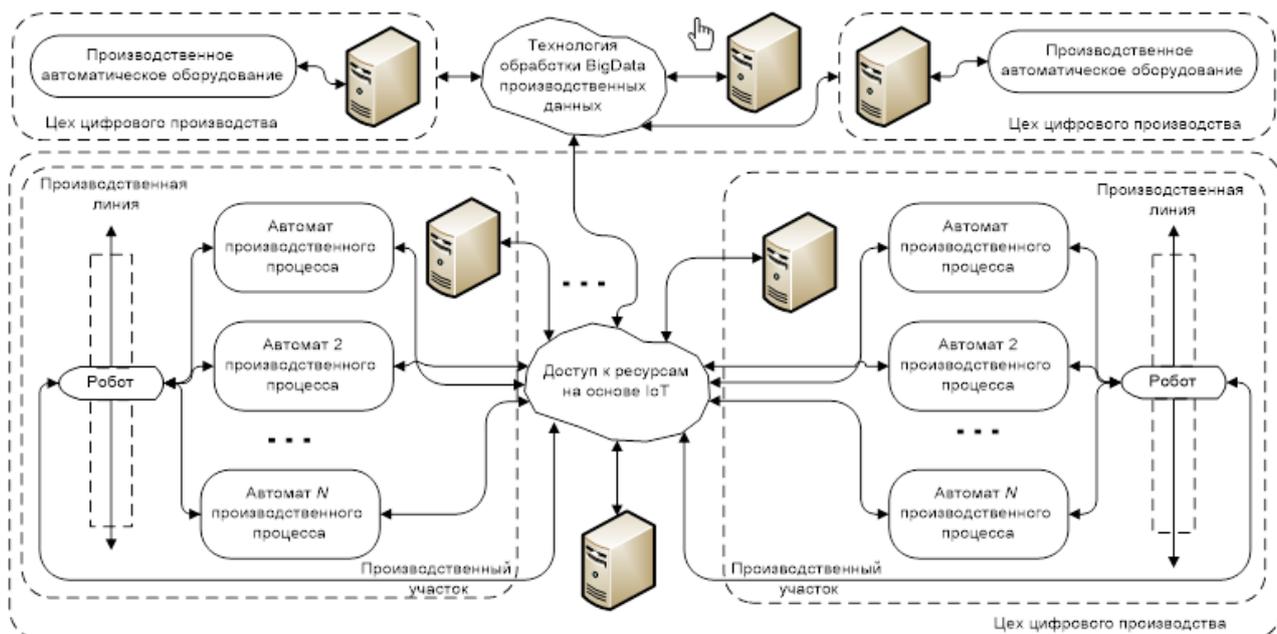


Рис. 1. Архитектура цифрового предприятия

Данную архитектуру предприятия ЦПИ можно представить в виде ориентированного графа  $G = \langle W, V, R \rangle$ , множество вершин графа  $W = \langle w_1, \dots, w_z \rangle$ , описывающего множество компонентов ЦПИ, множество дуг  $V = \langle v_1, \dots, v_x \rangle$ , описывающие связи между компонентами.  $R$  – множество маршрутов графа  $G$ , описывающие определённые пути из вершины  $w_i$  в вершину  $w_j$ .

Каждый компонент может описываться набором характеристик

$$\langle ID, T, P_{w_i}, F_{w_i}, INF_{w_i}, NF_{w_i}, TO_{w_i} \rangle,$$

где  $ID$  – идентификатор компонента,  $T$  – тип компонента (робот-манипулятор, сенсор, датчик, маршрутизатор и др.),

$F_{w_i} = \langle f_{w_i(0)}, f_{w_i(2)}, f_{w_i(k)} \rangle$  - набор функций, который может реализовать данный компонент,  
 $P_{w_i} = \langle p_{w_i(0)}, p_{w_i(2)}, p_{w_i(k)} \rangle$  - набор параметров компонента,  
 $INF_{w_i}$  - множество информации компонента, которые он накапливает в процессе взаимодействия.

Данная информация может быть получена как генерируемой самим компонентом, так и от информационного взаимодействия с другими компонентами, поэтому её можно разделить на активную и пассивную.  $NF_{w_i}$  - количество процессов, в которых может быть задействован данный компонент.  $TO_{w_i}$  - в соответствии с эксплуатационной документацией на компонент ему присваивается характеристика проектно-плановых работ на проверку его работоспособности (проверка компонента в установленные документацией сроки его эксплуатации), если проектно-плановые работы не проводились в определяемые сроки эксплуатационной документацией, то доверие к информации передаваемым данным компонентом будет снижено.

Каждый компонент может выполнять следующие базовые функции:

- вычислительные – функции, которые позволяют выработать определённый алгоритм действий для выполнения производственной задачи;
- исполнительные – функции, которые позволяют выполнить определенную производственную задачу на ранее разработанном алгоритме вычислительной функции.

Рассматриваемую модель можно представить следующим образом

$$w_i = w_i^{inf} \cup w_i^{phys},$$

где  $w_i^{inf}$  – вычислительные устройства компонента,  $w_i^{phys}$  – физические устройства компонента.

Графовая модель представлена на рисунке 2.

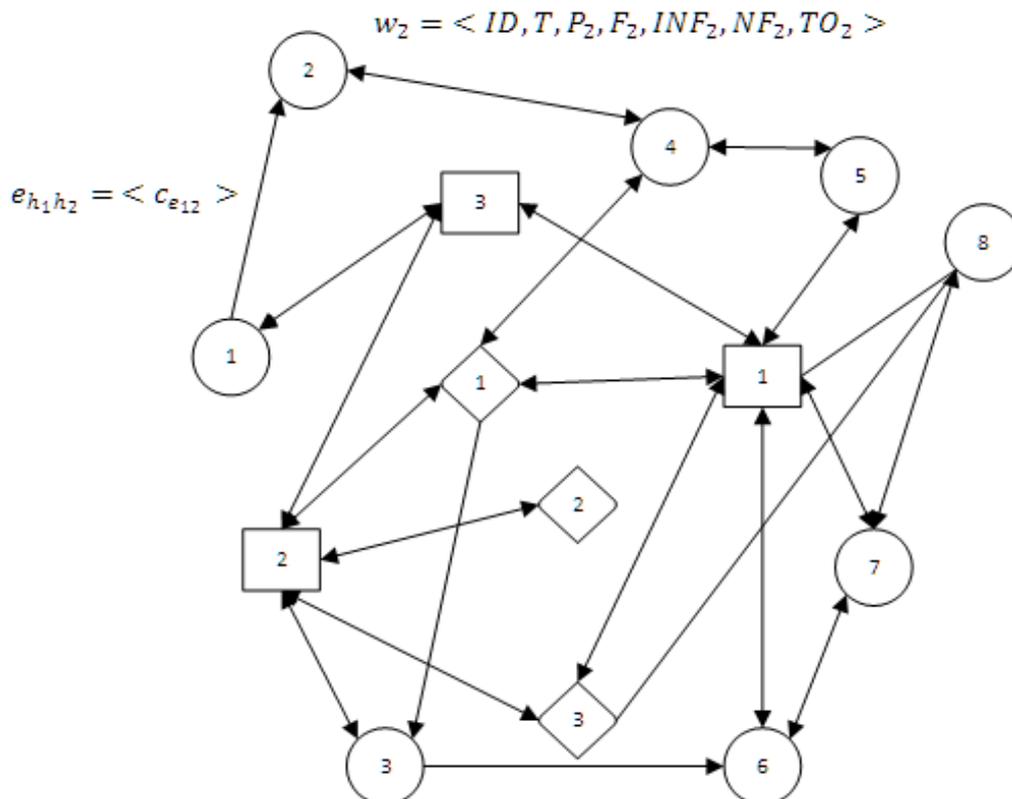


Рис. 2. Графовое представление компонентов ЦИП

На основе данной модели можно описать поставленную производственную задачу, при которой необходимо, чтобы целевая функция  $F$  перешла в желаемое конечное состояние  $\tilde{F}$ .

Данная задача не может быть выполнена без информационного взаимодействия компонентов, в таком случае каждую функцию  $f_{h_i(k)}$  из целевой функции компонента  $h_i$  можно представить как  $f_{h_i(k)} = \langle Q, I \rangle$ , где  $Q$  – окружающая среда функционирования компонента  $h_i$ ,  $I$  – передача данных или информационных сообщений между компонентами.

В данном случае рассмотрим нарушение семантической целостности передаваемых данных, его можно описать как  $\widetilde{f_{h_i(k)}} = \langle Q, \tilde{I} \rangle$ , где  $\tilde{I}$  – множество передаваемых данных, где нарушена семантическая целостность. Соответственно можно сделать вывод, что если нарушена семантическая целостность передаваемых данных, тогда компоненты не достигают конечного состояния целевой функции  $\tilde{F}$  и считается, что работоспособность компонентов нарушена.

Для обеспечения защищенного информационного взаимодействия рассмотрим использование доверительной модели на основе оценки репутации, истинности и доверия, предложенной в работе [5] для обеспечения защищённого взаимодействия в группе БТС. Суть данной модели заключается в определении уровня доверия компонента-субъекта к компоненту-объекту. Также одной из ключевых особенностей этой доверительной модели заключается в том, что данную систему невозможно разрушить, так как отсутствует единый центр управления этой системой, в отличие от модели полицейских участков, но для улучшения данные модели можно объединить.

1. Под доверием  $Trust$  в данном случае понимается состояние компонента, характеризующееся готовностью взаимодействовать путем передачи  $INF$  и рассчитывается как показатель, основанный на оценке репутации  $Truth$  и истинности  $R$ .

$$Trust_t = f_{tru}(Re_{t-1}, Truth_t).$$

2. Под истинностью  $Truth$  понимается показатель субъективной оценки информации, предоставляемой компонентом-объектом компоненту-субъекту.

$$Truth_t = f_{tr_t}(INF),$$

где под  $Truth_t$  понимается показатель истинности  $b$  в момент времени  $t$ ,  $f_{tr_t}$  – функция оценки истинности в момент времени  $t$ .

3. Под репутацией  $Re$  понимается показатель, рассчитанный во времени и процессе оценивания истинности компонентом-субъектом компонентом-объекта.

$$Re_t = f_{re_t}(Truth_t),$$

где под  $Re_t$  понимается показатель репутации в момент времени  $t$ ,  $f_{re_t}$  – функция оценки репутации в момент времени  $t$ .

Данные показатели могут принимать значения в диапазоне  $\in [0; 1]$ .

Проверка истинности в данном случае заключается в проверке соответствия полученной информации об окружающей среде.

Пусть  $h_i$  передает информацию  $INF_{h_i} = \langle INF_{h_i n} \mid n = \overline{1, bl} \rangle$ , где  $INF_{h_i n}$  – один из блоков  $bl$  информации, компоненту  $h_j$ .

Показатель истинности будет рассчитываться как

$$Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}} = \frac{\sum_{n=1}^{bl} Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i n}}}{bl}.$$

Если компонент  $h_i$  обладает информацией  $INF_{pas_{h_i}}$  оценка истинности блока  $Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}}$  будет рассчитываться как

$$Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}} = \begin{cases} 1, & true \\ 0, & false \end{cases}$$

Если компонент  $h_i$  не обладает информацией  $INF_{pas_{h_i}}$ , то для получения информации происходит запрос оценки от других компонентов, имеющих возможность передать такую информацию компоненту  $h_i$ . Тогда оценка истинности будет рассчитываться как усредненное значение полученных оценок

$$Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}} = \frac{\sum_{k=1}^{ntruth} Truth_{h_i h_j}^{INF_{h_i}}}{ntruth},$$

где  $ntruth$  — это количество компонентов, которые могут оценить информацию. В случае если таких компонентов не существует, то оценка истинности принимается равной 0,5.

Одной из проблем такого подхода является то, что при линейной функции оценки репутации, зависящей от показателей доверия и репутации, репутация некоторого компонента при большом периоде работы будет изменяться медленно, даже при резком изменении доверия данного компонента. Поэтому предполагается использовать функцию распределения Вейбула [5] с коэффициентами  $\lambda = 1, k = 1$ , которая позволит экспоненциально снижать значение репутации при ДИВ. В таком случае показатель репутации будет рассчитываться как

$$Re_{h_i h_j t} = \begin{cases} \frac{\sum_{k=0}^{t-1} Re_{h_i h_j k} + Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}}}{t+1}, & Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}} \geq \alpha \\ \frac{\sum_{k=1}^{t-1} Re_{h_i h_j k} - \left(\frac{\sum_{k=1}^{t-1} Re_{h_i h_j k} - h^{(1-Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}}) * t}\right)}{t+1}, & Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}} < \alpha \end{cases},$$

где  $Truth_{h_i h_j t}$  — показывает истинности от компонента  $h_i$  компоненту  $h_j$  в момент времени  $t$ ,  $Re_{h_i h_j k}$  — показатель репутации компонента-объекта в момент времени  $k$ ,  $\alpha$  — граница уровня истинности, выбираемая эмпирическим путем для оценивания корректности информации и равная 0.5. В момент времени  $t = 0$  показатель репутации принимается равным показателю истинности, а именно

$$Re_{h_i h_j t=0} = Truth_{h_i h_j t=0}^{INF_{h_i}}.$$

Показатель доверия в данном случае может рассчитываться как

$$Trust_{h_i h_j t} = \gamma Truth_{h_i h_j t}^{INF_{h_i}} + (1 - \gamma) Re_{h_i h_j t-1},$$

где  $\gamma$  — коэффициент реактивности функции, находящейся в интервале  $[0; 1]$ .

Результатом работы стало описание функционирующих систем типового цифрового предприятия и его архитектура, на основе которого была представлена грифовая модель, также была описана модели защищённого взаимодействия ЦИП.

Дальнейшей задачей является проведение эксперимента и оценка эффективности модели защищённого взаимодействия ЦИП.

**Литература**

1. Jung K., Choi S. S., Kulvatunyou B., Cho H., Morris K. S. A reference activity model for smart factory design and improvement // *Production Planning and Control*. 2017. V. 28. N 2. P. 108–122. doi: 10.1080/09537287.2016.1237686.
2. Зикратов И. А., Зикратова Т. В., Лебедев И. С., Гуртов А. В. Построение модели доверия и репутации к объектам мультиагентных робототехнических систем с децентрализованным управлением // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2014. № 3 (91). С. 30–38.
3. Зикратов И. А., Зикратова Т. В., Лебедев И. С. Доверительная модель информационной безопасности мультиагентных робототехнических систем с децентрализованным управлением // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2014. N 2 (90). С. 47 – 52.
4. Гурьянов А. В., Заколдаев Д. А., Жаринов И. О., Нечаев В. А. Принципы организации цифровых проектных и производственных предприятий Индустрии 4.0 // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2018. Т. 18. No 3. С. 421–427. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-421-427.
5. Виксин И. И. Модели и методы обнаружения нарушений целостности информации в группах беспилотных транспортных средств: диссертация ... канд. тех. наук: 05.13.19 / Виксин Илья Игоревич. СПб., 2018. 207 с.

УДК 681.51

## АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА

Нгуен Хак Тунг<sup>1</sup>, Власов С.М.<sup>1</sup>, Буй Ван Хуан<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., Власов С.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассматривается задача синтеза алгоритма идентификации всех параметров синусоидального сигнала. Предлагается новый подход к параметризации, основанный на применении операторов задержки к измеряемому сигналу. Результатом является модель линейной регрессии первого порядка с одним параметром, который зависит от частоты сигнала. Приведены результаты компьютерного моделирования, иллюстрирующие работоспособность представленного алгоритма идентификации.

**Ключевые слова:** параметрическая идентификация, синусоидальный сигнал, линейная регрессионная модель.

### Постановка задачи

Рассмотрим измеряемый синусоидальный сигнал вида

$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi), \quad (1)$$

где  $\omega$  – частота сигнала,  $A$  – стационарная амплитуда,  $\phi$  – фаза. Параметры  $\omega, A, \phi$  считаются неизвестными.

Ставится задача синтезировать алгоритм идентификации неизвестных параметров  $\omega, A, \phi$ , выполнение следующих целевых условиях:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} |\omega - \hat{\omega}(t)| &= 0 \\ \lim_{t \rightarrow \infty} |A - \hat{A}(t)| &= 0, \\ \lim_{t \rightarrow \infty} |\phi - \hat{\phi}(t)| &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\hat{\omega}(t)$  – текущая оценка частоты  $\omega$ ,  $\hat{A}(t)$  – текущая оценка частоты  $A$ ,  $\hat{\phi}(t)$  – текущая оценка частоты  $\phi$ .

### Оценивание частоты

Для параметризации синусоидального сигнала (1) используется оператор запаздывания [1]:

Рассмотрим два вспомогательные сигналы (3) и (4):

$$y_1(t) = y(t - \tau), \quad (3)$$

$$y_2(t) = y(t - 2\tau). \quad (4)$$

где  $\tau \in R_+$  – выбранные значения задержки.

Преобразуем уравнения (3), (4), получим уравнения (5) и (6):

$$y_1(t) = A \sin(\omega t + \phi) \cos \omega \tau - A \cos(\omega t + \phi) \sin \omega \tau, \quad (5)$$

$$y_2(t) = A \sin(\omega t + \phi) \cos 2\omega \tau - A \cos(\omega t + \phi) \sin 2\omega \tau. \quad (6)$$

Умножая  $y_1(t)$  на  $\sin 2\omega \tau$  и  $y_2(t)$  на  $\sin \omega \tau$ , и вычитая, получаем уравнения (7):

$$y_1(t) \sin 2\omega\tau - y_2(t) \sin \omega\tau = A \sin(\omega t + \varphi) \cos \omega\tau \sin 2\omega\tau - A \cos(\omega t + \varphi) \sin \omega\tau \sin 2\omega\tau - \\ - A \sin(\omega t + \varphi) \cos 2\omega\tau \sin \omega\tau + A \cos(\omega t + \varphi) \sin 2\omega\tau \sin \omega\tau. \quad (7)$$

Из (7) имеем

$$y_1(t) \sin 2\omega\tau - y_2(t) \sin \omega\tau = 2A \sin(\omega t + \varphi) \cos^2 \omega\tau \sin \omega\tau - A \sin(\omega t + \varphi) (2 \cos^2 \omega\tau - 1) \sin \omega\tau. \quad (8)$$

Из (8) имеем

$$y_1(t) \sin 2\omega\tau - y_2(t) \sin \omega\tau = A \sin(\omega t + \varphi) \sin \omega\tau = y(t) \sin \omega\tau. \quad (9)$$

Затем, разделив (9) на  $\sin \omega\tau$ , получим уравнение (10):

$$2y_1(t) \cos \omega\tau = y(t) + y_2(t). \quad (10)$$

Уравнение (10) можно записать в форме линейного регрессора относительно параметра  $\cos \omega\tau$ , как представлено в формуле (11)

$$z(t) = \varphi(t) \theta, \quad (11)$$

где  $z(t) = \frac{1}{2}(y(t) + y_2(t))$ ,  $\varphi(t) = y_1(t)$ ,  $\theta = \cos \omega\tau$ , где  $z(t)$  и  $\varphi(t)$  – измеряемые сигналы,  $\theta$  – неизвестный параметр.

Для оценки неизвестных параметров модели (11) используется метод наименьших квадратов [2].

Оценка находится по формуле (12) и (13):

$$\dot{\hat{\theta}} = KP(t) \varphi(t) (z(t) - \varphi(t) \hat{\theta}), \quad (12)$$

где  $K > 0$  – любое положительное число,  $P > 0$  – вычисляемая как

$$\dot{P}(t) = K (\lambda K - P(t) \varphi^2(t) P(t)). \quad (13)$$

С учетом алгоритма оценивания  $\theta$  мы получим алгоритм для оценивания частоты, представленный в формуле (14):

$$\hat{\omega} = \frac{1}{\tau} \arccos(\theta). \quad (14)$$

### Оценивание амплитуды и фазы

С учетом полученных ранее оценок частоты, а также (1), имеем

$$\hat{y}(t) = A (\sin \hat{\omega} t \cos \varphi + \cos \hat{\omega} t \sin \varphi). \quad (15)$$

Запишем (15) в форме линейного регрессора:

$$\chi(t) = \zeta(t) \delta, \quad (16)$$

где  $\chi(t) = \hat{y}(t)$ ,  $\psi(t) = [\sin \hat{\omega}t \quad \cos \hat{\omega}t]$ ,  $\delta = \begin{bmatrix} A \cos \varphi \\ A \sin \varphi \end{bmatrix}$ .

Для оценивания неизвестных параметров модели (16) используется метод DREM [3].

Пропустим известные элементы регрессионной модели (16) через блок запаздывания  $[H(\cdot)] = (\cdot)(t-d)$ ,  $d \in R_+$ . Тогда из (16) имеем:

$$\chi(t-d) = \zeta(t-d)\delta. \quad (17)$$

где  $d$  - положительные постоянные числа.

Обозначим следующие уравнения:

$$\chi_e(t) = \zeta_e(t)\delta, \quad (18)$$

где  $\chi_e(t) = \begin{bmatrix} \chi(t) \\ \chi(t-d) \end{bmatrix}$ ,  $\zeta_e(t) = [\zeta(t) \quad \zeta(t-d)]$ .

Умножая (18) на  $adj\zeta_e$  (т.е. союзную матрицу для  $\zeta_e$ ), получаем:

$$\chi_i(t) = \Delta\delta, \quad (19)$$

где  $\Delta = det(\zeta_e)$  - определитель матрицы  $\zeta_e$ ,  $\chi_i = adj(\zeta_e)\chi_e$ .

Для оценивания параметров  $\delta$  воспользуемся следующей формулой:

$$\dot{\hat{\delta}} = \gamma\Delta(\chi_i - \Delta\hat{\delta}), \quad (20)$$

где  $\gamma > 0$  – матрица коэффициентов адаптации для оценки неизвестных параметров

### Математическое моделирование

В данном разделе представлены результаты компьютерного моделирования, иллюстрирующие работоспособность предложенных способов идентификации неизвестных параметров синусоидального сигнала. Все симуляции были выполнены в пакете MATLAB – Simulink.

Для проверки работы алгоритма возьмем сигнал  $y(t) = 5 \sin(2t - 1)$ ,  $K = 10, \lambda = 2, \tau = 0.1, \gamma = 100$ .

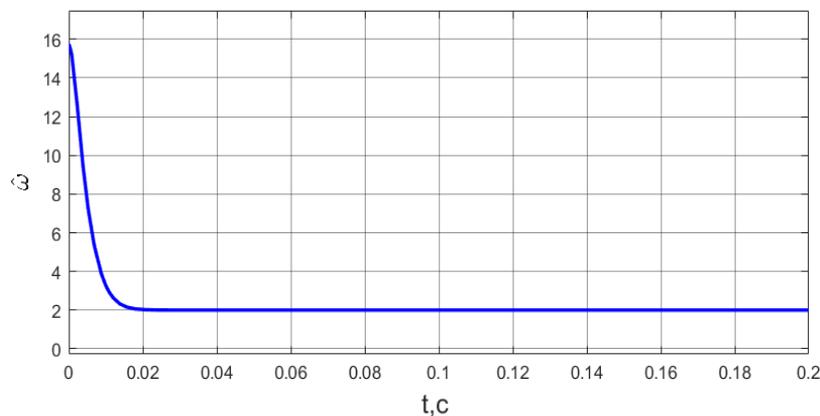
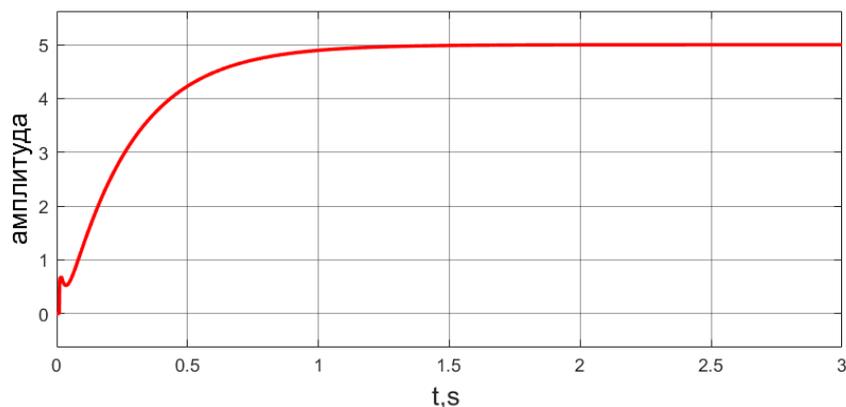
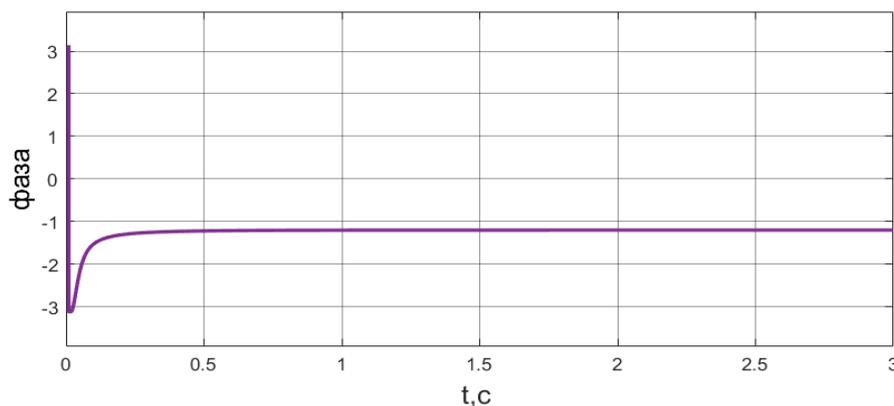


Рис. 1. Временная диаграмма оценки частоты  $\hat{\omega}$

Рис. 2. Временная диаграмма оценки амплитуды  $\hat{A}$ Рис. 3. Временная диаграмма оценки фазы  $\hat{\phi}$ 

### Заключение

В работе предложен метод идентификации всех параметров синусоидального сигнала вида. Новый метод параметризации, основанный на применении операторов задержки к измеряемому сигналу, применяется для построения модели линейной регрессии. Для иллюстрации работоспособности выполнено компьютерное моделирование, демонстрирующее параметрическую сходимость к истинному значению. Полученный алгоритм предполагается использовать при компенсации вертикальных инерционных ускорений в задаче оценивания аномалий силы тяжести на подвижном объекте.

### Литература

1. Gromov V. S., Vedyakov A. A., Vediakova A. O., Bobtsov A. A. and Pyrkin A. A. First-order frequency estimator for a pure sinusoidal signal, 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). 2017. pp. 7-11, doi: 10.1109/MED.2017.7984087.
2. Миронов В. И., Миронов Ю. В. Метод наименьших квадратов в задачах идентификации параметров моделей нелинейных динамических систем, Тр. СПИИРАН, 2009, выпуск 9, 148–158.
3. Aranovskiy S., Bobtsov A. A., Ortega R. and Pyrkin A. A. Performance Enhancement of Parameter Estimators via Dynamic Regressor Extension and Mixing, in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 62, no. 7, pp. 3546-3550, July 2017, doi: 10.1109/TAC.2016.2614889.

УДК 004

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОИСШЕСТВИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.

КЕЙС САНКТ- ПЕТЕРБУРГА

Низомутдинов Б.А.<sup>1</sup>, Беген П.Н.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Митягин С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620179 «Разработка картографического сервиса мониторинга потребностей жителей в развитии инфраструктуры городской среды с применением автоматизированных систем обработки данных из социальных сетей».*

В работе рассмотрены результаты работы разработанной системы по выделению адреса и типа происшествия из текстовых данных социальных сетей. В качестве тем для распознавания были выделены следующие: Угон, Авария, Пожар, Ограбление, Нападение. Определена точность распознавания.

**Ключевые слова:** городская среда, ценностно-смысловое управление, социальные сети, корреляционный анализ, автоматизированный анализ данных.

Из-за отсутствия потенциала по ограничению воздействия опасных факторов многие города по-прежнему сталкиваются с высоким уровнем угроз. По мере того, как угроз в городах становится все больше, повышение устойчивости городов становится главной задачей. Для повышения устойчивости городов растет потребность в информации, которая имеет значение для всех этапов развития городов. Таким образом, лучшее понимание пространственно-временных закономерностей общественного реагирования является ключевым шагом на пути к снижению ущерба и повышению устойчивости городов.

Социальные сети стали важным источником мгновенной информации о событиях и все чаще используются для обеспечения прогнозных моделей, анализа последствий событий и происшествий. Так, группа исследователей из Нью-Йоркского университета проанализировала данные об инцидентах из двух различных источников: от традиционного поставщика данных, который собирает отчеты об инцидентах от нескольких агентств, и сообщения пользователей из Twitter во время урагана Сэнди, затопившего многие районы Нью-Йорка в 2012 году [1]. Результат показал, что Twitter может предоставить подробную информацию о местоположении конкретного инцидента, а также его интенсивности, продолжительности и т. д.

Оперативные данные о состоянии города представляют большую ценность для многих отраслей, ими пользуются органы власти, силовые структуры и аварийно-спасательные службы, такую информацию могут использовать исследователи в своих проектах. Но, как правило, исследователи получают сжатый вариант официальной информации, например о ДТП или угонах, кроме того, такие отчеты публикуются раз в квартал или год. Также сами оперативные службы часто агрегируют информацию с запозданием, ввиду сложности коммуникации. Альтернативный источник информации о происшествиях - результат общения людей в социальных сетях. Люди ставят отметки на карте, пишут в онлайн сообществах о происшествиях практически в режиме онлайн.

В данном исследовании мы рассматриваем информацию о происшествиях в городе, полученную из социальных сетей, на примере Санкт-Петербурга. В качестве источника информации выбрано сообщество Вконтакте – ДТП и ЧП | Санкт-Петербург | Питер Онлайн.

В 2017 компания Яндекс представила аналитический инструмент, который отражает концентрацию аварийных участков на карте [2]. В исследовании использованы данные Яндекс.Навигатора и Яндекс.Карт, где пользователи предупреждают друг друга об авариях, камерах, дорожных работах и эвакуаторах, просто общаются. Сотрудники компании

проанализировали распределение отметок о ДТП по городу и нашли самые опасные и самые аварийные места. Однако данный инструмент снова не отражает актуальных данных.

Точное обнаружение дорожно-транспортных происшествий, а также анализ состояния необходимы для эффективного восстановления транспортного потока и снижения количества серьезных травм и смертельных случаев. Эта цель может быть достигнута с помощью усовершенствованной модели классификации данных, используя новые источники информации о дорожном движении. Недавно были представлены несколько систем, основанных на датчиках и платформах социальных сетей, для обнаружения дорожных событий и мониторинга условий дорожного движения [3, 4].

В своем исследовании мы предлагаем использовать данные из социальной сети Вконтакте, для поиска и отражения на карте различных происшествий – Угон, Авария, Пожар, Ограбление, Нападение.

В случае с Санкт-Петербургом мы рассмотрели возможность извлечения данных об инцидентах, о которых граждане пишут в социальной сети "Вконтакте". В качестве площадки для исследования было выбрано сообщество о дорожно-транспортных происшествиях и чрезвычайных ситуациях в Санкт-Петербурге ([https://vk.com/spb\\_today](https://vk.com/spb_today)). Сбор информации для исследования проводился с использованием набора инструментов, включающих API Вконтакте. Метод API Vkontakte Wall.get возвращает список постов со стены пользователя или сообщества, с помощью этого метода были собраны все комментарии в сообществе.

Разработка сервиса для автоматической обработки и анализа набора данных постов из социальных сетей являлась одной из задач исследования. Сервис подразумевает автоматическое определение темы в тексте поста, а также распознавание адреса или его частей, например улица, дом, район и т.д., на основе методов машинного обучения.

Для разработки сервиса автоматического выделения сущностей в русскоязычном тексте была использована библиотека *natasha* [5]. Из данной библиотеки был использован стандартный извлекатель адресов. Для распознавания тематик постов был настроен парсер с помощью встроенного модуля *uargu*. Для этого в *uargu* были заведены специальные правила и отношения с помощью контекстно-свободных грамматик, созданы отдельные сущности под каждую из тематик. В качестве тем для постов были выделены следующие: Угон, Авария, Пожар, Ограбление, Нападение. Количество постов по этим пяти тематикам составляет примерно 1/3 от общего набора. В рамках исследовательской работы были добавлены правила с готовыми предикатами *uargu*-парсера, распознающие «облако тегов» для выделения темы. Например, для тематики Угон были использованы слова: угон, угнали, кража автомобиля, похищение ТС.

На основе собранной выборки были получены результаты по автоматическому выделению тематик постов и частей адресов, а также получена средняя точность (ассигасу) распознавания, рассчитанная как процентное соотношение распознанных сущностей библиотекой *natasha* с сущностями, выделенными вручную.

В результате сервис определил тематику «Угон» с точностью 82,13%, тему «Авария» – 86,25%, «Пожар» – 94,91%, «Ограбление» – 100%, «Нападение» – 96,77%. Стоит отметить, что количество постов для последних двух тематик крайне низкое (<70), что не позволяет говорить о достаточности полученных данных точности. Также была отмечена длительная продолжительность времени работы парсера, на основе чего можно сделать предположение о медленной работе алгоритма, и с увеличением выборки данных (более 100 тыс. записей) алгоритм парсера будет работать еще медленнее. На дальнейших этапах исследования планируется решить данную проблему и повысить точность распознавания тематик.

Для распознавания адресов в тексте была использована встроенная функция *AddrExtractor* из библиотеки *natasha*. Распознавание проводилось на всей выборке данных, а также на отдельных частях выборки, разделенных по тематикам. Для подсчета средней точности распознавания было задано условие, что если в тексте поста распознана хотя бы одна часть адреса (например, улица, название, номер дома и т.д.), то адрес считается распознанным. В результате средняя точность распознавания адресов на всей выборке составила 58,76%. Для

тематики «Угон» средняя точность составила 78%, для «Авария» – 60%, «Пожар» – 81%, «Ограбление» – 45%, «Нападение» – 57%. При распознавании адреса было отмечено, что наибольший процент точности достигается при определении части адреса если есть слово-маркер, например «ул.», «пр.» в формате «Московская ул.» или «Ленинский пр.». Однако, если убрать слово-маркер, то точность распознавания существенно снижается.

С помощью API геокодирования от Google нам удалось получить координаты адресов, перевести результат геокодирования в стандартный формат GeoJSON, что позволяет использовать эти данные в различных картографических сервисах. По итогам сбора и обработки информации был получен набор данных из 151567 записей со всеми распознанными адресами, затем геокодирован и преобразован в GeoJSON. Ниже на Рис. 2. вы можете увидеть визуализацию точек для темы "Аварии".

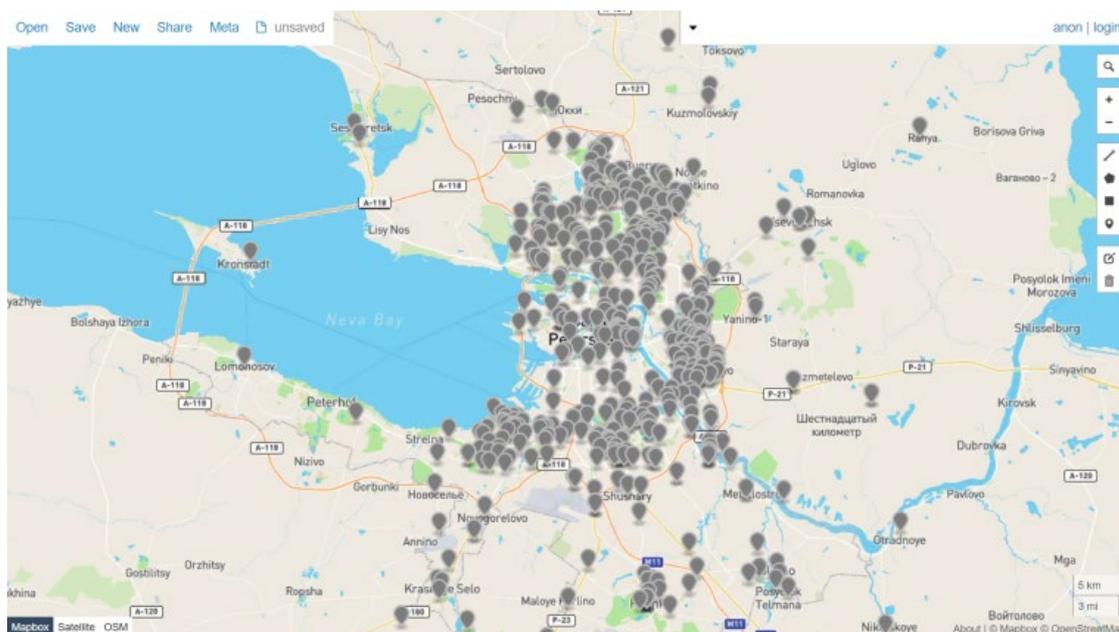


Рисунок. Распределение по теме "аварии"

Метод показал свою перспективность, полученные данные могут быть использованы как исследователями, так и представителями государственных ведомств. В данный момент ведется разработка картографического сервиса для визуальной аналитики, система позволит обеспечить хранение, доступ и модификацию данных в формате geojson используя REST API.

## Литература

1. Abdullah Kurkcu, Fan Zuo, Jingqin Gao, Ender Morgul, Kaan Ozbay. Crowdsourcing Incident Information for Disaster Response using Twitter. January 2017. Conference: Transportation Research Board At: Washington D.C.
2. Автомобильные аварии в Москве. 21 апреля 2017. По данным Яндекс.Карт и Яндекс.Навигатора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/company/researches/2017/accidents> (дата обращения: 20.02.2021).
3. Farman Ali, Amjad Ali, Muhammad Imran, Rizwan Ali Naqvi, Muhammad Hameed Siddiqi, Kyung-Sup Kwak. Traffic accident detection and condition analysis based on social networking data. Accident Analysis & Prevention Volume 151, March 2021, 105973 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.105973>.
4. Gutierrez-Osorio, C., Pedraza, C.: Modern data sources and techniques for analysis and forecast of road accidents: A review. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) 7(4), 432–446 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.002>.
5. natasha/natasha: Solves basic Russian NLP tasks, API for lower level Natasha projects, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/natasha/natasha>, last accessed 2021/04/09. (дата обращения: 10.02.2021).

УДК 621.865.8

## МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ СИТУАЦИЙ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Новицкая Д.В.<sup>1</sup>, Захаров Д.Н.<sup>2</sup>

Научный руководитель – старший преподаватель Жуков Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

<sup>2</sup>АО «НПО Специальных материалов»

В работе рассмотрен вопрос моделирования контактных ситуаций в среде Matlab Simulink с помощью возможностей встроенных и дополнительно устанавливаемых библиотек пакета Simscape. Приведены примеры моделирования с использованием блоков на модели мяча, падающего на поверхность. В качестве практического применения представлена модель сжатия схватом манипулятора объекта манипулирования.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, Matlab Simulink, контакт, контактная ситуация, параметры контакта.

Любое движение можно классифицировать как ограниченное или неограниченное. Например, мяч, падающий в пространстве, движется неограниченно, в то время как мяч, упавший на плоскость – ограничен в движении этой плоскостью, причём в момент ограничения происходит ситуация контакта. Для изучения этой контактной ситуации возможно использовать компьютерное моделирование.

Как известно, компьютерное моделирование – процесс вычисления компьютерной (численной) модели, реализующий представление об объекте исследования, отличном от реального, но достаточно приближенном к нему.

Вопросы компьютерного моделирования неограниченного движения объекта решены в известной степени хорошо, однако в моделировании контактных ситуаций до сих пор нет единого подхода.

В процессе анализа авторами настоящей статьи было выявлено, что моделирование контактных ситуаций подразумевает решение трёх типов задач [1]:

- визуализация контакта (успешно решается стандартными пакетами таких известных ПО, как Kompas-3D, SolidWorks, NX);
- регистрация контакта (является целью исследования настоящей работы);
- оценка параметров контакта (пакетные расширения специализированных программных обеспечений, например, Contact Wizard в Ansys).

Matlab Simulink – это среда визуального программирования для моделирования, симуляции и анализа многоэлементных динамических систем [2]. Её основным преимуществом является обширный настраиваемый набор библиотек блоков.

Simulink позволяет решать все три типа выделенных ранее задач моделирования контактных ситуаций с достаточной точностью с помощью пакетов библиотеки Simulink Simscape.

В результате было выделено три метода моделирования контактных ситуаций с использованием библиотек Simscape [1]:

- Simscape / Foundation Library / Mechanical;
- Simscape / Multibody / Forces and Torques;
- Simscape Multibody Contact Forces Library.

Рассмотрим эти методы подробнее.

В общем случае моделирование мяча, падающего на поверхность, реализуется путём соединения блоков Solid, описывающих геометрию и параметры объектов, посредством блока Joint, задающего ограничения в передвижении тел относительно друг друга. В рассматриваемом случае движение ничем не ограничено. С помощью блоков Solver Configuration, Mechanism Configuration и World Frame задаются настройки решателя, силы

тяжести и глобальной системы координат соответственно [2]. Описанная модель представлена на рисунке 1.

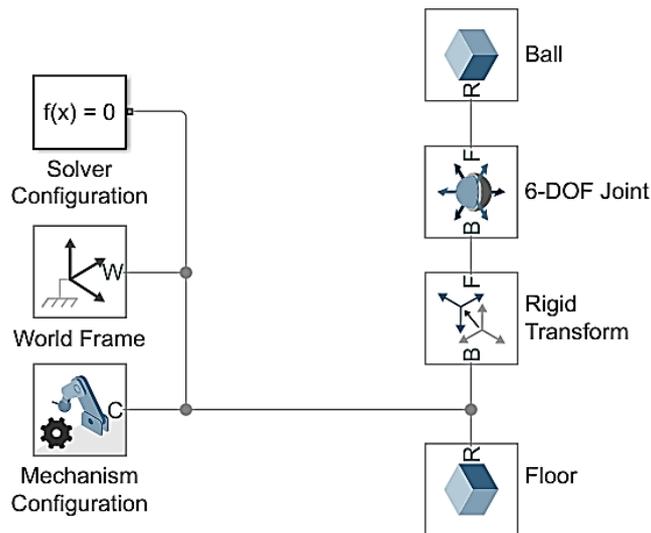


Рис. 1. Модель мяча, падающего на поверхность

Из-за отсутствия блока, который бы задавал параметры контакта двух описанных тел, в симуляции они будут просто проходить сквозь друг друга. Чтобы это исправить, рассмотрим перечисленные выше методы.

Первый метод – использование блоков Translation Hard Stop и Translation Friction встроенной библиотеки Simulink – Simscape / Foundation Library / Mechanical. Модель с использованием этих блоков представлена на рисунке 2.

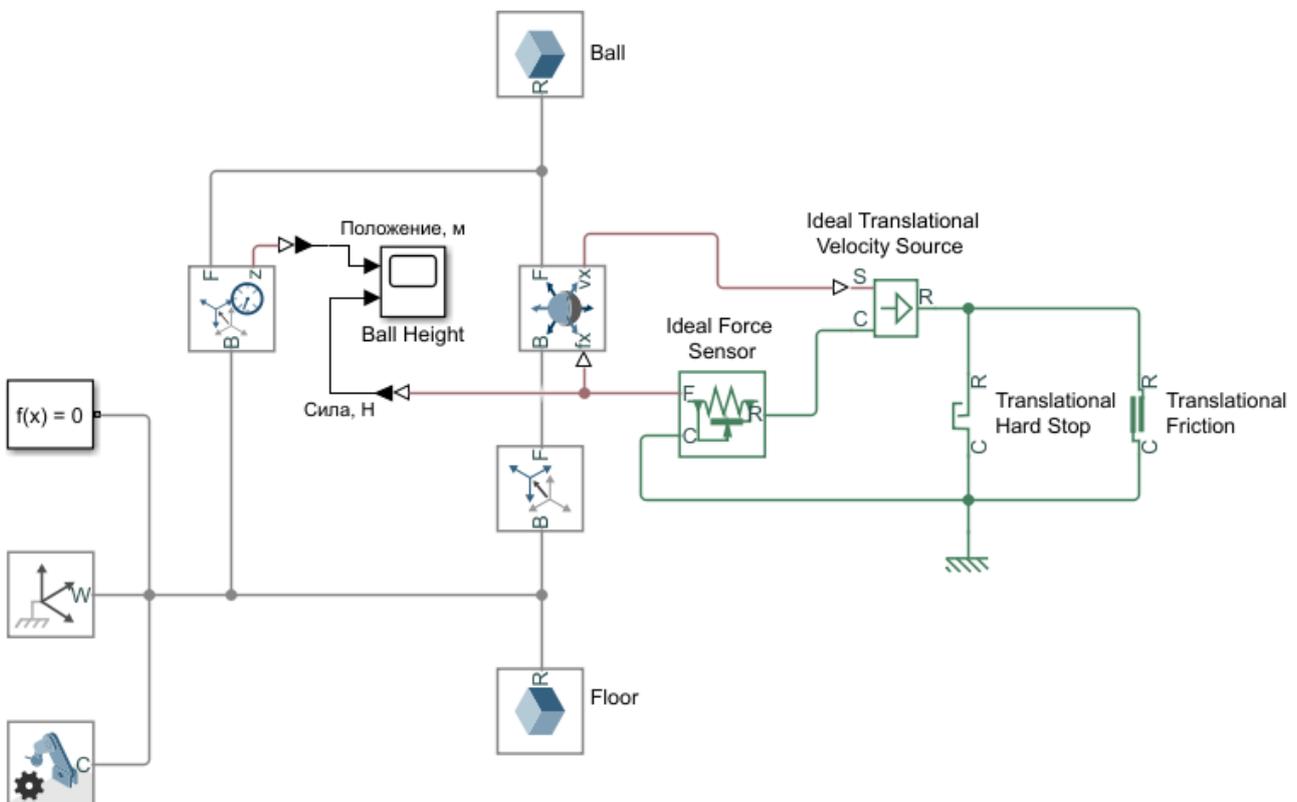


Рис. 2. Моделирование параметров контакта с помощью блоков Translation Hard Stop и Translation Friction

С помощью блоков Translation Hard Stop и Translation Friction возможно задать верхнюю и нижнюю границы движения объекта, величины жесткости, демпфирования и параметры силы трения на каждой границе [2]. Возможно измерить нормальную составляющую силы, силу трения, положение объекта. Границы движения задаются на все пространство модели, что является недостатком данного метода. На рисунке 3 представлены результаты измерения положения мяча и нормальной составляющей силы контакта.

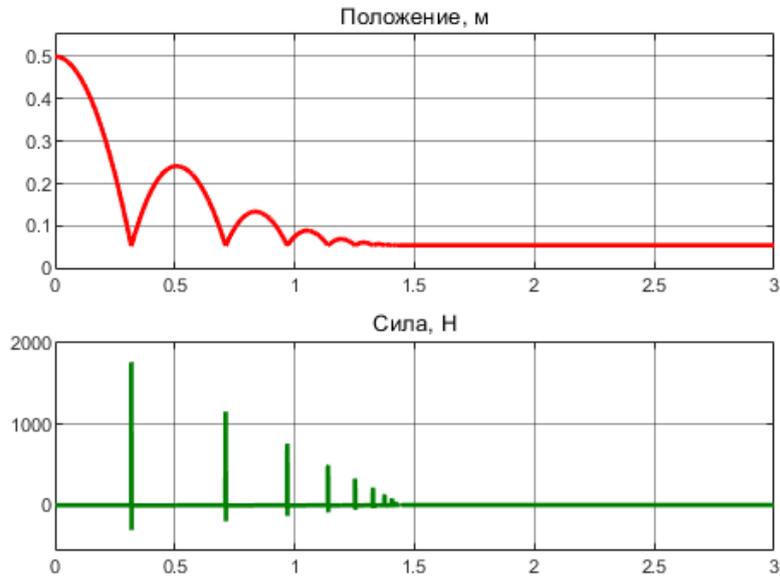


Рис. 3. Параметры контакта (Translation Hard Stop и Translation Friction)

Следующий метод – использование блока Spatial Contact Force, добавленного в стандартную библиотеку Simscape / Multibody / Forces and Torques начиная с версии Matlab 2020а. Модель с использованием этого блока представлена на рисунке 4.

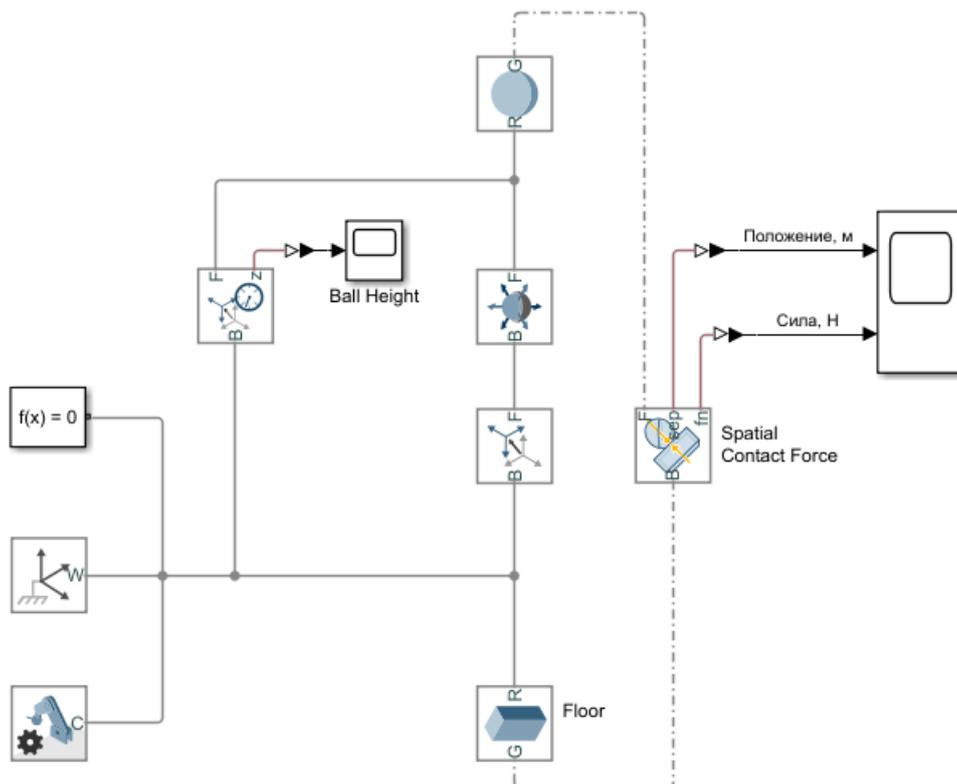


Рис. 4. Моделирование параметров контакта с помощью блока Spatial Contact Force

С помощью данного блока возможно задать величины жесткости и демпфирования нормальной составляющей силы, а также параметры силы трения [2]. Можно измерить расстояние между объектами, нормальную составляющую силы и силу трения. На рисунке 5 представлены результаты измерения положения мяча относительно поверхности и нормальной составляющей силы контакта.

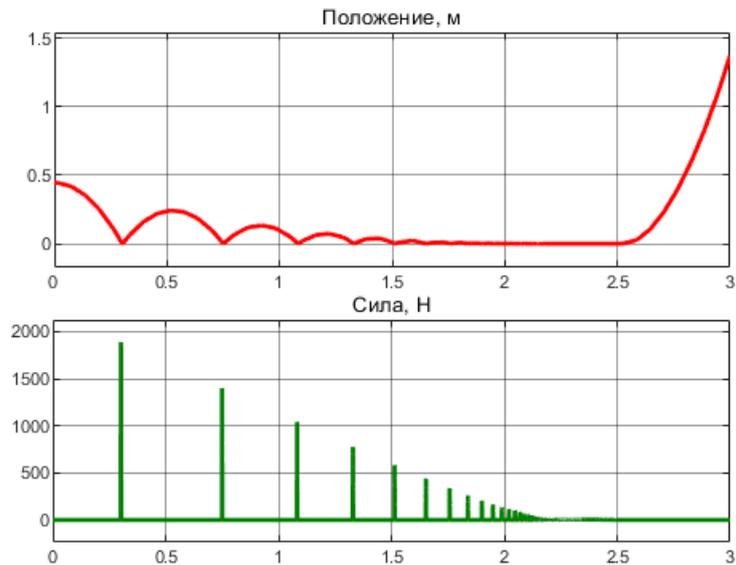


Рис. 5. Параметры контакта (Spatial Contact Force)

Последний метод – использование блока Sphere to Plane Force из пользовательской библиотеки Simscape Multibody Contact Forces Library. Она устанавливается дополнительно, начиная с версии Matlab 2015a. Параметры контакта задаются с помощью подходящего блока среди имеющихся в библиотеке, в данном случае это блок, описывающий контакт между сферой и поверхностью. Модель с использованием этого блока представлена на рисунке 6.

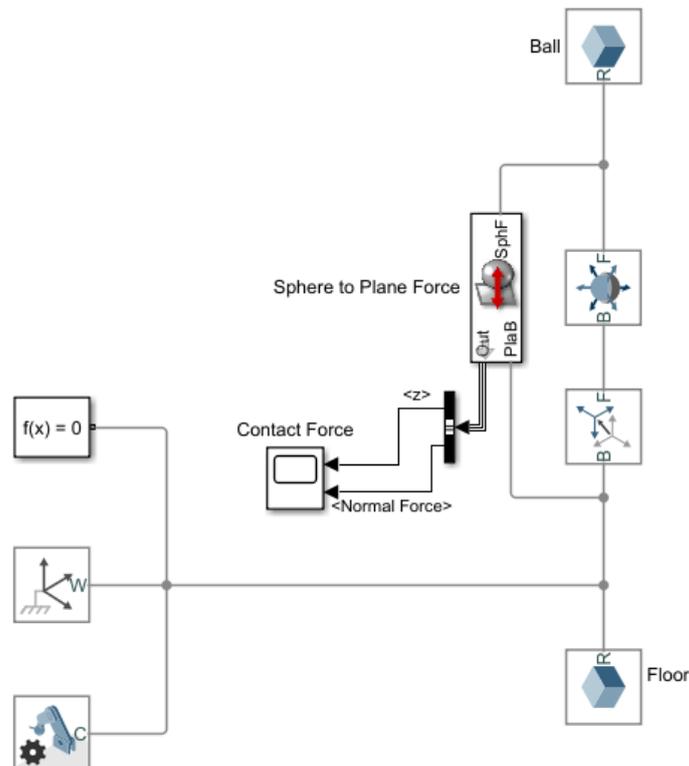


Рис. 6. Моделирование параметров контакта с помощью блока Sphere to Plane Force

С помощью данного блока возможно задать величины жесткости и демпфирования нормальной составляющей силы, а также параметры силы трения [2]. Можно измерить нормальную составляющую силы, силу трения, величину и скорость проникновения объектов, расстояние между объектами по трём координатам. На рис. 7 представлены результаты измерения положения мяча относительно поверхности и нормальной составляющей силы контакта.

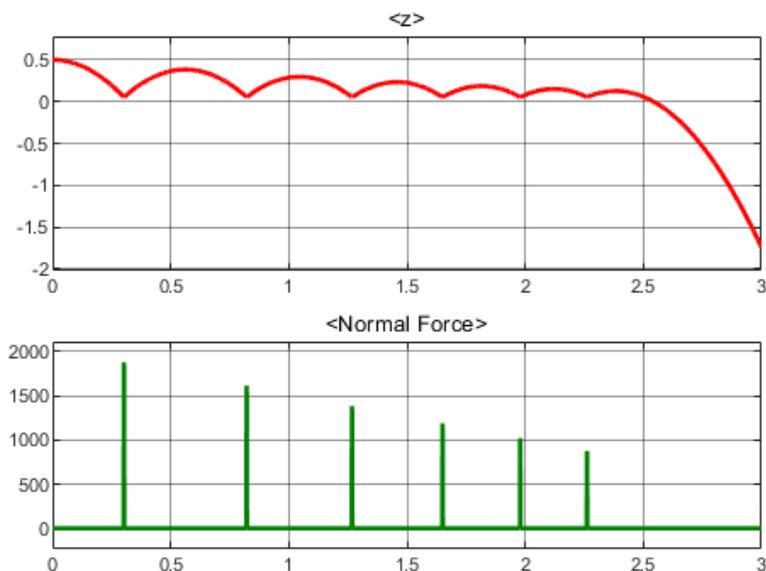


Рис. 7. Параметры контакта (Sphere to Plane Force)

Ниже представлена сводная таблица достоинств и недостатков выделенных ранее методов.

Таблица. Достоинства и недостатки перечисленных методов

	<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Simscape / Foundation Library / Mechanical	Доступность. Возможность визуализации контакта путём имитации.	Невозможность задать контактирующие поверхности. Невозможность оценить параметры контакта.
Simscape / Multibody / Forces and Torques	Простота реализации. Возможность визуализации контакта поверхностей нестандартной формы. Возможность оценки параметров контакта.	Требуется установка Matlab Simulink версии R2020a
Simscape Multibody Contact Forces Library	Возможность визуализации контакта простейших геометрических поверхностей. Возможность оценки широкого ряда параметров контакта. Расширение доступно начиная с версии R2015a.	Требуется установка дополнительной библиотеки. Набор моделируемых ситуаций ограничен представленными в библиотеке компонентами.

Как видно, каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. Выбор может зависеть от типа моделируемого устройства и рабочей операции, наличия у пользователя возможности установки специальных дополнительных пакетов программного обеспечения, вычислительных возможностей компьютера, а также от степени владения пользователем программой Matlab Simulink и скоростью обучения.

В качестве практического применения рассмотрим использование пользовательской библиотеки при моделировании захвата объекта схватом манипулятора, а именно процесс сжатия и удержания объекта. На рисунке 8 представлена симуляция модели.

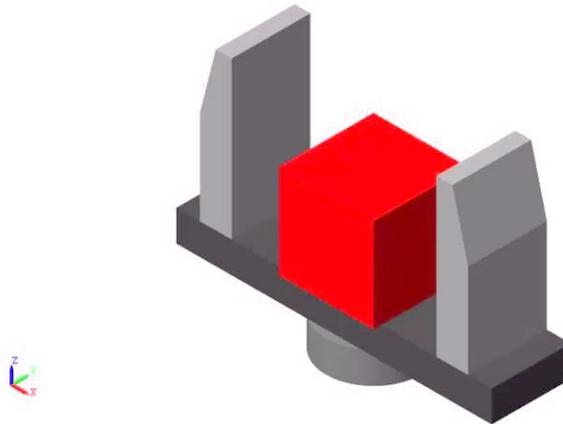


Рис. 8. Симуляция модели схвата манипулятора

На рисунке 9 показаны результаты моделирования: графики зависимости положения, скорости и силы, действующие на каждую из губок схвата, в зависимости от времени.

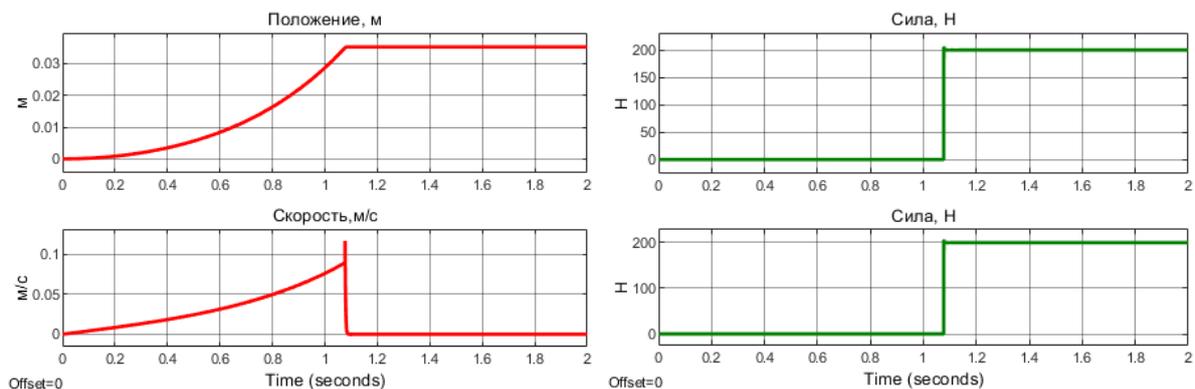


Рис. 9. Параметры контакта

Из настоящей статьи видно, что использование блоков библиотек позволяет расширить возможности моделирования многотельных моделей путём обеспечения информации о контактных ситуациях.

В ходе работы были рассмотрены три метода, выделены их достоинства и недостатки, а также приведён пример использования описанных подходов на практике. Рассмотренная модель подтвердила эффективность использования представленных методов при моделировании контактных ситуаций, что может повысить качество моделирования многотельных систем.

В дальнейшей работе планируется применение полученной информации при разработке системы управления, использующей информацию об усилиях.

## Литература

1. Новицкая Д.В., Захаров Д.Н. Оценка методов моделирования контактных ситуаций в среде Matlab Simulink // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. - [2021, электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/7058>, своб.
2. MATLAB – MathWorks – MATLAB & Simulink // Официальный сайт. - [электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mathworks.com>, своб.

УДК 004.056

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Ольшанский В.К.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Ли И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

На сегодняшний день веб-приложения стали частью нашей повседневной жизни. Они – проводник не только к просмотру, но и к обработке, хранению информации, в том числе и конфиденциальной. Современные приложения очень удобны для пользователя, но, в то же время, при недостаточной организации защиты они являются приоритетным объектом для нападения и впоследствии компрометации данных. В данной статье будут рассмотрены уязвимые точки веб-приложений, основные ошибки при разработке и на что стоит обратить внимание при построении веб-приложения. **Ключевые слова:** веб-приложение, OWASP, уязвимости, методика, информационная безопасность.

Первоочередным при построении веб-приложения является определение технических требований и его функционала. Другими словами, необходимо понять, с какой целью будет создаваться приложение.

Далее необходимо выбрать используемые для реализации инструменты, то есть прокси-сервер, язык программирования и соответствующий фреймворк, а также вид базы данных, если в ней есть необходимость. Выбранные инструменты должны соответствовать следующим критериям:

1. Адекватность к архитектуре приложения.
2. Наличие опыта работы с ними и знания о тонкостях их использования.

Следующим шагом в разработке безопасного веб-приложения является выбор программных компонентов. При разработке обычно ориентируются на уже реализованные алгоритмы решения той или иной проблемы, а также созданные для этого библиотеки. Поэтому логично, что используемые компоненты должны быть выбраны исходя из следующего:

1. Распространённость в использовании, иными словами, протестированность другими разработчиками.
2. Подтвержденность, то есть компоненты взяты из официальных источников.
3. Актуальность в сфере информационной безопасности (далее - ИБ), другими словами, они должны регулярно обновляться и дополняться.

После того как были выбраны инструменты и компоненты будущего приложения, следует перейти к непосредственно их настройке. С помощью документации идёт первоначальная настройка, которая покажет работоспособность созданной архитектуры, что может сразу выявить корневые проблемы системы, допущенные на предыдущих этапах.

Теперь, когда разработчик полностью убеждён в работоспособности и отсутствии ошибок в использованных инструментах и компонентах текущей архитектуры, следует перейти к адаптации системы под современные требования ИБ. Под этим подразумевается:

1. Выдача наименьшего количества привилегий веб-приложению на сервере, что подразумевает под собой создание изолированной среды, в которой и будет работать приложение.
2. Перенаправление всех запросов пользователей к веб-приложению через прокси-сервер (см. рисунок).
3. Переход на протокол HTTPS. Для этого необходимо получить и подключить SSL- сертификат на прокси-сервер. Это специальный файл, содержащий уникальные ключи шифрования. В дальнейшем находящиеся в нём ключи используются для шифрования информации [1].
4. Базовая настройка CORS – это механизм, который обеспечивает контролируемый доступ к ресурсам, расположенным за пределами данного домена [2].

5. Политика защиты контента (CSP) – это дополнительный уровень защиты, который помогает распознавать и устранять определённые типы атак [3].

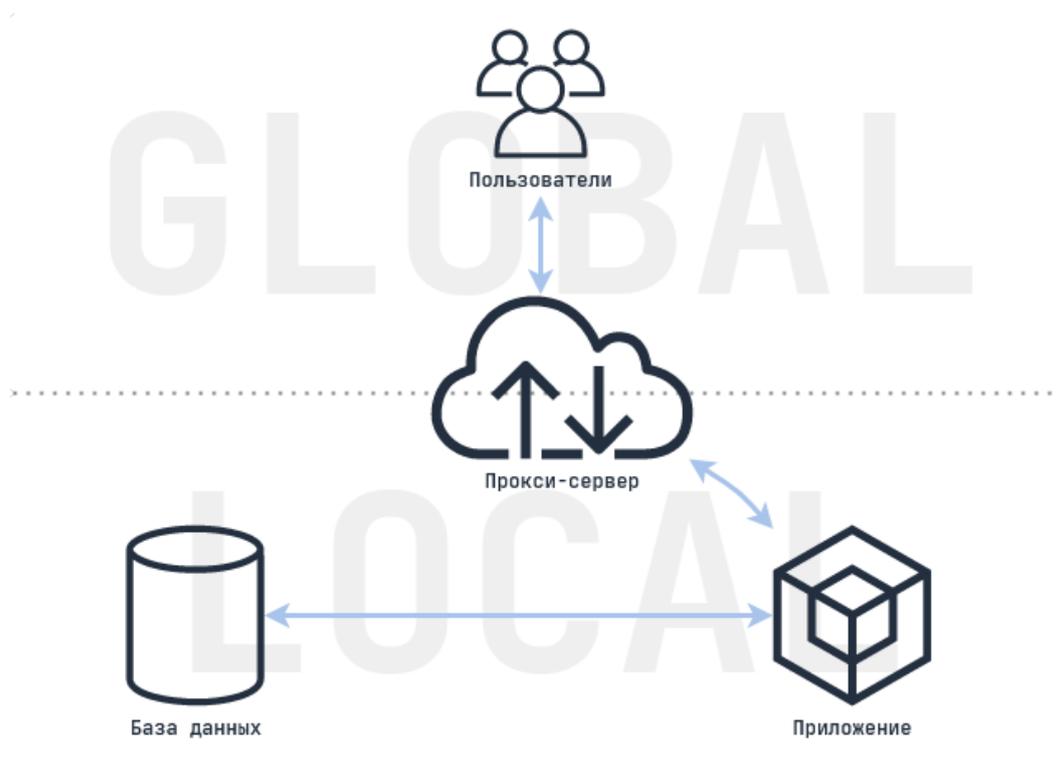


Рисунок. Схема безопасной архитектуры приложения

Стоит понимать, что вышеперечисленные пункты являются базовыми составляющими безопасной системы и в частных случаях могут потребоваться специальные доработки.

Ещё одним важнейшим пунктом в методике построения безопасного веб-приложения перед началом разработки функционала является необходимость заранее обдумать иерархическое дерево ролей и прав доступа к будущему функционалу и к каким-либо другим данным внутри приложения. С помощью этого в дальнейшем решается вопрос авторизации, а именно проверки прав пользователя на выполнение каких-либо операций (функций) в приложении [4].

И только теперь можно переходить к разработке функционала. Важно помнить, что чем больше приложение наполняется различными функциями, тем больше риски возникновения уязвимости, но при должном подходе к разработке их можно свести к минимуму, если учитывать следующее:

1. Перед выполнением какой-либо операции пользователем необходимо провести его идентификацию, аутентификацию и авторизацию. Идентификацию и аутентификацию пользователь может выполнить один раз в сессии, но проверка прав доступа (авторизация) на выполнение каких-либо операций должна осуществляться постоянно.

2. Далее нужно сократить количество данных, которые попадают в обработку напрямую от пользователя. Распространённым примером будет работа пользователя с фильтрами, где ему не нужно самостоятельно вводить какие-либо параметры поиска, это уже предусмотрено функционалом приложения в виде готовых для этой операции параметров.

3. Очевидно, что невозможно полностью ограничить пользователя в вводе каких-либо данных, тогда необходима их самостоятельная обработка или с помощью подобранных ранее программных библиотек, которые смогут помочь оценить, насколько корректны вводимые данные и являются ли они безопасными.

4. Если в ходе операции произошла ошибка во время её выполнения, нужно предотвратить получение пользователем информации о подробностях возникшей проблемы. Достаточно указать на то, что операция не выполнена.

5. При работе с конфиденциальными данными необходимо использовать методы шифрования для их хранения и обработки.

Отдельно стоит вынести пункт логирования, который при возникновении какой-либо непредвиденной ситуации с помощью логов (журнала совершенных операций) даст понимание того, что произошло, где и когда, и тем самым поможет воссоздать «картину» и выяснить причину возникновения проблемы. В журнале логов должна содержаться информация об этапах выполнения чувствительных операций.

По завершению работы над функционалом необходимо провести комплексное тестирование на предмет наличия уязвимостей итогового веб-приложения [5]. Основными этапами являются:

1. Разведка – сканирование портов и поддоменов, исследование видимого и скрытого контента, а также другой информации, которую злоумышленник может получить без внедрения, то есть из открытых источников.

2. Контроль доступа – проверка средств аутентификации и авторизации, идентификации учетной записи, полномочий, прав доступа и т.д.

3. Фаззинг параметров, направленный на различные виды инъекций (SQL, SOAP, LDAP, XPATH и т.д.), XSS-уязвимости, внедрение XML-сущностей, и т.д.

4. Проверки логики работы веб-приложения – доступность информации исходя из прав доступа или их отсутствия, возможность дублирования или децентрализация данных, race condition-уязвимости и т.д.

5. Проверка серверного окружения – архитектуры сервера, серверных учетных записей, настроек сервера, настройки компонентов и т.д.

В конечном итоге выполнения этапов разработки можно утверждать, что готовое веб-приложение является безопасным. Чтобы убедиться в этом, далее мы обратимся к списку десяти самых критичных угроз безопасности веб-приложений (OWASP Top 10) для сопоставления их с вышеупомянутыми этапами.

Основной целью OWASP Top-10 является ознакомление разработчиков, проектировщиков, архитекторов, менеджеров и организаций в целом с рисками, связанными с наиболее распространенными и существенными недостатками в безопасности веб-приложений.

#### 1. Injection (Внедрение).

Данная уязвимость подразумевает под собой все типы инъекций (SQL, NoSQL, LDAP и т.д.). Риск её возникновения возможен, когда непроверенные данные от пользователя напрямую влияют на формирование запроса.

В методике это было учтено на этапе разработки функционала, где было необходимо проанализировать и сократить количество непроверенных входящие от пользователя данных.

#### 2. Broken Authentication (Недостатки аутентификации).

Аутентификация и управление сеансами включает проверку учетных данных пользователей и управление их активными сеансами. Нарушение аутентификации и управления сеансом происходит, когда учетные данные не могут быть аутентифицированы, а идентификаторы сеанса не могут быть идентифицированы из-за отсутствия шифрования и (или) слабого управления сеансом. Эти недостатки и формируют уязвимость.

В методике это было учтено в первом пункте этапа разработки функционала.

#### 3. Sensitive Data Exposure (Разглашение конфиденциальных данных).

Риск её появления связан с некорректным хранением и (или) обработкой конфиденциальных данных и ошибки при передаче по каналам связи.

Это предотвращается путём этапа адаптации системы под современные требования ИБ (использование HTTPS протокола), а также на этапе разработки функционала в части использования методов шифрования при работе с конфиденциальными данными.

#### 4. XML External Entities (Внедрение внешних XML-сущностей (XXE)).

Данная уязвимость тесно связана с восьмой уязвимостью списка OWASP Top-10, которая позволяет злоумышленнику совершать любые операции с информацией, сервисами и другими компонентами системы, к которым может получить доступ само приложение.

При уменьшении риска возникновения данной уязвимости используются методы, аналогичные тем, что использовались для Injection (см. п. 1).

#### 5. Broken Access Control (Недостатки контроля доступа).

Контроль доступа предполагает наличие политики, определяющей права пользователей. Обход ограничений доступа обычно приводит к несанкционированному разглашению, изменению или уничтожению данных, а также выполнению непредусмотренных полномочиями функций.

Предотвращается путём контроля доступа пользователя к какой-либо информации с помощью корректного распределения ролей, что и происходит на этапе построения иерархического дерева ролей и прав доступа.

#### 6. Security Misconfiguration (Ошибки в конфигурировании).

Неправильное конфигурирование системы безопасности ведёт к возникновению данной уязвимости и связано с небезопасными конфигурациями по умолчанию, неполными или специальными конфигурациями.

Способы защиты от этой уязвимости упоминаются на протяжении всей методики, а именно на этапе правильного подбора инструментов, выбора программных компонентов, выстраивания корректной архитектуры веб-приложения и адаптации системы под требования ИБ.

#### 7. Cross-Site Scripting (Межсайтовый скриптинг).

Уязвимости XSS типа возникают всякий раз, когда приложение отрисовывает ненадежные данные в веб-страницу без надлежащей проверки или экранирования, или обновляет существующую веб-страницу с ненадежными данными.

Механизмы защиты, используемые на этапе адаптации системы по требованиям ИБ (CSP), а также фильтрация входящих данных на этапе разработки функционала существенно снижают риски возникновения.

#### 8. Insecure Deserialization (Небезопасная десериализация).

Небезопасная десериализация часто приводит к удаленному выполнению кода на сервере, одной из самых опасных уязвимостей, которая может стать начальной точкой для возникновения других уязвимостей.

На этапе адаптации системы под современные требования ИБ в первую очередь происходит создание изолированной среды работы приложения, что ограничивает возможный ущерб от небезопасной десериализации. Риск же возникновения регулируется фильтрацией входящих данных на этапе разработки функционала, а также при помощи верного выбора программных компонентов и инструментов.

9. Using Components with Known Vulnerabilities (Использование компонентов с известными уязвимостями).

Данная уязвимость является «фундаментом» для возникновения других уязвимостей. Атака с её эксплуатацией может привести к серьезной потере данных или захвату сервера.

В данной методике это учитывается на этапе безопасного подбора программных компонентов и инструментов.

#### 10. Insufficient Logging & Monitoring (Недостатки логирования и мониторинга).

Основной угрозой является невозможность ни просто не воссоздать произошедший инцидент и вовремя на него среагировать, а упустить его вообще.

Соответственно подобная угроза предотвращается созданием правильной системы логирования.

В настоящей работе был проведён анализ веб-уязвимостей и сопоставления их с этапами построения веб-приложения. Так как в настоящее время информационный поток постоянно циркулирует в сети, то крайне важно, чтобы её элементы, одним из которых является веб-приложение, были безопасны.

### **Литература**

1. Афанасьева Д.В., Абидарова А.А., Плахина Е.А. Применение протокола HTTPS для повышения информационной безопасности в сети. – Тула: Известия ТулГУ. Технические науки, 2019. Вып. 9. 364 с.
2. Cross-Origin Resource Sharing – 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fetch.spec.whatwg.org/#access-control-allow-origin-response-header> (дата обращения: 18.02.2021).
3. MDN Web Docs – 2005. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/HTTP/CSP> (дата обращения: 18.02.2021).
4. Иванов В.В., Лубова Е.С., Черкасов Д.Ю. Аутентификация и авторизация // Проблемы современной науки и образования, 2017. №2. 31 с.
5. Open Web Application Security Project – 2004. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide> (дата обращения: 20.02.2021).

УДК 004.052.3

## **АНАЛИЗ РИСКА ВЫВОДА ЗНАЧИМОГО ОБЪЕКТА КИИ ИЗ СТРОЯ В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ УГРОЗЫ ПЕРЕХВАТА УПРАВЛЕНИЯ АСУ ТП**

**Пермякова М.А.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Бибииков С.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрен риск-ориентированный подход к обеспечению безопасности автоматизированных систем управления как значимых объектов критической информационной инфраструктуры. Предложены два метода оценки риска вывода объекта из строя в условиях реализации угрозы перехвата управления, позволяющие оценить текущее состояние защищенности объекта.

**Ключевые слова:** анализ риска, объект критической информационной инфраструктуры, угроза безопасности информации, автоматизированная система управления технологическими процессами, функциональная безопасность, перехват управления.

При проектировании комплексных систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры (ОКИИ) необходимо соблюдать выполнение требований, направленных на обеспечение функционирования систем автоматического управления в штатном режиме, при котором обеспечивается выполнение целевых функций в условиях воздействия угроз безопасности информации (УБИ), а также на снижение рисков незаконного вмешательства в процессы функционирования.

Анализ риска должен рассматриваться на всех стадиях жизненного цикла системы, поддерживающего непрерывные процессы. При оценке необходимо учитывать результаты обработанных рисков на ранних стадиях проектирования систем, идентификацию новых, а также анализ эффективности принятых компенсационных мер против актуальных УБИ на заданном временном интервале.

Информационная безопасность (ИБ) автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) тесно связана с функциональной безопасностью. Модели архитектуры и зонирования АСУ ТП по стандартам функциональной безопасности схожи с системами менеджмента ИБ на стадиях жизненного цикла АСУ ТП.

При оценке потенциальных уязвимостей и угроз необходимо рассчитывать приемлемый уровень риска потери ресурса или отказа элемента системы, который также позволяет оценить полноту безопасности системы, выполняющей критические процессы, на соответствие заданному уровню согласно серии стандартов ГОСТ Р 61508.

Снижение риска, которое должно быть обеспечено для достижения уровня приемлемого риска для конкретного опасного события, состоит в установлении величины «разумного» риска, учитывающего вероятность возникновения опасных событий и их последствия.

Оценка рисков является важным звеном в проектировании систем безопасности ОКИИ. На основе ее результатов можно оценить достаточность существующих защитных мер и выявить слабые места в системе безопасности.

В области функциональной и информационной безопасности присутствуют общие риски вывода оборудования из строя вследствие отказа аппаратных средств, например, в условиях успешной реализации угрозы перехвата управления АСУ ТП – УБИ-183. путем получения права управления компонентами АСУ ТП за счет эксплуатации уязвимостей программного обеспечения или технологических протоколов передачи данных.

Одной из методик оценки рисков на всем жизненном цикле системы является методика HAZOP (Hazard and Operability Study) [1]. Основными задачами метода являются:

- составление полного описания объекта или процесса, включая предполагаемые состояния конструкции;
- систематическая проверка каждой части объекта или процесса с целью обнаружения путей возникновения отклонений от проектного замысла;

– принятие решения о возможности возникновения опасностей или проблем, связанных с данными отклонениями.

Исследования по методике HAZOP могут применяться по отношению к техническим объектам в процессе их функционирования либо на различных стадиях проектирования.

На первом этапе анализа HAZOP перечисляются все потенциальные причины, которые могут привести к нарушению штатного функционирования системы, к останову критического технологического процесса или системы в целом. Затем подробно описываются все возможные последствия. При оценке последствий важно учитывать существующие системы защиты и их параметры функционирования. Завершающим этапом является определение уровня риска, присущего каждой опасности. Если вероятность возникновения опасности высока, а тяжесть последствий мала, риск можно расценивать как средний. С другой стороны, если вероятность возникновения опасности низкая, а тяжесть последствий высока, риск расценивается как высокий [2].

Методика подразумевает 5 уровней риска: очень низкий (Very Low (VL)), низкий (Low (L)), средний (Medium (M)), высокий (High (H)) и очень высокий (Very High (VH)), в зависимости от серьезности последствий. В таблице 1 представлены уровни риска нарушения функционирования средств автоматизации АСУ ТП в условиях реализации УБИ-183.

Таблица 1. Уровни риска по методике HAZOP

Нарушение функционирования средств автоматизации АСУ ТП	Уровень риска
искажение результатов измерения при передаче телемеханики	VH
отказ измерительного устройства	VH
выдача недостоверной информации о ходе ТП	M
отказ функции визуализации	H
подача ложных команд	H
искажение команд	H
искажение алгоритма	H
отказ исполнительного устройства	VH
принятие ложных сообщений (сигналов) из смежных АСУ	H
ложное срабатывание или несанкционированное изменение диапазонов срабатывания аварийной сигнализации	H
искажение сообщений, получаемых и передаваемых в смежные АСУ	VH
изменение (удаление) специального ПО и средств защиты	VH

Анализ рисков по методике HAZOP не является достаточным для получения полной картины о состоянии защищенности АСУ ТП. Для более глубокого анализа необходимо рассчитать количественный показатель величины риска.

Одним из подходов к количественной оценке риска в АСУ ТП является получение величины риска как вероятности вывода АСУ ТП из строя при заданных параметрах

функционирования и вероятности реализации угрозы. Количественная оценка риска рассчитывается по формуле [3]:

$$R = \frac{C_p P_y}{C_{m_y}}, \quad (1)$$

где  $C_p$  – стойкость защищаемого ресурса (вероятность безотказного выполнения функций оперативного управления и контроля (целевых функций));  $P_y$  – вероятность осуществления УБИ-183;  $C_{m_y}$  – стоимость ущерба (критический уровень последствия реализации угрозы).

Вероятность осуществления УБИ-183 была получена в ходе экспертной оценки. Вероятности были получены экспертами с учетом реализации на уровнях АСУ ТП минимального необходимого набора мер защиты значимого ОКИИ, а также с учетом существующих моделей угроз АСУ ТП топливно-энергетического комплекса и лучших практик создания систем безопасности КИИ. Результаты экспертной оценки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Вероятность реализации УБИ-183

Эксперт	Вероятность реализации УБИ-183
старший государственный инспектор отдела координации и оценки эффективности обеспечения безопасности ОКИИ Управления ФСТЭК России по СЗФО	0,3
инженер-проектировщик систем безопасности ОКИИ	0,7
инженер научно-исследовательского отдела сервисного центра «Техноап инжиниринг»	0,3

С помощью выборочного среднего рассчитана средняя вероятность реализации УБИ-183. Таким образом,  $P_y=0,4$ .

Критический уровень последствия реализации УБИ-183 зависит от уровня опасности уязвимостей, являющихся предпосылками к данной угрозе. Уровень опасности уязвимостей оценивается по шкале CVSS. Средний уровень опасности уязвимостей, согласно Банку данных угроз ФСТЭК, равен 7,5, следовательно, критический уровень последствия реализации  $C_{m_y}=7,5$ .

Согласно некоторым стандартам эксплуатирующих организаций, вероятность безотказного выполнения целевых функций оперативного контроля и управления в любой из подсистем АСУ ТП из расчета на 2000 часов должна быть не меньше 0,925. Таким образом,  $C_p=0,925$ .

Получив все необходимые данные, можно рассчитать величину риска по формуле (1):

$$R = \frac{0,925 \cdot 0,4}{7,5} = 0,05.$$

Таким образом, риск вывода АСУ ТП из строя, равный 0,05 является минимальным, что означает, что существующая система защиты является активной мерой защиты от реализации угрозы УБИ-183 и соответствует концепции обеспечения ИБ АСУ ТП. В основе данной концепции лежит деление АСУ ТП на четыре уровня кибербезопасности, согласно стандарту ISA/IEC 62443-4-1-2018, определяемые в зависимости от характерных угроз и уязвимостей, рисков, целевых функций частей и компонентов АСУ ТП, и связанных с этим политик безопасности [4]:

- 1 уровень – защита от непреднамеренных атак;
- 2 уровень – защита от преднамеренных атак с использованием низких ресурсов, общих навыков и низкой мотивацией;
- 3 уровень – защита от преднамеренных нарушений с использованием сложных механизмов проведения атак с умеренными ресурсами, специализированными знаниями в области АСУ ТП и средней мотивацией;
- 4 уровень – защита от преднамеренных атак с использованием сложных механизмов проведения атак с расширенными ресурсами, специализированными знаниями в области АСУ ТП и высокой мотивацией.

Для снижения риска перехвата управления АСУ ТП при проектировании систем безопасности значимых ОКИИ определяется состав мер по обеспечению безопасности, в соответствии с Приказом ФСТЭК России №239, для установленной актом категорирования определенной категории значимости ОКИИ. Данные меры и организационно-правовые аспекты обеспечения безопасности значимых ОКИИ должны быть формализованы в виде функций безопасности, реализуемых соответствующими средствами защиты, а также функций, встроенных в применяемые операционные системы и программное обеспечение промышленного назначения.

Настраиваемые функции безопасности позволяют снизить уровень риска заданных показателей защищенности и ущерба от возможной реализации угрозы УБИ-183 на этапе внедрения проектируемой системы безопасности ОКИИ.

Общий подход к количественной оценке риска может включать в себя:

- определение временного интервала, на котором будут рассматриваться риски;
- определение перечня негативных воздействий на объект (в том числе основанного на статистических данных);
- определение перечня масштабов ущерба объекту;
- проведение оценки уязвимостей, характерных для исследуемого объекта (по шкале CVSS) и применяемого на нем специализированного программного обеспечения;
- проведение оценки угроз реализации негативных воздействий на временном интервале. Степень угрозы – величина, характеризующая наличие на временном интервале фактора угрозы, способствующего реализации негативного воздействия на объект безопасности, и величина, характеризующая влияние фактора (при его наличии) на начало указанного воздействия;
- определение уровня потенциального риска;
- определение уровня текущего риска, в дополнение к уровню потенциального, при существовании угрозы негативного воздействия на объект воздействия и соответствующей вероятности ее реализации, начало исполнения угрозы на некотором временном интервале;
- проведение оценки риска получения объектом безопасности недопустимого ущерба.

Рассчитанные показатели уровня риска по каждой группе выявленных угроз и уязвимостей в АСУ ТП позволяют:

- дать более объективную оценку при категорировании объекта на основании показателей критериев значимости Постановления Правительства РФ №127;
- оценить эффективность систем обеспечения безопасности защищаемых объектов для предъявления им надлежащих требований и мер после присвоения определенной категории значимости объекту.

### Литература

1. Rockwell Automation. Руководство безопасности процессов. Функциональная безопасность в непрерывных производствах: принципы, стандарты, реализация – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://forte21.ru/fi/cat\\_rockwell/\\_263\\_safebkrm003a-ru-p.pdf](https://forte21.ru/fi/cat_rockwell/_263_safebkrm003a-ru-p.pdf) (дата обращения 08.05.2021) – Текст: электронный.
2. ГОСТ Р 27.012-2019. Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности

(HAZOP) – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200170007> (дата обращения 08.05.2021) – Текст: электронный.

3. Ворона В.А., Тихонов В.А., Митрякова Л.В. Теоретические основы обеспечения безопасности объектов информатизации. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 304с.: ил.
4. Quick Start Guide: An Overview of ISA/IEC 62443 Standards. Security of Industrial Automation and Control Systems – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gca.isa.org/hubfs/ISAGCA%20Quick%20Start%20Guide%20FINAL.pdf> (дата обращения 08.05.2021) – Текст: электронный.

УДК 004.934.1'1

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ VPE-DROPOUT В ОБУЧЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ДЛЯ ТУРЕЦКОГО ЯЗЫКА

Подлужный И.А.<sup>1</sup>, Андрусенко А.Ю.<sup>1</sup>, Лаптев А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., с.н.с. Меденников И.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620173 «Исследование интегральных методов обучения для систем автоматического распознавания речи».*

В данной работе исследуется методика обучения интегральных систем распознавания речи для турецкого языка. В рамках рассматриваемой методики также исследуется влияние метода аугментации и регуляризации обучения VPE-dropout на качество распознавания обучаемой системы. Также исследуется влияние данной техники на качество распознавания слов, не присутствующих в обучающей выборке.

**Ключевые слова:** распознавание речи, интегральные системы распознавания речи, малоресурсное распознавание речи, VPE, VPE-dropout.

### Введение

Интегральные системы распознавания речи показывают наилучшие результаты для популярных языков в большинстве сценариев [1]. Но для эффективного обучения таких моделей обычно требуются большие объёмы данных, порядка сотен часов и больше, и особенный интерес представляет обучение интегральных систем распознавания речи в случае, когда обучающих данных на целевом языке недостаточно (малоресурсных языках). Одним таких малоресурсных языков является турецкий язык. Другой важной задачей систем распознавания речи в речевых ассистентах является распознавание слов из пользовательского словаря, таких как имена, названия организаций и т. п., которых нет в обучающих данных (OOV – out-of-vocabulary слова). В данной работе рассматривается метод обучения интегральной системы распознавания турецкой речи на наборе данных Babel Turkish (80 часов спонтанной речи) с большим содержанием OOV слов (5.40 %).

### VPE и VPE-dropout

Сегментирование кодированием пар байтов (VPE, Byte Pair Encoding) [2] определяет детерминированное отображение слов в некоторое подмножество токенов. В начале алгоритм создаёт список токенов из букв слов. Метка конца слова также включается в этот список. Затем токены агрегируются между собой в зависимости от их совместной частотности. При этом все слияния токенов записываются в таблицу склеек. Алгоритм завершает свою работу если превышено максимальное число склеек или достигнуто желаемый размер словаря.

Во время процесса сегментации слово разбивается на буквы и метку конца слова. Затем по полученной таблице склеек делаются все возможные склейки из таблицы склеек VPE модели. В процессе обучения моделей распознавания речи и процесса декодирования процесс сегментации слов детерминирован.

VPE-dropout [3] основан на случайной отмене некоторых склеек в процессе сегментации слов с некоторой вероятностью  $p$ . Если  $p$  равняется 0, то алгоритм не убирает склейки, и результат аналогичен обычному детерминированному VPE, а если  $p$  равняется 1, то все склейки начальных токенов (букв) не производятся, и слово просто разбивается на буквы.

### Описание метода

Обычно процесс обучения речевых моделей предполагает детерминированную подготовку акустических токенов. Графемная сегментация разбивает слова на буквы. Разбиение VPE предполагает сегментацию слов на подслова предобученной моделью. При этом токенами становятся сами подслова. Сам процесс сегментирования слов детерминирован, и в каждой эпохе модель будет обучаться на одинаковых последовательностях токенов.

Аугментация на уровне подслов позволяет получать различные последовательности подслов при сегментировании одного и того же слова. Недетерминированное сегментирование слова по сравнению с детерминированным даёт большее разнообразие токенов в каждой эпохе, при этом сами акустические данные не меняются. Это обогащает статистику произнесений для токенов и регуляризует процесс обучения.

#### Распознавание несловарных слов

Модель, обученная на частях слов, может распознавать любые слова. Однако, если слово не было достаточно хорошо представлено в обучающей выборке (или не представлено вовсе, как в случае с несловарными словами), то акустическая модель будет выдавать низкую вероятность составляющим слово подсловам в процессе декодирования. Таким образом, вместо самого слова при декодировании модель скорее выдаст слово наиболее похожее на исходное. Мы предполагаем, что недетерминированное сегментирование слов улучшит распознавание слов, не встречавшихся в обучающей выборке, так как эта техника позволяет увеличивать разнообразие подслов в процессе обучения.

Чтобы анализировать качество распознавания OOV слов, мы используем F-метрику (F-score) аналогично статье [4]. Метод основан на подсчёте после декодирования числа распознанных (true positive,  $tp$ ) и нераспознанных (false negative,  $fn$ ) OOV слов на тестовой выборке. Слова в гипотезах, которые не присутствовали ни в обучении, ни в тестовом подмножестве, обозначались как  $fp$ , false positive. На основе этих чисел мы рассматриваем следующие метрики:

$$precision = \frac{tp}{tp + fp},$$

$$recall = \frac{tp}{tp + fn},$$

$$F - score = \frac{2 \cdot precision \cdot recall}{precision + recall}.$$

#### Базы обучения и тестирования

В качестве малоресурсного домена был выбран корпус спонтанной речи на турецком языке IARPA Babel Turkish Language Pack [4]. Чтобы стабилизировать обучение, из этого набора были отобраны произнесения длиной от 10 до 2000 кадров и содержащих менее 300 знаков. В итоге набор данных для обучения содержал в себе 73.40 часов. Процент несловарных слов OOV (присутствующих в тестовой части, но не присутствующих в обучающих данных) – 5.40 %.

#### Детали реализации

Основной архитектурой для интегральной модели для распознавания речи были выбрана архитектура Transformer. Энкодер состоит из двух Conv2D свёрточных блоков, затем следуют 12 Transformer слоёв шириной полносвязных слоёв 1024 нейрона. Декодер состоит из 6 Transformer слоёв шириной полносвязных слоёв 1024 нейрона. В энкодере и декодере мы использовали восьмиголовый 360-размерный self-attention. Модель обучалась на совместном CTC и attention лоссах в течении 100 эпох. В обучении использовался Adam оптимизатор с OneCycle расписанием обучения. В качестве акустических признаков использовались 40 размерные мел-частотные признаки с нормализацией среднего и дисперсии и три параметра тона. Также в обучении использовались аугментированные SpecAugment данные. Размер словаря VPE был равен 3000, параметр p VPE-dropout был равен 0.1

### Эксперименты

Также мы проводили исследование влияния параметра BPE-dropout  $p$  на качество. При регуляризации BPE-dropout параметр  $p$  был равен 0.1. В таблице 1 ниже представлены WER (процент ошибки в словах), precision, recall и F-score для различных размеров словарей BPE при обучении моделей. Как можно видеть, модели, обученные совместно с BPE-dropout, показывают лучший WER и F-score на OOV словах.

Таблица 1. WER и F-score для различных размеров словарей (с  $p=0.1$ )

Размер словаря BPE	BPE-dropout	WER, %	Precision	Recall	F-score
графемы	-	53.0	0.067	0.165	0.095
500	-	46.1	0.114	0.152	0.130
	+	44.4	0.120	<b>0.209</b>	0.153
1000	-	46.5	0.130	0.144	0.137
	+	44.0	0.126	0.194	0.153
2000	-	47.4	0.126	0.118	0.123
	+	43.6	0.144	0.198	0.167
3000	-	49.2	0.129	0.099	0.112
	+	<b>43.2</b>	<b>0.156</b>	0.197	<b>0.174</b>
4000	-	40.9	0.124	0.085	0.101
	+	43.4	0.151	0.183	0.166
5000	-	51.1	0.115	0.070	0.087
	+	45.0	0.137	0.160	0.148

В качестве финального результата для сравнения качества распознавания использовалась гибридная LM-MMI TDNN-F акустическая модель и 3-граммной языковой моделью. Акустические признаки аналогичны тем, которые использовались для обучения интегральных систем. Обучение производилось по рецепту *librispeech/s5* Kaldi. В таблице 2 представлены результаты CER (процент ошибки в символах) и WER (процент ошибки в словах) для гибридной и интегральных систем. Первые две модели обучены нами, результаты остальных приведены из различных источников. Значения в скобках представлены для подсчёта ошибок scite (являющийся частью пакета SCTK).

Таблица 2. Финальное сравнение качества моделей

Модель	CER, %	WER, %
LF-MMI TDNN-F	(21.4)	43.9 (38.6)
Conformer	22.2 ( <b>17.3</b> )	<b>38.9 (34.7)</b>
CTC-BLSTM	-	50.7 (45.8)
BLSTMP+VGG-Multilingual	28.7	-
XLSP-Monolingual	26.1	-
XLSR-53-Multilingual	<b>18.8</b>	-

Как видно из таблицы 2, интегральные модели достигают 22.2 % CER и 38.9 % WER. Эти результаты лучше, чем все монологические системы, однако нельзя не заметить, что работ по распознаванию речи на турецком языке достаточно мало. Разрыв качества для мультязыковой системы можно объяснить использованием для обучения и при конструировании языковой подели дополнительных данных вне корпуса Babel Turkish Language Pack.

### **Заключение**

В этой работе мы представили метод динамической аугментации, основанный на технике BPE-dropout. Этот метод позволяет улучшать качество распознавания речевых моделей без дополнительных затрат на обучение или декодирование. Регуляризующие свойства данной техники позволяют решить проблему подбора оптимального размера словаря BPE и значительно снизить процент словной ошибки (как минимум на 6 % условного WER) в сравнении с неаугментированными моделями в малоресурсных сценариях. Вдобавок, BPE-dropout значительно улучшает распознавание несловарных слов, что делает системы распознавание речи полезными в задачах персонализации (имена, названия улиц, организаций). Таким образом, использование аугментационной техники BPE-dropout для обучения систем распознавания речи может быть полезным для “речевых помощников”, улучшая их субъективное качество.

### **Литература**

1. Gulati A., Qin J., Chiu C., Parmar N., Zhang Y., Yu J., Han W., Wang S., Zhang Z., Wu Y., Pang R. «Conformer: Convolution-augmented Transformer for Speech Recognition» // In Proceedings of the Interspeech 2020, ISCA, Shanghai, China, pp. 5036-5040.
2. Sennrich, R., Haddow, B., Birch, A. «Neural Machine Translation of Rare Words with Subword Units» // Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers); Association for Computational Linguistics: Berlin, Germany, 2016; pp. 1715-1725.
3. Provilkov, I., Emelianenko, D., Voita E. «BPE-Dropout: Simple and Effective Subword Regularization» // Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics; Association for Computational Linguistics: Seattle, WA, USA, 2020; pp. 1882-1892.
4. Lakomkin, E., Heymann, J., Sklyar, I., Wiesler, S. «Subword Regularization: An Analysis of Scalability and Generalization for End-to-End Automatic Speech Recognition» // In Proceedings of the Interspeech 2020, ISCA, Shanghai, China, 25–29 October 2020; pp. 3600-3604.

УДК 004.852

## МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАРЬЕРНОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Покидов Д.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., профессор Лисицына Л.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрена возможность создания автоматизированного метода прогнозирования карьерной предрасположенности человека с помощью методов машинного обучения. В ходе эксперимента отобраны четыре широко используемые методологии профессионального ориентирования, тест Голланда, тест Белбина, метод Климова, тест DISC, после чего происходило тестирование респондентов, работающих на позициях менеджера продукта, разработчика или дизайнера. На основе полученных данных анализировались зависимости результата теста от выбранных ответов. Далее в работе сравнивались два алгоритма – случайный лес и полносвязная нейронная сеть.

**Ключевые слова:** профориентация, нейронная сеть, машинное обучение, случайный лес, прогнозирование, карьера, предрасположенность.

Современный рынок труда отличается быстрым ростом числа профессий, а также быстрым изменением насыщенности вакансий и специалистов, работающих в той или иной нише. Профориентационные методологии позволяют определить предрасположенность человека к той или иной должности, однако не позволяют проводить динамический анализ и обладают большой долей субъективности, так как тестирование и вывод составляет человек. Гипотеза данной работы заключается в том, что современный анализ данных и использование нейронных сетей позволит создать объективный и адаптируемый алгоритм предсказания профессиональной предрасположенности.

Для тестирования профессиональной предрасположенности человека и автоматизации данного процесса были выбраны следующие методологии: тест Голланда, метод Климова, тест Белбина, тест DISC. Эти практики себя зарекомендовали в профессиональной деятельности, поэтому исследование было решено начать с объединения их в один большой метод прогнозирования карьерной предрасположенности человека. Обучение алгоритмов предсказания будут происходить с помощью тестирования выбранными методологиями работающих по специальности профессионалов. Данный вариант сбора данных позволяет оценить характеристики уже работающих людей в рамках их профессий, на основе чего делать вывод о влиянии тех или иных метрик тестирования на определение профессии. Это поможет выстраивать предсказание будущих исследуемых, опираясь на релевантные данные текущего рынка труда.

В ходе эксперимента была протестирована работа предсказания на основе двух алгоритмов машинного обучения: случайный лес и полносвязная нейронная сеть, а также создана матрица корреляции. Для реализации использовались такие технологии, как Tensorflow, Scikit Learn, Keras, Pandas, Numpy, Seaborn, Matplotlib.

Первым делом надо изучить корреляционную зависимость между признаками. Это позволит найти взаимосвязь между ними и очистить от ненужных, которые не влияют на результат. Такой анализ позволяет следить за соотношениями результатов методологий профессиональной ориентации как внутри одной методологии, так и в рамках объединения используемых тестов. Чем сильнее связи, тем больше данный признак влияет на изменение другого.

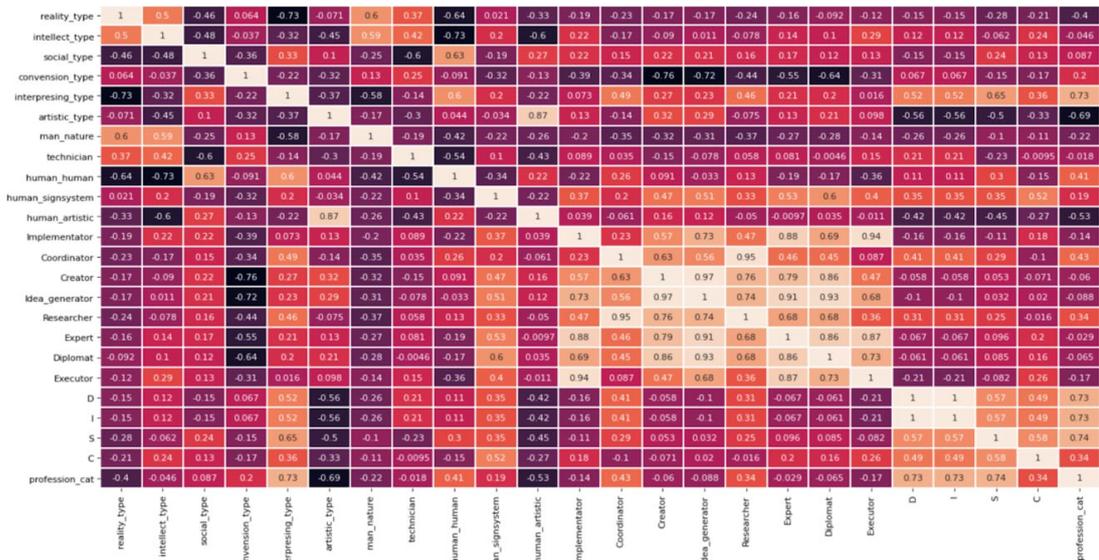


Рис. 1. Матрица корреляции результатов тестов

В матрице корреляций видно наиболее сильные связи между результатами разных тестов. Например, связь между интеллектуальным типом личности из теста Голланда и исполнителем из теста Белбина равна 0.94. Это означает, что есть прямая связь между данными теста и необходимо увеличивать датасет для балансировки данных корреляций.

После нахождения корреляций между тестами были использованы два алгоритма автоматизации выдачи результатов предсказания карьерной предрасположенности человека для трех профессий из сферы информационных технологий: дизайнер, разработчик, менеджер. Данные специальности были выбраны в силу разности требований к кандидатам. Исследовалась автоматизация с помощью метода случайного леса и полносвязной нейронной сетию.

В рамках работы над научно-исследовательской работой было решено проверить два разных варианта предсказания карьерной предрасположенности человека. Первый способ - методом случайного леса, а второй – использование полносвязной нейронной сети. Различия работы мы рассмотрим далее.

Начнем с описания нашей нейронной сети. Для нашей исследовательской задачи было решено использовать обычную полносвязную сеть. Это сеть, где каждый нейрон связан с каждым нейроном предыдущего слоя.

На вход нейросети подаются параметры, которые являются результатом обработанных вариантов тестирования. На основе этих данных алгоритм будет обучаться и на выходном слое выдавать результат, принадлежащий одному из трех классов: менеджер, разработчик, дизайнер. Пример полносвязной нейронной сети можно видеть на рисунке 2.

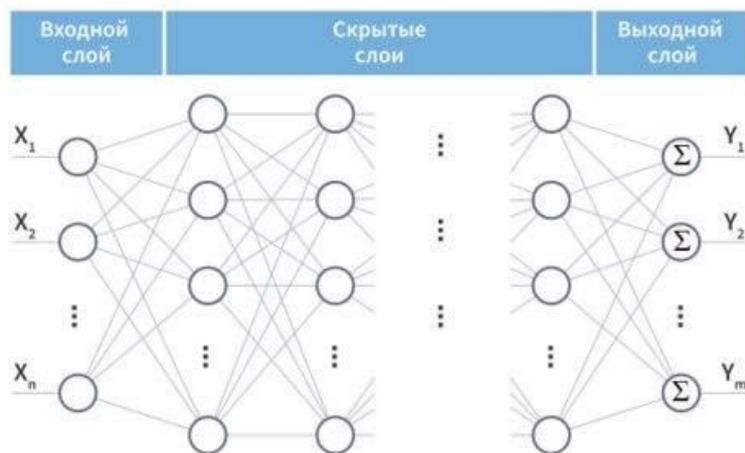


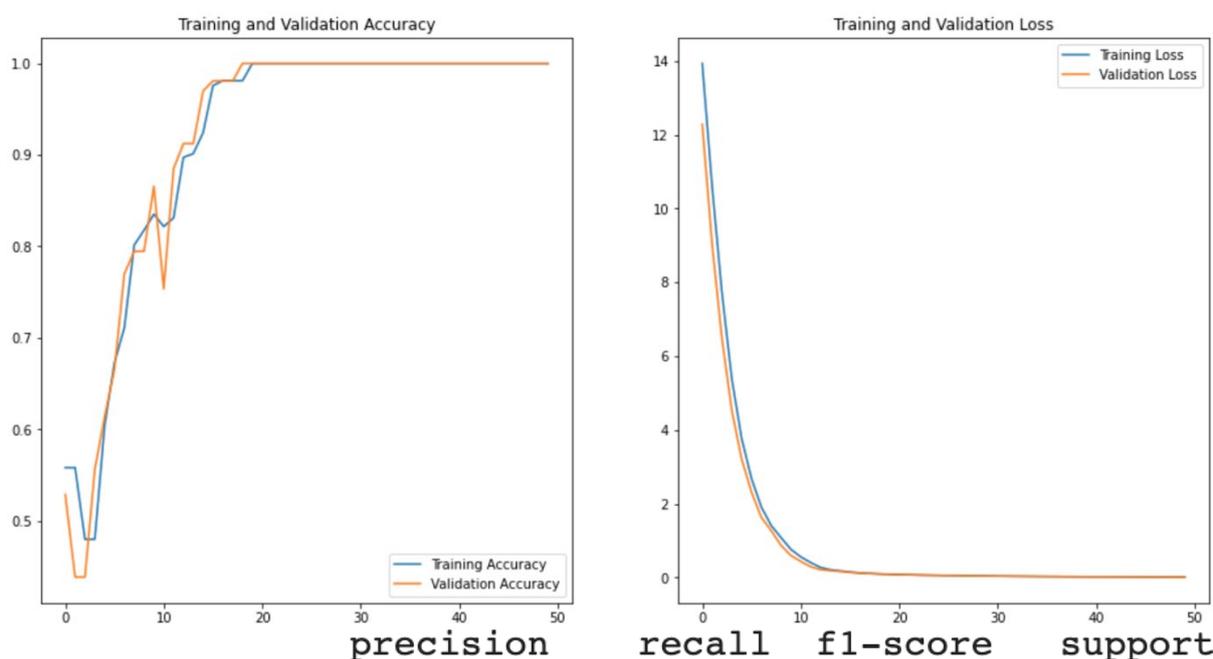
Рис. 2. Пример полносвязной нейронной сети

Используемая для исследования архитектура нейросети содержит 4 слоя. Один слой входной, два скрытых слоя и один выходной слой. Подробное описание слоев нейронной сети можно видеть в следующей таблице (таблица 1).

Таблица 1. Таблица слоев нейронной сети

№ слоя	Число нейронов	Тип слоя	Функция активации
1	23	Входной слой	
2	16	Dense	relu
3	12	Dense	relu
4	3 (равно количеству определяемых классов)	Dense	SoftMax

Также, выведем метрики работы нейронной сети в виде графиков.



class 0	1.00	1.00	1.00	108
class 1	1.00	1.00	1.00	129
class 2	1.00	1.00	1.00	128
accuracy			1.00	365
macro avg	1.00	1.00	1.00	365
weighted avg	1.00	1.00	1.00	365

Рис. 3. Метрики точности и потерь на 25 данных

Метод случайного леса был выбран, так как его преимуществом является то, что у него мало настраиваемых величин. Исследования показали, что можно позволить всем деревьям иметь произвольную глубину, не получая при этом большого увеличения ошибок. Метод случайного леса хорошо и быстро работает, что делает его идеальным решением для многих ситуаций. Пример случайного леса можно увидеть ниже (рисунок 4).

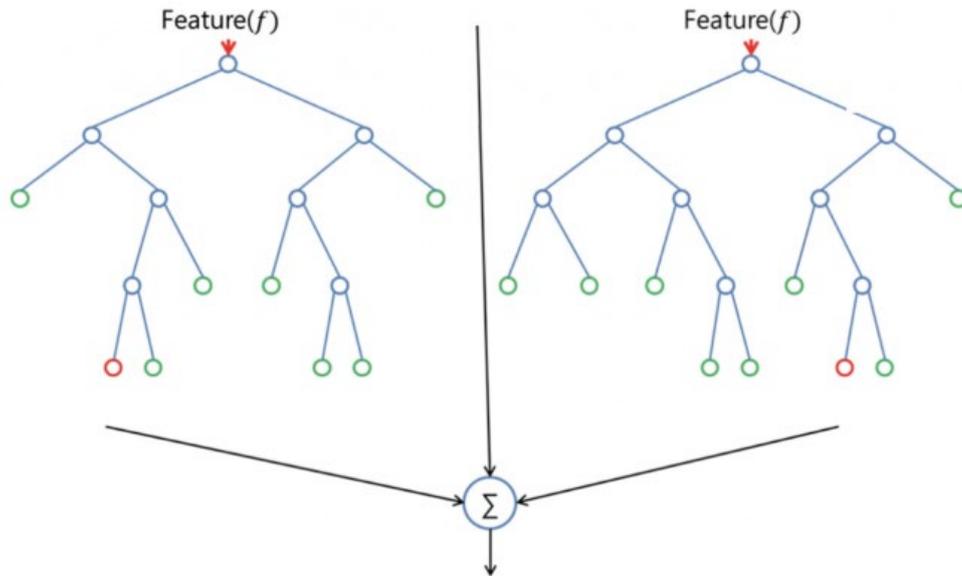


Рис. 4. Метод случайного леса

В текущей реализации алгоритма в рамках нашей исследовательской работы используется метод случайного леса с максимальной глубиной деревьев, равной 2. В тестовой выборке содержится 33% данных, а в обучающей 67%.

Также рассмотрим метрики для алгоритма случайного леса (рисунок 5).

	precision	recall	f1-score	support
0	0.92	1.00	0.96	108
1	1.00	0.88	0.93	129
2	1.00	1.00	1.00	128
micro avg	0.97	0.96	0.97	365
macro avg	0.97	0.96	0.96	365
weighted avg	0.98	0.96	0.96	365
samples avg	0.96	0.96	0.96	365

Рис. 5. Метрики алгоритма случайного леса

Рассмотрим предсказания обоих алгоритмов (рисунок 6). Мы можем заметить, что нейронная сеть предсказала все результаты правильно, в то время как метод случайного леса ошибся в предсказании результата в тесте номер 12, где вместо разработчика алгоритм показал предрасположенность к карьере дизайнера.

```

-----Случайный лес-----
  test_number  name  age profession  ...  I  S  C  predict_profession
0             1  Dmitriy  23   manager  ...  5  5  5      manager
1             2  Yevgeny  23   designer  ...  1  3  8      designer
2             3  Sergey   24   developer  ...  3  0  8      developer
3             4  Daniil   25   developer  ...  1  4  9      developer
4             5  Maria    21   designer  ...  0  0  0      designer
5             6  Sergey   23   developer  ...  2  4  7      developer
6             7    a       30   developer  ...  2  6  6      developer
7             8    a       26   designer  ...  3  3  9      designer
8             9    a       23   developer  ...  3  4  7      developer
9            10    a       19   developer  ...  5  4  6      developer
10           11    a       26   developer  ...  3  5  6      developer
11           12    a       29   developer  ...  2  4  7      designer
12           13    a       25   developer  ...  5  3  7      developer
13           14    a       23   developer  ...  3  3  9      developer
14           15    a       27   developer  ...  3  1  8      developer

[15 rows x 174 columns]

-----Нейронная сеть-----
  test_number  name  age profession  ...  I  S  C  predict_profession
0             1  Dmitriy  23   manager  ...  5  5  5      manager
1             2  Yevgeny  23   designer  ...  1  3  8      designer
2             3  Sergey   24   developer  ...  3  0  8      developer
3             4  Daniil   25   developer  ...  1  4  9      developer
4             5  Maria    21   designer  ...  0  0  0      designer
5             6  Sergey   23   developer  ...  2  4  7      developer
6             7    a       30   developer  ...  2  6  6      developer
7             8    a       26   designer  ...  3  3  9      designer
8             9    a       23   developer  ...  3  4  7      developer
9            10    a       19   developer  ...  5  4  6      developer
10           11    a       26   developer  ...  3  5  6      developer
11           12    a       29   developer  ...  2  4  7      developer
12           13    a       25   developer  ...  5  3  7      developer
13           14    a       23   developer  ...  3  3  9      developer
14           15    a       27   developer  ...  3  1  8      developer

[15 rows x 174 columns]

```

Рис. 6. Предсказания алгоритмов

Метод случайного леса и полносвязная нейронная сеть показали хорошие результаты автоматизации на малом количестве данных. Необходимо в дальнейшем исследовать эти способы на большем объеме датасета.

### Литература

1. Хайкин С., Нейронные сети - полный курс. Вильямс, 2019. 1104 с.
2. Метрики в задачах машинного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372/> (дата обращения: 28.04.2021).
3. Задача о статистической связи: корреляционный анализ признаков и объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book1/Content372/Content372.htm> (дата обращения: 28.04.2021).
4. Методика Дж. Холланда [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://psy.wikireading.ru/58256> (дата обращения: 28.04.2021).
5. Кононова В.Н., ДДО и “Профориентатор”: преемственность отечественных профориентационных практик. ВЕСТН. МОСК. У-ТА СЕР. 14. ПСИХОЛОГИЯ, 2010. 12 с.

УДК 371.693.2

## МЕТРИКИ И ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА В ВИРТУАЛЬНО ИНТЕРАКТИВНЫХ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВАХ

Радченко В.Д.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н. Федрово А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Получение образования при помощи средств виртуальной реальности – новый и до конца не изученный инструмент. Необходимо сформировать параметры для оценки усвоения обучаемыми учебного материала с использованием традиционного и виртуального методов и метрики для их дальнейшего сравнения. В данной работе рассматриваются параметры и метрики, по которым предлагается производить такое сравнение.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, обучение, технические специалисты, обслуживание, ремонт, метрики.

### Введение

Сфера образования в мире продолжает трансформироваться за счет развития технологий. Увеличение населения мира требует от образования большей доступности и оптимальности, например доступность в сельской местности и моногородах, из которых часто уезжают специалисты для получения инженерного образования и практических навыков.

Существующий формат дистанционного образования считается отечественным и зарубежным опытом решения проблемы доступности образования и улучшения его качества, например, при помощи построения индивидуальных образовательных траекторий. Но текущий формат дистанционного образования не позволяет получить технический опыт на производстве и закрепить практические навыки техническим специалистам в части обслуживания агрегатов и компонентов, управлению средством и т.д. Логичным продолжением совершенствования дистанционного образования является применение технологии виртуальной реальности.

Каким образом оценить усвоение учебного материала, полученный профессиональный опыт, и как сравнить и определить, что лучше: традиционный метод обучения, дистанционный, обучение в виртуальной реальности или гибридная форма образования для обучения технических специалистов практическими навыками? Для этого необходимо использовать параметры усвоения учебного материала в процессе обучения и метрики для их сравнения.

Для научного исследования разработана симуляция агрегата обслуживания сложной технической системы в виртуальной реальности, чтобы проверить гипотезы оценки эффективности усвоения учебного материала по предлагаемым параметрам.

### Основная часть

В задачах машинного обучения для оценки качества «обученных» моделей и сравнения различных алгоритмов используются метрики, а их выбор и анализ зависит от типа задачи [2]. Применение практики машинного обучения из задач классификации в оценивании усваивания учебного материала – перспективный способ «будущего», разработанный в «прошлом» для минимизации участия человека в процессе оценивания обучающегося.

Измеримые параметры для оценивания освоения учебного материала обучаемым и расчёта метрик: TP, TN, FP, FN – это и есть измеряемые параметры в процессе обучения [3].

Дополнительно для расчёта среднего времени сессии требуется измерение параметра время одной полной сессии – это пятый параметр.

В итоге в ПО должны измеряться пять параметров и по этим параметрам высчитываться приведенные выше метрики [1]. Обучаемый при выборе правильного ответа ведет себя как классический классификатор, предсказывающий тип данных из заданного множества вариантов, например, да/нет/не уверен.

Подробнее о параметрах измерений [3]:

- a. True Positive (TP) - истинное утверждение,
- b. True Negative (TN) - истинное отрицание,
- c. False Negative (FN) - если факт отрицается, а на самом деле есть – ошибка 2-го рода,
- d. False Positive (FP) - факт утверждается, на самом деле ничего не произошло – ошибка 1-го рода,
- e. Время одной полной сессии ( $t_{\text{время сессии}}$ ) – это время прохождения одной сессии пользователем от начала сессии до ее завершения (выполнения всех действий) без прерывания сессии.

Пример получения параметров из учебно-тренировочного средства с технологией виртуальной реальности: Обучаемый в учебной сессии с целью провести ремонт электрооборудования совершил N-количество действий до окончания сессии и объявления завершения ремонта, который обучаемый посчитал верными (правильными ответами). Всего для окончания ремонта газотурбинного двигателя необходимо совершить M действий (открутить деталь 1, выкачать масло из детали 2 и тд.), из которых обучаемый совершил только Z верных действий. Всего возможных действий в учебной сессии может быть TOTAL после которой сессия автоматически останавливается. Исходя из гипотетических действий обучаемого по измеренным параметрам, строится следующая матрица ошибок в таблице 1.

Таблица 1. Матрица ошибок из примера

	Positive	Negative
Positive	TP = Z	TN = N – M
Negative	FP = M – Z	FN = N – Z

На основе использования данных параметров предлагается рассчитывать следующие метрики [1]:

- а) Доля правильных ответов – количество правильных ответов на общее количество ответов по формуле (1):

$$\text{Доля правильных ответов} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \quad (1)$$

- б) Точность – доля объектов/действий, названных обучающимися положительными (верными ответами) и при этом действительно являющимися положительными по формуле (2):

$$\text{Точность} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

- в) Полнота – доля объектов/действий положительного класса (относящихся к верным ответам) из всех объектов/действий положительного класса, которые нашел обучающийся по формуле (3):

$$\text{Полнота} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

- г) F1 оценка – сочетание «полноты» и «точности» по формуле (4), дает некоторый компромисс между ними двумя, оценка F1 достигает своего наилучшего значения в приближении 1 и худшее в 0:

$$\text{F1 оценка} = 2 * \frac{\text{Полнота} * \text{Точность}}{\text{Полнота} + \text{Точность}} \quad (4)$$

д) Среднее время сессии – усредненное время полного прохождения тренировочной сессии обучающимся по формуле (5):

$$\bar{t}_{\text{среднее время сессии}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{время сессии } i}}{n_{\text{количество сессий}}} \quad (5)$$

По предложенным метрикам произведем расчет примера на основе ВИ УТС:

а) Доля правильных ответов по формуле (1), результат в уравнении (6):

$$\text{Доля правильных ответов} = \frac{Z+(N-M)}{Z+(N-M)+(M-Z)+(N-Z)} = \frac{Z+N-M}{2N-Z} \quad (6)$$

б) Точность по формуле (2), результат в уравнении (7):

$$\text{Точность} = \frac{Z}{Z+M-Z} = \frac{Z}{M} \quad (7)$$

в) Полнота по формуле (3), результат в уравнении (8):

$$\text{Полнота} = \frac{Z}{Z+N-Z} = \frac{Z}{N} \quad (8)$$

г) F1 оценка – сочетание «полноты» и «точности» по формуле (4), результат в уравнении (9):

$$\text{F1 оценка} = 2 * \frac{Z}{M} * \frac{Z}{N} / \left( \frac{Z}{M} + \frac{Z}{N} \right) = 2 * \frac{Z^2}{M*N} / \left( \frac{N*Z+M*Z}{M*N} \right) = 2 * \frac{Z}{M+N} \quad (9)$$

В результате небольших вычислений получили упрощение формул (1–4) для учебно-тренировочного средства с применением технологии виртуальной реальности. Необходимо определить порог допустимых значений.

Если модель прогнозирует диагноз пациента или разрешение на выдачу кредита, доля правильных ответов и F1 оценка должны быть очень высокими 95 – 100%. Если модель прогнозирует скидки на востребованные товары, тогда доля правильных ответов и F1 оценка приемлемы на уровне 75 – 100%.

Направление разрабатываемого ПО – это обучение специалистов, работающих с космической техникой, по этой причине и показатели должны быть высокими.

Выведем пределы изменений TP, TN, FP, FN в формуле (10):

$$95\% = \frac{TP+TN}{1,05*(TP+TN+FN+FP)} * 100\%, \quad (10)$$

где FN+FP = 0,05\*(TP+TN) ~ 5% от суммы TP + TN - означает, что обучающийся не может совершить более 5% неверных действий от общего количества правильных действий для достижения желаемого результата.

Вернее говоря, предел допустимой погрешности если факт отрицания, а на самом деле ответ верный - ошибка 2-рода (FN) 5% и для факта утверждения верности неверного ответа – ошибки 1-рода (FP) 5% от конечного числа действий для достижения поставленного результата сессии обучения.

В случае с временем сессии обратимся к ГОСТ 8.567-2014 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения времени и частоты [4].

Время сессии – это разница между начальным моментом времени старта сессии и моментом времени завершения сессии после достижения поставленного результата. Единица измерения времени – секунда. Одна секунда игрового времени эквивалентна секунде реального времени с допустимой погрешностью - всего 0,035% за один суточный ход и

связано с техническими возможностями устройства, при соответствии этого устройства техническим требованиям ПО, предъявляемых для ПК или шлема виртуальной реальности (зависит от среды запуска), на котором это ПО запускается для предотвращения задержек. Погрешность на задержки устройства – средняя допустимая задержка 40 миллисекунд или 0,04%. Тогда суммарная допустимая погрешность 0,075% в единице реального времени.

Для ориентировочной оценки пределов исследуемых параметров в качестве нижнего предела TP, TN, FP, FN – это 0, в качестве верхнего немного сложнее. Для верхнего предела из TP+TN – это 100% от максимально допустимого значения, в случае с примером по обслуживанию двигателя – количество верных действий, записанных в скрипт для достижения обучающимся поставленной цели (устранить неисправность двигателя). Тогда верхний предел для TP не может быть больше максимального значения положительных ответов, как отдельно, так и суммарно с TN. Это же правило верхнего предела действует и для TN.

Для FP и FN немного проще. Нижний предел для FP и FN есть 0, тогда как верхний предел для FP есть 100% от максимально допустимого значения положительных ответов и зависит от значения TP, т.е. увеличивая TP уменьшается FP и наоборот. Верхний предел зависит от общего количества действий и может ограничиваться только физическим пределом, который не фиксирован документально, но рекомендуется не больше чем в 2 раза от максимального значения положительных ответов для достижения поставленного результата.

Тогда допустимый предел метрик «Доля правильных ответов» и «F1 оценка» по которым можно считать, что обучающийся завершил освоение материала успешно ~ 95- 100%. Возможный предел этих значений «Доля правильных ответов» и «F1 оценка» ~ 0 -100%.

Для времени сессии зависит от количества и сложности действий, а также времени ожидания, при этом нижний предел не может быть  $\leq 0$  и не  $\geq 2$  учебных часов без перерыва.

#### **Выводы**

Предложен метод оценки усвоения учебного материала в процессе традиционного метода обучения и с применением виртуальной реальности. Гипотеза о работоспособности метода требует длительного исследования на традиционном методе и предлагаемом тренажере в виртуальной реальности. Определены параметры учебной сессии, которые могут быть измерены в виртуальном и материальном мире. Определены и выведены метрики для оценки освоения учебного материала, используемые для оценки уровня обучаемости алгоритмов и нейронных сетей.

Предполагается проверить гипотезы применимости метрик для оценки усвоения учебного материала на симуляции агрегата обслуживания сложной технической системы в виртуальной реальности.

#### **Литература**

1. Радченко В.Д., Разработка программного обеспечения для обучения технических специалистов в виртуальной реальности // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО, 2021.
2. Радченко В.Д., Метрики для оценки усвоения учебного материала в виртуально интерактивных учебно-тренировочных средствах // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2021.
3. Powers, David M. W. "Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation" (PDF). *Journal of Machine Learning Technologies*. 2: pp. 37–63. December 2007.
4. ГОСТ 8.567-2014 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения времени и частоты.

УДК 004.414.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОТКЛОНЕНИЙ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Разводов А.О.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Яблочников Е.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В нефтеперерабатывающих производствах важно контролировать количество и качество сырья и выпускаемой продукции. С целью отслеживания этих параметров разрабатывается система мониторинга, для которой в работе определены пользовательские требования и сценарии, в которых описаны роли и их действия, а также раскрыты функциональные требования к системе. Полученные результаты следует использовать как систему рекомендаций при разработке требований к системе мониторинга отклонений.

**Ключевые слова:** разработка требований, нефтепереработка, система мониторинга отклонений, мониторинг, проектирование программного обеспечения, BPMN.

Переработка нефти является сложным непрерывным процессом, которое проходит по большей части в закрытых аппаратах. Горючесть сырья и нефтепродуктов переводит часть сооружений нефтеперерабатывающих заводов (далее – НПЗ) в категорию взрывопожароопасных [1]. При этом оперативно остановить процессы в большинстве установок невозможно, в отличие от дискретных производств. Потеря контроля над производственным процессом приводит к разрушительным последствиям и финансовым потерям [2]. Из этого следует необходимость постоянного слежения за корректностью работы каждой установки.

Разработка системы мониторинга отклонений показателей технологического процесса установок нефтеперерабатывающих производств сложна из-за комплексности этих процессов и необходимости интеграции с уже существующими на многих НПЗ несистемными решениями. Однако этот шаг является важным на пути к полной автоматизации производства.

По данным из открытых источников, на конец 2020го года проектированием собственных решений или внедрением распространяемых систем мониторинга занимались крупные нефтяные компании России – Газпромнефть, Татнефть, Роснефть, Башнефть [3]. При этом объектами наблюдений, в большинстве случаев, являются месторождения, газоанализаторы (экологичность и пожаровзрывобезопасность производства) или одиночные установки (внедрение так называемых SCADA-систем), но не производство в целом.

В ходе анализа отечественных и зарубежных баз научных статей с глубиной поиска до 5 лет не выявлены работы, раскрывающие процесс создания системы мониторинга отклонений технологического процесса в нефтеперерабатывающих производствах. Патенты по исследуемой тематике также не обнаружены. Поэтому принято решение исследовать проектирование такой системы мониторинга самостоятельно.

Разработка систем, согласно положениям системного проектирования, начинается с определения требований и перечня решаемых системой задач [4]. В их выявлении и подробном описании для разрабатываемой системы в контексте выбранной сферы – переработки нефтепродуктов – заключается назначение данной работы.

В качестве методологии определения требований выбрана последовательность шагов, предложенная авторами статьи о разработке спецификации пользовательских требований для уровня MES (Management Execution System, Система Управления Производственными Процессами) пирамиды производственной автоматизации [5]. Проектируемая система располагается на этом же уровне, однако у переработки нефтепродуктов есть много специфичных для отрасли ограничений, и определение требований является первым шагом при разработке системы из многих. Последовательность состоит из следующих этапов:

подготовка, сбор справочной информации, описание текущего состояния бизнес-процесса, As- Is/To-Be анализ, формулирование To-Be сценариев, упорядочивание сценариев. При формировании спецификации выделяются функциональные требования и связанные с ними цели, роли, условия запуска (триггеры), операционные шаги для каждой деятельности. Эта информация послужит базой для формирования моделей в будущем.

Далее будет кратко описана последовательность выполненных действий для определения пользовательских сценариев.

*Подготовка:* определяется список операций, которые разделяются по классам «производство», «обслуживание», «контроль качества» и «движение «запасов»». Полученная информация сведена в таблицу.

Таблица. Распределение операций по классам

Класс	Операции	Описание
Производство	Регистрация отклонения в системе	Определение расхождения планового и фактического значений параметра
	Оперативный анализ отклонения, выявление причин и критичности	Выполняется на основе полученных данных. Определяется степень влияния причин на производительность объекта
	Разработка мероприятий по устранению отклонения	Выполняется на основе полученных данных. Назначается ответственный исполнитель и срок, формируется задача
Обслуживание	Индексирование баз данных	Требуется для поддержания высокой скорости работы при накоплении архивных данных
	Восстановление данных в случае внештатного простоя системы	Требуется обеспечить резервирование каналов связи с возможностью «горячего» подключения, а также независимость модуля записи
Контроль качества	Проверка реализации мероприятий и устранения отклонения	Способствует возвращению режима работы к оптимальному и предотвращает появление будущих отклонений
	Контроль целостности данных	Позволяет проводить глубокий ретроспективный анализ для улучшения технологического процесса
Движение «запасов»	Перераспределение внимания операторов и рабочих	В случае системы мониторинга высвобождается время операторов и рабочих для увеличения оперативности отработки критичных отклонений. Повышается прозрачность регистрации и устранения отклонений. Ликвидируется человеческий фактор

*Сбор справочной информации:* выявляется справочная информация о ресурсах предприятия, относящихся к выделенным классам. В случае системы мониторинга технологических установок НПЗ нужно определить роли, соответствующие тем или иным должностным полномочиям и обязанностям, обозначить отслеживаемые технологические параметры. В качестве ролей выделяются оператор, исполнитель, ответственный за установку, аналитик и команда технической поддержки. На НПЗ отслеживаются количественные и качественные параметры сырья, производимых жидкостей, газов и их смесей.

*Описание текущего состояния бизнес-процесса:* описываются имеющиеся на предприятии информационные потоки и виды деятельности, сгруппированные по классам. Рекомендуется использовать BPMN или текстовую форму представления информации. BPMN-схема с примером одного из бизнес-процессов представлена на рисунке 1.

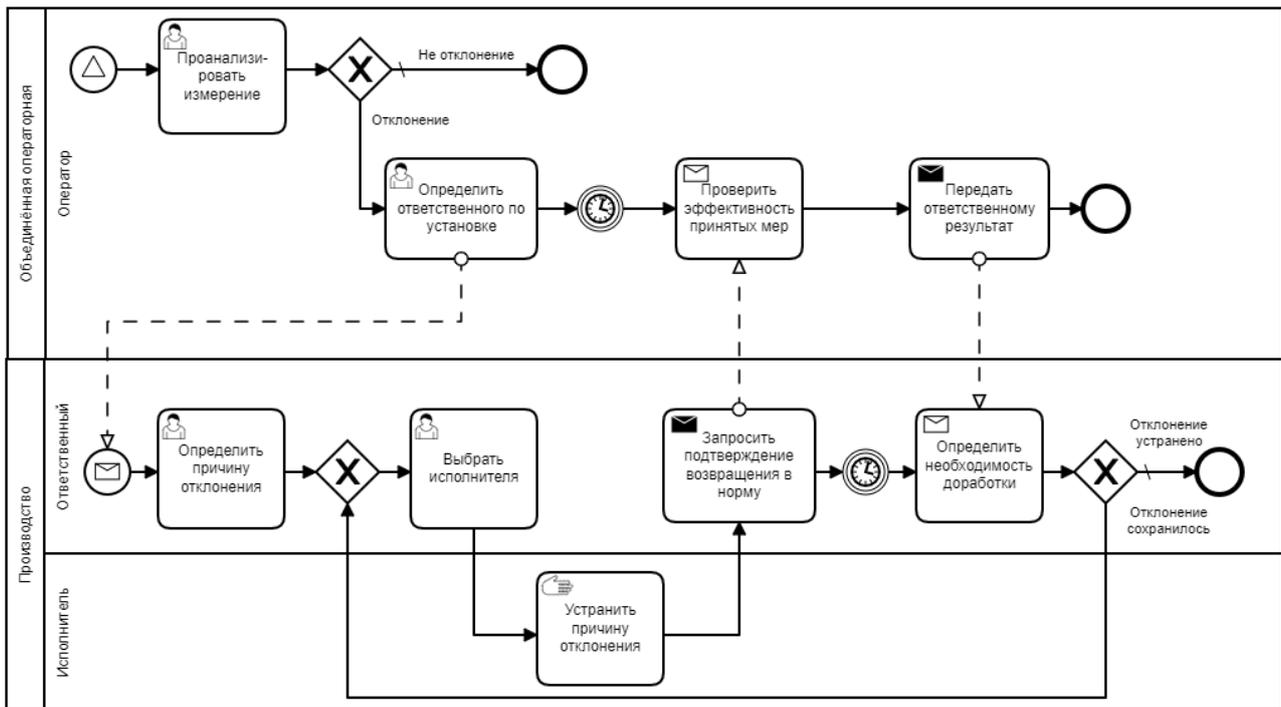


Рис. 1. Схема BPMN процесса As-Is

За количественными показателями следят операторы – данные от расходомеров поступают в систему и выводятся на экраны, где сотрудники визуально проверяют нахождение всех значений в норме. В случае формирования количественного отклонения выявляются причины путём направления электронных писем ответственному за установку, на которой сформировалось отклонение. После определения причин исполнителю ставится задача на их устранение. Затем, после проведения корректирующих мероприятий, отправляется оповещение операторам. Они проверяют эффективность принятых мер и, в случае устранения отклонения, оповещают ответственного за установку об этом.

*As-Is/To-Be анализ (определение требований):* по результатам анализа формируются направления для оптимизации бизнес-процесса и определяются функциональные требования. Выделены следующие направления для оптимизации: ликвидировать ручную отправку информации в виде писем, оповещений и данных лабораторных анализов, автоматизировать расчёт отклонений, сохранять данные для появления возможности ретроспективного анализа, регистрации накопительных отклонений, а также снизить количество монотонной работы операторов и аналитиков для высвобождения ресурсов под оперативное выявление причин отклонений. При условии выполнения этих требований увеличатся оперативность устранения причин отклонений и прозрачность системы, уменьшится человеческий фактор. Полученный процесс представлен на рисунке 2 (логирование данных опущено).

В результате As-Is/To-Be анализа сформированы следующие функциональные требования:

1. Реализовать систему автоматического мониторинга отклонений по технологическим показателям, с возможностью интеграции в смежные ИТ-системы.
2. Реализовать функционал обработки отклонений, включающий в себя определение корректирующих мероприятий и автоматическую маршрутизацию рабочих задач.
3. Разработать функционал хранения архивных данных и формирования отчётности для проведения ретроспективного анализа.

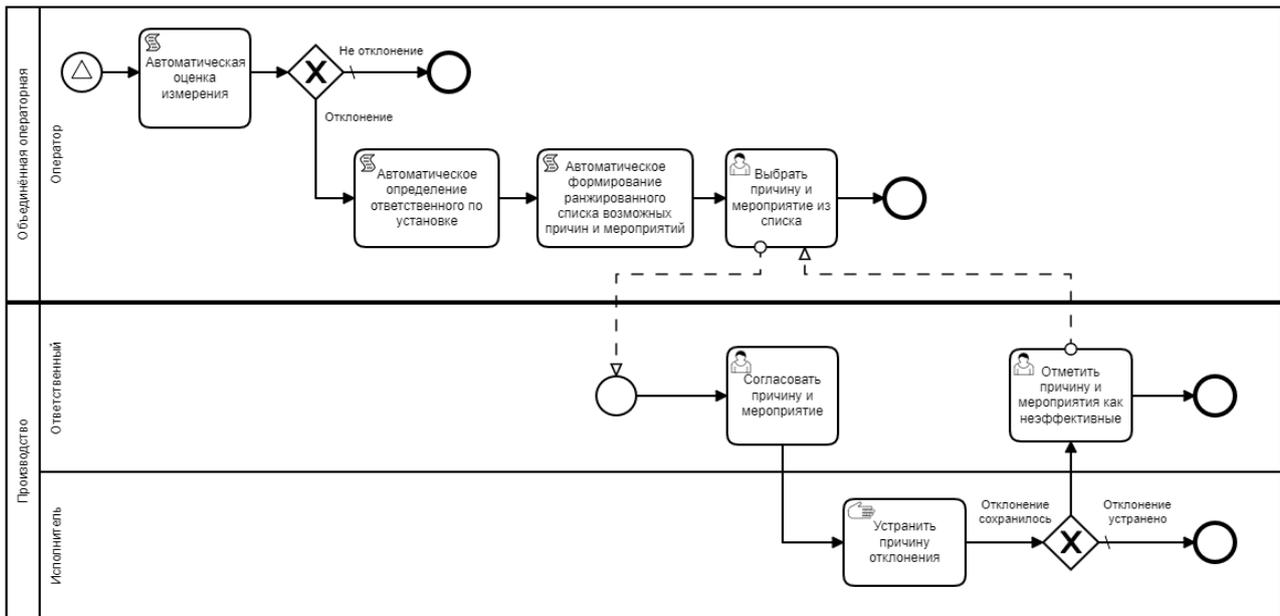


Рис. 2. Схема BPMN процесса To-Be

Функциональным требованиям ставятся в соответствие цели, роли, условия выполнения. В качестве примера приведём разбор действия «определение корректирующих мероприятий».

Цель: устранить причину появления отклонения.

Роль: оператор.

На момент определения мероприятий, необходимых для устранения причины, оператору необходимо знать:

- причину;
- список возможных корректирующих мероприятий;
- статистические данные о назначении для данной причины определённых корректирующих мероприятий.

Успешным выполнением действия является назначение для отклонения корректирующего мероприятия, направленного на устранение причины появления отклонения. Выполнение таких мероприятий является задачей для исполнителя, другой роли.

*Разработка To-Be сценариев:* составляются частично формализованные сценарии для описания действий, необходимых для реализации функциональных требований. Для составления всех текстовых выражений сценариев используется следующая формула: Тема: Агент + Глагол + Цель: Объект + Направление: (Источник, Назначение) + Путь: (Значение, Способ). При этом необходимо соединять конструкцией «И» действия, требующиеся для достижения цели одновременно. «ИЛИ» используется для независимых действий, совершения каждого из которых достаточно для достижения цели.

Для рассмотренного выше примера сценарий формулируется так:

(Оператор)агент (анализирует)глагол (причину появления отклонения) объект (при помощи статистических данных) способ И (выбирает)глагол (корректирующее мероприятие) объект (из списка) источник.

*Упорядочивание требований:* после разработки сценариев необходимо определить повторяющиеся и противоречивые требования, связанные с текстовыми описаниями сценариев, и устранить их.

В ходе работы были использованы As-Is/To-Be анализ, постановка сценариев в формализованной форме. В результате проработаны пользовательские требования к системе мониторинга, определённые в виде формализованных сценариев и отражающие шаги для соблюдения функциональных требований. Для использования результатов данной работы проектным командам необходимо провести по приведённой схеме постановку требований,

моделирование бизнес-процесса и утвердить выявленный перечень решаемых задач. Полученная таким образом информация позволит разработать и реализовать систему, с которой предприятие повысит степень управляемости процессом производства продукции.

### Литература

1. Александрова А.В. и др., Анализ риска и разработка мер безопасности при проектировании установки по переработке углеводородного сырья // Научный журнал КубГАУ. 2017. №126. С. 169–179.
2. Абдрахманова К. Н., Шабанова В. В., Федосов А. В., Абдрахманов Н. Х. Применение моделирования процесса развития аварии и оценки риска в целях обеспечения безопасной эксплуатации объектов нефтегазового комплекса // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. №2. С. 2–13.
3. «Умная» добыча [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://plus.rbc.ru/news/5cf91e087a8aa909f4572ab3?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D](https://plus.rbc.ru/news/5cf91e087a8aa909f4572ab3?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D) (дата обращения: 12.05.2021).
4. ГОСТ 34.601-90 Автоматизированные системы. Стадии создания. Взамен ГОСТ 24.601-86, ГОСТ 24.602-86; введ. 1992. 01. 01. Москва: Стандартинформ, 2009. 6 с.
5. Yue L., Niu P., Wang Y. Guidelines for defining user requirement specifications (URS) of manufacturing execution system (MES) based on ISA-95 standard //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2019. Т. 1168. №. 3. С. 032065.

УДК 004.4

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ПОЗЫ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА НА ВИДЕОПОТОКЕ

Разуминин В.В.<sup>1</sup>, Анохин И.И.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Гаврилов А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрено применение алгоритмов машинного зрения для контроля поведения построенных на видео виртуальных скелетов тренера и пользователя при выполнении одного и того же физического действия, позволяющее сократить человеческий ресурс для оценки корректности пользовательской попытки. Проведен эксперимент, показывающий преимущество подхода и осуществления требуемых вычислений на устройстве пользователя перед классическими решениями. Общее количество респондентов для проведения экспериментальных исследований достигло двадцати пяти человек.

**Ключевые слова:** виртуальный скелет человека, трекинг позы на видеопотоке, применение машинного зрения, лечебно-оздоровительная физкультура, фитнес-трекеры.

Благодаря стремительному развитию технологий возникают новые возможности для автоматизации процессов общества и бизнеса. Так, машинное зрение уже сейчас может являться эффективным решением для осуществления контроля качества и корректности выполнения различных физических действий человеком на видеодорожке, в том числе в режиме реального времени. Использование подобных технологий будет полезным для различных областей применения, таких, например, как спорт, развлечения, здравоохранение, безопасность. Обучение различным спортивным навыкам без присутствия тренера, помощь в оценке исполнения технических элементов спортивными судьями и жюри, контроль поведения сотрудников, детей, животных – всё это примеры потенциального использования разрабатываемого программного обеспечения.

Спектр применения рассматриваемых технологий велик, как и спектр возможных технических реализаций. Данная работа направлена на исследование современных подходов и методов к осуществлению трекинга виртуального скелета человека для дальнейшей обработки и преобразования полученных данных.

В случае вычислений на мобильном устройстве нейронная сеть становится частью приложения и при работе загружается в память телефона. Таким образом, все вычисления происходят на мобильном устройстве. Преимуществом такого подхода по сравнению с облачными вычислениями является независимость от доступности сети интернет, а также отсутствие зависимости нагрузки на систему от количества пользователей приложения. Исключив зависимость от передачи данных по интернету, появляется возможность производить обработку потока кадров с камеры мобильного телефона в режиме реального времени. Таким образом, пользователь сможет получать информацию о корректности выполняемого упражнения сразу же, что позволит ему скорректировать свою позу. Недостатками данного подхода являются пониженная точность и зависимость от характеристик смартфона. Пониженная точность является следствием оптимизации и уменьшения размера нейросети, так как телефон имеет ограниченные мощности. Таким образом, при недостаточном освещении модель может показывать некорректные данные. Зависимость от характеристик телефона проявляется в скорости работы нейросети. Например, на телефоне с графическими ускорителями нейросеть может работать в 5 раз быстрее, чем на телефоне без графических ускорителей. При разработке мобильного приложения будет использоваться подход с размещением модели в памяти телефона. Недостаток точности не является критическим, так как пользователь может просто переставить смартфон на приемлемо освещенное место. Недостаток, связанный со скоростью работы, будет решаться наличием статических упражнений, где человек должен занять неподвижное положение, дав тем самым модели время обработать все необходимые кадры и также получив результат.

Также данный недостаток со временем будет решён, так как мощность смартфонов непрерывно увеличивается.

Распознавание виртуального скелета тренера и пользователя на видеопотоке осуществляется за счет применения нейронной сети, построенной с использованием библиотеки TensorFlow. При работе программы используется предобученная сеть на датасете Coco (Common Objects in Context), которой передается массив кадров с размером (224x224x3). Затем осуществляется распознавание опорных точек на теле человека и возвращается тепловая карта поведения конечностей, в дальнейшем используемая для поиска наиболее схожих точек на эталонной и пользовательской попытках.

Реализованная нейросеть является свёрточной сетью [5] с тремя последовательными блоками, каждый состоит из слоев свертки Conv, нормализации Batch normalization, функции активации Relu. За блоками стоит слой global pooling, слой полносвязной нейронной сети и слой heatmap, который возвращает тепловую карту поведения опорных точек на протяжении всего видеопотока.

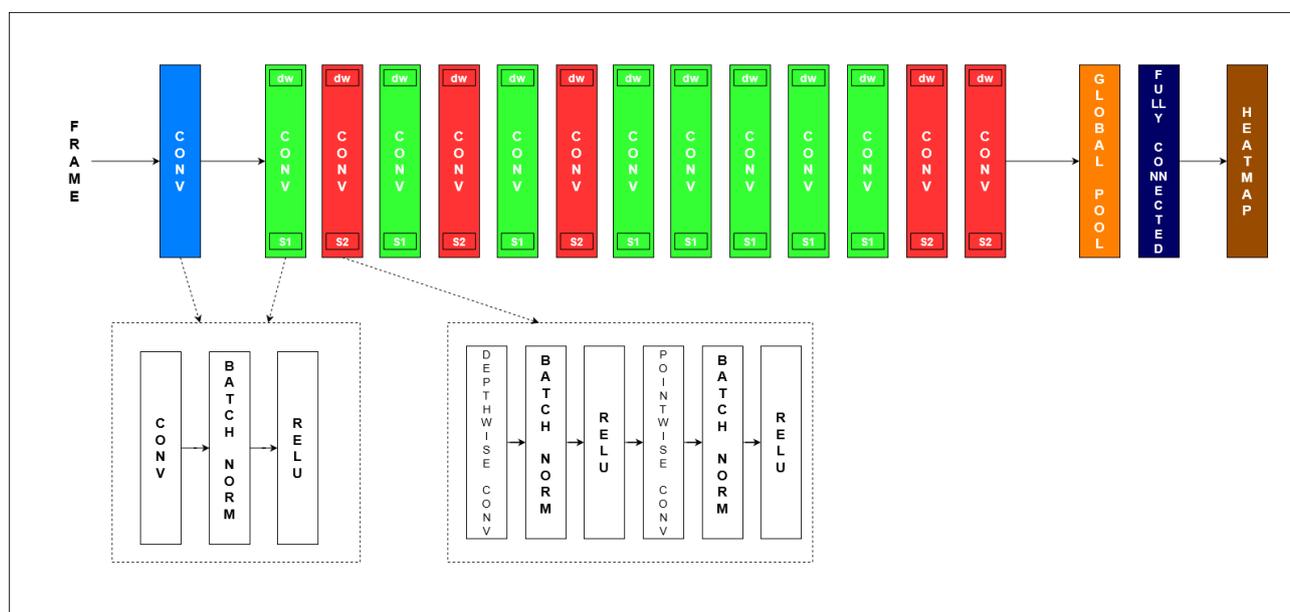


Рис. 1. Архитектура модели нейронной сети

Оптимизатор – Adam, метрика – точность. Обучение проводилось на открытом наборе данных Coco, 80% набора использовались для обучения, 20% для валидации. На валидационном наборе точность составила 90%+ что является достаточным показателем для осуществляемой научно-исследовательской деятельности.

Так, на теле человека определяется 17-и опорных точек:

- нос;
- левый глаз;
- правый глаз;
- левое ухо;
- правое ухо;
- левое плечо;
- правое плечо;
- левый локоть;
- правый локоть;
- левое запястье;
- правое запястье;
- левое бедро;
- правое бедро;

- левое колено;
- правое колено;
- левая лодыжка;
- правая лодыжка.

Для комфортной работы с основной программой был создан пользовательский интерфейс в виде мобильного приложения на операционной системе IOS. Для разработки мобильного приложения был использован язык программирования Dart [3], фреймворк Flutter [4]. С помощью него удалось достичь 100% совместимости прототипа как со смартфонами на базе операционной системы iOS, так и на базе Android. Немаловажно, что Flutter предоставляет возможность писать и использовать низкоуровневые операции различных систем путём написания нативного кода, что позволяет использовать для каждой системы различные нативные оптимизации. Также сам Flutter хорошо оптимизирован, что позволяет ему поддерживать частоту обновления мобильного приложения в 60 кадров в секунду.

Также для удобной интерпретации полученных данных виртуальные скелеты тренера и пользователя синхронизированно накладываются на исходное видео с помощью нормализованных координат. Вместе с этим, пользователю выводится подробная сводка о схожести с целевым поведением каждой из 17-и опорных точек виртуального скелета по отдельности, а также общая схожесть поведения двух построенных виртуальных скелетов.

Проведем эксперимент, в котором осуществим сравнение точности выполнения пользователем физического упражнения волна руками с выполнением вычислений на удаленном сервере и на мобильном устройстве пользователя, рис. 2.

Для того, чтобы потенциальным пользователям было проще разобраться в том, как осуществить съемку их попытки, была разработана инструкция для проведения успешного взаимодействия с системой. Данная инструкция выглядит следующим образом:

1. Подготовить штатив для фиксации камеры в бездвижном положении.
2. Расположить штатив так, чтобы в кадр влезали все ключевые для урока конечности.
3. Снимать в помещении со светом.

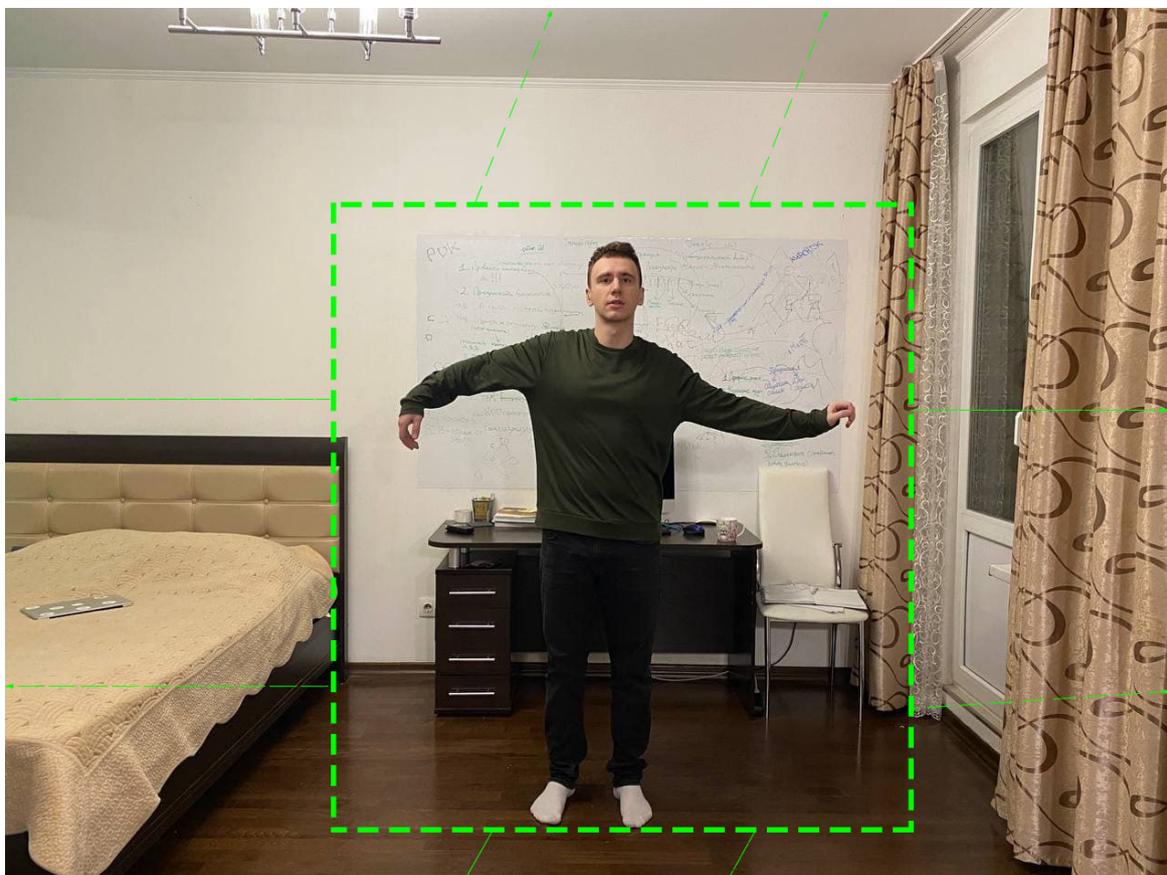


Рис. 2. Правильное расположение человека в кадре

В табл. 1 представлены характеристики сравнения двух подходов.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Пользовательское видео 15 секунд	Время выполнения, на сервере	Время выполнения, на пользовательском устройстве	Отношение времен выполнения ( $\text{time}_{\text{сервер}} / \text{time}_{\text{устройство}}$ )
Время выполнения	0.5 кадров в секунду	10 кадров в секунду	20x

Из результатов видно, что решение для мобильных устройств имеет более высокий рыночный приоритет, так как позволяет обрабатывать видеопоток в режиме реального времени, без необходимости использования интернета на телефоне пользователя. Также при таком подходе не требуется вести расходы на содержание используемых серверных мощностей.



Рис. 3. Пример выполнения программы

В дальнейшей работе планируется применение технологий детализации сравнения поведения построенных виртуальных скелетов тренера и пользователя для создания автоматизированного сервиса рекомендаций по корректировке выполнения различных физических элементов.

### Литература

6. Python. К вершинам мастерства. Лучано Рамальо, ДМК Пресс. 2016. 768 с.
7. Python 3.9.1 documentation - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/> (Дата обращения 08.12.2020)
8. Dart documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dart.dev/guides> (Дата обращения 08.12.2020)
9. Flutter documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://flutter.dev/docs> (Дата обращения 08.12.2020)
10. Нейронные сети и компьютерное зрение | Stepik 2020 - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stepik.org/course/50352/> (Дата обращения 08.12.2020)

УДК 004.4

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МНОГОМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ ЧЕЛОВЕКА  
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПСИХОКОРРЕКЦИИ  
ИХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

**Редчиц А.В.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.м.н., доцент Билый А.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В процессе работы над проектом «Психокоррекция пользователя» появилось требование исследовать и реализовать методы для обработки, хранения с целью дальнейшей классификации состояния пользователя. Объединение всех методов в одну систему позволит упростить процесс работы над проектом, а также автоматизировать все стороны проекта. Набор разных показателей позволяет наиболее точно оценить состояние пользователя, а легко переносимая программная система может быть использована на разных платформах. Результатом исследования является реализованная и протестированная система, способная определять напряжение у пользователя и вызывать необходимый модуль коррекции с использованием методов обработки многомодальных данных о функциональном состоянии человека.

**Ключевые слова:** нейротехнологии, ЭЭГ, ЭКГ, контейнеризация, функциональное состояние человека.

**Введение**

Актуальность исследования и создания программного интерфейса «психокоррекции» состоит в том, что пользователь в определенном состоянии, например, монотонии, может потерять мотивацию к выполнению обыденных действий – в обучении, работе, хобби, необходимо использовать «онлайн» методики для корректировки состояния. Таким образом, при успешной реализации системы психокоррекции возможно ее внедрение в профессиональную сферу – работник выполняет трудовую деятельность в «активный» период на работе, (например, релиз продукта), и в момент пика происходит психоэмоциональное напряжение – требуется система «психокоррекции»: человек не будет полноценно продолжать свою деятельность до спада психоэмоционального напряжения, соответственно, пользователя необходимо вернуть в более спокойное состояние.

Для того чтобы определять состояние пользователя разными способами (по голосу, видео, а также по показателям ЭЭГ и ЭКГ), необходимо связать модули, отвечающие за эти способы (определения эмоционального состояния пользователя), посредством программной системы, которая представлена в данной статье. Именно комплексный анализ разных показателей позволяет наиболее точно определить состояние пользователя.

**Основная часть**

Проект «Психокоррекция пользователя» разрабатывается с целью создания системы, которая определяла бы, в какой момент пользователь находится в состоянии психоэмоционального напряжения, и корректировала текущее состояние. Система осуществляет все перечисленные выше действия в режиме реального времени.

В рамках реализации методов обработки многомодальных данных, объединенных в одну программную систему психокоррекции, были исследованы различные алгоритмы машинного обучения и глубокого машинного обучения для классификации данных и их обработки (в т.ч. очистки от шума).

Кроме того, так как система в целом по коррекции поведения пользователя не только ограничивается на одном модуле, был создан универсальный программный интерфейс с целью предоставления возможности доступа разных модулей и взаимодействия друг с другом. Основной модуль проекта, требующий реализации сервисов – модуль коррекции состояния. Необходимо было, чтобы данные предоставлялись «по запросу» для анализа результатов. Кроме того, внедрение внешних сервисов позволит оградить разработчика от архитектуры

базы данных. Были реализованы REST запросы на получение данных по голосу, ЭЭГ, ЭКГ, общей информации, фотографии. Остальные модули лишь просто вызываются в системе, сами не требуют получения данных, соответственно, они были обернуты в контейнеры Docker, а запуск осуществляется обычными скриптами для выполнения из командной строки (в случае с Windows – bat файлы).

Для получения данных индивидуально для каждого пользователя проводился эксперимент, который состоял из 4 этапов:

1. Прохождение теста в системе «ЭСКАЛ». По «ЭСКАЛ» (Экспертная система комплексного анализа личности) можно выделить следующие типы личности:

- a. Стимулирующий тип.
- b. Содействующий.
- c. Контролирующий тип.
- d. Координирующий тип.

У каждого типа личности есть свой цвет, стиль мышления, психологические характеристики. Так, опираясь на все указанные выше показатели, можно выбрать правильное направление для коррекции состояния пользователя. Например, у координирующего типа цвет, который преимущественно выбирает респондент по методике цветовых выборов (МЦВ), – красный, алый. Тогда при коррекции можно использовать видеофайлы, изображения, содержащие красный цвет, который будет приятен пользователю [4]. По психологической характеристике можно предположить, что человек координирующего типа будет всегда сильно замотивирован, и в таком случае напряжение будет наблюдаться реже, чем для других типов. Кроме того, коррекция будет работать по-разному для всех типов личности – например, на контролирующий тип влиять будет сложнее всего, данное предположение было подтверждено экспериментальными данными, представленными в тексте данной статьи ниже.

Используемый патент «ЭСКАЛ» принадлежит Билому А.М. и является экспертной системой для комплексного анализа личности. На основе опросника «ЭСКАЛ – оценка личности» разработан блок тестов, который позволяет определять тип преимущественного поведения личности (тип ВНД) [1-3].

Человек проходит по ссылке или QR коду на сам сайт для прохождения тестов, и затем этот результат вытягивается в базу данных посредством библиотеки BeautifulSoup.

2. Снятие показаний в спокойном состоянии пользователя. Этот этап назывался ФОН ДО, человек полностью расслабленный, еще до начала испытания (3 минуты).

3. Человек вводится в состояние психоэмоционального напряжения с помощью видеоряда с резким переключением цвета. Предполагается, что на этом этапе у пользователя повышается общий показатель бета-ритма в префронтальных зонах головного мозга. Префронтальные зоны – первый участок мозга, который реагирует на поступающий стресс (3 минуты).

4. После того, как пользователь был введен в состояние психоэмоционального напряжения, применяются методики коррекции состояния пользователя. На этом этапе у пользователя ожидается уменьшение бета-ритма и увеличение альфа-ритма, особенно в затылочных зонах (5 минут на этап).

Сама система реализуется в два этапа:

1. Подготовительный.

На подготовительном этапе получается общая информация о пользователе – выводится графическое окно для ввода температуры, ФИО, давление, возраст, пути до фотографии, пути до голоса. После получения всей информации в эксперименте обучается модель для классификации состояния пользователя по автоматически размеченным данным.

2. Режим реального времени.

В режиме реального времени пользователь работает, выполняет обыденную деятельность, а система определяет, в какой момент возникает напряжение и когда необходимо скорректировать состояние.

Для классификации состояния необходимо было выбрать наиболее подходящую модель машинного обучения. Проанализированы KNN, Decision Tree, Logistic Regression от Keras, в конечном итоге наибольшую точность показала модель KNN -96%. Однако, модель KNN имеет ограничения по скорости вычислений.

Вся система и модели реализованы с использованием языка Python и его библиотек. Подключение к оборудованию OpenBCI для получения ЭЭГ данных в режиме «онлайн» осуществляется с помощью библиотеки BrainFlow [5]; для данных ЭКГ используется плата ЭКГ от Vitronics и для записи – serial библиотека, предназначенная для сбора данных с плат Arduino, сама обработка данных и очистка от шума осуществляется с помощью библиотеки NeuroKit. Оба модуля работают в параллельном режиме с использованием многопоточности и событий (Thread Events()).

Для того чтобы облегчить нагрузку на систему и не вызывать лишней раз сторонний модуль – была внедрена модель «сиамской» нейронной сети, которая предполагает, что есть две сети, в которые подаются входные данные – фотографии – на выходном слое сравниваются результирующие вектора признаков. В итоге модуль позволяет избежать дополнительных вызовов к внешним модулям определения состояния пользователя.

Данные в системе хранятся в виде карточек, поэтому было решено использовать базу данных MongoDB. Реализована основная таблица со ссылками на таблицы по нормальному состоянию и данным в состоянии психоэмоционального напряжения. Развернута система посредством контейнеров Docker, сервисы реализованы на фреймворке Flask.

#### Результаты эксперимента

Тест прошли примерно 100 человек, однако из-за пандемии и карантина до очного участия дошли лишь 28 человек. Распределение по типам личности можно увидеть на диаграмме рисунка.

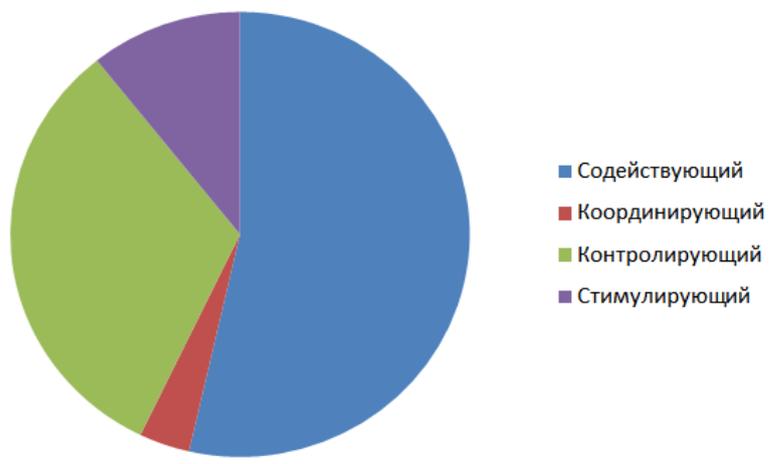


Рисунок. Типы личности испытуемых

Проанализировав результаты, меньше всего воздействию поддавался самый сильный тип личности – координирующий, то есть сложнее было вести в напряжение и классифицировать состояние, а легче всего поддавался воздействию содействующий тип личности – самый слабый по «ЭСКАЛ».

#### Выводы

В рамках работы над проектом были реализованы и объединены в единую систему модели обработки многомодальных данных о функциональном состоянии пользователя. Проведен эксперимент, в рамках которого была протестирована система, проанализированы результаты: чем слабее человек по типу личности «ЭСКАЛ», тем проще на него воздействовать. В рамках тестирования реализованная система показала очень хорошие результаты в скорости и точности.

### Литература

1. Билый, А.М. Оценка преимущественного типа личности по системе ЭСКАЛ использованием блока тестовых методик / А.М. Билый, И.А. Буровик // Биомед. журн. – 2012 г. С.839-854.
2. Билый А.М., Шестакова В.В. Модели и методы оптимизации психокоррекции функционального состояния пользователя электронных систем // Вестник психофизиологии. 2020. № 2. С. 64-69.
3. Билый, А.М. Оценка состояния ЦНС человека-оператора при моделировании различных условий деятельности / А.М. Билый, В.Н. Сысоев, Е.Ю. Сердюк [и др.] // Вестник психофизиологии. 2019. № 3. С. 81-84.
4. Белова Д.А. Приложение виртуальной реальности для психокоррекции на основе психотипа человека / Д.А. Белова, А.М. Билый // Программная инженерия и компьютерная техника (Майоровские чтения). 2019. № 20. С. 31-34.
5. Парфенов, А. Python Get Data from a Board: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brainflow.readthedocs.io/en/stable/Examples.html#python-get-data-from-a-board>, (Дата обращения: 01.05.2021).

УДК 004.85, 004.056

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Роевко Д.В.<sup>1</sup>, Зыкин М.М.<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н., доцент Менщиков А.А.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассматриваются способы повышения производительности алгоритмов машинного обучения применительно к обработке больших данных. Проведен обзор методов снижения временных затрат на обучение алгоритмов, а также специализированных библиотек, адаптированных под работу с большими массивами информации, выбраны решения, применимые к задаче определения мошеннических транзакций.

**Ключевые слова:** машинное обучение, оптимизация, информационная безопасность, транзакции, оптимизация.

Достижения в области машинного обучения напрямую зависят от мощностей вычислительных систем, и текущие потребности алгоритмов глубокого обучения растут гораздо быстрее возможностей компьютеров. Эта мысль подтверждается исследованиями ученых из MIT, которые провели анализ 1058 научных работ по машинному обучению и сделали вывод о том, что прогресс в области машинного обучения (ML) – это производная от вычислительной мощности системы [1]. Именно поэтому целью исследования стало выявление методов оптимизации алгоритмов машинного обучения, в том числе применительно к задаче обнаружения нелегитимных банковских транзакций, требующей обработки огромного потока данных в реальном времени. Для этого был проведен обзор этих методов, а также сформированы рекомендации по их применению для реализации системы обнаружения нелегитимных банковских транзакций.

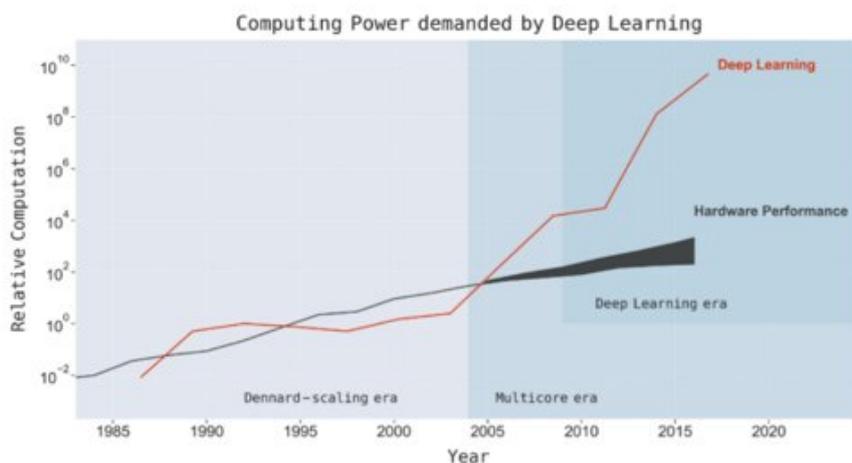


Рис. 1. Зависимость развития глубокого обучения от вычислительной мощности

Одним из приёмов повышения скорости работы алгоритмов машинного обучения является векторизация вычислений. Векторизация – это процесс преобразования алгоритма из работы с одним значением за раз в работу с набором значений (вектором) за один раз.

Библиотека NumPy языка программирования Python поддерживает векторные операции над многомерными массивами. Так, например, операция поэлементного умножения матриц с использованием циклов занимает в десятки раз больше времени по сравнению с векторной операцией NumPy. Кроме того, код, использующий данную библиотеку, выглядит намного лаконичнее (рис. 2).

```

1 @stopwatch
2 def basic_calc():
3     C = np.zeros((n,n))
4     for i in range(n):
5         for j in range(n):
6             C[i,j] = A[i,j] * B[i,j]
7     return C

```

Поэлементное произведение матриц 5000x5000 (25000000 элементов)

C использованием циклов for:  
[\*] Время выполнения 17.43061661720276 секунд

```

1 @stopwatch
2 def vector_calc():
3     C = np.zeros((n,n))
4     C = A * B
5     return C

```

C использованием поэлементного произведения матриц Numpy:  
[\*] Время выполнения 0.32526350021362305 секунд

Рис. 2. Сравнение времени выполнения алгоритмов с использованием циклов for и векторизации Numpy

Столь значительное преимущество в скорости работы (рис. 3) достигается за счёт того, что массивы Numpy в отличие от списков Python могут содержать данные только одного типа, что упрощает их обработку. Кроме того, в основе Numpy лежат оптимизированные функции, написанные на языке C, к которым обращается Python при проведении вычислений. Также стоит отметить, что выполнение одной операции с некоторым набором значений реализовано на уровне процессора. Данный принцип выполнения вычислений получил название SIMD (Single Instruction Multiple Data).

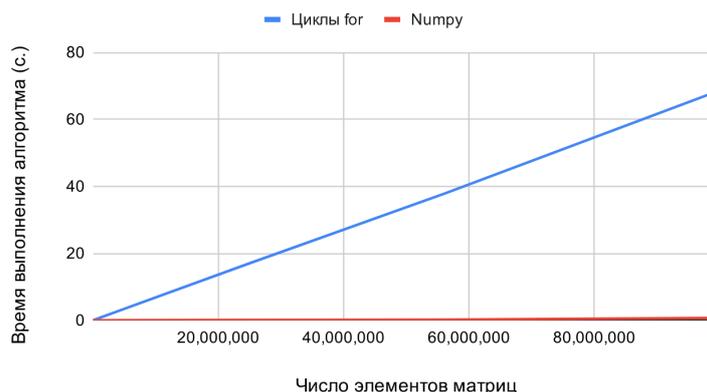


Рис. 3. Зависимость времени выполнения алгоритмов от размера входных данных

Другим методом, позволяющим оптимизировать алгоритмы машинного обучения является снижение размерности данных. Он заключается в уменьшении признаков набора данных путем удаления избыточных, неинформативных или слабо информативных признаков, что упрощает и ускоряет работу модели.

На рисунке 4 представлен принцип работы одного из наиболее часто используемых методов снижения размерности - метода главных компонент. Данный метод осуществляет линейное отображение данных в пространство меньшей размерности таким образом, что дисперсия данных в малоразмерном представлении максимизируется.

В статьях, посвященных классификации мошеннических транзакций, методы снижения размерности применяются совместно с классификаторами различных типов и способствуют повышению точности идентификации нелегитимных транзакций.

Так, в статье «Enhanced credit card fraud detection based on SVM-recursive feature elimination and hyper-parameters optimization» применение рекурсивного удаления признаков на основе метода опорных векторов с классификатором случайный лес дало прирост метрики AUPR в 15% по сравнению с другими методами [2].

В статье «Reducing Dimensionality of Variables for a Classification Problem: Fraud Detection» использование метода главных компонент с наивным байесовским классификатором способствовало увеличению F1-меры на 31,6% при обнаружении нелегитимных банковских транзакций [3].

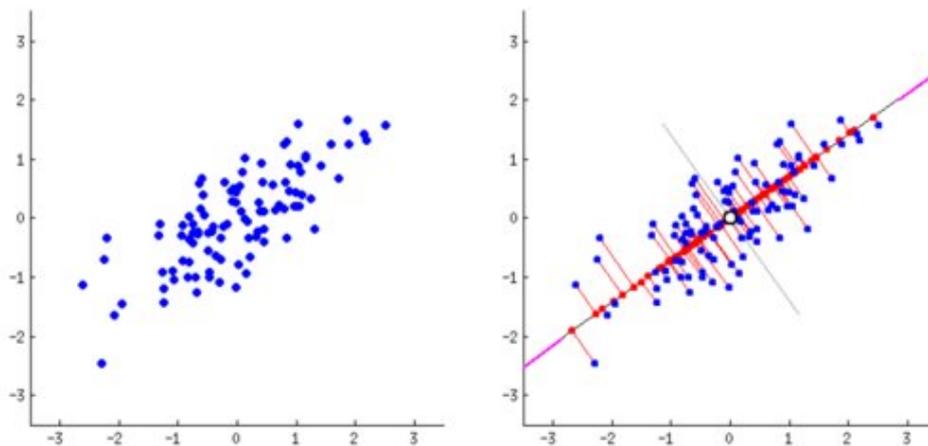


Рис. 4. Снижение размерности методом главных компонент

Пакетная нормализация, относительно новый метод, предложенный в 2015 году исследователями из Google. Рассмотрим классическую нейронную сеть с несколькими слоями.

Нормализация входного слоя нейронной сети (рис. 5) обычно выполняется путем масштабирования данных, подаваемых в функции активации. Например, когда есть признаки со значениями от 0 до 1 а другие от 1 до 1000, то их необходимо нормализовать, чтобы ускорить обучение. Нормализацию данных можно выполнить и в скрытых слоях нейронных сетей, что и делает метод пакетной нормализации.

Однако на практике все обстоит труднее. Основная сложность в оптимизации нейросети с помощью слоя пакетной нормализации — подобрать learning rate и правильно его изменять в процессе обучения сети. Чтобы сеть сходилась быстрее, начальный learning rate должен быть больше, а потом снижаться, чтобы результат был точнее [4].

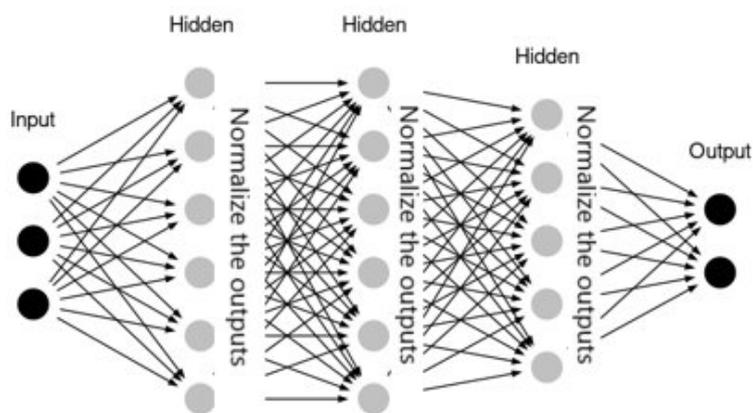


Рис. 5. Схема слоев нейронной сети с пакетной нормализацией

Были проанализированы результаты тестирования нейронной сети с несколькими вариантами изменения learning rate, которые представлены в таблице 1.

На рисунке 6 представлены графики, демонстрирующие процесс обучения: точность на тестовой выборке в зависимости от количества выполненных итераций обучения нейронной

сети [5]. Оригинальная сеть сходится за 420000 итераций, при этом learning rate за всё время изменяется только 2 раза на 150000-ой итерации и на 300000-ой. Но если присутствует слой пакетной нормализации, такой подход даёт плохие результаты – график long\_step. График short\_step показывает, что просто плавное изменение learning rate работает хуже.

Таблица 1. Зависимость числа итераций сходимости и максимальной точности нейросетевого классификатора от формулы изменения learning rate

Имя	Original	Short step	Multistep without dropout
Формула изменения learning rate	0.01*0.1 [#iter/150000]	0.055*0.7 [#iter/11000]	0.055*0.7 Nsteps
Итераций до точности 80%	64000	45000	45000
Итераций до полной сходимости	420000	180000	230000
Максимальная точность	94,5%	86,7%	91,3%

Эксперимент показывает, процесс обучения значительно ускоряется, но точность в любом случае будет немного хуже оригинальной сети. Однако пакетная нормализация будет эффективнее для достижения точности в 80%. Для этого требуется в 1,4 раза меньше времени. Это можно использовать в сценарии проектирования новых сетей или подбора параметров.

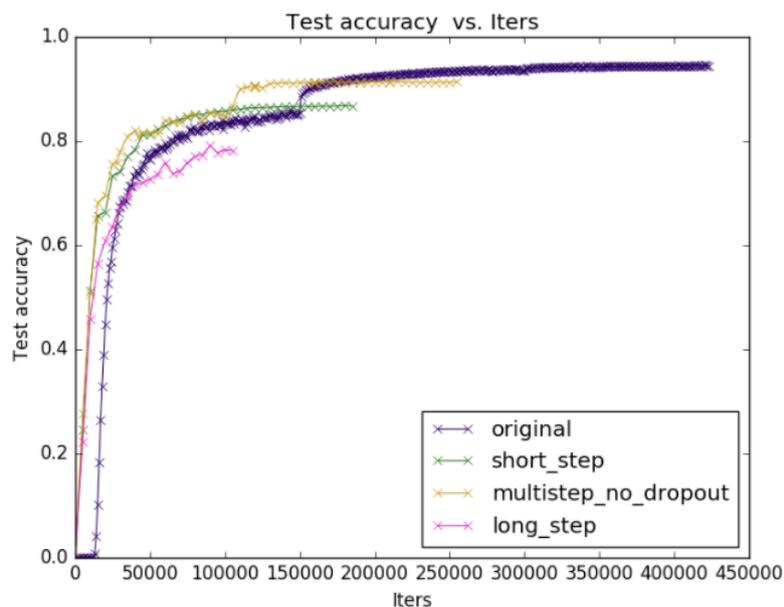


Рис. 6. Графики обучения нейронных сетей

Одним из способов повышения производительности алгоритмов является распределение вычислений. основополагающей концепцией считается map reduce от компании Google, но по мере развития технологий Big Data стало общим понятием мира больших данных. Сегодня существует множество различных коммерческих и свободных продуктов, использующих эту модель распределенных вычислений: Apache Hadoop, MongoDB и другие фреймворки. Принцип работы заключается в 3 комбинациях.

Map – предварительная обработка входных данных в виде большого списка значений. При этом главный узел кластера (master node) получает этот список, делит его на части и передает рабочим узлам (worker node). Далее каждый рабочий узел применяет функцию Map к локальным данным и записывает результат в формате «ключ-значение» во временное хранилище.

Shuffle, когда рабочие узлы перераспределяют данные на основе ключей, ранее созданных функцией Map, таким образом, чтобы все данные одного ключа лежали на одном рабочем узле.

Reduce – параллельная обработка каждым рабочим узлом каждой группы данных по порядку следования ключей и «склейка» результатов на master node. Главный узел получает промежуточные ответы от рабочих узлов и передаёт их на свободные узлы для выполнения следующего шага. Получившийся после прохождения всех необходимых шагов результат – это и есть решение исходной задачи [6].

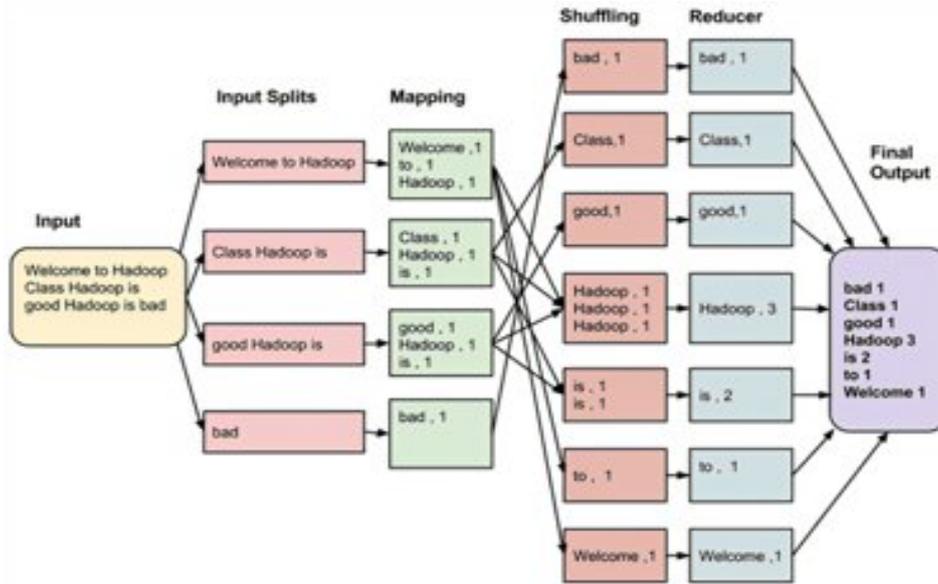


Рис. 7. Принцип работы MapReduce

В качестве практического подтверждения результатов была рассмотрена статья о распознавании мошеннических транзакций алгоритмом NSA (Negative Selection Algorithm) с применением методики map reduce в реализации проекта Hadoop. Обучение проводилось на базе данных из 300 тысяч записей транзакций банка [7].

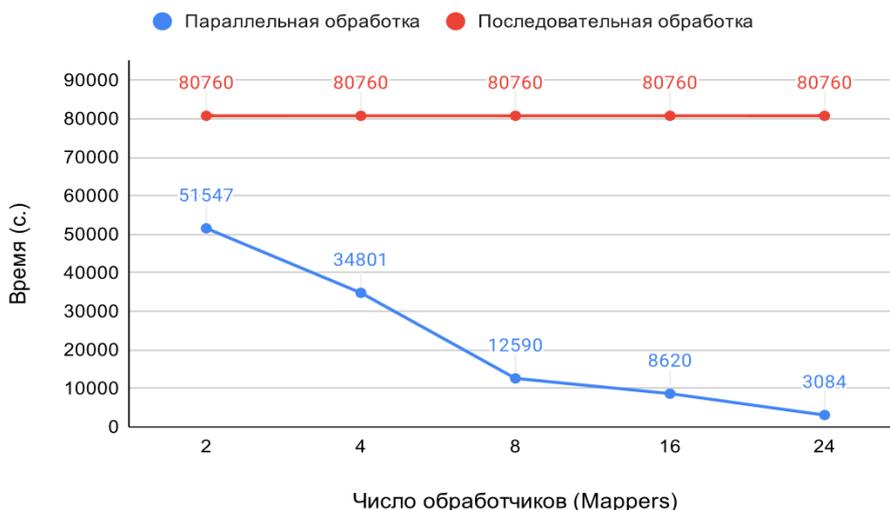


Рис. 8. Зависимость от количества обработчиков ко времени обучения сети

Видно, что при использовании параллельных вычислений и при увеличении количества числа обработчиков снижалось время на тренировку, что подтверждает эффективность примененной технологии.

В результате проделанной работы был произведён обзор методов оптимизации алгоритмов машинного обучения, выявлены преимущества и недостатки каждого из методов (табл. 2), а также сформированы рекомендации для их дальнейшего применения к решению задачи идентификации мошеннических банковских транзакций (табл. 3).

Таблица 2. Преимущества и недостатки методов оптимизации алгоритмов машинного обучения

Метод оптимизации	Преимущества	Недостатки
Векторизация вычислений	В десятки раз уменьшает время выполнения алгоритма	Не любую циклическую операцию над массивом данных возможно векторизовать (требуется переработка логики вычислений)
	Улучшается читаемость кода	
	Уже используется в основе популярных ML-фреймворков (Tensorflow)	
Снижение размерности	Значительное ухудшение точности распознавания для слабо различимых классов	Значительное ухудшение точности распознавания для слабо различимых классов
	Значительное ухудшение точности распознавания для слабо различимых классов	
	Значительное ухудшение точности распознавания для слабо различимых классов	
Пакетная нормализация	Максимальная точность распознавания ограничивается фиксированным порогом	Максимальная точность распознавания ограничивается фиксированным порогом
	Максимальная точность распознавания ограничивается фиксированным порогом	
Распределённые вычисления	Возможность распределенного выполнения операций	Обработка потоковых данных Взаимодействие процессов различных узлов
	Быстрота обработки больших объёмов данных	
	Отказоустойчивость и оперативное восстановления после сбоев	

Таблица 3. Рекомендации по использованию для задачи классификации мошеннических транзакций

Метод оптимизации	Рекомендации
Векторизация вычислений	Может быть использована для точечной оптимизации алгоритма
Снижение размерности данных	Полезна при подготовке данных, способствует снижению нагрузки на классификатор
Пакетная нормализация	Ускоряет процесс обучения, однако снижает максимальную точность. Может использоваться, при проектировании новых сетей или подбора их параметров.
Распределённые вычисления	Даёт возможность обработки больших объёмов данных в режиме реального времени

### Литература

1. Thompson, N. C., Greenewald, K., Lee, K., and Manso, G. F. (2020). The Computational Limits of Deep Learning. Available at arXiv: 2007.05558.
2. Naoufal Rtayli, Nourddine Enneya (2020). Enhanced credit card fraud detection based on SVM-recursive feature elimination and hyper-parameters optimization. *Journal of Information Security and Applications*, vol. 55, doi: 10.1016/j.jisa.2020.102596.
3. P. Shiguihara-Juarez and N. Murrugarra-Llerena (2019). Reducing Dimensionality of Variables for a Classification Problem: Fraud Detection. 2019 IEEE Sciences and Humanities International Research Conference (SHIRCON), p. 1-4, doi: 10.1109/SHIRCON48091.2019.9024863.
4. Batch Normalization [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://deeptai.org/machine-learning-glossary-and-terms/batch-normalization> (дата обращения: 12.03.2021).
5. Batch Normalization для ускорения обучения нейронных сетей. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/309302/> (дата обращения: 13.03.2021).
6. MapReduce. Режим доступа: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/mapreduce> (дата обращения: 10.03.2021).
7. H. Hormozi, M. K. Akbari, E. Hormozi and M. S. Javan (2013). Credit cards fraud detection by negative selection algorithm on hadoop (To reduce the training time). *The 5th Conference on Information and Knowledge Technology*, p. 40-43, doi: 10.1109/ИКТ.2013.6620035.

УДК 004.891.2

## РАСПОЗНАВАНИЕ КОНТУРОВ ФЛОТАЦИОННОЙ ПЕНЫ В ПОТОКЕ

Румянцева М.Ю.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к. ф.-м.н. Фильченков А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В данной работе рассмотрен процесс автоматизации распознавания контуров флотационной пены на видео с помощью методов компьютерного зрения. Распознавание контуров необходимо для оценки характеристик пены. Актуальность данной темы обусловлена автоматизацией производства – движением к Индустрии 4.0.

**Ключевые слова:** флотация, компьютерное зрение, маркерный водораздел, нейронные сети, Unet.

Флотация – процесс обогащения руды, при котором гидрофобные частицы отделяются от гидрофильных путём закрепления на границе раздела фаз (двух жидкостей). Флотация происходит в флотационных бочках. Для технологов важно понимание характеристик флотационной пены – размера и формы пузырей, времени жизни и цветности. Наиболее популярным методом является визуальная оценка характеристик технологами. Проблема визуальной оценки заключается в том, что такая оценка является неточной и субъективной, так как поток пены движется быстро, контуры пузырей меняются постоянно.

Решением **проблемы** является автоматизация анализа процесса флотации с помощью компьютерного зрения.

Существующие технологические решения данной проблемы основаны на использовании методов маркерного водораздела для выделения контуров отдельных пузырей. Такие подходы не гарантируют устойчивости при обработке разных видео и фотографий, так как они подстраиваются под конкретные данные. Вторым часто используемым подходом является классификация пены по нескольким классам без выделения конкретных контуров, соответственно, данный подход не позволяет осуществить расчёт характеристик, кроме общего представления о пене.

Основная проблема исследования – **определение пузырей пены**. Для решения этой задачи необходимо произвести сегментацию изображения, выделив пиксели, отдельным пузырям, либо принадлежащие нулевому классу. Существуют два ключевых подхода к сегментации: на основе выделения границ и на основе метода выращивания регионов, а также смешанный подход. Простые методы не могут полностью решить задачу определения контуров, однако их использование может быть эффективно в качестве этапов сегментации. Метод водораздела относится к методам выращивания регионов и является одним из самых популярных и эффективных методов сегментации.

Осуществление анализа флотации происходит следующим образом:

1. Получение кадра с камеры.
2. Предобработка кадра.
3. Определение контуров пены.
4. Определение характеристик пены на основе полученных контуров.

Исходным изображением является кадр, полученный с видеокамерой, закрепленной на флотационной бочке.

Цель **предобработки изображений** - подготовка исходного изображения для извлечения необходимой нам информации, повысить вероятность определения контуров именно тех объектов, которые нам необходимы. Исходные кадры из флотационной бочки требуют предобработки, так как имеют низкую яркость, пена имеет нечеткие контуры. Дополнительную сложность вносит однородность объектов. Задача предобработки - уточнить объекты для дальнейшего анализа.

Предварительная обработка кадра включает в себя:

1. Кадрирование для выделения флотационной бочки.
2. Удаление области за пределами бочки. Область интереса определяется исключением

области, не изменяющейся от кадра к кадру, т.е. не являющаяся движущейся пеной.

3. Размытие по Гауссу для удаления шума.

4. Эквиализация гистограммы для повышения яркости.

Определение контуров пены является ключевым этапом процесса.

Маркерный водораздел - один из популярных методов сегментации изображения, алгоритм работы которого основан на представлении изображения как топологической карты местности, где значением высоты является яркость пикселей. Алгоритм работы метода водораздела заключается в построении маркеров [3], которые будут являться точками локального минимума, иными словами, вершин возвышений, и точек, находящихся на склоне, с которых пиксели разных цветов будет сливаться к центру «водоёма».

Использование водораздела часто приводит к сильной сегментации, поэтому чаще всего используют водораздел на основе маркеров. Маркер являет собой точку локального максимума, на основе которого будет выбран бассейн.

Алгоритм работы метода водораздела следующий:

- a. Заполнение пикселями начинается с точек локального максимума (или маркером).
- b. Если два региона пикселей готовы слиться в один, то необходимо установить «стену» между ними.
- c. Когда регионы заполняют всё изображение, то работу алгоритма можно остановить.

Маркеры возможно расставлять как вручную, так и автоматически. Одна из проблем использования водораздела заключается в сильной зависимости от данных: необходим ручной подбор параметров предобработки для разных классов пены. Маркерный водораздел можно использовать в качестве базового решения для создания обучающей выборки. Маркеры вычисляются в точках локального максимума яркости изображения, в данном случае являющихся бликами на изображении. Для пены с мелкими пузырями для выделения маркеров были применены операции морфологического открытия, размытия. Для пены с крупными пузырями также применялся гомоморфный фильтр, позволяющий не допустить разбиения крупных бликов на несколько мелких. К результатам работы применялась адаптивная бинаризация, позволяющая построить карту бликов, для определения точек максимума – дистанционное преобразование и поиск максимума (рис. 1).



Рис. 1. Поиск локальных максимумов

Вручную можно подобрать параметры размытия, позволяющие не выделять слишком мелкие пузыри, т.е. размывающие границы между ними до степени, когда отдельные пузыри не будут выделяться. Таким образом, будут не выделены маркеры мелких пузырей, и они будут определены как одна область. Однако водоразделом такие области будут классифицироваться как крупные области пены, и их необходимо исключить. Такие области мелкой пены отсечены с помощью полуавтоматического редактирования: на основе показателей энтропии и яркости генерируются регионы-кандидаты, являющиеся или не являющиеся целевыми областями, и вручную проверяются. Водораздел позволяет осуществить сегментацию с примерными границами (рис. 2).

На основе этих данных можно обучить нейронную сеть, реализующую бинарную сегментацию. В качестве нейронной сети выбрана сеть U-Net [2], которая считается одной из стандартных архитектур свёрточных нейронных сетей, используемых для задач сегментации изображений. Наилучшим образом она показывает себя в бинарной сегментации. Особенность

данной нейронной сети – в том, что она позволяет сегментировать область по классу, т.е., создать маску, позволяющую разделить изображение на несколько классов [3].

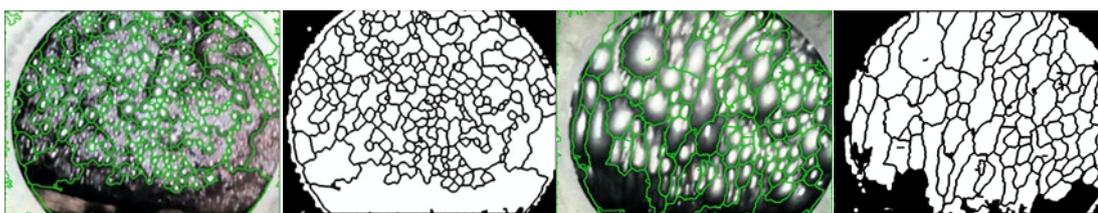


Рис. 2. Результат сегментации методом водораздела

Для обучения использовалась выборка из размеченных с помощью водораздела 300 изображений. Нейронная сеть обучается на изображениях, на которых представлена пена разных классов – 50% изображений с мелкой пеной, 50% изображений с крупной пеной. На выходе получается карта вероятностей принадлежности к классу “пена”, подобран порог отсекающей вероятности. Обученная нейронная сеть позволяет работать с видео с пеной разных классов, а также не выделяет области мелкой пены как крупную. (рис. 3)

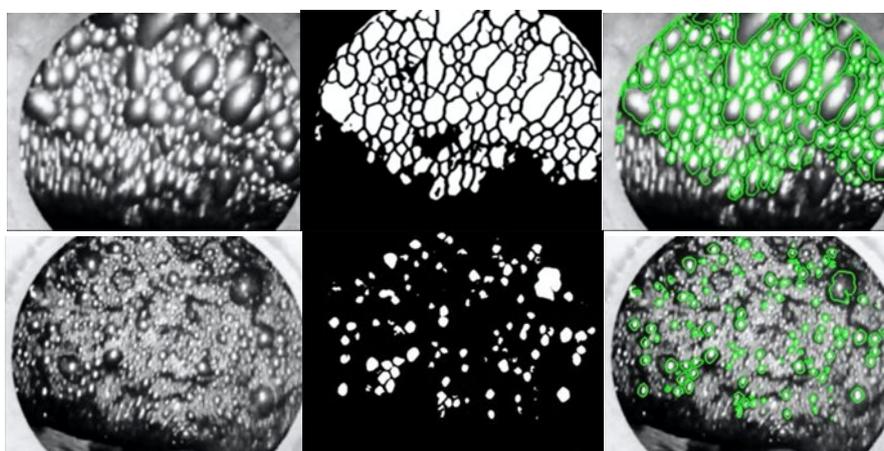


Рис. 3. Результат сегментации

Полученный алгоритм имеет скорость работы в 13 кадров/секунду (таблица) с использованием графического ускорителя (аппаратное обеспечение CPU Xeon Processors @2.3Ghz, GPU Tesla K80 12GB VRAM, RAM 13 GB), и точность работы в 96% по метрике IoU (Intersection over Union). Данная метрика показывает процент пересечения ground truth карты сегментации, размеченной вручную, и полученной в результате вычисления бинарной сегментации по одному из классов.

Таблица. Скорость обработки алгоритма

	Точность (IoU)	Время обработки одного изображения (CPU)	Время обработки одного изображения (GPU)
Unet	0.9579	0.5 с	0.07 с
Маркерный водораздел	0.6594	1 с	1 с

Преимущество данного метода заключается в его универсальности. Метод устойчиво работает на видео пены разных классов, в том числе, нейронная сеть, будучи обученным на изображениях всего двух классов (крупная пена и мелкая пена) успешно сегментирует изображения промежуточных классов. Классические методы компьютерного зрения необходимо подстраивать под данные, но их целесообразно использовать в качестве материала для построения обучающей выборки.

Поскольку алгоритм основан на использовании нейронной сети, то он эффективнее работает с использованием GPU. Вычисление масок на CPU – достаточно долгий процесс. Возможными шагами является оптимизация вычислений. Также методом, который может уточнить карты сегментации, является оптический поток. Флотация – динамический процесс, оцениваемый по видео, однако обработка кадров с помощью нейронной сети не использует возможности связи кадров между собой. Оптический поток – метод отслеживания движения по видео, основанный на отслеживании изменения кадров. Целесообразно провести исследования по комбинации нейросетевых методов и методов оптического потока.

**В результате** данного исследования реализован метод распознавания контуров пузырей с помощью нейронной сети. Для подготовки обучающей выборки использован метод маркерного водораздела, в качестве нейронной сети – U-net. Полученные карты сегментации применяются для оценки скорости движения пены, её крупности и цветности с помощью алгоритмов.

### Литература

1. Gonzalez, M., Ballarin, V. Automatic marker determination algorithm for watershed segmentation using clustering // Latin American Applied Research. 2009, July. Vol. 39. P. 225–229.
2. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. U-Net Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). Vol. 9351. Springer, 2015. P. 234–241. (LNCS). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/Publications/2015/RFB15a> (дата обращения 05.05.2020).
3. Liu, X., Ore image segmentation method using U-Net and Res\_Unet convolutional networks // RSC Adv. 2020. Vol. 10, Is. 16. P. 9396–9406. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1039/C9RA05877J> (дата обращения 14.05.2020).

УДК 004.056.53

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА СЛЕПКА ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ

Рябенков М.Ю.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Шипунов И.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

*Работа выполнена в рамках темы НИР №АААА-А19-119092690056-6 «Комплексное обеспечение защищенности критической информационной инфраструктуры водного транспорта».*

Расследование преступлений является одной из важнейших областей информационной безопасности. Система комплексного анализа оперативной памяти направлена на облегчения процесса расследования инцидентов. Ускорение процесса достигается за счет автоматизации выполнения команд и визуализации полученных данных.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, киберпреступления, киберпреступность, расследование инцидентов, оперативная память, система защиты.

Тема информационной безопасности особенно актуальна в наше время. Количество киберпреступлений увеличивается из года в год. На данный момент преступность в информационной сфере достигла небывалых масштабах в связи с пандемией и переходом на дистанционный режим работы.

Компанией TrendMicro было заблокировано 48 млрд. атак в 2018 году. Positive Technologies отмечают, что количество атак во 2-ом квартале 2020 года увеличилось на 59% по сравнению со 2-м кварталом 2019 года. Процент направленных атак продолжает расти, и, как следствие, ущерб компаний, подвергшихся нападению, увеличивается.

Методы киберпреступников постоянно совершенствуются и единственная возможность остановить рост количества преступлений – это позволить системам защиты развиваться в ногу со временем.

В данной ситуации, важную роль играет процесс расследования компьютерных инцидентов, который, в свою очередь, оказывает влияние на развитие систем безопасности [1].

Компьютерная форензика – один из крупнейших разделов компьютерной криминалистики. Она отличается широким спектром объектов исследования, таких как автоматизированные рабочие места, ноутбуки, персональные компьютеры и так далее.

Анализ оперативной памяти – неотъемлемая часть методики расследования инцидентов.

Для решения данной проблемы была разработана система комплексного анализа оперативной памяти. Система написана на языке программирования Python, в качестве расширения использовалась библиотека PyQt5 – реализация библиотеки Qt.

Она была реализована с использованием The Volatility Framework, проекта с открытым исходным кодом, написанного на языке программирования Python. Данный фреймворк является наиболее распространённой платформой для криминалистического анализа оперативной памяти и завоевал доверие сообщества. За 14 лет платформа расширилась и модернизировалась, благодаря наработкам и плагинам, написанными другими пользователями.

Он обладает широкими аналитическими возможностями:

- анализ процессов;
- обнаружение API хуков в процессах и памяти ядра;
- выгрузка процессов для обратного инжиниринга;
- создание временных шкал из артефактов в памяти;
- поиск скрытого и встроенного кода;
- поддержка YARA.

При разработке основное внимание было обращено на автоматизацию процесса исследования. Процесс ввода команд сопровождается автодополнением, которое не просто помогает ускорить набор, но и избежать опечаток.

Важной частью расследования инцидентов является процесс сбора необходимой информации. Для удобства специалистов и экономии времени вся полученная информация может быть представлена в виде автоматически сгенерированных отчетов в формате csv. Такой подход позволяет сэкономить время специалиста и систематизировать всю необходимую информацию для дальнейшей работы.

Разработанная система включает в себя возможность проверки вредоносных файлов с помощью VirusTotal API. Это служба, которая производит анализ и выявляет вирусы, трояны и иные вредоносные программы. Результаты проверки базируется на отчетах более шестидесяти антивирусов, что позволяет более комплексно рассмотреть файл и сделать вывод о его безопасности. Процесс анализа выглядит следующим образом: специалист выбирает подозрительный файл, программа определяет его физический адрес в памяти и загружает на ресурс, файл проверяется, после чего специалист получает возможность просмотреть результаты сканирования. Подобный подход помогает идентифицировать заражение и ускорить процесс расследования инцидентов.

Процесс расследования инцидентов в автоматизированной системе состоит из следующих шагов:

1. Получения слепка оперативной памяти.
2. Выбор слепка и рабочей директории.
3. Ввод команд для исследования дампа.
4. Анализ полученной информации.
5. Выгрузка необходимых файлов.
6. Проверка подозрительных файлов с помощью VirusTotal API.
7. Систематизация полученной информации путем генерации отчетов.

На рисунке 1 представлена наглядная схема работы программы, которая отображает основной функционал автоматизированной системы.

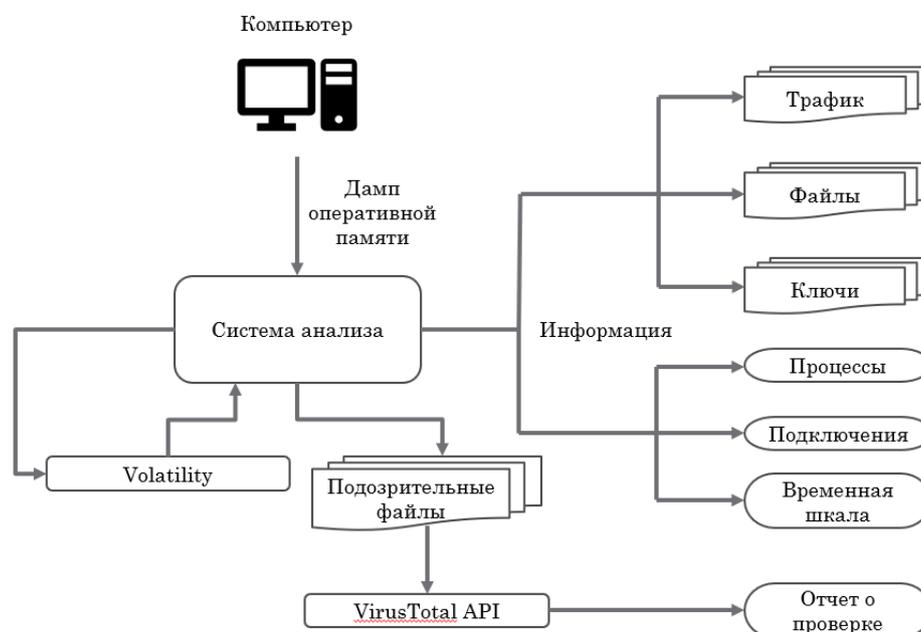


Рис. 1. Схема автоматизированной системы

Целью данной системы является облегчение и ускорения процесса анализа, который достигается методом уменьшения количества монотонных и однотипных действий. Внимание специалиста в подобных ситуациях должно быть сфокусировано на результате, а не процессе выполнения. Поэтому необходимость его непосредственного участия в выполнении простых, но постоянно встречающихся задач, отпадает.

Так как специалисту не нужно следить за корректностью часто встречающихся параметров при вводе команд, он может сфокусироваться и уделять больше внимания анализу полученных данных [2].

Данная система также поддерживает плагины, написанные для фреймворка Volatility, тем самым предоставляя широкий спектр возможностей для улучшения и модификации системы анализа и позволяют развивать ее модульно, без больших затрат на разработку и обновление программного обеспечения. Достаточно разработать плагин и разместить его в директории с системой расследования инцидентов.

Фреймворк имеет неограниченные возможности к развитию. Кроме вышеописанных плагинов, стоит упомянуть, что в состав автоматизированной системы включена YARA, система, предназначенная для облегчения работы исследователей. Она позволяет профессионалам писать собственные правила идентификации образов вредоносного ПО в системе (или любых других шаблонов, которые могут быть описаны в текстовом или бинарном формате).

На рисунке 2 приведен графический интерфейс разработанной системы. Он поделен на 4 блока: кнопки управления, строка ввода команд, таблица вывода, общая информация.

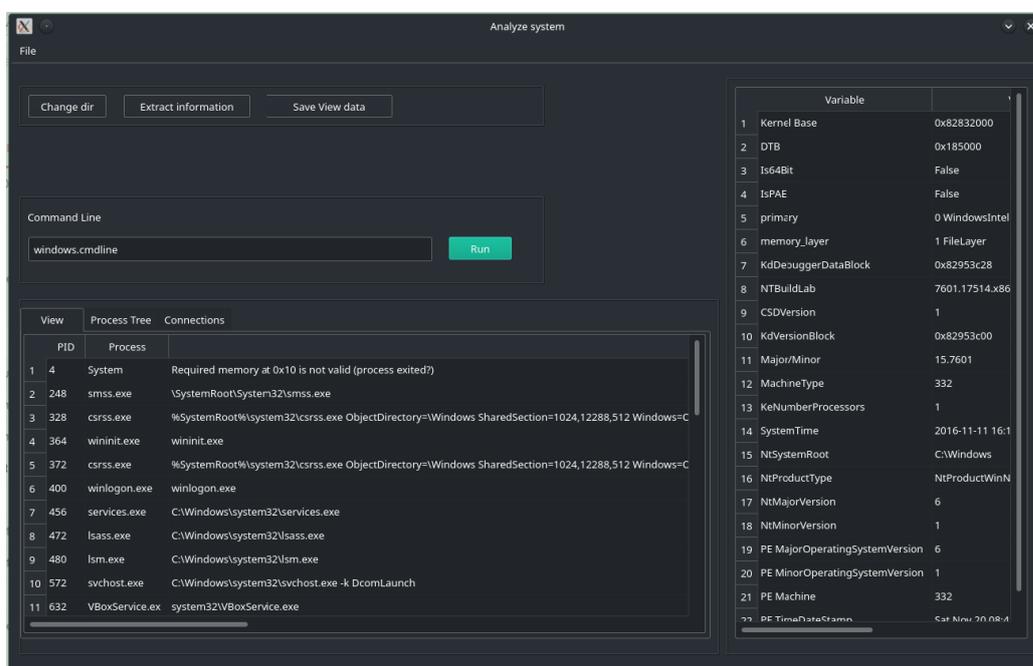


Рис. 2. Результат работы команды windows.cmdline

Применение такой системы в разы облегчит расследование инцидентов кибербезопасности и автоматизирует процесс сбора цифровых доказательств. Это поможет не только специалистам, но и компаниям, которые заинтересованы в скорости разрешения произошедших инцидентов.

## Литература

1. Sokolov, S.S., Glebov, N.B., Antonova, E.N., Nyrkov, A.P. "The Safety Assessment of Critical Infrastructure Control System" 2018 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 5 November 2018, pp. 154-157. <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2018.8524948>.
2. S. Shipunov, A. P. Nyrkov, M. V. Kardakova, Y. F. Katorin and V. V. Vychuzhanin, "Information System for Monitoring and Analyzing the Technical Condition of Autonomous Vehicles," 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), St. Petersburg and Moscow, Russia, 2020, pp. 497-500, doi: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039181.

УДК 004.056.53

**МЕХАНИЗМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

**Садикова А.А.<sup>1</sup>, Двойникова А.А.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – профессор, д.т.н. Гатчин Ю.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Быстрое развитие специальных автомобильных сетей (VANET) привело к значительному повышению безопасности и эффективности дорожного движения. Однако из-за ограничений, связанных с собственной неизменной моделью VANET и традиционной сетевой структурой по-прежнему существует множество сложных проблем, таких как низкая гибкость и управляемость. Для эффективного решения этих неотъемлемых проблем были проанализированы существующие схемы аутентификации, приведены их достоинства и недостатки. Разработана схема условной анонимной аутентификации на основе весов путем внедрения недавно появившейся инфраструктуры программно-определяемых сетей.

**Ключевые слова:** киберфизические системы, аутентификация, VANET, периферийные вычисления, конечные устройства.

Резкое увеличение количества и типов разнородных узлов и устройств IoT с поддержкой периферийных вычислений делает критически важным обеспечение безопасности и конфиденциальности на всех граничных узлах и интерфейсах. Для этого необходимы эффективная целостность данных, а также гибкие и масштабируемые механизмы аутентификации и авторизации, чтобы соответствовать требованиям растущих и расширяющихся сетей IoT с поддержкой периферийных вычислений. Одна из проблем, требующих более тщательного решения – это обеспечение безопасной аутентификации, аудита и контроля доступа к системным ресурсам с сохранением конфиденциальности. Некоторые конечные пользователи беспокоятся об отслеживании их действий или о раскрытии их местоположения или личности. Следовательно, решения, которые обеспечивают безопасный доступ к системе и в то же время сохраняют конфиденциальность конечных пользователей, по-прежнему остаются открытыми исследовательскими проблемами, которые требуют дополнительного изучения и исследования с точки зрения Интернета вещей с поддержкой периферийных вычислений. Например, разработка протоколов согласования ключей взаимной анонимной аутентификации на основе идентичности для парадигмы Интернета вещей с поддержкой периферийных вычислений может быть многообещающим направлением исследований. Кроме того, использование цепочек хеширования и аутентифицированного шифрования для разработки облегченных протоколов аутентификации, способных обеспечить безопасность для Интернета вещей с поддержкой периферийных вычислений, является еще одним многообещающим новым направлением исследований.

Быстрое развитие автомобильных самоорганизующихся сетей (VANET) привело к значительному повышению безопасности и эффективности движения. Однако из-за ограничений, связанных с собственной неизменной моделью VANET и традиционной сетевой структурой, по-прежнему существует множество сложных проблем, таких как низкая гибкость и управляемость.

При использовании VANET в реальных приложениях необходимо учитывать безопасность во время связи. Это сделано для защиты конфиденциальности транспортных средств и предотвращения повреждения системы злоумышленниками. Чтобы преодолеть недостатки, многие исследователи предложили схемы анонимной аутентификации для обеспечения безопасной связи. Например, схема аутентификации с условной защитой конфиденциальности в мультиоблачной среде была предложена для обеспечения конфиденциальности и анонимности транспортных средств путем объединения с облачными вычислениями.

Гарг и др. [1] представили схему сохранения конфиденциальности на основе SDN для автомобильных сетей с точки зрения 5G. Схема обеспечивала сквозные методы безопасности за счет встроенных модулей, включая аутентификацию и обнаружение вторжений. Схема аутентификации основана на криптографическом методе эллиптической кривой для аутентификации центра сертификации, главой кластера и транспортных средств перед передачей данных. Обнаружение вторжений использует концепцию уменьшения размерности на основе тензора, чтобы уменьшить размер данных о движении транспортных средств, а затем предоставить их для обнаружения. Однако эта схема вводила только аутентификацию личности между центром сертификации и главой кластера, а также главой кластера и транспортными средствами. Дальнейшая схема аутентификации сообщения не была предназначена для защиты связи. Кроме того, схема аутентификации может потребовать слишком большого объема вычислений и хранения, что приведет к большим накладным расходам и задержкам при развертывании.

Хуанг и др. [2] предложили программно-определяемую модель автомобильной сети 5G. На основе этого была разработана условная схема аутентификации, сохраняющая конфиденциальность, которая позволяет избежать проблем с единой точкой отказа и использовать идеальное защищенное от взлома устройство и список отозванных сертификатов (CRL). В схеме использовался список отзыва, чтобы уменьшить задержку проверки, вызванную проверкой длинного CRL, и хранилище с большим количеством псевдонимов в CRL. Однако каждая вторая псевдоидентификация имеет время проверки и может использоваться только один раз, после чего она будет удалена из списка. Такая конструкция будет стоить слишком много ресурсов хранения и вычислений при отслеживании реальных идентификаторов вредоносных транспортных средств.

Шао и др. [3] предложили протокол анонимной аутентификации для сетей VANET с использованием новой схемы групповой подписи, которая обеспечивает пороговую аутентификацию и групповую подпись в VANET. Однако огромные и тяжелые накладные расходы на вычисления, связанные с операцией билинейного сопряжения и операцией хеширования «карта-точка», могут строго ограничить ее практическую осуществимость.

Лаи и др. [4] предложили интегрированную сетевую архитектуру для безопасной групповой связи в 5G-VANET на базе программно-определяемой сети (SDN). С помощью этой схемы можно решить некоторые проблемы безопасности как в децентрализованных, так и в централизованных сетях, и оценка производительности оказалась выдающейся, но в ней отсутствует подробный конкретный подход к сохранению конфиденциальности, гарантирующий конфиденциальность транспортных средств. В другой своей работе [5] они представили унифицированную безопасную и бесшовную структуру IP-коммуникаций для гетерогенной автомобильной среды, ориентированной на группы. Эта структура была нацелена на использование преимуществ структуры SDN для безопасной и гибкой настройки взвода и управления перегрузкой передачи сигналов передачи.

Джабаллах и др. дали подробный обзор сетей программно-определяемых автомобильных сетей (SDVN), который представил преимущества, будущие направления и существующие проблемы, особенно в отношении безопасности связи.

В работе предложена схема условной анонимной аутентификации на основе веса путем внедрения новой инфраструктуры программно-определяемых сетей. Транспортные средства классифицируются по различным приоритетам с использованием взвешенных значений для уменьшения избыточности связи и контроля участия вредоносных транспортных средств. Затем авторами была разработана эффективная условная схема сохранения конфиденциальности для защиты связи между транспортными средствами. Двухэтапный подход к отслеживанию был разработан для исключения и наказания транспортных средств, вес которых опускается ниже порогового значения. Анализ, приведенный на рисунках 1 и 2, показывает, что условная схема сохранения конфиденциальности безопасна и требует меньших вычислительных затрат, чем традиционные современные схемы аутентификации.

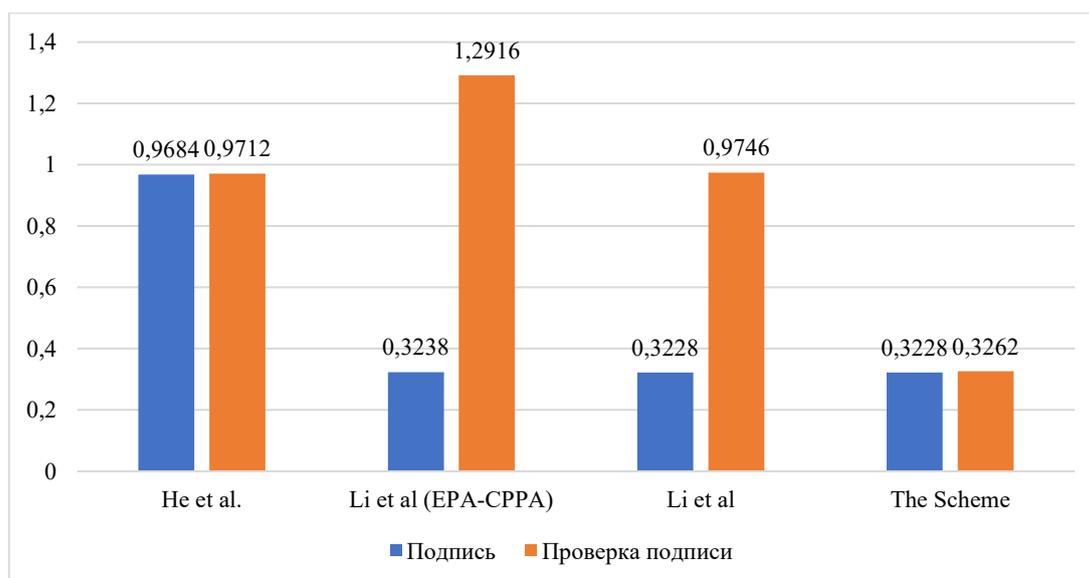


Рис. 1. Накладные расходы на подпись и проверку подписи

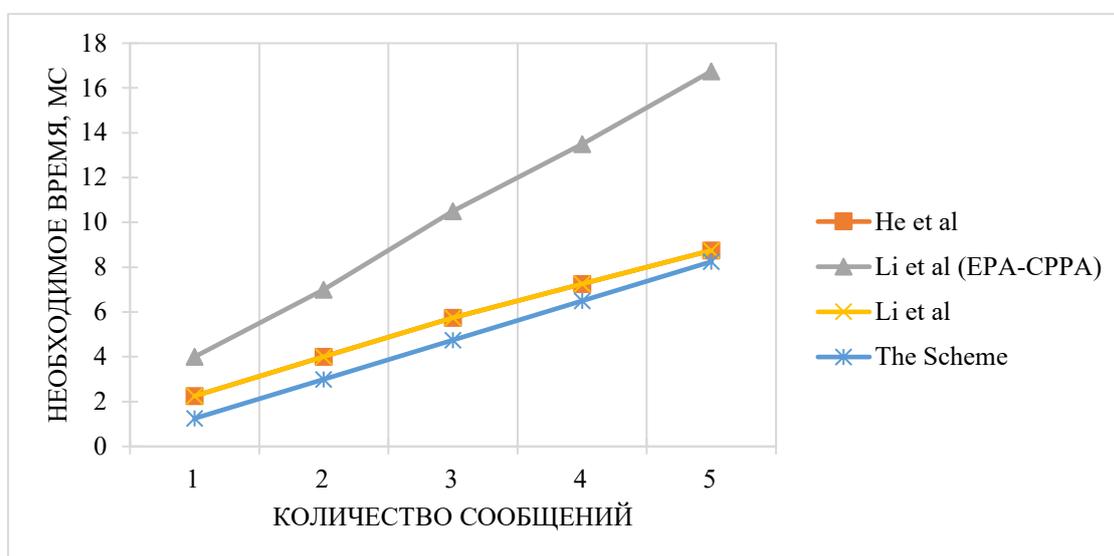


Рис. 2. Накладные расходы на вычисления при проверке пакетов

С помощью этой схемы предлагается безопасный способ защиты конфиденциальности транспортных средств и связи между ними. За счет применения системы на основе веса снижается как доля злонамеренных транспортных средств, так и избыточность связи, что упрощает вычислительные затраты объектов, что также сохраняет среду связи для транспортных средств чистой. Двухэтапная схема отслеживания означает, что локальному контроллеру не нужно хранить старые параметры для получения идентификаторов транспортных средств, что снижает затраты на развертывание.

Периферийные вычисления – распределенная интерактивная вычислительная система с доверенными доменами, где сосуществует множество функциональных агентов, служб и инфраструктур. Без механизмов аутентификации для внешних злоумышленников довольно просто получить доступ к ресурсам инфраструктуры. Внутренние злоумышленники могут стереть следы доступа к чужим данным благодаря своим законным правам доступа. В этом контексте необходимо исследовать аутентификацию в граничных вычислениях, чтобы защитить пользователей от существующей опасности и решить проблемы конфиденциальности, минимизировав внутренние и внешние угрозы. Кроме того, граничные вычисления не только должны требовать проверки идентификационных данных для каждого объекта в одном доверенном домене, но также нужно, чтобы в объектах была взаимная

аутентификация друг друга, если они находятся в разных доменах. В настоящее время надлежащие методы аутентификации включают внутридоменную аутентификацию, междоменную аутентификацию и аутентификацию при передаче.

### Литература

1. Garg S, Kaur K, Kaddoum G, Ahmed SH, Jayakody DNK (2019) SDN-based secure and privacy-preserving scheme for vehicular networks: A 5G perspective. *IEEE Trans Veh Technol* 68(9):8421–8434.
2. Huang J, Qian Y, Hu RQ (2020) Secure and efficient privacy-preserving authentication scheme for 5G software defined vehicular networks. *IEEE Trans Veh Technol*. <https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2996574>.
3. Shao J, Lin X, Lu R, Zuo C (2015) A threshold anonymous authentication protocol for VANETs. *IEEE Trans Veh Technol* 65(3):1711–1720.
4. Lai C, Zhou H, Cheng N, Shen XS (2017) Secure group communications in vehicular networks: A software-defined network-enabled architecture and solution. *IEEE Veh Technol Mag* 12(4):40–49.
5. Lai C, Lu R, Zheng D (2017) Achieving secure and seamless ip communications for group-oriented software defined vehicular networks In: *International Conference on Wireless Algorithms, Systems, and Applications*. Springer. C. 356-368.

УДК 378.1

## РАЗРАБОТКА RLCP-СОВМЕСТИМЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ДЛЯ НАИЛУЧШЕГО ПОНИМАНИЯ ОСНОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Сенчило М.<sup>1</sup>, Телешев С.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.С. Лисицына<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В статье описаны принципы разработки RLCP-совместимых виртуальных лабораторий и на их основе созданы две виртуальные лаборатории «Алгоритм последовательного распространения сигналов в перцептроне» и «Алгоритм обучения перцептрона на основе метода обратного распространения ошибки» для освоения на практике базовых алгоритмов на нейронных сетях. Для автоматической генерации равносложных и валидных заданий предложены алгоритмы, которые показали высокую эффективность.

**Ключевые слова:** RLCP-совместимая виртуальная лаборатория, нейронная сеть, базовые алгоритмы на нейронных сетях, перцептрон.

### Введение и актуальность

На сегодняшний день современные методы преподавания и проверки знаний в образовании позволяют получать и проверять знания студентов не только посредством консервативных методов (оффлайн тесты, экзамены и т. д.), но и используя современные технологии в виде систем дистанционного обучения, которые включают в себя виртуальные лаборатории [11].

Виртуальные лаборатории (далее – ВЛ) зарекомендовали себя как отличный механизм проверки знаний студентов ввиду того, что они достаточно интерактивны и удобны для восприятия, и, самое главное, ставят процесс проверки работ на поток, что экономит время преподавателям и избавляет их от рутинной проверки типовых заданий. Также виртуальные лабораторные работы выдают результаты проделанной работы студентам сразу вместе с указанием на ошибки, если таковые имеются.

Анализ области использования виртуальных лабораторий (далее - ВЛ) показал, что область использования ВЛ достаточно обширна. Например, в своей работе Шэрон Джеффкот Бартли и Дженнифер Голек «Оценка экономической эффективности интерактивного и очного обучения» пишут, что применение виртуальных лабораторий позволяет разрешить некоторые из проблем, которые встречаются при построении учебного процесса. С помощью ВЛ возможно организовать обучение и контроль перед тем, как допускать обучающихся к работе с физическими лабораторными установками [2]. Такие учёные, как Ширли Беннетт, Клэр Киллен, Дебра Марш пишут, что другой областью применения ВЛ может стать массовое обучение – автоматизация контроля результатов обучения является необходимым условием при подготовке онлайн-курсов, а ВЛ могут моделировать типовые задания, с помощью которых может быть реализована практическая часть курса [3]. Всё перечисленное выше свидетельствует об актуальности исследования ВЛ.

**Цель исследования.** Целью данной работы является разработка RLCP-совместимых виртуальных лабораторий (в рамках дисциплины “Дискретная математика”) для наилучшего понимания основ нейронных сетей.

Исходя из конечной цели, были выделены следующие задачи, которые необходимо выполнить для реализации данного исследования:

- обзор и анализ существующих виртуальных лабораторий;
- проектирование виртуальной лаборатории;
- реализация виртуальной лаборатории;
- апробация, анализ полученных данных.

**Гипотеза.** Использование виртуальных лабораторных работ поможет студентам лучше понимать основы нейронных сетей, чем без них.

### Разработка виртуального стенда

Важными особенностями виртуальных лабораторий является то, что они могут быть использованы большое количество раз, позволяют одновременно проходить обучение нескольким пользователям, их возможно использовать из любой точки мира, дешевле реальных лабораторных установок.

Виртуальная лаборатория состоит из виртуальной лабораторной установки, иначе говоря стенда, и сервера. Стенд представляет собой пользовательский интерфейс, включающий в себя 3 компонента: форму для 12 варианта задания, форму для промежуточных решений и форму для итогового ответа.

Для обеспечения взаимодействия сервера ВЛ и RLCP-клиента был выбран протокол RLCP [4]. RLCP-клиент может запросить данные для формирования кадра задания, результаты проверки ответа пользователя или данные промежуточных вычислений. Для определенного типа запроса и соответствующего ему ответа используются определенные форматы 12 описания. Такие форматы являются методом протокола RLCP или RLCP-методом [9].

В представленной информационной системе реализованы следующие методы технологии RLCP:

- Generate, предназначенный для передачи, используемых при построении кадра задания. Построение кадра осуществляется на основе прописанных параметров. Возможна настройка сложности задания и выбор конкретного упражнения;
- Calculate, предназначен для передачи программного кода, написанного при решении упражнения, на сервер на проверку, и отправке результатов обработки программного кода;
- Check, данный метод предоставлен для передачи результатов выполнения задания на сервер и для обработки программного кода, написанного при решении упражнения, на сервер на проверку, симуляцию верного решения и проверки правильности выполнения упражнения.

#### Описание работы с виртуальным стендом

Студенту необходимо рассчитать выходной сигнал из нейросети в нейроне O1 и MSE выходного нейрона при известных входных данных. Функция активации - сигмоид/линейная/гиперболический тангенс в зависимости от варианта. Количество нейронов генерируется в определённом диапазоне по заранее заданным гиперпараметрам. Веса рёбер генерируются случайным образом в определённом диапазоне  $[-1;1]$ .

Для наилучшего понимания принципа работы виртуального стенда опишем его интерфейс: при клике на нейрон появляется текстовое поле, в которое нужно ввести значение входной информации, которое отобразится прямо над нейроном, что сделает решение более наглядным для студента. Для того, чтобы активировалось поле ввода таблицы для начала необходимо выбрать нейрон, в который потечёт наш сигнал.

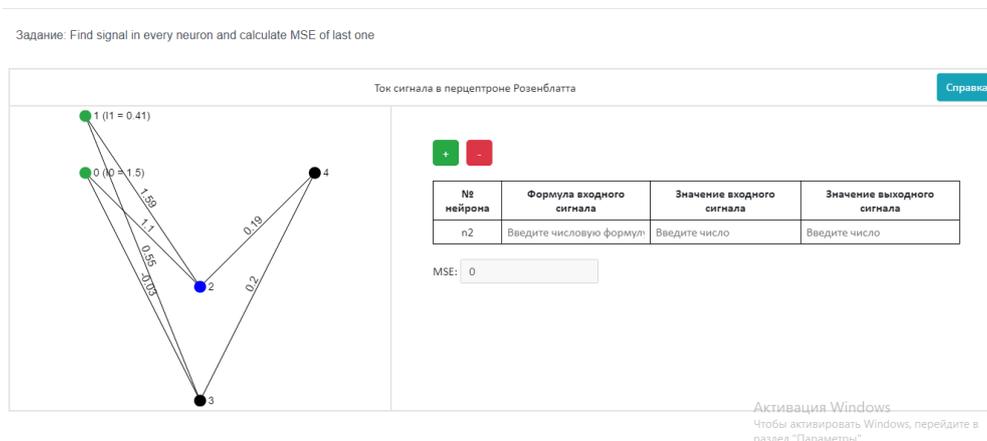


Рис. 1. Интерфейс выбора нейрона для работы с ним

Выбранный нейрон загорается синим, далее необходимо выбрать все входящие в него нейроны, откуда приходит сигнал для дальнейшего его суммирования и преобразования в выходной сигнал для последующих нейронов.

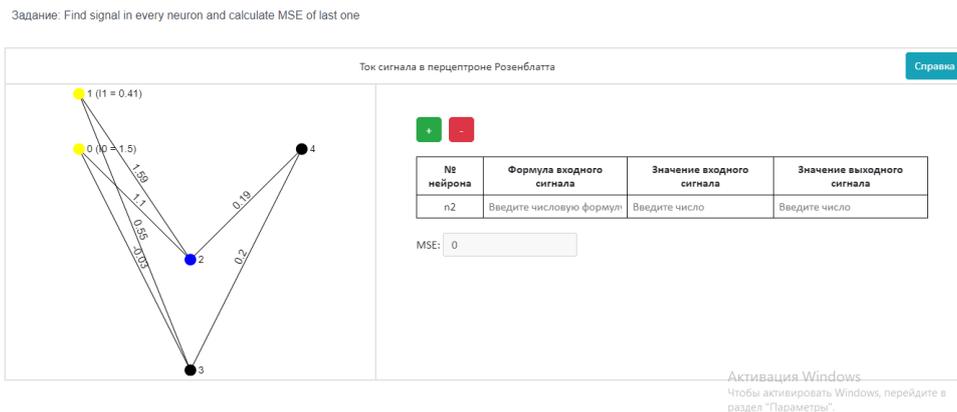


Рис. 2. Интерфейс выбора нейронов, из которых течёт сигнал

Следующим шагом необходимо заполнить требуемые значения таблицы для выбранного нейрона.

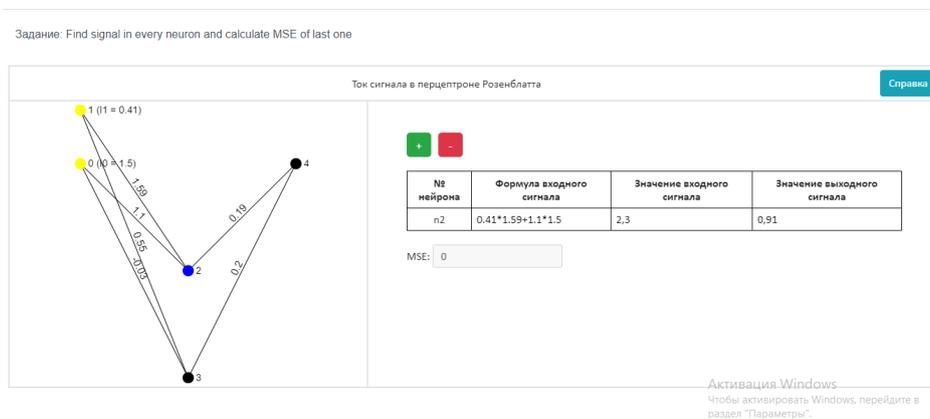


Рис. 3. Заполнение таблицы

На этом работа с текущим нейроном заканчивается и нажимается “+” для того, чтобы данные занеслись в таблицу и граф перерисовался в соответствии с введёнными данными. Далее необходимо проделать всё то же самое для остальных нейронов, пока все не станут зелёными, то есть у каждого из них будут входные и выходные значения сигналов. После того как все нейроны станут зелёными, разблокируется поле для ввода MSE выходного нейрона.

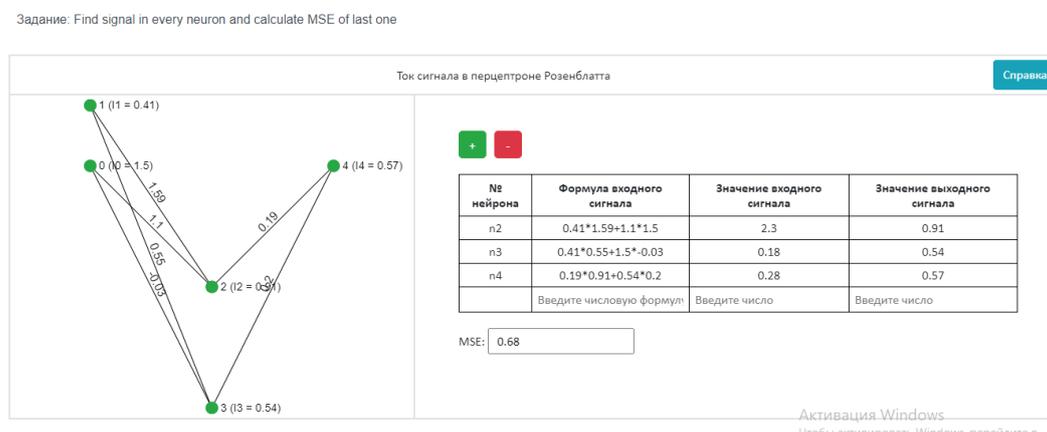


Рис. 4. Выполненная ВЛР

После вышеперечисленных действий виртуальная лабораторная работа считается выполненной, и испытуемый нажимает “ответить” во фрейме. Данные отправляются на сервер и возвращается результат выполнения. В данном примере работа выполнена на 100%.

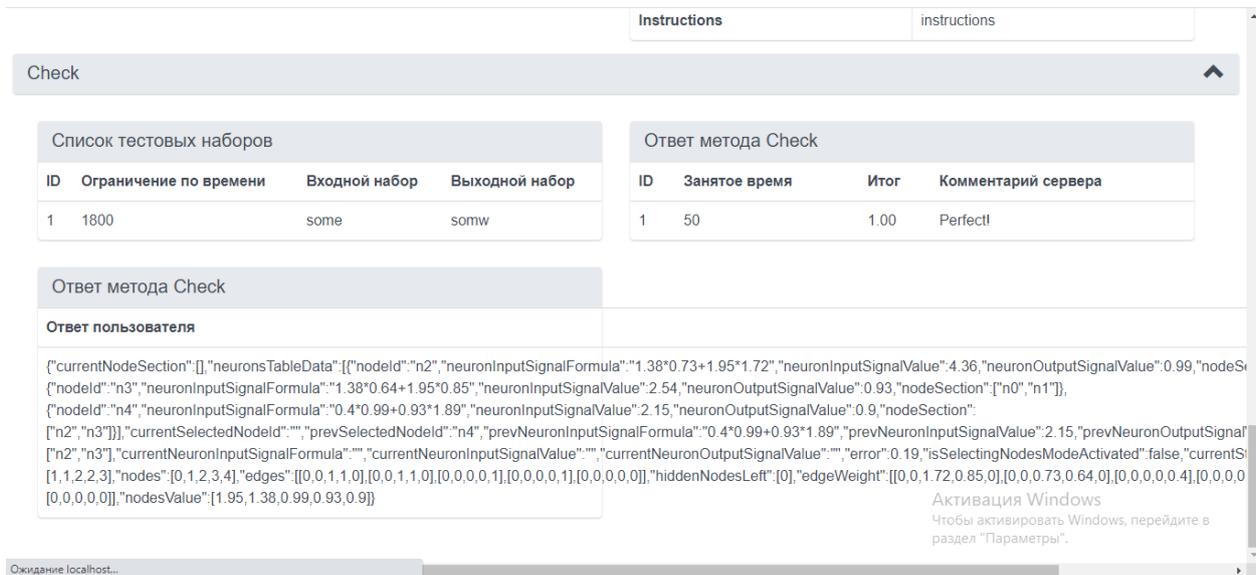


Рис. 5. Результат выполнения

Необходимо отметить, что в представленной виртуальной лабораторной работе присутствуют коллизии, то есть вариативность ответов, которые алгоритм проверки должен учесть и засчитать любой правильный ответ как верный. Данная коллизия обработана методом сортировки элементов графа (нейронов) по возрастанию. То есть строки таблицы сортированы по порядку: n1, n2, n3 и так далее.

Ответ метода Check			
ID	Занятое время	Итог	Комментарий сервера
1	50	0.00	Missing 3 rows in table. Wrong MSE.

Ответ метода Check			
ID	Занятое время	Итог	Комментарий сервера
1	50	0.22	Incorrect value of neuron input signal n2. Incorrect value of neuron output signal n2. Incorrect formula of neuron output signal n2. Incorrect value of neuron input signal n3. Incorrect value of neuron output signal n3. Incorrect formula of neuron output signal n3. Incorrect value of neuron input signal n4. Incorrect value of neuron output signal n4. Incorrect formula of neuron output signal n4. Wrong MSE.

Рис. 6. Результаты выполнения с ошибками

### Заключение

Тестирование виртуальных лабораторий проводится на студентах факультета программной инженерии и компьютерной техники второго курса, изучающих курс “Дискретная математика”. Планируемое число принявших участие в испытаниях студентов

составит 40 человек. Ими будет выполнено 2 виртуальных лабораторных работы за неограниченный интервал времени. Будут учтены такие параметры, как время выполнения виртуальной лабораторной работы, количество попыток для получения результата больше 60%, удобства интерфейса, понятности инструкции к виртуальной лабораторной работе. Результаты испытуемых студентов будут сравниваться с результатами сдачи лабораторной работы без использования виртуального стенда, то есть с результатами предыдущих курсов.

Все данные будут получены из RLCP стенда по каждому учащемуся, а также через анкетирование, проведённое после прохождения ВЛ.

### **Литература**

1. Сенчило М., Лисицына Л.С. Реализация смешанного обучения дисциплины вуза с использованием MOOC // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2020. Т. 4. № 411.
2. Anstine, J., & Skidmore, M. (2005). A small sample study of traditional and online courses with sample selection adjustment. *The Journal of Economic Education*. 107–127.
3. Bartley, S. J., & Golek, J. H. (2004). Evaluating the Cost Effectiveness of Online and Face-to-Face Instruction. *Educational Technology & Society*. 7(4). 167–175.
4. Bennett, S., Marsh, D., & Killen, C. (2007). *Handbook of online education*. Continuum International Publishing Group, Incorporated. Retrieved from [dl.acm.org/citation.cfm?id=1526291](http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1526291).
5. Ефимчик Е.А., Лямин А.В. Средства разработки и тестирования RLCP-совместимых виртуальных лабораторий // *Дистанционное и виртуальное обучение*. 2012. № 10. С. 37-47.

УДК 004.942, 519.876.5

# РЕШЕНИЕ СОВМЕСТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОУПРУГОСТИ СТАЛЬНОГО 3D ОБРАЗЦА, ПОДВЕРЖЕННОГО НЕОДНОРОДНОМУ НЕСТАЦИОНАРНОМУ НАГРЕВУ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЕЧНО- ЭЛЕМЕНТНОГО РЕШАТЕЛЯ FENICS

Сизая А.В.<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н. Цивильский И.В.<sup>1</sup><sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева–КАИ

В представленной работе предлагается решение совместной задачи термоупругости на основе конечно-элементного решателя FEniCS с открытым исходным кодом и Python-интерпретатором. Получены результаты расчетов теплопереноса, совместных деформаций и напряжений по Мизесу модели стального 3D образца, подверженного точечному неоднородному нестационарному нагреву. Реализована упрощенная модель процесса лазерного спекания одного слоя стали 316L по синусоидальной траектории.

**Ключевые слова:** МКЭ, термоупругость, FEniCS, Python, лазерное спекание, математическое моделирование.

В современной промышленности аддитивное производство является одной из наиболее стремительно развивающихся технологий. Существенно влияющим фактором в процессах, например, DMD и SLM являются тепловые деформации, которые могут значительно изменить прочностные характеристики и геометрию конечной детали, что делает моделирование 3D-печати актуальным исследованием. Для симуляций лазерного спекания существует ряд программных обеспечений, таких как ANSYS, Abaqus FEA, ЛОГОС, рыночная стоимость которых составляет порядка 2000 долларов. Также данные продукты относятся к black-box решателям («черным ящикам»), поэтому в рамках вышеупомянутых ПО решение пользовательских уравнений недоступно. Это, в свою очередь, затрудняет введение новых ключевых параметров, в частности усадки.

В предлагаемом решении расчеты осуществляются в решателе FEniCS [1]. Преимуществами данного пакета являются наличие открытого исходного кода, Python и C++ интерфейсы, база оригинального обучающего материала, свободный доступ. Однако, в отличие от аналогов, в FEniCS требуется приведение основных уравнений в слабую форму.

Цель работы - решение совместной задачи термоупругости на вычислительной платформе FEniCS.

Основной алгоритм решения условно делится на два блока:

- расчет теплопроводности,
- расчет упругости.

В каждом необходимо последовательное приведение основных уравнений из строгой формы в слабую, так как решатель на вход принимает уравнения только в каноническом виде:

$$a(u, w) = L(w),$$

где  $a$  – билинейная форма,  $L$  – линейная форма,  $u$  – исследуемая функция,  $w$  – тестовая функция. Получение слабой формы заключается в последовательном умножении уравнения на тестовую функцию и интегрировании по области.

Основное уравнение первого блока:

$$\rho \cdot c_p \frac{\partial u}{\partial t} = -(\vec{\nabla} \cdot \vec{q}) + Q,$$

где  $u$  – поле температуры,  $k$  – коэффициент теплопроводности,  $c_p$  – удельная теплоемкость,  $q$  – тепловой поток,  $Q$  – объемный источник тепла.

Уравнение теплопроводности в слабой форме:

$$\int_{\Omega} k(\nabla \vec{q} \cdot \nabla \vec{u}) \, d\Omega = \int_{\Omega} q \cdot Q \, d\Omega - \int_{\Omega} q \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right) \, d(\Omega).$$

Полученное уравнение решается методом конечных элементов.

Основные уравнения второго блока:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \sigma &= 0, \\ \sigma &= \lambda \vartheta I + 2\mu \varepsilon^{el}, \varepsilon = \varepsilon^{el} + \varepsilon^{th}, \\ \varepsilon &= \frac{1}{2} * (\nabla u + (\nabla u)^T), \\ \varepsilon^{th} &= [(3\lambda + 2\mu) \alpha (T - T_{ref})] I, \end{aligned}$$

где  $\lambda$  – первый коэффициент Ламе,  $\mu$  – второй коэффициент Ламе,  $\varepsilon^{el}$  – линейный тензор упругой деформации,  $\vartheta = \operatorname{tr}(\varepsilon^{el})$  – первый инвариант линейного тензора упругой деформации (объемное расширение в линейном приближении),  $I$  – единичная диагональная матрица,  $\alpha$  – коэффициент теплового расширения,  $T_{ref}$  – температура, при которой материал имеет свой нормальный объем.

Слабая форма уравнения упругости (Гука):

$$\int_{\Omega} \sigma : \varepsilon \, dx = \int_{\partial\Omega_T} T v \, d(s),$$

где  $T$  – усилие,  $v$  – тестовая функция.

Для решения двух блоков создаются отдельные функциональные пространства, а также пространства базисных функций, так как решение происходит практически независимо, не считая того, что для расчета полного тензора деформаций, с учетом как упругих, так и тепловых, используется уже посчитанное поле температур на предыдущем этапе.

Были проведены расчеты для моделирования точечного неоднородного нестационарного нагрева стального 3D образца на верхней грани. На рисунке 1 показан график распределения температуры в пятне формирует гауссов профиль.

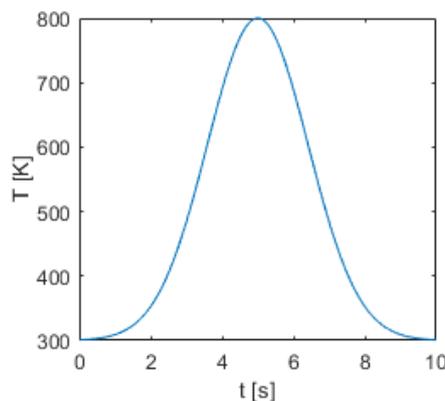


Рис. 1. График распределения температуры в пятне формирует гауссов профиль

Свойства моделируемого материала – нержавеющей стали 316L представлены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства нержавеющей стали 316L

Плотность	Удельная теплоемкость	Коэффициент теплопроводности	Модуль Юнга	Соотношение Пуассона	Коэффициент теплового расширения
7800 кг/м <sup>3</sup>	525 Дж/(кг·К)	50 Вт/(м·К)	200 МПа	0.3	$2 \cdot 10^{-5}$ 1/К

Размеры образца представлены на рисунке 2.

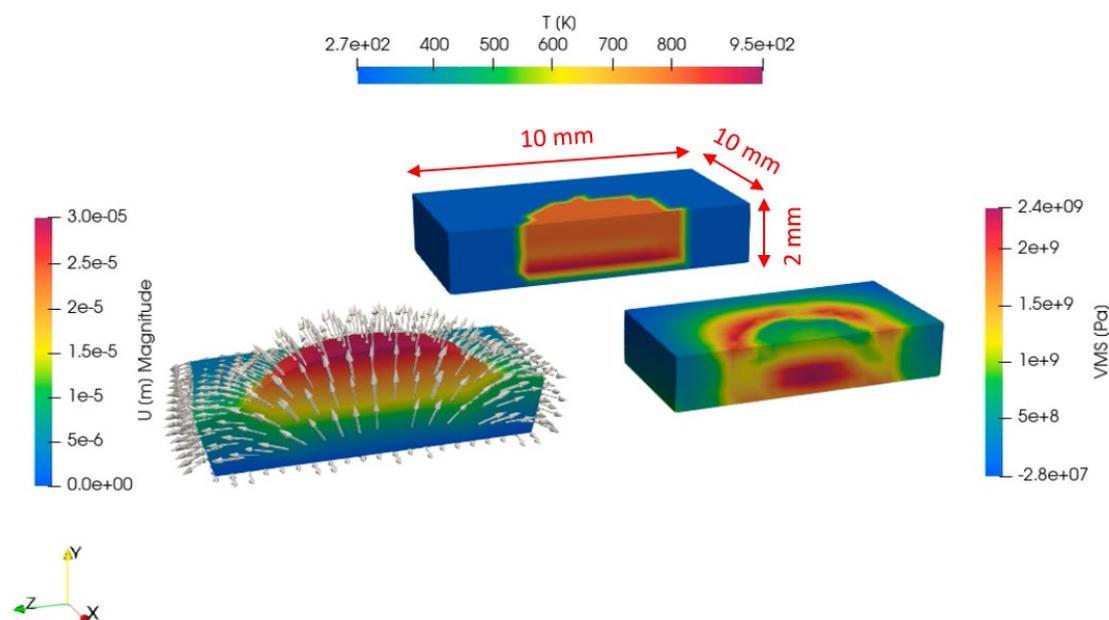


Рис. 2. В направлении слева направо поля: смещений, температур, напряжений

Для аналогичного материала было проведено упрощенное моделирование лазерного спекания по плотной синусоидальной траектории. Размеры одного слоя представлены на рисунке 3.

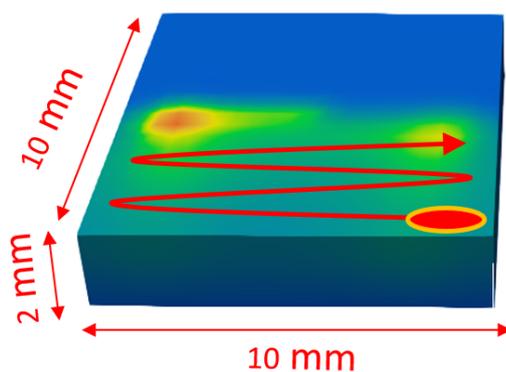


Рис. 3. Синусоидальное лазерное сканирование

Параметры сканирования описаны в таблице 2.

Таблица 2. Параметры сканирования

Размах	Время сканирования	Радиус пятна нагрева	Мощность
8 мм	0.1 с	0.5 мм	2000 Вт

В ходе работы была проведена симуляция, описывающая поведение стального образца при точечном нагреве. Построена упрощенная модель лазерного спекания одного слоя материала с учетом тепловых деформаций и напряжений. Выявлено, что при синусоидальном сканировании образуются точки перегрева (рис. 4), которые при дальнейшем послойном спекании создают концентрации напряжений, что является зародышем трещин и разрушений (рис. 5). Полученная модель позволяет проводить оптимизацию траектории лазерного сканирования.

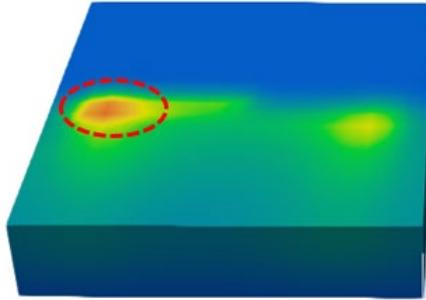


Рис. 4. Поле температуры. Образование точки перегрева.

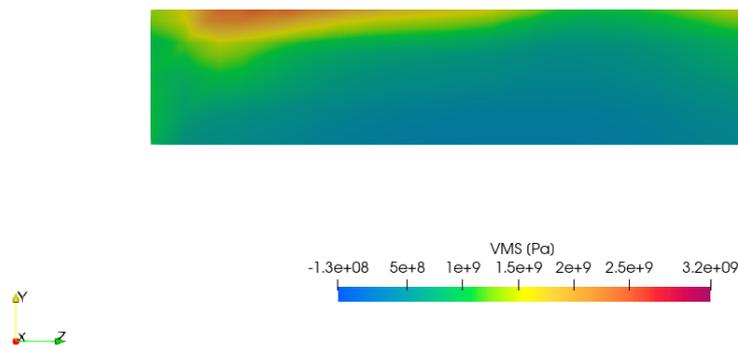


Рис. 5. Центральное сечение поля напряжений. Образование точки перегрева.

В дальнейшей работе планируется добавить в решение учет многослойного спекания, а также влияние усадки на процесс 3D-печати.

### Литература

1. The FEniCS Project Version 1.5; M.S. Alnaes, J. Blechta, J. Hake, A. Johansson, B. Kehlet, A. Logg, C. Richardson, J. Ring, M. E. Rogners and G.N. Wells ; Archive of Numerical Software. Vol. 3. 2015. [DOI].

УДК 004.08

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОПУСКА НА ОБЪЕКТЫ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРАВОНАРУШИТЕЛЕЙ

Симаков А.А.<sup>1</sup>, Шалькин Д.О.<sup>1</sup>, Ткаченко С.Ф.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Дудкин А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

В работе рассмотрена актуальность разработки системы контроля и управления доступом (СКУД) с идентификацией личности человека по геометрии лица с возможностью определения правонарушителей через базу данных, например Министерства внутренних дел (МВД). Управление приложением реализовано через мобильное устройство.

**Ключевые слова:** система контроля, обработка данных, идентификация личности, определение правонарушителей, мобильное приложение.

Современные электронные системы ограничения доступа (домофонные системы) не обеспечивают всестороннего комфорта доступа на закрытые объекты (территории предприятий, жилые комплексы и т.д.). Для примера: на сегодняшний день в России подъезды в жилых комплексах являются небезопасным местом, так как в них может попасть совершенно любой человек. На отечественном рынке защищенные системы допуска встречаются только в элитных жилых комплексах, и вся «защищенность» подобных систем заключается в наличии живого контролера, в то время как за рубежом автоматизированная система контроля доступна всем классам общества по приемлемой цене. В связи с этим встает задача разработать такую систему допуска, которая будет доступна всем слоям населения и при этом позволяла выявлять правонарушителей.

Практическая значимость данной системы заключается в комфортном и безопасном доступе на закрытые объекты, а также в помощи правоохранительным органам в выявлении правонарушителей.

Разрабатываемая система представляет собой СКУД с возможностью идентификации личности человека. Главной особенностью является возможность проверки входящего лица на наличие правонарушений и нахождения в розыске. Дополнительными возможностями системы являются открытие двери без использования рук и фиксация факта входа и выхода человека. Работа с базой данных системы, а также управление системой в целом можно осуществлять через мобильное приложение [1]. Реализованный алгоритм обучения нейронной сети позволяет находить на кадрах потока видео точки лица. Изображение каждого лица, в свою очередь, обрабатывается уже обученной сверточной нейронной сетью (рис. 1), которая выдает на выходе матрицу из 80 чисел [2].

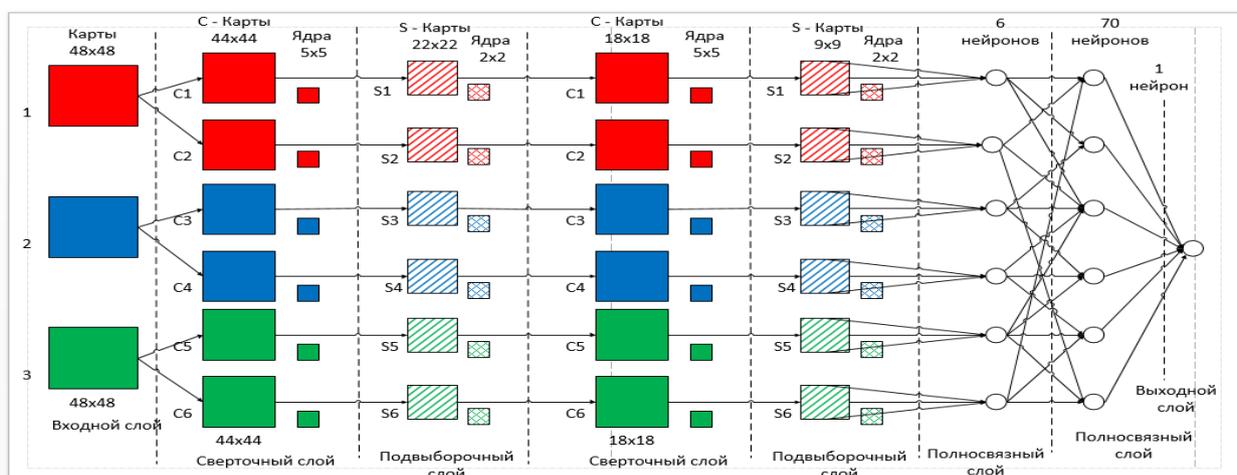


Рис. 1. Топология сверточной нейросети

Вероятность правильного обнаружения точки лица рассчитывается по формуле (1).

$$p(y|x, w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[ -\frac{(y-w^T)^2}{2\sigma^2} \right]. \quad (1)$$

Функция правдоподобия рассчитывается по формуле (2):

$$L(w) = \log \prod_{i=1}^m (y_i | x_i, w) = \sum_{i=1}^m \left[ -\frac{1}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \frac{(y_i - w^T x_i)^2}{2\sigma^2} \right] \rightarrow \max. \quad (2)$$

В итоге оказывается, что максимизация правдоподобия эквивалентна минимизации среднеквадратичной ошибки (MSE) (3):

$$\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^m (y_i - w^T x_i)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

При распознавании личности человека геометрия лица сравнивается с лицами из базы данных по одному числу – дескриптору лица (рис. 2). Это число определяется через евклидово расстояние [3].

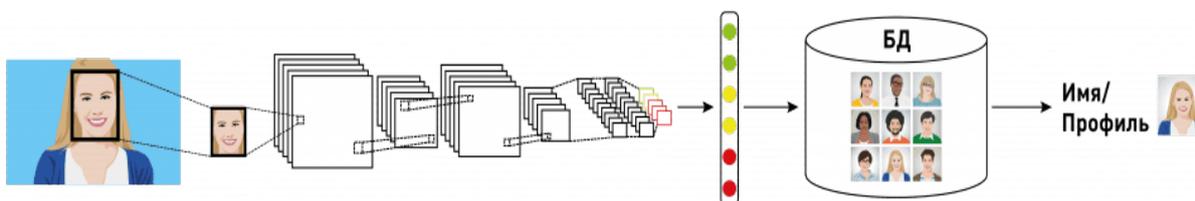


Рис. 2. Идентификация личности

Управление автоматизированной системой допуска осуществляться через кроссплатформенное приложение, прототип которого представлен на рисунке 3. Каждый человек будет наделен своими правами в системе: «пользователь» и «администратор». Пользователь предоставляет доступ обслуживающему персоналу, сотрудникам организаций, посетителям и др., для осуществления беспрепятственного прохода на объекты закрытой территории. Администраторы смогут добавлять пользователей, легко отслеживать трафик (поток) людей на подчиненной закрытой территории, количество находящихся людей в здании, просматривать камеры в помещениях и т.д. Система поддерживает любую доступную базу данных. В ходе тестирования разработанной автоматизированной системы была выбрана база данных Firebase.



Рис. 3. Прототип мобильного приложения

Технически автоматизированная система допуска представляет собой один вычислитель с развернутой базой данных и подключенными видеокамерами, которые располагаются на входных объектах. Вследствие чего обеспечивается высокая гибкость функционирования данной системы работая как отдельно, так и дополняя уже имеющуюся «домофонную» систему допуска.

В настоящее время на кафедре «Систем сбора и обработки информации» Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского реализован прототип автоматизированной системы контроля допуска, функционирующий на вычислителе высокой мощности с подключенными к нему камерами и использующий описанные нейронные сети. Данная система допуска ориентирована как на военнослужащих, так и на гражданский персонал и осуществляет проверку личности по внутренней базе данных кафедры.

В дальнейшей работе планируется введение в эксплуатацию имеющихся наработок, калибровка нейронных сетей и осуществление сбора статистики о целесообразности использования данной автоматизированной системы допуска на объекты ограниченного допуска с определением правонарушителей.

### Литература

1. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. — СПб.: Питер, 2018. — 480 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).
2. HybridTech, «Сверточная нейронная сеть» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/348000/> (дата обращения: 20.11.2020).
3. A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks — the ELI5 way [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53> (дата обращения: 20.11.2020).

УДК 004.042

## РАЗРАБОТКА МНОГОПОТОЧНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ДИСКРЕТНО- СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ

Смирнова А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Лаздин А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрен пример программной реализации многопоточного приложения, которое осуществляет моделирование недетерминированных конечных автоматов как представителей дискретно-событийных систем. Задаются требования для классов. Описываются выбранные конечные автоматы и генераторы строк для них. Приводятся результаты экспериментов.

**Ключевые слова:** дискретно-событийная система, недетерминированный конечный автомат, модель, многопоточное приложение, поток.

Широкое применение дискретно-событийных систем (ДСС) обуславливает актуальность их моделирования. Если построение детерминированных ДСС изучено достаточно хорошо, то проектирование и моделирование недетерминированных систем является серьезной проблемой. В этом смысле моделирование поведения недетерминированного конечного автомата (НКА) может быть рассмотрено как хороший пример в силу того, что НКА, с одной стороны, весьма прост для понимания его функционирования, а с другой – является частным случаем недетерминированной ДСС. Существует несколько подходов к реализации НКА, среди них:

- преобразование в детерминированный конечный автомат (в общем случае функциональность ДКА и НКА не эквивалентны, например для поиска самой длинной подцепочки, шаблон которой задан регулярным выражением);
- работа со структурой данных, хранящей все возможные текущие состояния;
- построение однопоточного приложения, осуществляющего перебор всех возможных вариантов с возвратами.

Второй способ из представленных выше выполняется за линейное время вне зависимости от сложности автомата, но не позволяет получить последовательность переходов. В случае конечных автоматов важно определить корректность строки, но в контексте ДСС встречаются системы, для которых важен ход обработки, а не только конечный результат, например, для систем управления.

Третий способ позволяет решить проблему сохранения последовательности переходов, но для автоматов со сложной структурой и высокой степенью недетерминированности время обработки экспоненциально зависит от длины входной последовательности данных (входной цепочки символов).

Дискретно-событийной называется система с непустым конечным множеством состояний, переходы между которыми происходят под воздействием асинхронных дискретных событий [1]. Под событием может подразумеваться некоторое действие, например нажатие кнопки, или это может быть набор условий, которые должны произойти для изменения состояния системы.

Дискретно-событийные системы делятся на детерминированные и стохастические (рис. 1). Для стохастических систем можно указывать вероятности переходов явно, либо считать, что вероятности одинаковы – это значит, что нет возможности выделить предпочтительный переход. Таким образом, в данной работе предложен способ моделирования таких систем, заключающийся в создании нескольких независимых потоков моделирования, для каждого из которых создается независимый поток исполнения.

В работе рассматриваются недетерминированные ДСС с дискретным временем. Под моментами времени обычно подразумевают такты работы системы.

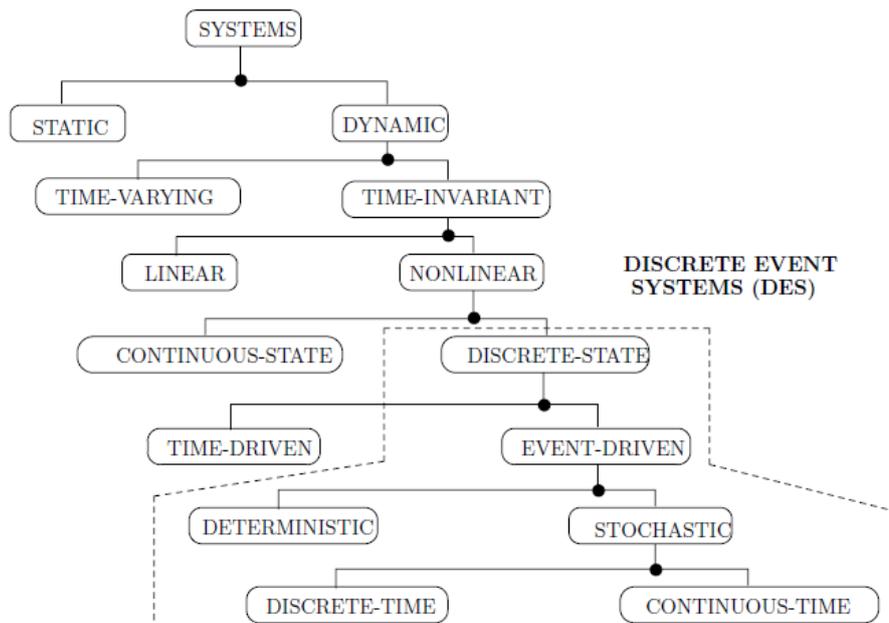


Рис. 1. Классификация дискретно-событийных систем

Типичный представитель недетерминированной ДСС – недетерминированный конечный автомат-распознаватель (НКА) – формально определяется как пятерка, или кортеж, следующим образом:

$$\text{NFA} = (X, S, s_0, \delta, F),$$

где:  $X$  – конечное непустое множество входных сигналов (входной алфавит);  $S$  – конечное непустое множество состояний;  $s_0$  – начальное состояние автомата,  $s_0 \in S$ ;  $\delta: S \times X \rightarrow 2^S$  – функция переходов;  $F$  – множество допускающих (заключительных) состояний,  $F \subseteq S$ .

Для недетерминированного автомата допустима ситуация, когда результат функции переходов содержит больше одного состояния [2]. В работе не рассматриваются НКА с  $\epsilon$ -переходами.

Предлагается многопоточное приложение для моделирования НКА на основе двух классов:

1. Класс-менеджер. Его задача создать первый моделирующий поток и перейти в режим ожидания сообщений (Success-request, Fail-request, Split-request). При получении первого SUCCESS сообщения приложение завершает работу.

2. Моделирующий поток. Выполняет обработку подстроки – заданы начальное состояние и индекс следующего токена. При возникновении ситуации, когда следующий переход может быть осуществлен в несколько состояний, моделирующий поток отправляет менеджеру Split-request и продолжает работу, выбрав первый из возможных вариантов перехода для дальнейшей обработки. Если считаны все символы и заключительное состояние принимающее – отправляется Success-request, если не принимающее (или при чтении символа нет возможных переходов), то отправляется Fail-request.

Ведется учет всех сообщений типа SPLIT для предотвращения ситуации повторной обработки одной и той же части строки разными моделирующими потоками.

Важно отметить, что взаимодействие моделирующих потоков с менеджером – асинхронное. Для передачи сообщений используется буферизованный канал [3]. Моделирующий поток отправляет Success/Fail-requests и завершает свою работу, ответа от менеджера не подразумевается, в случае Split-запроса моделирующий поток также отправляет сообщение и, не дожидаясь его прочтения менеджером, продолжает свое выполнение.

Менеджер обрабатывает запросы последовательно до первого сообщения типа SUCCESS, или в его отсутствии до завершения последнего моделирующего потока.

Для проведения экспериментов были подготовлены несколько простейших автоматов (рис. 2). Разработаны генераторы строк для создания тестовых последовательностей. Принцип работы генератора следующий:

1. Все направления переходов изменены на противоположные.
2. Начальное состояние генератора – одно из допускающих состояний автомата.
3. Допускающее состояние генератора – начальное состояние автомата.

Для каждого автомата при помощи генераторов были подготовлены строки разной длины (от 10 до 6000 символов).

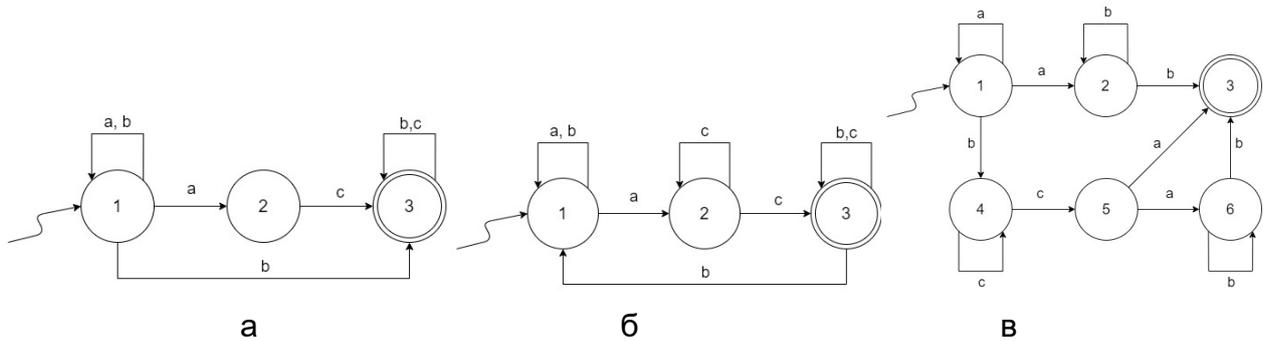


Рис. 2. Недетерминированный конечный автомат: а) 1; б) 2; в) 3

Для сравнения времени выполнения подготовленные последовательности символов разной длины были поданы на вход разработанному однопоточному приложению с элементами рекурсии.

В качестве результатов экспериментов (рис. 3 – 8) представлены гистограммы плотности распределения времени выполнения программ для строк разной длины. На оси ординат отображено число попаданий времени выполнения в заданные временные промежутки. Временные промежутки в миллисекундах отображены на оси абсцисс.

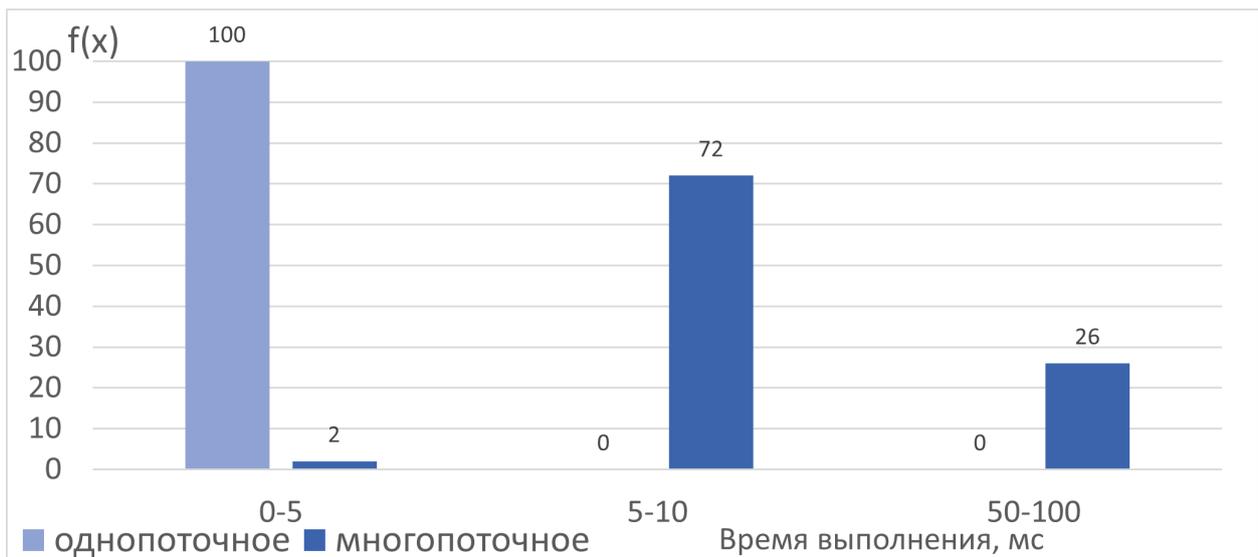


Рис. 3. НКА 1: Гистограмма плотности распределения времени выполнения программы для строк длиной 50 символов

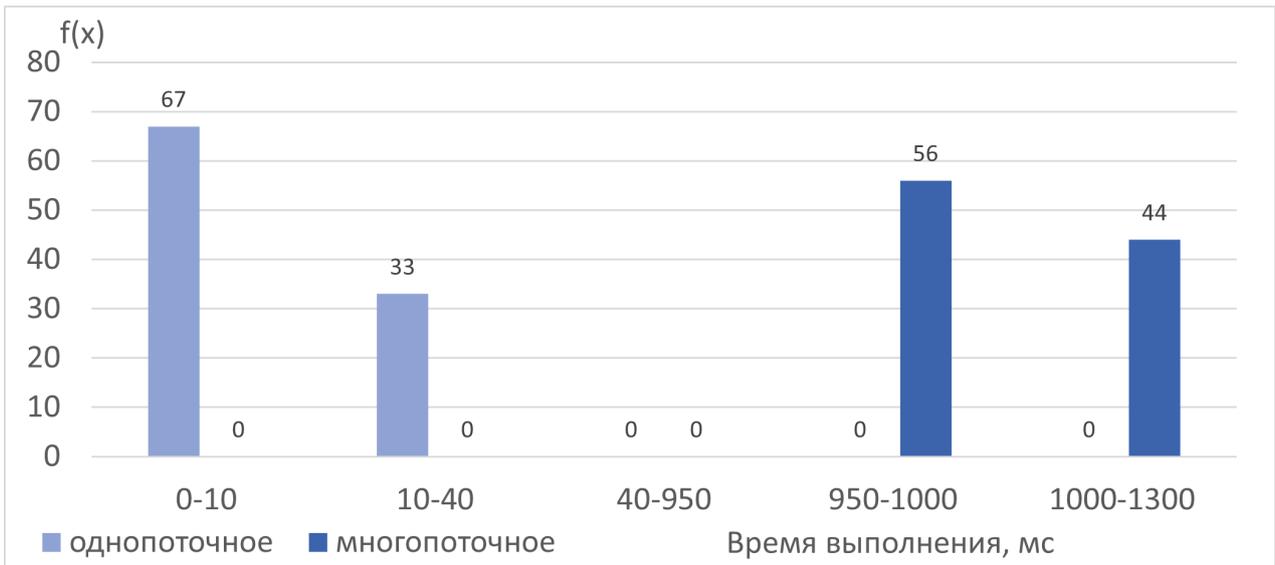


Рис. 4. НКА 1: Гистограмма плотности распределения времени выполнения программы для строк длиной 5000 символов

Для НКА 1 для строки длиной 50 символов время выполнения однопоточного приложения не превышает 5 мс, в то время как многопоточное приложение выполняется от 5 до 100 мс. Строку длиной 5000 символов многопоточное приложение обрабатывает не быстрее 950 мс.

НКА 2: обработка строки длиной 50 символов однопоточным приложением занимает до 515 мс, а для строки длиной 120 символов время выполнения не меньше 1000 мс. В большинстве случаев однопоточное приложение прерывается по таймауту в 5 секунд. Многопоточное приложение обрабатывает строку длиной 120 символов не дольше 50 мс.

НКА 3: строка длиной 50 символов обрабатывается за 1 мс однопоточным приложением и до 10 мс многопоточным приложением. Время выполнения однопоточного и многопоточного приложений для строки из 5000 символов составляет 30 и 1020 мс соответственно.

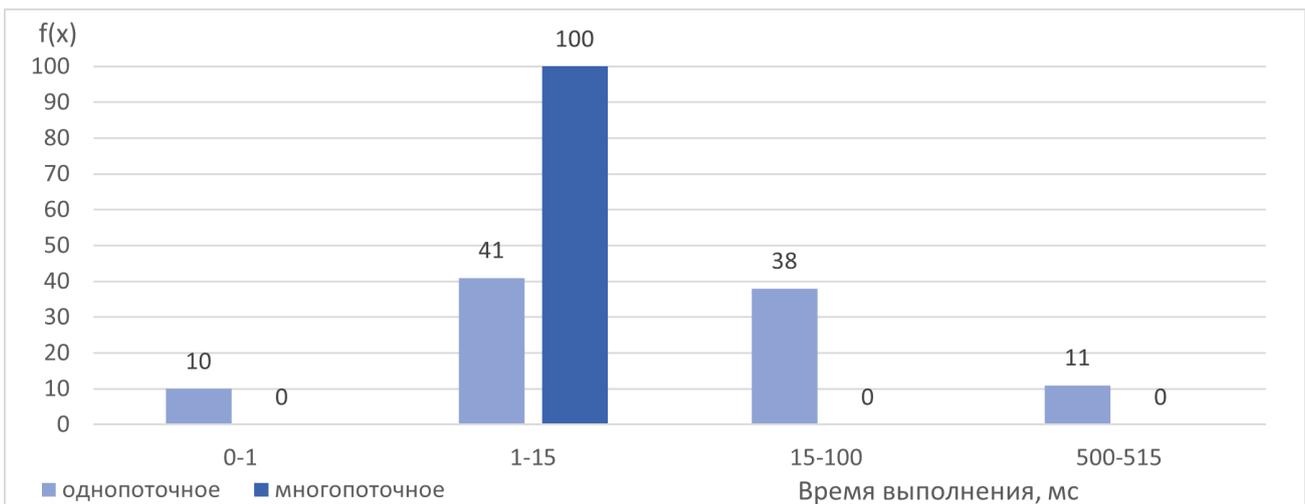


Рис. 5. НКА 2: Гистограмма плотности распределения времени выполнения программы для строк длиной 50 символов

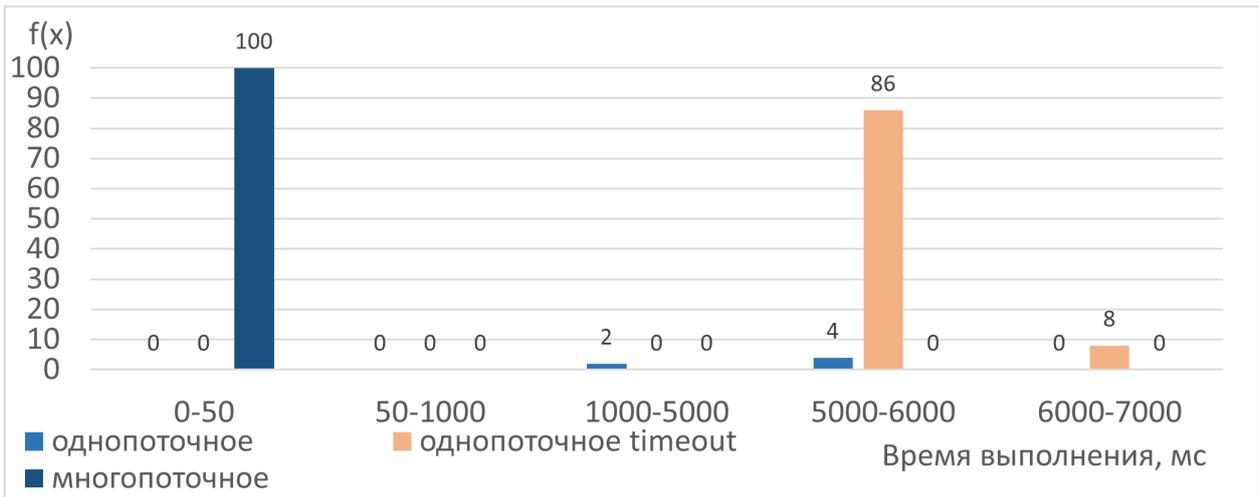


Рис. 6. НКА 2: Гистограмма плотности распределения времени выполнения программы для строк длиной 120 символов

Для третьего НКА характерно большее число состояний и ветвлений по сравнению с первым НКА. При этом время выполнения многопоточного приложения для него не больше.

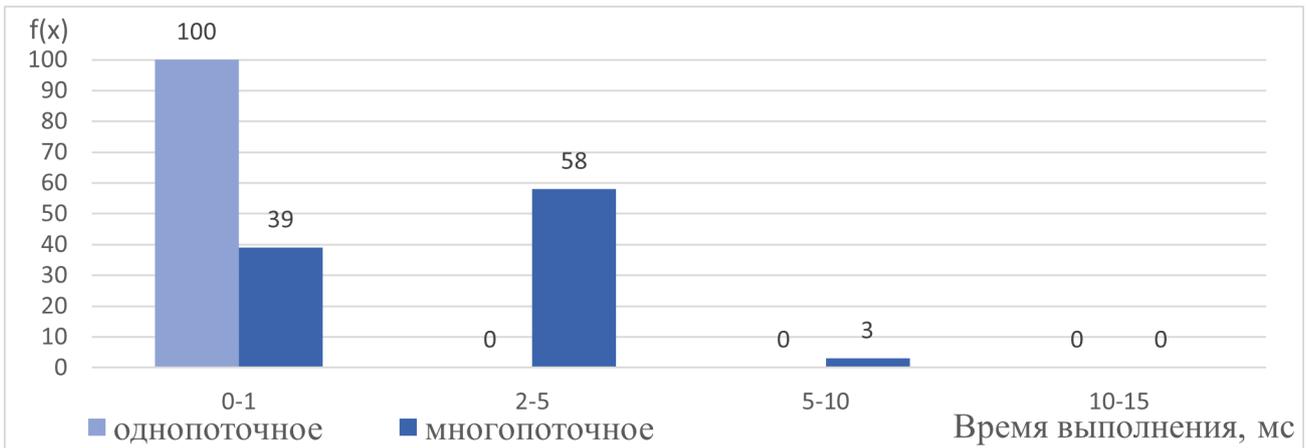


Рис. 7. НКА 3: Гистограмма плотности распределения времени выполнения программы для строк длиной 50 символов

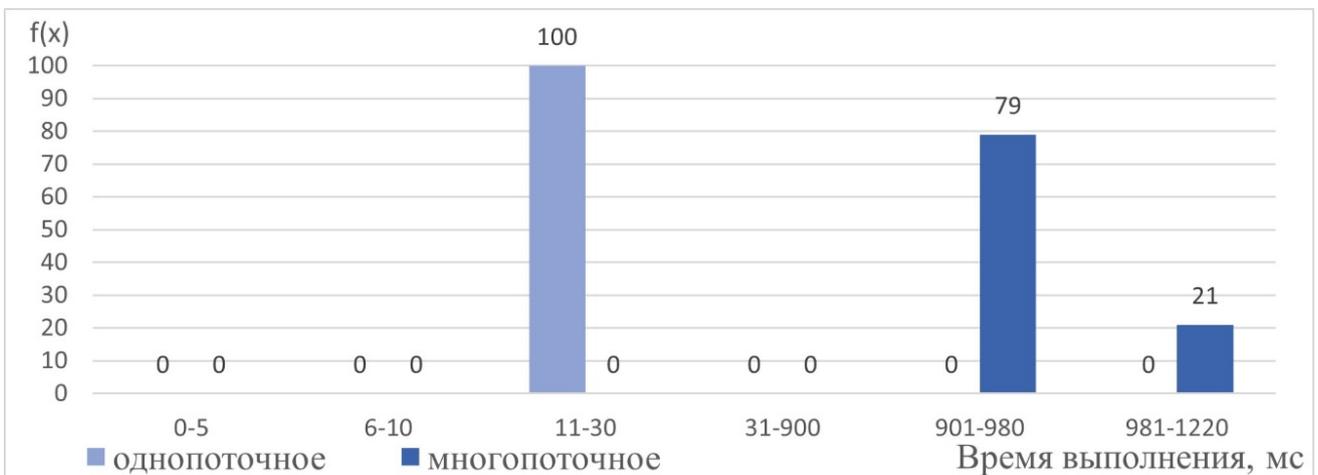


Рис. 8. НКА 3: Гистограмма плотности распределения времени выполнения программы для строк длиной 5000 символов

Причиной использования многопоточности стало наличие ветвлений при обработке, например, для НКА 2 функция переходов для третьего состояния имеет следующий вид относительно входного символа  $b$ :  $\delta(3, b) = \{1, 3\}$ . Для автоматов с малым количеством недетерминированных переходов однопоточное приложение дает оптимальные по времени результаты. В случае большого числа ветвлений приоритетнее использование многопоточной реализации. А в случае отсутствия необходимости запоминать последовательность переходов рекомендуется использование приложения с сохранением всех возможных текущих состояний, которое выполняется за линейное время.

Разработанное приложение может служить основой для формирования базового представления о поведении GLR, GRR – парсеров, использоваться для систем, в которых присутствует обход графа с большим числом ветвлений в глубину.

В дальнейшем планируется усложнение структуры автоматов, анализ применимости многопоточного приложения в практических целях.

### **Литература**

1. Christos G. Casandrass, Stephane Lafourtune, Introduction to Discrete-Event Systems. 2008. 770 с.
2. Byong Kyu Choi, Donghun Kang, Modeling and Simulation of Discrete-Event Systems. 2013. 405 с.
3. Stephen Cleary, Concurrency in C# Cookbook. Asynchronous, Parallel and Multithreaded Programming. 2019. 236 с.

УДК 004.891.3

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ВЫЯВЛЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Странадкин Р.Н.<sup>1</sup>, Асадуллин А.Я.<sup>1</sup>, Шалькин Д.О.<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н. Менисов А.Б.<sup>1</sup><sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

В работе рассмотрена новый подход выявления внутреннего нарушителя на основе обработки событий информационной безопасности. Научная новизна состоит в использовании ансамбля различных моделей машинного обучения, объединенных для повышения качества определения типа внутреннего нарушителя. Также авторами предложена двухуровневая архитектура бинарных и мультиклассификационных классификаторов для повышения оперативности выявления внутреннего нарушителя и снижения нагрузки на систему обеспечения информационной безопасности.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, машинное обучение, ансамбль моделей, выявление внутреннего нарушителя, снижение риска.

В современных условиях угроза внутреннего нарушителя является одной из наиболее актуальных в сфере обеспечения информационной безопасности. Одной из причин трудности выявления внутреннего нарушителя является сложность взаимосвязи различных характеристик и признаков, получаемых различными средствами защиты информации (например, межсетевые экраны, средства антивирусной защиты, средства разграничения и управления доступом, системы обнаружения вторжений (атак), сканеры защищенности, анализаторы журналов событий, SIEM-системы, DLP-системы) [1].

Многие организации заинтересованы в развитии и совершенствовании средств выявления внутренних нарушителей информационной безопасности, оценивания результатов их действий и нейтрализацию последствий. Анализ опубликованных результатов исследований по данной тематике показал, что для выявления внутренних нарушителей информационной безопасности широко применяются методы машинного обучения и нейронные сети [2].

В рамках применения методов машинного обучения для решения интеллектуальных задач существует несколько недостатков [3]:

- отсутствие набора реальных или репрезентативно-сгенерированных данных для сравнения различных алгоритмов машинного обучения и выбора лучших для решения определенных задач;
- обработка несбалансированных синтезированных данных.

В связи с вышеизложенными недостатками, а также для обеспечения универсальности выявления внутренних нарушителей информационной безопасности целесообразно проводить по результатам анализа реальных действий пользователей информационных систем.

Пусть задано множество пользователей информационных систем  $A$  и множество их состояний  $Y = \{0, \dots, M\}$ , при  $y^* : A \rightarrow Y$ , причем  $y_i = y^*(a_i)$ ,  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\} \subset A$ , а  $y_i = 0$  – действия обычного пользователя,  $y_i = 1, \dots, M$  – действия разного типа инсайдера. Задача выявления внутреннего нарушителя информационной безопасности заключается в том, чтобы построить решающую функцию  $z : A \rightarrow Y$ , максимально приближенную к  $y^*(a_i)$ , причем не только на объектах обучающей выборки, но и на всем множестве  $A$ . То есть необходимо определить состояние произвольного пользователя  $a \in A$ . При этом вероятность правильной классификации и вероятности ошибок задают средний риск ошибки выявления ботов:

$$H = M[E] = p_0 \cdot 0 + p_1 E_1 + \dots + p_i E_i, \quad (1)$$

где  $H$  – риск ошибки выявления внутреннего нарушителя;  $M[E]$  – математическое ожидание ошибок выявления;  $\langle E_1, \dots, E_i \rangle$  – ошибки выявления;  $i$  – количество классов состояний инсайдеров;  $p_0$  – вероятность правильного решения;  $\langle p_1, \dots, p_i \rangle$  – вероятности ошибок.

Таким образом, задача выявления внутреннего нарушителя информационной безопасности заключается в формировании решения о действиях пользователя в наблюдаемый момент времени.

Последовательность выявления внутреннего нарушителя информационной безопасности представлена на рисунке и включает следующие этапы:

1) бинарная классификация, для определения класса пользователя информационной системы (нормальный пользователь или инсайдер);

2) определение класса инсайдера, если бинарный классификатор определил признаки инсайдера, то на данном этапе происходит определение класса внутреннего нарушителя информационной безопасности.

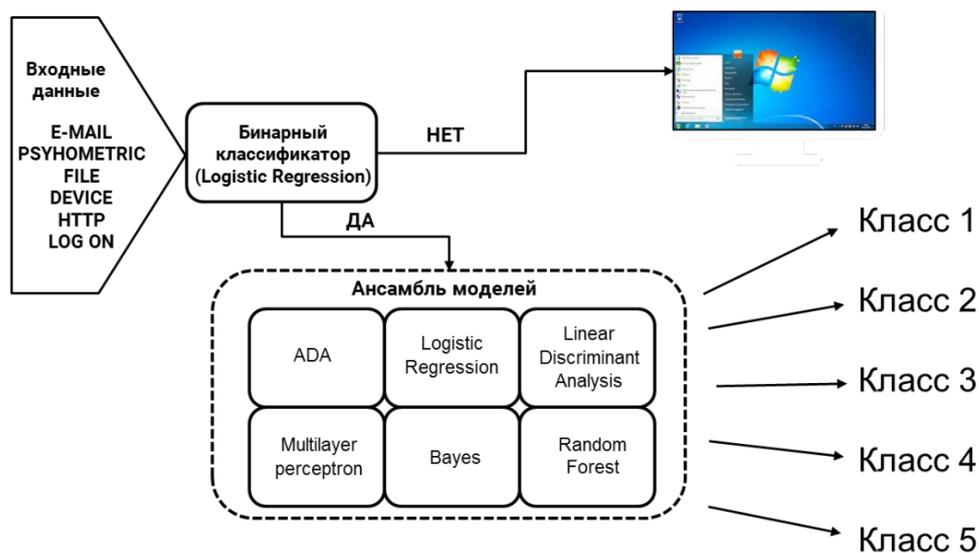


Рисунок. Схема выявления внутреннего нарушителя информационной безопасности

Всего 5 классов (сценариев) действий инсайдеров:

1. Пользователь, который ранее не использовал съемные диски или не работал после окончания рабочего времени, осуществляет вход в систему, используя съемный диск, и загружает данные на сторонний сайт.

2. Пользователь начинает просматривать веб-сайты с вакансиями и искать работу у конкурентов. Перед уходом из компании он использует съемные носители информации (намного чаще, чем в обыденной деятельности) для кражи данных.

3. Системный администратор загружает кейлоггер и использует съемный носитель информации, чтобы передать его на машину своего руководителя. А на следующий день он использует собранные кейлоги, чтобы войти в систему как его руководитель и рассылает различные электронные письма.

4. Пользователь входит в систему другого пользователя и ищет различные файлы, отправляя на их домашний адрес электронной почты.

5. Сотрудник отдела, в котором происходят сокращения, загружает документы в облачное хранилище, планируя использовать их в личных целях.

Разработанный подход основан на применении ансамблей классификаторов, которые объединяют различные модели машинного обучения. Опишем основные этапы формирования классификаторов:

*Этап 1.* Обучение отдельных классификаторов.

Этап 2. Настройка параметров классификаторов.

Этап 3. Объединение классификаторов по принципу суммирования и усреднения значений прогнозируемого значения решающей функции:

$$y^*(a) \approx z(a), \text{ при } \arg \min \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [H_i(p_1, p_2)], \quad (2)$$

где  $z(a)$  – значение класса;  $n$  – количество моделей в конечном классификаторе;  $H(p_1, p_2)$  – риск, связанный с ошибками первого и второго рода.

Значение класса (внутренний нарушитель или пользователь) выбирается путем противопоставления моделей друг другу с учетом их весов.

Достоинством предложенного подхода является то, что ансамбль моделей даст лучшие результаты на небольших входных наборах данных и повысит результативность выявления ботов по сравнению с любой отдельной моделью.

В таблице представлен результат сравнения разработанного подхода с пятью отдельными моделями машинного обучения, подходящими для бинарной классификации и входящими в состав конечного классификатора.

Таблица. Сравнение результатов различных подходов для выявления внутреннего нарушителя

Название	Среднее время обучения	Среднее время вычисления	Средняя точность (Accuracy)	Средняя точность (Precision)	Средняя полнота	Средняя F1-мера	Средняя AUC-ROC
Подход	69.815136	2.073239	0.998615	0.997776	0.997841	0.998615	0.998183
AdaBoost	467.342259	47.575130	0.993095	0.987173	0.991092	0.993109	0.999504
Логистическая регрессия	37.993915	2.0996881	0.924278	0.890573	0.863037	0.922895	0.970427
Линейный дискриминантный анализ	18.36524	2.103297	0.898602	0.880647	0.779100	0.890854	0.964192
Многослойный перцептрон	11.145471	5.737450	0.695739	0.695475	0.809362	0.726588	0.977928
Байесовский классификатор	1.604405	2.994709	0.426013	0.618708	0.635721	0.438746	0.750379

Улучшение классификации пользователей информационных систем характеризуется фактором, что все модели в ансамбле обладают собственным весом и характеризуют важность вклада в общее решение, которое вычисляется по формуле (2). Весь ансамбль показывает лучший результат, что характеризует повышение качества выявления внутреннего нарушителя информационной безопасности.

Таким образом, разработка новых подходов, позволяющих повысить защищенность информационных систем, является постоянной и актуальной задачей.

Элементом научной новизны разработанного методического подхода выявления внутреннего нарушителя информационной безопасности является двухэтапная обработка входных данных. На первом этапе определяется наличие внутреннего нарушителя информационной безопасности, а на втором этапе – класс (сценарий) его действий. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предлагаемого подхода при обосновании и разработке технических решений информационной безопасности. Разработанный подход выявления внутреннего нарушителя информационной

безопасности имеет качественное преимущество по сравнению с современными алгоритмами машинного обучения.

### **Литература**

1. Петренко С.А. Киберустойчивость цифровой экономики. Как обеспечить безопасность и непрерывность бизнеса / СПб.: Питер, 2021. С. 24–56.
2. Сравнение SIEM-систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.anti-malware.ru/compare/SIEM-systems> (дата обращения: 20.03.2021).
3. Insider Threat Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cybersecurity-insiders.com/wp-content/uploads/2019/11/2020-Insider-Threat-Report-Gurukul.pdf> (дата обращения: 20.03.2021).

УДК 681.5.017

## HIGH GAIN FEEDBACK CONTROLLER FOR A ROBOTIC ARM

Ali Souliman<sup>1</sup>, Ali Shakkouf<sup>1</sup>Scientific research supervisor – С.Т.С. Vladislav S. Gromov<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

In this paper we consider the designing of a positioning robust controller for a 5 DOF robotic arm, based on High Gain Feedback method, to counter the effect of different payloads. The robot is treated as 5 SISO systems. The robot, and the controller are modeled and simulated using MATLAB, and it is used to verify the results.

**Keywords:** robotic manipulators, controllers for robots, High Gain controller, consecutive compensation, Matlab.

When working with robotic manipulator, many difficulties arise due to the complex nature of manipulators, the nonlinear relations, the coupling problem, the difficulty of accurate modelling of the manipulator and the effects of disturbances acting on it. Typical controllers (PID controllers) used with manipulators suffer to compensate for the uncertain disturbances, like different payloads and unmodeled disturbances like friction, and parametric uncertainties as the manipulator itself changes as it ages. To counter the previously mentioned difficulties, engineers and researchers have been developing and working on many control methods and approaches to achieve an adequate level of control, mainly adaptive and robust control schemes, many control approaches have been developed, adaptive control aims to minimize the errors by implementing some on-line parameters estimation, whereas robust controller is a fixed controller, designed to satisfy performance specifications over a given range of uncertainties.

While the way a controller solves the controlling problem and ensures an adequate response and performance of the system is the most important task in these kinds of control problems, the design and the implementation of the controller is desired to be as simple as possible, the use of “consecutive compensator” to design a simple output stabilization controller for nonlinear systems with unknown nonlinearity [1].

The designed controller is built on the basis of the consecutive compensator approach, assuming the output of the system is given by

$$\begin{aligned} y(t) &= \frac{b(p)}{a(p)} u(t) + \frac{c(p)}{a(p)} \varphi(t), \\ u(t) &= -\alpha(p)(\mu + \kappa) \hat{y}(t), \end{aligned}$$

where  $u(t)$ – control signal,  $\hat{y}(t)$  is calculated according to:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\xi}_1 = \sigma \xi_2 \\ \dot{\xi}_2 = \sigma \xi_3 \\ \dots \\ \dot{\xi}_{p-1} = \sigma (-k_1 \xi_1 \dots - k_{p-1} \xi_{p-1} + k_1 e) \\ \hat{y}(t) = \xi_1. \end{array} \right. , \quad (1)$$

Fig.1 shows the control law of the consecutive compensator.

The control object in each link is a DC motor, the transfer function of a DC motor is

$$\frac{\theta_m}{V} = \frac{K_m/R}{s(J_m s + B_m + K_m K_b/R)},$$

where  $K_m$  -torque constant,  $K_b$  - the back emf constant, R -armature resistance,  $\theta_m$  - rotor position (radians), V -armature voltage,  $B_m$ -motor damping.

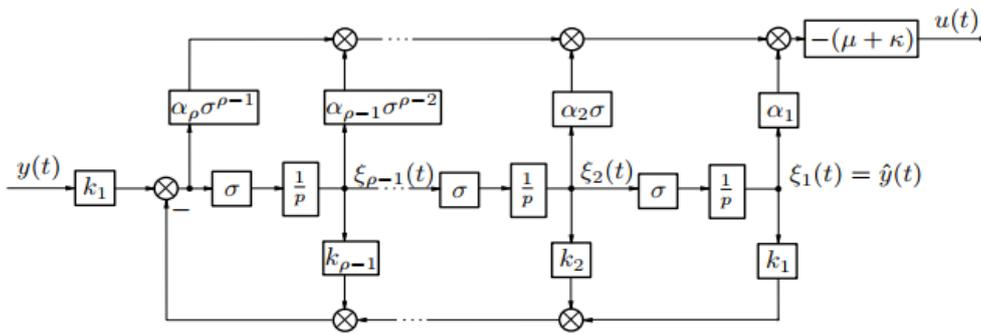


Fig.1. The control law “Consecutive compensator”

The transfer function has a relative degree of two which justifies the choice of controller of the second degree.

The 5 DOF robot that is used in the simulation is the KUKA youBot, which is a mobile platform equipped with a 5 DOF manipulator, in this work we limit our scope of interest to the manipulator, Table1 show the DH parameters of the manipulator.

Table 1. The DH parameters of the manipulator

Link, $i$	$a_i, m$	$\alpha_i, rad$	$d_i, m$	$\theta_i, rad$
1	0.033	$-\pi/2$	0.147	$\theta_1$
2	0.155	0	0	$\theta_2 - \pi/2$
3	0.135	0	0	$\theta_3$
4	0	$\pi/2$	0	$\theta_4 + \pi/2$
5	0	0	0.218	$\theta_5$

Fig.2 and fig.3 show the real manipulator and as it appears in Matlab simulation.

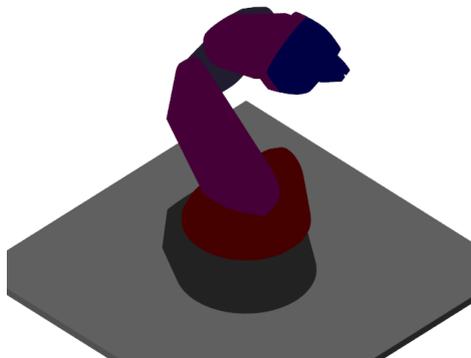


Fig. 2. Manipulator in Simulink



Fig. 3. Real manipulator

The robot is modelled in Matlab Simulink, using simscape toolbox. Referring to equation 1, a controller of the second degree, is calculated according to

$$\begin{cases} \dot{\xi}_1 = \sigma \xi_2. \\ \dot{\xi}_2 = \sigma(-k_1 \xi_1 - k_2 \xi_2 + k_1 e). \end{cases}$$

The controller was manually tuned, the different parameters are manually chosen.

The experiments consisted of moving the robot from the initial configuration to another, which simulates a step input to each motor controller with an amplitude of the joint target angles. Then we compared between the response of the designed controller and the original controller (PI) (by the manufacturer). Fig.4 shows the step response of the five motors.



Fig. 4 step response of the five motors

The Table 2 shows the average values of the characteristics of the response for the five motors, obtained when using the designed controller and the original PI controller.

Table 2. The average values of the characteristics of the response for the five motors, obtained when using the designed controller and the original PI controller

		Rise Time (s)	Settling Time(s)	Overshoot (%)	Undershoot (%)
First Motor	Designed	0.12	0.1792	0.1483	0
	Original	0.4885	0.5986	0.1610	0
Second Motor	Designed	0.1226	0.1835	0.8133	4.833
	Original	0.4106	0.5109	0.3300	0.2443
Third Motor	Designed	0.1135	0.1813	1.1552	0.1578
	Original	0.9223	1.1301	0	0
Fourth Motor	Designed	0.1145	0.1810	0.1550	0
	Original	1.1756	1.4403	0	0
Fifth Motor	Designed	0.0933	0.1546	0.0678	0
	Original	0.4886	0.5985	0	0

From the table we can see that the designed controller outperforms the original controller in all aspects. Except for the undershoot in the second motor, where it is increased by 20%, but still in an acceptable range.

## References

1. Pyrkin A. et al. Simple Output Stabilization Approach for Robotic Systems // IFAC Proceedings Volumes. 2013. vol. 46, number 9. p. 1873-1878.

УДК 004.31

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕКОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ КОМАНД НА МИКРОАРХИТЕКТУРУ RISC-V ПРОЦЕССОРОВ

Тищук Б.Ю.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустарев П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».*

В работе рассмотрена возможность применения процессора с реконфигурируемой системой команд как аппаратной платформы для решения вычислительных задач, для которых неэффективны процессорные архитектуры общего назначения. Также в рамках данной работы исследовано влияние реконфигурируемости системы команд процессора на его микроархитектуру на примере RISC-V процессора.

**Ключевые слова:** реконфигурируемость, система команд, ISA, RISC-V, микроархитектура процессора, динамическая реконфигурация.

### Введение

В настоящее время наблюдается рост числа вычислительных задач, в которых требуется специализированная (микро)архитектура процессоров и/или может быть применено аппаратное ускорение для архитектуры общего назначения, с одной стороны, и невозможность разработки специальных процессоров и аппаратных ускорителей под каждую задачу, с другой стороны. Примерами таких задач являются потоковая обработка данных, анализ сетевого трафика, задачи глубокого машинного обучения, биоинформатики [1].

Разработка и применение реконфигурируемых вычислителей, имеющих механизмы оперативного изменения микроархитектуры для эффективной аппаратной реализации применяемых в прикладных задачах алгоритмов, является одним из возможных решений обозначенной выше проблемы. Реконфигурируемость системы команд процессора для специфичной задачи является мощным средством аппаратного ускорения выполнения данной задачи.

Для исследования аппаратной реконфигурируемости процессоров подходящей архитектурой является RISC-V, которая является открытой и свободной архитектурой и предоставляет широкие возможности по реконфигурации.

### Реконфигурируемые вычислительные системы

Современные вычислительные системы условно можно разделить на три типа: программируемые, на жесткой логике («аппаратные») и реконфигурируемые. В вычислителях с жесткой логикой алгоритм вычислений и тракты данных не подлежат изменению. В программируемых системах тракт данных не подлежит изменению, а алгоритм вычислений изменяем. Реконфигурируемые системы подразумевают возможность изменения как алгоритма вычисления, так и тракта данных в соответствующей задаче.

В таблице приведены ключевые особенности каждого типа систем. Как видно - реконфигурируемые вычислительные системы сочетают в себе свойства программируемых вычислительных систем и систем с жесткой логикой.

Вычислительная система может реконфигурироваться на различных уровнях:

- ✓ микроархитектурном,
- ✓ архитектурном,
- ✓ системном (soc),
- ✓ сетевом (noc).

На микроархитектурном уровне реконфигурируемость подразумевает возможность изменения аппаратной реализации какого – либо модуля системы на уровне регистровых передач, прозрачном для программного обеспечения. Реконфигурируемость на

микроархитектурном уровне может быть прозрачна для уровней выше или быть в контексте более высокоуровневой реконфигурации, например, архитектурной.

Таблица. Ключевые особенности вычислительных систем различных типов

Программируемые	Реконфигурируемые	Аппаратные
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Универсальность</li> <li>✓ Гибкость</li> <li>✓ Распространенность</li> <li>✓ Дешевизна</li> <li>--</li> <li>✓ Высокая избыточность аппаратных ресурсов</li> <li>✓ Производительность ниже, чем у других типов</li> <li>✓ Последовательность вычислений</li> <li>✓ Низкая энергоэффективность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Гибкость и универсальность присущая программируемым (вычислительным системам) ВС</li> <li>✓ Быстродействие и параллелизм присущие аппаратным ВС</li> <li>✓ Высокая производительность</li> <li>✓ При массовости производства реконфигурируемых систем – дешевизна, сравнимая с программируемыми системами</li> <li>--</li> <li>✓ Высокая избыточность аппаратных ресурсов для поддержания реконфигурируемости</li> <li>✓ Дороговизна, длительность разработки и производства при отсутствии массовости производства и разработки</li> <li>✓ Возможно высокое энергопотребление за счет реконфигурации и избыточной аппаратуры для поддержки реконфигурируемости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Быстродействие</li> <li>✓ Энергоэффективность</li> <li>✓ Параллелизм вычислений</li> <li>✓ Низкая избыточность аппаратных ресурсов</li> <li>✓ Самая высокая производительность для конкретной задачи</li> <li>--</li> <li>✓ Дороговизна</li> <li>✓ Отсутствие гибкости и универсальности</li> <li>✓ Длительность разработки и производства</li> </ul>

На архитектурном уровне реконфигурируемость является возможностью модификации процессорной архитектуры, например изменения системы команд, подсистемы ввода – вывода и т.д. Данный уровень является видимым для программного обеспечения, поэтому при реконфигурации аппаратуры на архитектурном уровне также требуется модификация инструментария сборки ПО и пересборка ПО. Реконфигурация на архитектурном уровне также подразумевает реконфигурацию на микроархитектурном уровне.

Реконфигурируемость на системном уровне подразумевает возможность модификации связей и взаимодействия между компонентами системы. Реконфигурируемость на данном уровне обязательно затрагивает микроархитектурный уровень и архитектурный (не обязательно затрагивая процессорное ядро, в части протоколов взаимодействия между модулями SoC).

Реконфигурируемость на сетевом уровне в сетях на кристалле является возможностью изменения топологии сети на кристалле, протоколов взаимодействия между узлами сети, распределения нагрузки на узлы сети.

## RISC-V

RISC-V - открытая и свободная система команд и процессорная архитектура на основе концепции RISC для микропроцессоров и микроконтроллеров. Спецификация RISC-V определяет набор процессорных инструкций, регистров, прерываний и исключительных ситуаций, а также аппаратную поддержку исключительных ситуаций и прерываний на архитектурном уровне.

Для данного исследования эта архитектура привлекательна открытостью, простотой, отсутствием необходимости поддержки устаревшей функциональности для совместимости, стремительно развивающейся экосистемой, RISC-V не определяет реализацию процессорных модулей на микроархитектурном уровне. Множество вариантов реализации ограничивается лишь архитектурным уровнем. Поэтому на микроархитектурном уровне соответствующий спецификации RISC-V процессор может быть реконфигурирован множеством способов.

На архитектурном уровне RISC-V предоставляет широкие возможности по реконфигурации системы команд, регистровой структуры, доступа к памяти, встроенного монитора производительности.

### Реконфигурируемость системы команд RISC-V процессора

Спецификация RISC-V подразумевает наличие стандартных и нестандартных расширений. Стандартные расширения представляют собой законченные, или планируемые расширения системы команд, не конфликтуют с другими стандартными расширениями и включены в набор расширений RISC – V. Нестандартные расширения – это специализированные решения для определенных задач [1, 2].

Реконфигурируемость системы команд в контексте RISC-V подразумевает добавление стандартных расширений системы команд, описанных в спецификации или разработку нестандартных расширений системы команд, специализированных для определенного спектра задач. Реконфигурация системы команд процессора может быть как статическая, так и динамическая [3].

Реконфигурация системы команд вызывает ряд изменений на архитектурном и микроархитектурном уровнях.

На архитектурном уровне изменение системы команд может повлечь за собой добавление новых регистровых файлов, изменение состава поддерживаемых исключений и прерываний (кроме тех, что описаны в спецификации RISC-V и не подлежат изменению) [2]. Также реконфигурация может повлечь за собой изменение подсистемы ввода – вывода и подсистемы памяти (в рамках модели консистентности памяти RISC-V, которая не является изменяемой).

На микроархитектурном уровне при изменении системы команд происходят изменения существующих модулей, взаимосвязей между ними. На рисунке 1 цветом выделены блоки, которые с большой вероятностью будут изменены при реконфигурации системы команд.

При реконфигурации системы команд во «фронтенде» конвейера ядра изменяется микроархитектура модуля декодирования инструкций, так как обновленный набор команд может иметь отличающиеся двоичные коды инструкций

В «бэкенде» изменяется микроархитектура модуля диспетчеризации инструкций, так как изменяется распределение инструкций по функциональным блокам. Также могут изменяться сами функциональные блоки. Процессор может иметь один или несколько реконфигурируемых функциональных блоков общего назначения, с неизменяемыми остальными функциональными блоками. В этом случае исполнение всех специализированных наборов команд будет реализовываться в реконфигурируемых функциональных блоках. В другом варианте – процессор может иметь один или несколько реконфигурируемых блоков общего назначения и также иметь некоторые возможности по реконфигурации «стандартных» функциональных блоков, например ALU, LSU и так далее, что расширяет возможности реализации специализированных наборов инструкций по сравнению с первым вариантом.

Также с определенной вероятностью реконфигурация системы команд может вызвать необходимость изменений аппаратных модулей за пределами процессорного ядра. Например,

добавление команд, подразумевающих взаимодействие с памятью, может вызвать необходимость изменений модулей подсистемы памяти.

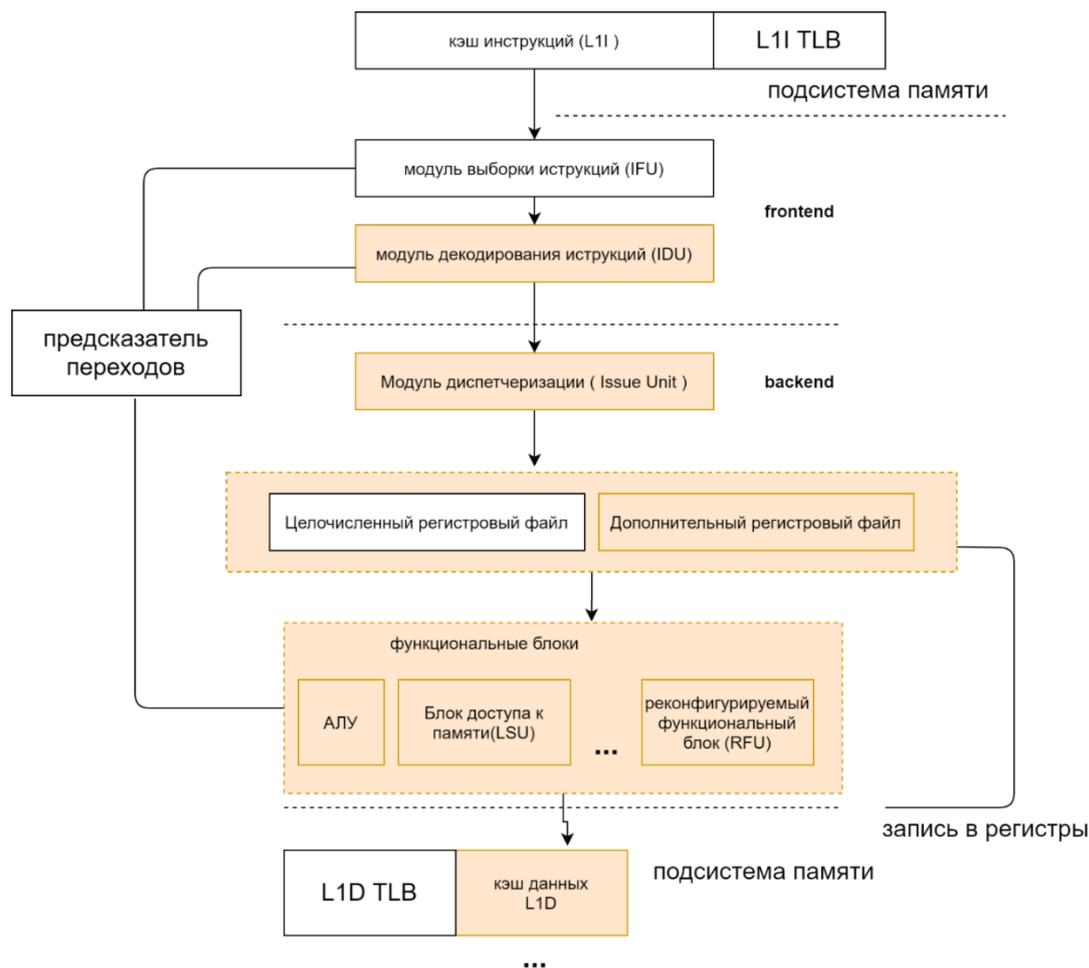


Рисунок. Изменяемые при реконфигурации блоки

При проектировании микроархитектуры реконфигурируемого процессора необходимо учитывать спектр задач, требующих реконфигурации системы команд, который будет выполняться на проектируемом вычислителе, специфику применяемых алгоритмов, чтобы достичь баланса между жесткой и реконфигурируемой логикой в системе.

#### Заключение

Реконфигурация системы команд процессора является одним из эффективных средств аппаратного ускорения алгоритмов, применяемых в конкретных задачах. В данной работе рассмотрены возможности реконфигурации системы команд у процессоров с архитектурой RISC-V, исследовано влияние реконфигурации системы команд на изменения в архитектуре и микроархитектуре процессора.

#### Литература

1. The RISC-V Instruction Set Manual. Volume II: Privileged Architecture – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://riscv.org/specifications/privileged-isa/> - 2020 (дата обращения: 11.04.2021).
2. The RISC-V Instruction Set Manual. Volume I: Unprivileged ISA – [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <https://riscv.org/specifications/isa-spec-pdf> - 2020 (дата обращения: 11.04.2021).
3. Hauck S., DeHon A.: “Reconfigurable computing the theory and practice of fpga-based computation”, 2008
4. Walild A. Najjar, Paolo Ienne: "Reconfigurable computing". IEEE Micro: 1–4 (2014).

УДК 004.624, 004.912

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОГО ТЕКСТА ИЗ ДОКУМЕНТОВ В ФОРМАТЕ PDF

Ткешелашвили А.М.<sup>1</sup>

Научный руководитель – старший преподаватель Клименков С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В ходе работы был проведён анализ существующих конвертеров из PDF, предложен метод извлечения текста из PDF с восстановлением исходной структуры документа. Для определения элементов структуры используется машинное обучение, анализирующее выбранные критерии. Предложен список критериев и разработано обучающее множество.

**Ключевые слова:** PDF, структура документа, слабоструктурированный текст, семантический анализ, извлечение данных.

Одной из популярных и приоритетных областей датамайнинга является обработка документов неструктурированных форматов и извлечение информации из них. В настоящее время данные хранятся в документах множества офисных форматов с различной структурой, в частности, в распространенном формате PDF. Поскольку данные внутри документа в формате PDF хранятся блоками, порядок хранения которых не всегда совпадает с порядком следования их в документе, извлечение данных и восстановление логической структуры документа данного формата представляют наибольшую сложность.

Обработка слабоструктурированных текстовых документов является актуальной и нетривиальной задачей. В данной работе восстановление исходной структуры документа в формате PDF – это один из методов предварительной обработки входных документов, используемый в системе семантического анализа текстов.

В состав системы семантического анализа входит конвертер, который предназначен для преобразования текстовых документов различных форматов во внутренний формат системы для последующей обработки [1].

Поскольку входные данные семантической сети могут быть представлены различными форматами, работа по их обработке вынесена в отдельный модуль, который позволяет унифицировать интерфейсы взаимодействия с ними. Одной из частей конвертера является модуль конвертации из формата PDF, который будет подробно рассмотрен в данной работе.

Целью работы является разработка алгоритма извлечения структуры PDF документа и преобразование его во внутренний формат системы семантического анализа текстов, с сохранением семантически значимой информации и использованием машинного обучения.

Структура документа в формате PDF представляет собой массив текстовых блоков, произвольно расположенных на странице [2]. При конвертации документа из какого-либо формата в формат PDF происходит потеря разметки, так как на уровне PDF нет понятия заголовков, списков и даже абзацев. Текст, принадлежащий одной строке, может оказаться разбитым на несколько текстовых блоков, и невозможно сказать, принадлежат они строке одного абзаца или нескольким колонкам [3].

Если рассматривать документ как иерархию элементов, то можно выделить следующие уровни абстракции. Документ состоит из абзацев, под которыми на данном этапе будем понимать любой связный блок текста, в том числе заголовок или элемент списка. Абзац, в свою очередь, состоит из строк, а строки из текстовых блоков. При этом для каждого уровня абстракции доступен свой набор свойств, которые можно использовать для анализа целостности структуры документа.

Задача извлечения текста из PDF документов осложняется тем, что каждая строка параграфа хранится отдельно, а в некоторых случаях может быть разбита на несколько текстовых блоков. При этом порядок хранения текстовых блоков может быть произвольным и не соответствовать их визуальному расположению. Для восстановления структуры документа необходимо определить правильный порядок следования текстовых блоков,

соответствующий визуальному восприятию, а затем объединить блоки в строки, а строки в абзацы.

Для восстановления строк из документа извлекаются все текстовые блоки и делятся на две группы в зависимости от ориентации, после чего сортируются внутри групп по указанной метрике [4].

Для каждого блока рассчитываются признаки, наиболее значимые для установления принадлежности блоков одному абзацу, такие как расстояния до ближайших блоков по вертикали и горизонтали, пересечение их проекций, размер шрифта и другие признаки форматирования [5].

Для чтения содержимого документа используется LibreOffice API. Модуль принимает на вход файл в формате PDF, выполняет извлечение текста из него, разбивает извлеченный текст на токены и формирует иерархию узлов определённых типов, отражающую структурные связи между элементами документа (параграфы, списки и тд). Помимо этого, выходной формат должен включать информацию о форматировании текста. Токенизация и обработка стилей документа вынесены в два отдельных модуля.

Для расстояний производится нормализация путём их деления на размер шрифта, а для документа в целом рассчитывается среднее расстояние между текстовыми блоками по горизонтали и по вертикали [6]. Помимо этого, учитывается порядок хранения блоков, т.к. при генерации PDF документов из других форматов он часто совпадает с естественным порядком чтения, что важно, например, при многоколоночного форматировании.

Выбранным признакам назначаются веса таким образом, что наибольший вес имеет расстояние между блоками, а наименьшие – признаки форматирования. При этом все признаки приводятся к логическим значениям (0 или 1), а сумма этих значений, умноженных на коэффициенты, должна принимать значения от 0 до 1. Таким образом, получаем формулу расчёта вероятности того, что два текстовых блока принадлежат одной строке.

Извлечение структуры текста происходит путем конвертации документа из формата PDF во внутренний формат системы семантического анализа, уточняя и сохраняя семантически значимую информацию и связи в документе, в первую очередь высокоуровневые сущности, такие как строки и абзацы, а также заголовки и относящуюся к ним информацию и др. Для автоматизации данного процесса была выбрана технология машинного обучения, в частности SVM линейный классификатор. Данный классификатор был обучен определять принадлежность двух блоков одному абзацу, исходя из значений параметров вектора, описанных ранее.

Следующим этапом является расчет набора признаков для строк. Учитывается выравнивание текста внутри строки, расстояние между строками и форматирование. При этом полагается, что внутри одного абзаца не может быть строк с разным выравниванием или междустрочным интервалом [7]. Также в местах разрыва страниц проверяется целостность абзацев, то есть осуществляется поиск разрывов предложений.

После того, как последовательные строки склеены в абзацы, формируется документ во внутреннем формате системы семантического анализа и отдается на обработку модулю восстановления разметки, который пытается распознать такие элементы структуры документа, как списки, заголовки и надстрочный/подстрочный текст.

Для тестирования разбиения документа на абзацы используется модуль обработки DOC, который также входит в состав конвертера. Поскольку оба модуля на выходе формируют документ одинаковой структуры, это позволяет легко создавать тестовые множества документов и проверять точность конвертации, сравнивая узлы выходных документов. Для тестирования использовался набор из 150 пар документов в форматах DOC и PDF. Анализ и оценка полученных результатов показали, что F мера для обработанных документов составляет 83,2%.

В ходе работы был произведен анализ существующих параметров текста и выбран набор наиболее семантически значимых из них. При помощи модуля конвертации документов из формата ODT во внутренний формат системы семантического анализа было сформировано

обучающее множество документов. Используя полученное множество документов и набор выбранных параметров текста, было применено машинное обучение для получения структурированного документа во внутреннем формате системы семантического анализа текстов. Реализация представляет собой программный модуль на языке Java, который был интегрирован в систему семантического анализа.

### Литература

1. Махновец В.А., «Извлечение визуально-значимой информации из неструктурированных документов» : выпускная квалификационная работа бакалавра, Университет ИТМО. СПб., 2017. 33 с.
2. Hannah Bast, Claudius Korzen, «A Benchmark and Evaluation for Text Extraction from PDF» // ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries (JCDL). 2017. DOI:10.1109/JCDL.2017.7991564.
3. Maad M. Mijwil, «Pattern Recognition and Neural Networks» // Baghdad College of Economics Sciences University. 2017. DOI:10.13140/RG.2.2.33824.51208.
4. Extract Text from PDF. 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.aspose.com/display/pdfjava/Extract+Text+from+PDF>, свободный, (дата обращения: 20.03.2021).
5. TrapRange: a Method to Extract Table Content in PDF Files. 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dzone.com/articles/traprange-method-extract-table>, свободный, (дата обращения: 01.04.2021).
6. Hui Chao, Jian Fan, «Layout and Content Extraction for PDF Documents» // Document Analysis Systems VI. 2014. DOI:10.1007/978-3-540-28640-0\_20.
7. Cartic Ramakrishnan, Abhishek Patnia, Eduard Hovy, Gully Burns, «Layout-aware text extraction from full-text PDF of scientific articles» // Source Code for Biology and Medicine. 2012. DOI:10.1186/1751-0473-7-7.

УДК 004.896

**ПРОБЛЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ КУРСОВ ЦЕННЫХ БУМАГ  
СРЕДСТВАМИ ТРЕЙДИНГОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРИ ПОРТФЕЛЬНОМ  
ИНВЕСТИРОВАНИИ**

**Трезубов К.А.<sup>1</sup>**

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

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».*

Исследование представляет из себя постановку проблемы исследования и обзор литературы из области предсказания курсов ценных бумаг с использованием трейдинговой платформы.

**Ключевые слова:** трейдинговая платформа, акция, курс, методы, алгоритмы, машинное обучение, нейронные сети.

На данный момент существует множество трейдинговых платформ, которые позволяют производить торговые операции с ценными бумагами между ключевыми участниками рынка: брокером, продавцом и инвестором. Авторы диссертационной работы провели анализ следующих популярных платформ на российском рынке программного обеспечения: Meta Trader (MT4, MT5), Act Trader, Quick, TransaQ, Альфадирект, Риком Трейд, Mirror Trader, Ninja Trader, cTrader, Rox. Перечисленные выше платформы позволяют видеть текущий курс по ценным бумагам, но не позволяют предсказывать курсы и не предоставляют информацию, рекомендации о сигналах к покупке или продаже бумаг на финансовом рынке, что в перспективе несет финансовую пользу человеку, который желает продать или приобрести акции.

Существует несколько способов анализа курса ценных бумаг на фондовом рынке.

Самой популярной стратегией является технический анализ. Технический анализ полагается на статистические данные, полученные в результате рыночных операций. Эти правила основаны на графиках или технических индикаторах, которые представляют собой математические формулы, которые используют исторические данные о цене и (или) объеме. В качестве выходных параметров в техническом анализе возвращаются определенные сигналы к покупке или продаже. Далее эти сигналы используются трейдерами для открытия позиций на рынке. Технический анализ основывается на простой математике, но ключевой проблемой данного метода является низкая точность.

Ряд авторов предлагают в своих статьях [1] использовать генетические алгоритмы для поиска оптимальных трейдинговых стратегий: сигналов к покупке и предсказанию курсов. В таких методах, прежде всего, встает вопрос подбора оптимизационных параметров, параметров «кросоверинга», числе итераций для генетического алгоритма.

Некоторые ученые также в своих статьях [2] включают использование случайных процессов. Так, обычно включают Марковский случайный процесс принятия решений в генетические алгоритмы для разработки торговых стратегий для операций на фондовом рынке.

Также популярными являются методологии с использованием нейронных сетей. Есть ряд синтезированных моделей нейронных сетей, таких как: GDQN – метод машинного обучения, который использует критический метод с глубоким Q – обучением, GDPG – метод «субъект – критик» с глубоким детерминированным градиентом политики. Стоит также добавить, что GDQN, GDPG используют Марковские процессы для принятия решения.

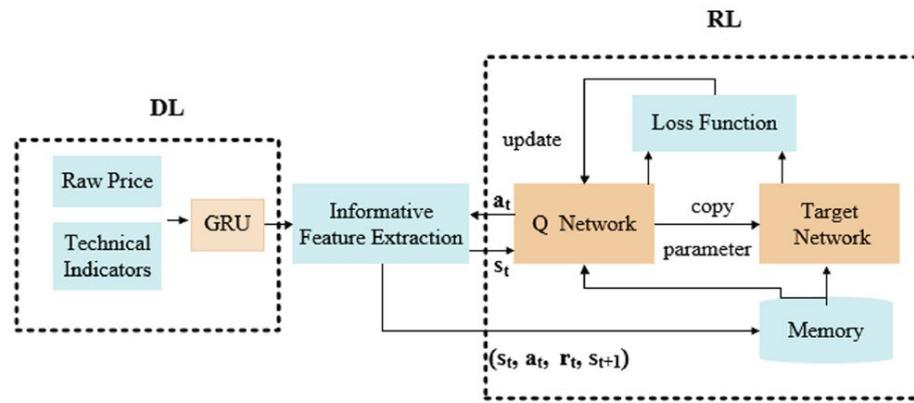


Рис. 1. Работа нейронной сети GDQN

На рисунке 1 представлен алгоритм работы нейронной сети GDQN [3]. Модель «Information Feature Extraction» принимает и отдает информационные признаки, такие как состояние рынка в определенный момент времени  $s_t$ , состояние во времени  $t + 1$ , трейдинг действия  $a_t$ , вознаграждение  $r_t$ . Q – сеть используется для выбора действия  $a_{t+1}$ , для того чтобы максимизировать  $Q(s_{t+1}, a_{t+1})$ . В то же самое время целевая Q сеть рассчитывает значение  $a_{t+1}$ .

Извлечение скрытых шаблонов с использованием различных технических индикаторов на основе исторических финансовых данных считается эффективным способом определения торговых решений на финансовом рынке. Технический анализ показал, что ряд конкретных комбинаций технических индикаторов можно рассматривать как торговые модели для прогнозирования эффективных торговых стратегий. Однако обнаружить эти комбинации – непростая задача. Ряд авторов предлагают инновационно использовать алгоритм бикластеризации для обнаружения торговых шаблонов. Обычно используется десять технических индикаторов: SMA – простая скользящая средняя, RSI – индекс относительной силы, %R – критерий Вильямса, ROC – скорость изменения, CCI – индекс товарного канала, EMV – легкость передвижения, UO – окончательный осцилятор, BRAR, KJO, MTM. Обнаруженные торговые модели используются для прогнозирования движения рынка на основе наивного байесовского алгоритма. Наивный байесовский алгоритм предназначен для классификации торговых решений акций по сигналам: покупка, удержание или продажа. Для повышения точности прогнозов ученые применяют Adaboost алгоритм. Работа алгоритма бикластеризации представлена на рисунке 2 [4].

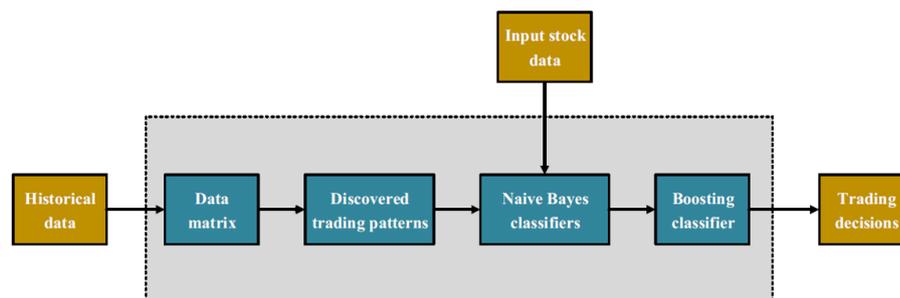


Рис. 2. Алгоритм бикластеризации

Разрозненная информация мгновенно обрабатывается и используется для корректировки цен на товары, услуги и активы на финансовом рынке. Как правило, поток текстовых новостей интерпретируется инвесторами. Исходя из новостной политики, они могут придерживаться часть денежных средств или вкладывать их в покупку ценных бумаг. «Новостное настроение» довольно хорошо объясняет доходность акций. Ученые предлагают разработать торговые стратегии, использующие текстовые новости для получения прибыли на основе новой информации, поступающей на рынок [5]. Предлагается разработать систему принятия

решений (DSS), которая будет автоматически преобразовывать новостной контент в определенные решения. Схема системы представлена на рисунке 3.

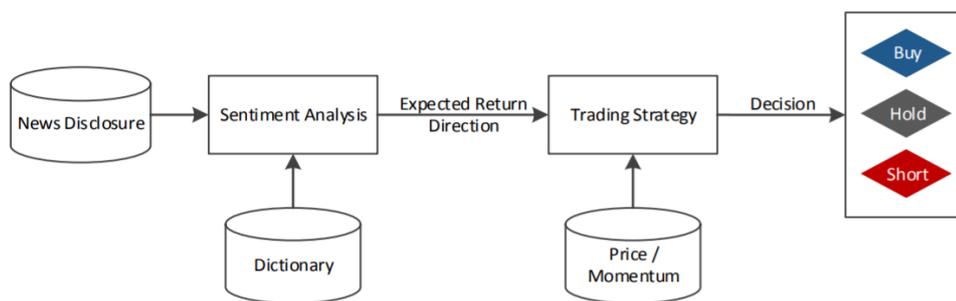


Рис. 3. Система принятия решений DSS на основе новостного контента

В качестве источника информации выбирается определенный ресурс с информацией (например, GDAP). После получения данных в текстовом виде наступает этап анализа настроений или мнений (Sentiment Analysis). Анализ настроений – это методы, которые используют текстовое представление документов для измерения положительного и отрицательного содержания. Детально анализ настроений описывается в статье. Далее следует этап трейдинговой стратегии. Ученые используют импульсную торговлю и портфельный подход для принятия решения о покупке исключительно на основе исторической доходности активов путем максимизации скорости изменения [6]. Далее авторы предлагают торговые стратегии, основанные на новостях, в которых инвестиционные решения основываются на сигналах настроения новостей [7]. Затем ученые комбинируют оба метода и разрабатывают стратегию, которая использует как исторические цены, так и настроение новостей. Наконец, они используют обучение с учителем и обучение с подкреплением для автоматического изучения таких правил.

Для минимизации рассмотренных недостатков трейдинговых платформ с целью повышения доходности портфельных инвестиций предлагается разработать рекомендательную подсистему. Из рассмотренных методологий предлагается взять GDQN алгоритм машинного обучения, который планируется доработать для возможного управления портфелями.

### Литература

1. Janko Straßburga. Parallel genetic algorithms for stock market trading rules / Janko Straßburga, Christian Gonzalez-Martel ' b, Vassil Alexandrov // Procedia Computer Science. - Volume 9, 2012, Pages 1306-1313.
2. Ying – Hua Chang. Incorporating Markov decision process on genetic algorithms to formulate trading strategies for stock markets/ Ying – Hua Chang, Ming – Sheng Lee // Applied Soft Computing. – Volume 52, March 2017, Pages 1143-1153.
3. Xing Wu. Adaptive stock trading strategies with deep reinforcement learning methods/ Xing Wu, Haolei Chen, Jianjia Wang, Luigi Troiano, Vincenzo Loia, Hamido Fujita // Information Sciences. – Volume 538, October 2020, Pages 142 - 158.
4. Qinghua Huang. Discovery of trading points based on Bayesian modeling of trading rules / Zhoufan Kong, Yanshan Li, Jie Yang, Xuelong Li // World wide web, November 2018.
5. Stefan Feuerriegel. News – based trading strategies / Helment Prendinger // Decision Support Systems, June 2016.
6. B. Pang, L. Lee, Opinion Mining and Sentiment Analysis, Foundations and Trends in Information Retrieval 2 (2008) 1–135.
7. S. Feuerriegel, D. Neumann, Evaluation of News-Based Trading Strategies, in: A. Lugmayr (Ed.), Enterprise Applications and Services in the Finance Industry, volume 217 of Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, Cham, Switzerland, 2015, pp. 13–28.

УДК 004.031.6

## АНАЛИЗ СИСТЕМ КЛАССА «УМНЫЙ ДОМ»

Файзрахманов Р.Р.<sup>1</sup>

Научный руководитель – профессор, д.т.н. Платунов А.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Целью данной статьи является обобщение и классификация продукции на рынке систем «Умный дом», определение особенностей данной продукции, выявление основных направлений деятельности в сегменте. В работе рассмотрены распространённые в России системы класса «Умный дом». В частности, производители и их продукция, особенности, применяемое программное обеспечение.

**Ключевые слова:** умный дом, Smart Home, автоматизация, системная интеграция, голосовой помощник, контроллер, хаб, Home Assistant, MajorDoMo, openHAB, Xiaomi, Wiren Board, Mi Home, Google Home, Apple HomeKit.

Рост рынка систем автоматизации зданий в России и в мире [1] показывает высокую актуальность исследований в области систем «Умный дом» (система автоматизации жилого или коммерческого помещения [2]). К тому же существует большое количество публикаций на тему «Умный дом». В основном в данных публикациях описываются общие понятия данных систем, удобство их использования. Либо отдельные аспекты, такие как энергоэффективность, экономическая выгода, а также конкретные практические применения систем «Умный дом» с определённым набором программно-аппаратных средств. В данном же исследовании представлены основные направления деятельности, анализ продукции, потребительские сегменты, классификация используемых программных и аппаратных средств в системах класса «Умный дом».

Несмотря на большое количество продуктов на рынке, существует ряд проблем, которые необходимо решить. Во-первых, это трудность систематизации всего многообразия производимых компонентов, приложений и выбора оптимальных для автоматизации квартиры или частного дома. Во-вторых, изделия разных производителей зачастую не совместимы между собой. В-третьих, это вопросы безопасности, хранения и обработки данных - системы «Умный дом» зачастую используют для работы облачные сервера, при этом расположенные за рубежом.

Основные направления деятельности в сегменте интеллектуальных зданий («Умный дом / умный завод»). В этот сегмент входит *разработка и производство систем автоматизации*, в частности:

1. Проектирование и производство электроники: микроконтроллеров, датчиков, видеокамер, механизмов с удалённым управлением и всего многообразия устройств, участвующих в процессах функционирования «Умного дома», офиса, завода.
2. Разработка и поддержка программного обеспечения (ПО) для данных устройств. Сюда входят: прошивки, программы для управления и создания сценариев для устройств «Умного дома», голосовые помощники, разработка и тестирование протоколов связи.
3. Стандартизация и сертификация систем «Умный дом».

*Установка систем автоматизации* представляет собой следующие действия:

1. Монтаж щитов или коммутационных шкафов, в которые помещаются контроллеры, блоки питания, реле для управления устройствами и датчиками.
2. Разводка и подводка проводов к данным шкафам от источников питания, управляемых устройств, локальной сети и/или Интернета.
3. Установка серверных станций для управления системами «Умный дом/завод».
4. Установка и подключение датчиков, управляемых механизмов, видеокамер, переключателей, диммеров, носимых устройств.
5. Установка, настройка ПО на серверы и клиентские компьютеры, смартфоны, носимые устройства, «умные панели». Создание сценариев управления.

Данной деятельностью, а также технической поддержкой чаще всего занимаются специализированные компании – системные интеграторы (человек или компания-подрядчик, которые специализируются на объединении отдельных подсистем в единое целое).

*Техническая поддержка и обслуживание «Умных домов»* производится операторами, системными администраторами, техниками и другими специалистами. Включает в себя:

1. Выезд технических специалистов на место эксплуатации системы по необходимости.
2. Удалённое консультирование и поддержка пользователей систем.
3. Ремонт и модернизация систем и компонентов автоматизации.

**Основные потребительские сегменты систем «Умный дом».** *Недорогие компактные решения для готовых квартир и частных домов.* Производители: Xiaomi [3], Philips, ELARI, Redmond и др. Категории устройств:

- шлюзы/хабы (управляющее устройство для «умных» устройств и датчиков);
- датчики;
- беспроводные выключатели;
- «умные» устройства (лампы, выключатели света, термостаты, пылесосы);
- видеокамеры и микрофоны;
- и другие устройства с удаленным управлением.

Работают под управлением специального ПО (проприетарного) на настольных компьютерах и смартфонах. Как правило, данные устройства используют беспроводные протоколы связи: Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee. Это значительно облегчает установку и замену оборудования [4]. В таблице 1 приведены популярные в данном сегменте в России производители и их продукция [5].

*Решения продвинутого (производственного) уровня.* Данные системы и компоненты могут использоваться не только в домашней автоматизации, но и на производстве. Это достигается за счёт преимущественно проводных подключений, монтажа в стены или коммутационные шкафы, повышенными характеристиками самих компонентов. Компоненты монтируются в стены на этапе строительства или ремонта здания, квартиры. Возможна установка и поверх стен. Сферы применения: частные дома и дизайнерские квартиры с повышенными требованиями к автоматизации, а также заводы, здания и офисы.



Рисунок. Демонстрационный набор Wiren Board

Таблица 1. Недорогие компактные системы «Умный дом»

Производитель	Линейки продуктов	Виды оборудования	Используемое ПО	Коммуникации	Интеграция <sup>2</sup>
Xiaomi (Китай)	Mi Home, Mijia, Aqara	Шлюзы (хабы)	Mi Home	W-Fi, ZigBee	+
	Mijia, Aqara	Датчики, детекторы	Mi Home	ZigBee	через шлюз Xiaomi
	Mijia, Aqara	Беспроводные выключатели, пульты управления	Mi Home	ZigBee	через шлюз Xiaomi
	Mijia, Aqara	Управляемые розетки	Mi Home	Wi-Fi	через шлюз Xiaomi
	Aqara, Yeelight	Управляемые светильники и лампы	Mi Home	Wi-Fi	через шлюз Xiaomi
	Mijia	Камеры	Mi Home	Wi-Fi	через приложение Mi Home
	YEELOCK, Aqara	Замки	Внутренняя прошивка	Bluetooth, ZigBee	-
	Aqara	Управляемые выключатели света	Mi Home	ZigBee	через приложение Mi Home
	Mi	Wi-Fi роутеры	Внутренняя прошивка, Mi Home	Wi-Fi/Ethernet RJ-45	+
	Mi	Роботы-пылесосы	Прошивка, Mi Home	Wi-Fi	через приложение Mi Home
	Viomi, Mi	Кухонная техника: плиты, чайники, холодильники и др.	Mi Home	Bluetooth, Wi-Fi	+
	Aqara	Увлажнители	Mi Home	ZigBee, Wi-Fi	через приложение Mi Home
	Aqara	Управляемые карнизы для штор	Mi Home	ZigBee	через приложение Mi Home
Philips (Нидерланды)	HUE	Блок управления (шлюз)	Philips Hue	Ethernet RJ-45, ZigBee	+
	White and color ambiance	Управляемые светильники и лампы	Philips Hue	Bluetooth, ZigBee	через приложение Philips Hue
Elari (Россия)	Smart	Центр управления (шлюз)	ELARI SmartHome	ZigBee, Wi-Fi	+
	SmartBot	Роботы-пылесосы	ELARI SmartHome	Wi-Fi	+
	SmartLED	Управляемые лампы	ELARI SmartHome	WiFi	+
	Smart Sensor	Датчики	ELARI SmartHome	ZigBee	через шлюз

<sup>2</sup> - Интеграция со сторонним ПО для управления домом, таким как: MajorDoMo, openHAB, Home Assistant, Google Assistant, Node-RED

Производители: Wiren Board [6], MegaD, Advantech, STMicroelectronics, KernelChip. Категории устройств (некоторые из них представлены на рисунке):

- встраиваемые решения (компьютеры на модуле, одноплатные компьютеры, микроконтроллеры);
- модули связи;
- системы наблюдения;
- контрольно-измерительные приборы и автоматика.

Используемые стандарты связи: Ethernet, RS-485, RS-232. Протоколы Modbus, Bluetooth 5.0, OpenThread, Zigbee 3.0, NFC, RFID, GPS и др. В таблице 2 представлены некоторые российские производители и их продукция в данном сегменте.

Таблица 2. Продвинутое системы «Умный дом»

Производитель	Линейки продуктов	Виды оборудования	Используемое ПО	Коммуникации	Интеграция
Wiren Board (Россия)	6 и предыдущие	Контроллеры	Прошивка, Debian Linux 9, очередь сообщений MQTT, свой веб-интерфейс	Ethernet, USB, Wi-Fi, Bluetooth 4.0, GSM/GPRS, Z-wave	+
	WB, WBC, WBIO и др.	Модули расширения и ввода-вывода	Чаще всего ПО в модулях отсутствует	Установка в порт или проводное соединение с контроллером, интерфейсы в зависимости от функций	контр. <sup>3</sup>
	WB-MR	Модули реле	-	RS-485, Modbus RTU	контр.
	WB-MA, -MSW	Датчики	-	RS-485, Modbus RTU	контр.
	WB-MAP	Электросчётчики	-	RS-485, Modbus RTU	контр.
MegaD (Россия)	2561 и предыдущие	Контроллеры	Прошивка, очередь сообщений MQTT / HTTP, свой веб-интерфейс	Ethernet (RJ45)	+
	RPi	Мини-сервер	Raspbian Lite	RS-485, ZigBee, Ethernet	+
	GSM-UPS	GSM-модем	Прошивка	GSM (SIM800C)	контр.
	-R, -S	Исполнительные блоки	-	1-wire, I2C	контр.

<sup>3</sup> – интеграция со сторонним ПО управления домом происходит через контроллер

**Используемое программное обеспечение в системах «Умный дом».** В данной области возможно выделить несколько категорий используемого программного обеспечения. *Приложения для управления «Умным домом» на базовом (начальном) уровне* позволяют объединять устройства «Умного дома» в общую сеть и управлять ими. Данное ПО принадлежит и располагается на серверах производителей. Позволяет создавать относительно

несложные сценарии поведения для бытовых ситуаций. Предоставляют интеграцию для других приложений, использующих устройства «Умного дома», например, для голосовых помощников. Примеры: Mi Home, Google Home, Apple HomeKit.

*Инструменты программирования для управления «Умным домом» на сложном (продвинутом) уровне* позволяют объединить аппаратные устройства, API и онлайн-сервисы в частном доме, квартире, офисе, здании. Позволяют создавать сложную логику систем «Умного дома» за счёт написания скриптов, применения языков программирования или создание логики с помощью визуальных инструментов. Чаще всего имеют открытый исходный код. Позволяют использовать собственный сервер для управления, за счёт установки непосредственно на объект автоматизации. Примеры: Home Assistant, Node-RED, MajorDoMo, openHAB.

**Приложения, интегрируемые с ПО управления «Умными домами».** Чаще всего это голосовые помощники, а также онлайн-сервисы, приложения для отдельных функций «умных» устройств. В случае с голосовыми помощниками позволяют управлять «Умным домом» с помощью голоса. Например, включать/настраивать свет, отопление, открывать ворота, находить/включать нужную песню и многое другое. Популярные бесплатные приложения для голосового управления: Google Assistant, Amazon Alexa, Apple Siri, Яндекс.Алиса.

В результате данного исследования была создана общая классификация компонентов систем «Умный дом», проанализирована продукция ведущих производителей, выявлены потребительские сегменты данных систем; определены основные направления деятельности на рынке; определены программные средства для настройки и создания пользовательских сценариев; сформирована база источников для изучения систем. В дальнейшем планируется продолжить изучение систем «Умный дом», проводить практические эксперименты с различными системами и программным обеспечением, а также реализовать совместный проект с одним из производителей и/или системным интегратором в данной области.

## Литература

1. Рынок технологий умного дома России растёт темпами, опережающими мировые // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ac.gov.ru/news/page/rynok-tehnologij-umnogo-doma-rossii-rastet-tempami-operezausimi-mirovye-26761> (дата обращения: 20.01.21).
2. Умный дом – определение // Википедия — свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Умный\\_дом](https://ru.wikipedia.org/wiki/Умный_дом) (дата обращения: 21.01.21).
3. Xiaomi Global Community. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xiaomi-mi.com/mi-smart-home/> (дата обращения: 21.01.21).
4. Умный дом Xiaomi: особенности проектирования, обзор основных узлов и рабочих компонентов // Совет инженера. Интернет-энциклопедия по обустройству сетей, инженерно-технического обеспечения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/umnyj-dom/umnyj-dom-xiaomi.html> (дата обращения: 20.01.21).
5. Каталог - Популярные устройства // Портал Sprut.AI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://v2.sprut.ai/catalog> (дата обращения: 01.06.21).
6. Wiren Board российский разработчик и производитель электроники для автоматизации и мониторинга. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wirenboard.com/ru/> (дата обращения: 20.01.21).

УДК 620.19

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Хохлова Е.Д.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н. Федоров А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Изделия из углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) имеют широкое применение в теплонапряженных изделиях и конструкциях благодаря большому диапазону их свойств. Сложность и ответственность конструкций из УККМ обуславливает необходимость проведения контроля их качества на стадиях производства и эксплуатации. В данной работе описывается возможность применения вихретокового метода для контроля качества изделий из УККМ, в частности возможность контроля градиентного слоя защитного покрытия, нанесенного на изделие из УККМ.

**Ключевые слова:** углерод-керамический композиционный материал, УККМ, вихретоковый метод, контроль качества, теплонапряженные изделия, градиентный слой покрытия, толщина покрытия.

На сегодняшний день наиболее перспективным материалом в теплонапряженных изделиях и конструкциях является УККМ, ввиду его малого веса, низкой плотности, высокой прочности при повышенных температурах, низкого коэффициента линейного расширения, высокого коэффициента теплопроводности. Значительная стойкость УККМ в окислительных средах и эрозийных высокотемпературных потоках, происходящих на поверхности деталей теплонапряженных изделий, обуславливает эксплуатацию в сложных условиях обтекания химическим, высокотемпературным (свыше 1000°C) и высокоскоростным (сверхзвуковым, при  $M > 1$ ) потоком продуктов сгорания топлива. Учитывая ответственность конструкции изделий из КМ, решающая роль отводится вопросам их контроля качества [1].

В качестве исследуемого объекта будет являться изделие из углерод-керамического композиционного материала с защитным покрытием из карбидов редкоземельных металлов. Характерными дефектами для данных изделий являются несплошности в виде поверхностных и подповерхностных трещин, образующихся в результате влияния высокотемпературной и окислительной среды.

Так как материал должен удовлетворять требованиям по стойкости к воздействию высоких скоростей и повышенных температур, на внешнюю поверхность изделия наносится дополнительное защитное покрытие. Технология нанесения данного покрытия обеспечивает его градиентный характер таким образом, что четкая граница между слоем покрытия и основным материалом изделия отсутствует. Свойства стойкости изделия к ранее перечисленным внешним воздействиям напрямую зависят от толщины градиентного слоя. Поэтому ставится актуальная задача измерения данной толщины.

С учетом конструкционных особенностей контролируемого изделия ряд методов, традиционно используемых для контроля композиционных материалов, в частности, ультразвуковой, радиационный, термографический, оптический, имеют ограниченную применимость к УККМ. В связи с этим представляет интерес использование методов вихретокового вида неразрушающего контроля, обладающих чувствительностью к изменению электропроводности изделий, обусловленных наличием дефектов. Эффективность применения вихретокового метода обеспечивается корректным выбором типа преобразователя и отстройкой от влияния мешающих параметров [2].

При контроле наличия дефектов, за счет анизотропии изделий из УККМ, результаты, полученные с помощью классических круговых вихретоковых измерительных преобразователей, не будут являться достоверными, так как в таком случае измеряется интегральная удельная электропроводность изделия по всем направлениям. Поэтому предлагается использовать вихретоковый преобразователь тангенциального типа с горизонтальной линейной частью вихревых токов, что позволит проводить раздельное

измерение электропроводности анизотропных материалов в разных направлениях [3]. Подбором частоты можно определить направление укладки стержней на некоторой глубине изделия, что обеспечит контроль не только поверхностных, но и подповерхностных слоев.

При определении толщины градиентного слоя существует возможность рассматривать углеродное волокно в виде материала с некоторой интегральной электропроводностью, так как внутри изделия из УККМ присутствует огромное количество волокон, имеющих между собой электрических контакт. Интегральная электропроводность будет меняться в зависимости от толщины слоя покрытия, что подтверждается аналитически. Исходя из формул (1), (2), (3) значение толщины покрытия  $T_{\Pi}$  связано с величиной вносимого напряжения  $\dot{U}_{BH}^*$ , появляющегося за счет влияния на обмотку преобразователя изделия с присутствующим на нем покрытием.

$$\dot{U}_{BH}^* = \frac{\dot{U}_{BH}}{|\dot{U}_0|} = \frac{j\pi\mu_0 R_B R_{II}}{M} \int_0^{\infty} J_0(\lambda R_B) J_1(\lambda R_{II}) e^{-\lambda|z_B+z_{II}|} \chi_0 d\lambda, \quad (1)$$

$$\chi_0 = \frac{(\lambda - q_1)(q_1 + q_2)e^{T_{\Pi}q_1} - (\lambda + q_1)(q_2 - q_1)e^{-T_{\Pi}q_1}}{(\lambda + q_1)(q_1 + q_2)e^{T_{\Pi}q_1} - (\lambda - q_1)(q_2 - q_1)e^{-T_{\Pi}q_1}}, \quad (2)$$

$$q_i = \sqrt{\lambda^2 + j\mu_0\sigma_i\omega}, \quad (3)$$

где  $R_{II}$  – радиус измерительной обмотки,  $R_B$  – радиус обмотки возбуждения,  $z_{II}$  – расстояние от измерительной обмотки до поверхности объекта контроля,  $z_B$  – расстояние от обмотки возбуждения до поверхности объекта контроля,  $z_{II}$  – расстояние от измерительной обмотки до поверхности объекта контроля,  $J_i(\lambda R_i)$  – функция Бесселя,  $\lambda$  – параметр преобразования,  $\sigma_o, \sigma_{\Pi}$  – электропроводность основания и покрытия соответственно,  $M$  – коэффициент начальной взаимоиנדукции обмоток,  $\omega$  – круговая частота тока возбуждения,  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Согласно формулам (4), (5), изменение значения вносимого напряжения ведет к изменению его фазы  $\Delta\varphi$  [4]. Данная зависимость обуславливает возможность применения вихретокового метода контроля.

$$\varphi = \arctg \frac{\text{Im}[\dot{U}_{BH}^*]}{\text{Re}[\dot{U}_{BH}^*]}, \quad (4)$$

$$\dot{U}_{BH}^* = |\dot{U}_{BH}^*| = \sqrt{\text{Re}[\dot{U}_{BH}^*]^2 + \text{Im}[\dot{U}_{BH}^*]^2}. \quad (5)$$

Взаимосвязь исследуемого объекта контроля и вихретокового преобразователя отражена в обобщенном параметре  $\beta$ , имеющем соответствующую формулу (6). Значение данного параметра, в свою очередь, зависит от электропроводности материала изделия.

$$\beta = R_B \sqrt{(\omega\sigma\mu_0\mu_r)}, \quad (6)$$

где  $\mu_0$  – относительная магнитная проницаемость объекта.

Зависимость фазы  $\Delta\varphi$  вносимого напряжения от обобщенного параметра  $\beta$  не является линейной, но достаточно близка к ней.

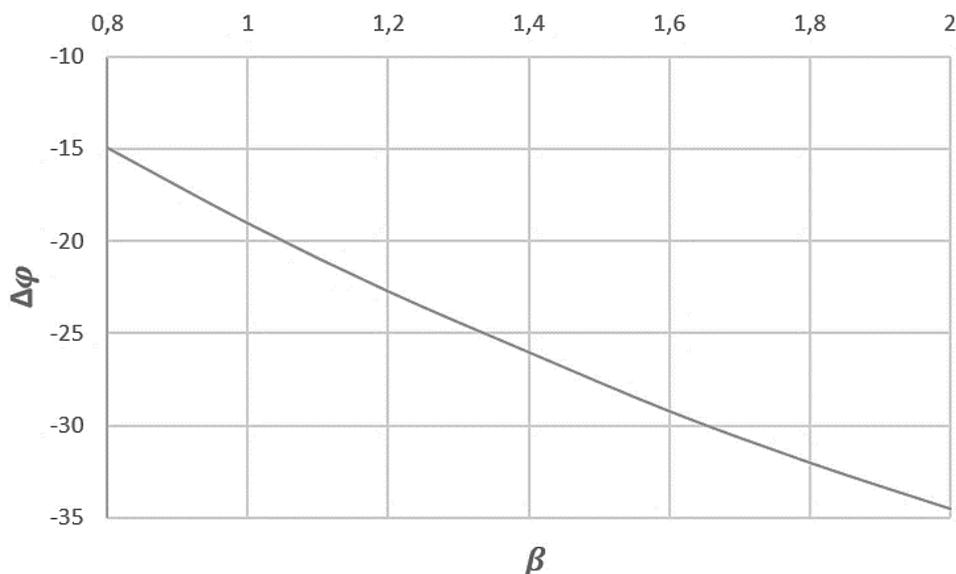


Рисунок. Зависимость фазы  $\Delta\varphi$  вносимого напряжения от обобщенного параметра  $\beta$

Обратившись к графику, представленному на рисунке, можно говорить о достаточной степени относительной чувствительности вихретокового метода к контролируемому параметру электропроводности, так как изменение обобщенного параметра  $\beta$  на единицу ведет к изменению фазы на  $17,5^\circ$ . Это доказывает возможность использования предлагаемого вихретокового метода с целью контроля толщины градиентного слоя защитного покрытия, нанесенного на поверхность объекта контроля из УККМ.

Проведение оценки толщины градиентного слоя покрытия представляется возможным при использовании трансформаторного трехобмоточного вихретокового фазового преобразователя.

В процессе проведения научно-исследовательской работы был проведен анализ технологии производства композиционных материалов, в том числе УККМ, а также анализ существующих методов и средств контроля качества изделий из УККМ. По результатам полученных данных, в качестве перспективного метода неразрушающего контроля для оценки толщины градиентного слоя защитного покрытия и для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов типа трещин в изделиях из УККМ был выбран и обоснован вихретоковый метод контроля.

Дальнейшие исследования и работы будут направлены для совершенствования применимости вихретокового метода контроля в обозначенной области. Для достижения результатов необходимым является, в частности, получение регрессионной зависимости толщины градиентного слоя от значения электропроводности для оценки чувствительности метода к контролируемому параметру.

#### Литература

1. Федоров А.В. Технологии неразрушающего контроля физико-механических характеристик компонентов углерод-углеродных композиционных материалов: сборник трудов 1-й дистанционной научно-технической конференции НККМ–2014. СПб. 2015. 372 с.
2. Сясько В.А. Теория и методы создания электромагнитных приборов контроля толщины покрытий и стенок изделий. СПб.: «Константа». 2015. 372 с.
3. Сясько В.А., Чертов Д.Н. Выявление расслоений углепластиковых материалов с использованием тангенциальных вихретоковых преобразователей. В мире НК. 2012. №2 (56). С. 19-21.
4. Чертов Д.Н. Вихретоковые методы комплексного неразрушающего контроля изделий из углеродных композиционных материалов [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.11.13) / Дмитрий Николаевич Чертов; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб. 2013. 142 с.

УДК 004

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ В ГРУППИРОВКЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Чан Зуи Хань, Комаров И.И., Ле Зуи Дон

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Комаров И.И.

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В статье рассмотрен подход аутентификации в группировке беспилотных летательных аппаратов, даны оценки вероятностей ошибок первого рода и второго рода, причины и виды воздействия ошибки в процессе аутентификации. Показана применимость модели доверия для повышения качества аутентификации при наличии внутренних не доверенных агентов в группе

**Ключевые слова:** информационная безопасность, аутентификация в БПЛА, качество аутентификации, нарушитель, злоумышленник, модель доверия.

### Введение

Вопросы информационной безопасности в группировке беспилотных летательных аппаратов (ГБПЛА) получают всё большее внимание исследователей и индустрии по мере расширения области их применения [1, 6, 7]. Проверка подлинности взаимодействующего объект помогает агентам группы обеспечивать целостность и доступность информации при выполнении поставленных задач. Для одиночных БПЛА аутентификация базируется в основном на использовании наземной станции. В этом случае процесс аутентификации обычно происходит перед полётом и в пределах действия наземной сети. Для ГБПЛА аутентификация может быть выполнена после полёта и при исполнении групповых задач.

### Подход к системе аутентификации в ГБПЛА

В *группировке* БПЛА [2], включающей агентов с одинаковыми функциями (рис. 1.а), процесс аутентификации будет выполняться с использованием данных любого из аутентичных агентов в группе. В этом случае каждый агент хранит базу данных аутентификации и может завершить сам процесс аутентификации, если новый агент требует аутентификации в области их взаимодействия.

В *рое* БПЛА [2] процесс аутентификации агента – кандидата (АК) реализуется при взаимодействии с головным агентом (ГЛА) - в этом случае вся информация аутентификации, включая базу данных персональной идентификации каждого агента в группе и секретный ключ, хранится у головного агента. А данные для аутентификации могут ретранслироваться целой последовательностью агентов в группе (рис. 1.б) если новый агент-кандидат (АК) не имеет непосредственной связи с головным агентом.

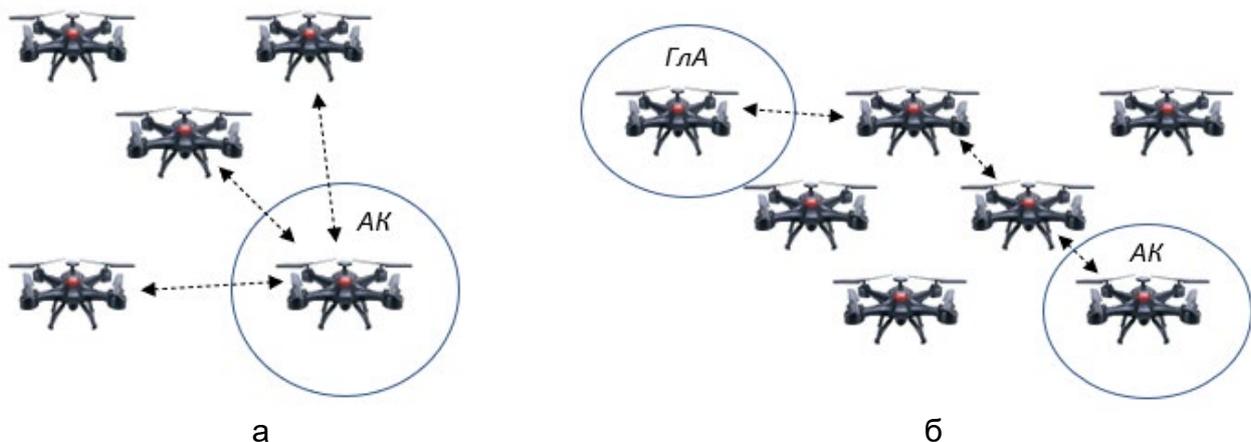


Рис. 1. Информационные потоки аутентификации: а) взаимодействие с одинаковой функциональностью связей агентов; б) роевое взаимодействие с опосредованной связью нового агента и главного агента

Для обеспечения безопасности в процессе аутентификации во многих исследовательских работах [3] в последние годы применяется метод «запрос – ответ». Для повышения безопасности системы в этом методе используются криптографические механизмы совместно со показателем «свежести» параметров. В качестве показателей «свежести» аутентификации используются числовые последовательности, случайные (псевдослучайные) числа; метка времени (таймера).

#### Оценки вероятностей ошибок в системе аутентификации

Оценку качества процесса аутентификации принято проводить через вероятность ошибок системы, а именно через вероятности правильной работы и вероятностей ошибок первого и второго рода. Семантическая интерпретация исходов аутентификации в ГБЛА приведена в таблице 1.

Таблица 1. Представление о вероятности ошибки

Система \ Объект		БЛА	
		Легальный агент	Злоумышленник
Результат аутентификации	Аутентификация проведена	Правильное решение	Ошибка второго рода
	Отказ в аутентификации	Ошибка первого рода	Правильное решение

Тогда оценка ошибки первого рода понимается как вероятность отказа легальному агенту в процесс аутентификации.

Наличие в системе угроз и уязвимостей информационной безопасности приводит к наличию объективного противоречия между ужесточением требований доступа для сохранения целостности данных и упрощением механизмов аутентификации для обеспечения доступа легальные агенты к данным аутентификации. Некоторые причины и виды воздействия ошибки первого рода в процессе аутентификации приведены в таблице 2.

Таблица 2. Причины и виды воздействия ошибка первого рода в процессе аутентификации

Причина	Вид воздействия
Несовпадение предъявленного секрета	- Сбой техника (аппаратный или программный). - Попытка злоумышленника (нарушители).
Превышено время аутентификации	- DoS- атак (интенсивность потока заявок).
Недостаточно времени для завершения процесса	- Перемещающиеся агенты (не завершил процесс аутентификации в области взаимодействия). - Среда (помехи).

Под показателем ошибки второго рода понимается вероятность положительной аутентификации злоумышленника. Причины и виды, приводящие к возникновению ошибок второго рода в процессе аутентификации, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Причины и виды воздействия ошибка второго рода в процессе аутентификации

Причина	Вид воздействия
Не выявил обман при проверке ID	Атака класса «маскарад» (подделка на имя легального агента)
Потеря аутентичного секрета	Попытка злоумышленника (атак)
Не доверенный агент в группе	Внутренняя атака

Существуют нарушители (законные агенты) и злоумышленники (неавторизованные агенты), влияющие на качества аутентификации. Нарушители могут выявлять «личность» другого агента и отправлять сообщения для обнаружения соседей, «сговориться» и использовать общий секретный ключ с аутентичными агентами. Злоумышленник может стараться идентифицировать секретный ключ и взломать схему аутентификации.

Для повышения эффективности процесса обеспечения информационной безопасности во время аутентификации необходимо дифференцировать вредоносные объекты, что позволит разработать специфические механизмы противодействия (табл. 4).

Таблица 4. Классификация источников угроз в процессе аутентификации

Виды угроз	Нарушитель	Злоумышленник
Внутренний	Агент в группе	Хакер в группе
Внешний	Агент вне группы	Хакер вне группы

### Система аутентификации с использованием модели доверия

Очевидно, что чем сложнее система аутентификации, тем ниже значение ошибки второго рода, но это также означает, что требуются более ресурсоёмкие вычисления, и, что чрезвычайно важно для автономных агентов с ограниченным энергообеспечением, потребуется больше энергии для их реализации. Манёвренность и ограничения по мощности беспилотного летательного аппарата требуют лёгкой и надёжной аутентификации. Чтобы минимизировать вероятность ошибок при аутентификации, помимо лёгкого, надёжного механизма, оценка *доверия* к аутентифицирующему агенту также становится существенным фактором, влияющим на результаты аутентификации.

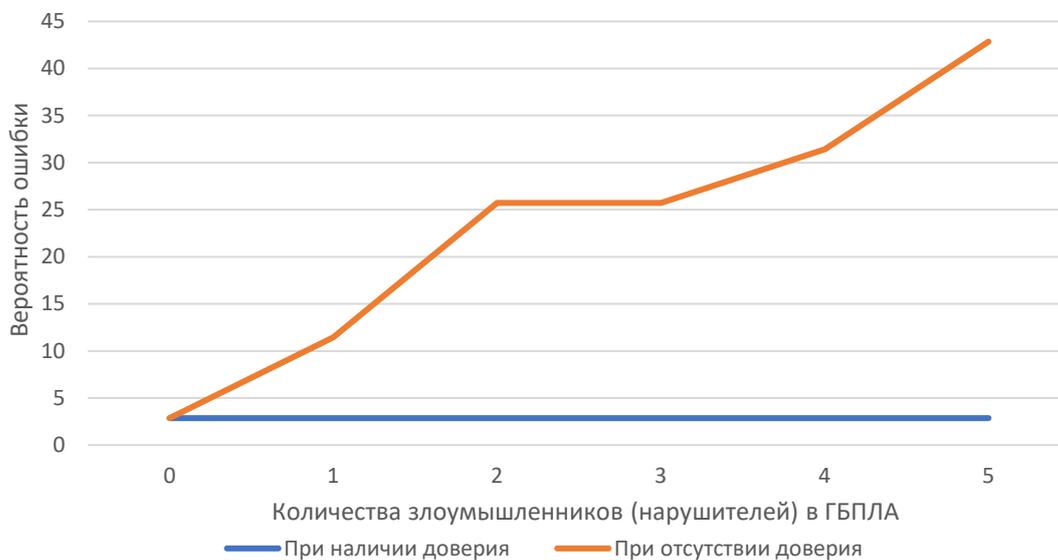


Рис. 2. Вероятность ошибки в процессе аутентификации при наличии внутренних (злоумышленников) нарушителей

В исследовании (рис. 2) проведено моделирование процесса аутентификации мобильных агентов с использованием хэш-функции MD5 в сочетании со случайным числом. Кроме того, моделировался метод аутентификации с использованием модели доверия [4] для повышения эффективности аутентификации при наличии злоумышленников (нарушителей) в группировке.

В результате моделирования выявлено, что при наличии внутренних злоумышленников (нарушителей) в группе процесс аутентификации завершился с ошибкой. Причём вероятность

ошибки аутентификации растёт с увеличением числа нарушителей информационной безопасности.

Применение модели доверия демонстрирует как минимум два положительных эффекта: во-первых, снижение уровня ошибок в абсолютном значении, и, во-вторых, отсутствие положительной корреляции между количеством нарушителей и уровнем ошибок системы аутентификации.

Вместе с тем, в исследовании применялся метод оценки доверия, не предполагающий итерационный пересчёт коэффициентов доверия. В случае, если коэффициенты доверия будут формироваться при увеличении относительной доли нарушителей (злоумышленников), может возникнуть ситуация «захвата» управления группировкой. Этот случай аналогичен известной атаке «51%» в системах распределённого реестра.

Таким образом, в результате исследований подтверждена продуктивность применения модели доверия в процессе аутентификации мобильных агентов. Перспективным направлением дальнейших исследований является адаптация и интеграция в систему аутентификации мобильных агентов динамического метода оценки и формирования показатели доверия агенту.

### Литература

1. Комаров И. И. и др. Постановка задачи обеспечения информационной безопасности роевых робототехнических систем // Наука и бизнес: пути развития. 2015. № 3. С. 53.
2. Иванов Д. Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. С. 221-229.
3. Authentication of users and entities in a TMN environment // Telecommunications Management Network (TMN). Security, part 3: Security services. Draft EN 301 261-3 V1.1.1 (1998-04).
4. Зикратов И. А. и др. Построение модели доверия и репутации к объектам мультиагентных робототехнических систем с децентрализованным управлением // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 3 (91). С. 30–38.
5. С.В. Белов, Б. Р. Досмухамедов. Оценка степени злоумышленного интереса к различным компонентам объекта защиты // ISSN 2072 – 9502 Вестник АГГУ. Сер: Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. №1. С. 14–20.
6. Сашников Т.К. К вопросу обеспечения информационной безопасности беспилотных авиационных систем с летательными аппаратами малого и лёгкого класса в специализированных асу // Журнал: Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. Автоматизированные системы управления. 2013. №6. С. 71–72.
7. Лебедев И. С., Зикратова Т. В., Шабанов Д. П., Чистов В. В. Оценка состояния информационной безопасности мультиагентной робототехнической системы при информационном воздействии // журнал: Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. Компьютерные и информационные науки. 2014. №2 (90). С. 53–59.

УДК 004.52

**РАЗРАБОТКА ЗВУКОВОГО ФОРМАТА И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ РЕШЕНИЙ FLAC 5D ДЛЯ ТРАНСЛЯЦИИ СОВЕРШЕННОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗВУКА В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ****Черниченко Т.Н.<sup>1</sup>****Научный руководитель – д.т.н., профессор Ткалич В.Л.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе предложена новая архитектура и способ записи аудио потока (на основе формата FLAC) без потери качества, предназначенного для работы с большим количеством каналов. Проведен эксперимент, показывающий преимущество предложенной архитектуры перед существующими способами записи и трансляции аудио в больших помещениях (на основе моделирования в программе EASE FOCUS и практической реализации).

**Ключевые слова:** акустика, звук, форматы данных, вибрационные технологии, обработка данных.

Современные акустические технологии имеют достаточно плохую область охвата (например, на рисунке 1 показано распределение звука в концертном зале: желто-красная область - хорошего звучания, синяя - плохого качества звука).

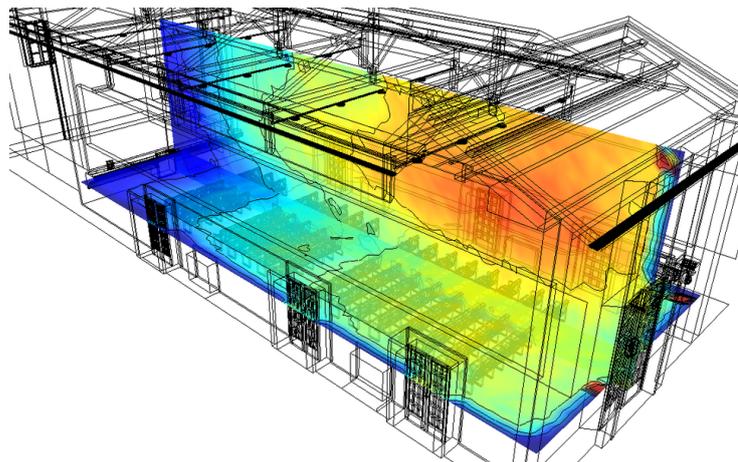


Рис. 1. Объемная визуализация распространения звука

Скорость передачи звукового сигнала очень низка и в *промышленных масштабах* (концертные залы, большие павильоны, значительные открытые и городские пространства) качество звука снижается тем больше, чем дальше от источника звука находится слушатель. Однако и на этом проблемы не заканчиваются. Использование популярных в интернете аудио-форматов (например, MP3) для хранения и воспроизведения звука в данных условиях является неприемлемым (ввиду низкого качества и малого количества каналов, который имеются в этом формате). Для промышленных масштабов, когда количество элементов *акустической системы* (далее АС) может достигать до десятков, необходимы также десятки аудио-каналов. Приемлемое качество аудио-потока должно соответствовать стандарту *Lossless Audio* (сжатие звука без потери качества) [1]. Технология *Flac 5D*, разработанная и предложенная автором, использует, с одной стороны, существующий открытый аудио кодек *FLAC* [2], а с другой предлагает принципиально новую аппаратно-техническую реализацию, которая включает использование программного комплекса для разделения и сведения каналов, управления равномерным распределением звука (таким образом, в случае реализации на рис. 1 не было бы синих и бирюзовых цветов, а весь звук на картинке распределялся бы как в желто-зеленой области), использует *вибрационные технологии* (далее ВТ). Разработка позволит увеличить *воспроизводимые мощности*, создать принципиально новые АС, направлять звук в

определенные точки или же рассеивать его с помощью технологии FLAC X. Flac 5D включает в себя использование “умного эквалайзера”, который подстраивается под жанр воспроизводимого аудио-трека и автоматически настраивает эквалайзер воспроизводящего оборудования. Это ещё одно важное преимущество, которое оценят любители качественного и совершенного звука. Во время работы над проектом были изучены алгоритмы сжатия [3] и [4].

Таким образом *Flac 5D* – это не только технология, но и соответствующие подходы и специальное оборудование (мы все вместе называем это новым акустическим фреймворком). На рисунке 2 представлен набор (стек) технологий, задействованные в *Flac 5D*. На рисунке 3 показана схема программно-аппаратного решения.

Формат позволяет разделить аудио запись на множество аудиоканалов (на данный момент их количество не ограничено в *Flac 5D*, хотя большинство современных решений ограничиваются 8 каналами). *Flac 5D* позволяет настроить каждый канал таким образом, чтобы добиться максимально комфортного звучания. Для каждого из каналов доступен отдельный умный эквалайзер (существует и ручная версия) - за счет анализа аудио композиции автоматически каждый из каналов настраивается на определенную частоту.

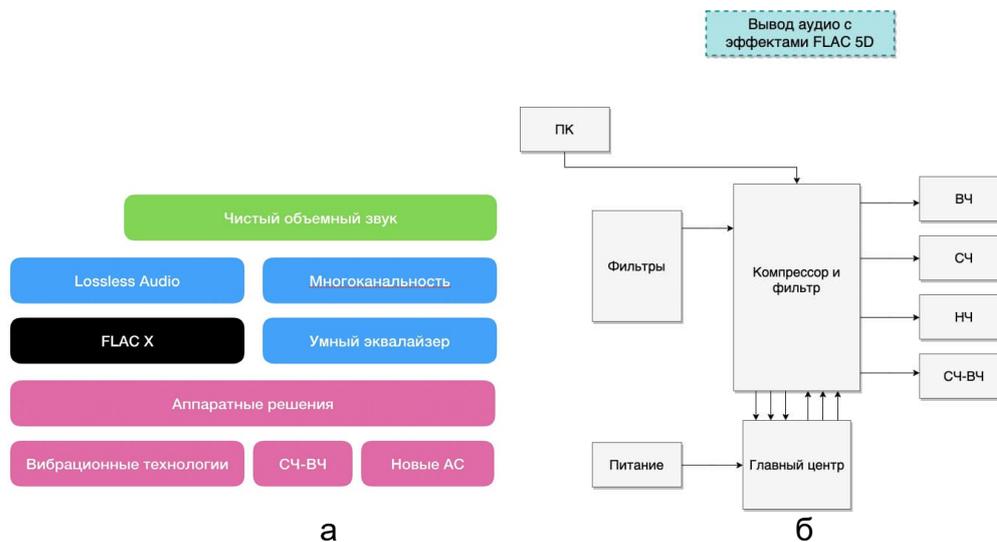


Рис. 2. (а) Стек технологий Flac5D (б) Алгоритм работы системы

Высоко-средне частотные (далее ВЧ-СЧ) модули технологии *Flac 5D* имеют узкую характеристику направленности за счет использования технологии с множеством небольших точечных излучателей для достижения согласованного звукового поля. Технология ВЧ-СЧ была создана для решения одной из главных проблем в крупномасштабных мероприятиях – эффективная разборчивость на большом расстоянии в области частот от 2 до 23 кГц. Технология ВЧ-СЧ состоит из 500 однодюймовых неодимовых преобразователей, каждый преобразователь является мощнейшим источником с широким динамическим диапазоном, при сложении которых образуется источник с точечной направленностью и минимальными задними и боковыми излучениями. Выходные мощности достигают до 300 кВт!

Низкочастотные модули (НЧ) и вибрационные технологии (ВТ) позволяют в совокупности с ВЧ-СЧ модулями вывести звук по технологии *Flac 5D* на новый уровень. ВТ будут способствовать подаче вибраций на частотах от 20 до 80 герц, что будет заменять нижний порог низкочастотных динамиков и создавать эффект присутствия. Данная технология намного мощнее существующей современной концертной техники, и один вибрационный модуль может заменить до 50 сабвуферов мощностью 1000 ватт. Модули на ВТ встраиваются в площадку, стены, пол, землю или же просто в корпус, т.д. В связке получается полноценная мощная система, которая с помощью установок, ПО и аппаратуры создаст всенаправленный, мощнейший чистый звук.

Таким образом, *Flac 5D* и ее расширение *Flac X* – это технология воспроизведения трехмерного звука. Тотальное окружение в промышленных масштабах создается за счет использования технологии *Flac 5D* и способно воспроизводить звук на максимальной мощности без искажений (“эффект наушников”) за счет специфики аппаратуры и ПО.

#### **Результаты эксперимента и заключение**

Были проведены теоретические испытания в программах EASE FOCUS (произведен расчет частот, звукового давления и дальность звука). На практических опытах была осуществлена ручная работа над *Flac 5D* (разделение и создание множества аудиоканалов) - с помощью многих выходов и различной техники звук из каждого канала попадал на обычный динамик. *Flac 5D* действительно работает и дает достойный звук. Дальнейшее развитие и совершенствование технологии поможет сделать звучание на больших пространствах совершенным.

Данная технология может использоваться везде, где нужен мощный поток чистого звука – на огромных мероприятиях или концертных полигонах, на открытых городских площадках. Установки *Flac 5D* помогут вникнуть в звук, позволят почувствовать и уловить малейшие детали, почувствовать звук, практически как в наушниках - абсолютно без искажений.

#### **Литература**

1. Muin F. A. et al. A review of lossless audio compression standards and algorithms //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2017. Т. 1883. №. 1. С. 020006.
2. Электронный ресурс: <https://xiph.org/flac/> - Free lossless Audio Codec, (дата обращения: 10.05.2021).
3. Huang H., Shu H., Yu R. Lossless audio compression in the new IEEE standard for advanced audio coding //2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2014. С. 6934-6938.
4. Rivero C., Mishra P. Lossless audio compression: A case study. – Technical Report 08-415, Department of computer and information Science and Engineering, University of Florida, Gainesville, FL32611, USA. 2008.
5. Электронный ресурс: <https://focus.afmg.eu/> - Easy Focus Software. (дата обращения: 10.05.2021).

УДК 004

## ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ РАБОТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ASP.NET ПРИ ПОМОЩИ АСИНХРОННЫХ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И КЭШИРОВАНИЯ

Чинь Куок Бао<sup>1</sup>, Широков И.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.п.н., доцент Государев И.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Производительность можно рассматривать как важный фактор успешного сайта или проекта. В данной работе описываются асинхронные методы программирования и распределенное кэширование для оптимизации скорости веб-приложений, построенных на ASP.NET.

**Ключевые слова:** веб-приложения asp.net, асинхронное программирование, распределенное кеширование.

В настоящее время наблюдается множество революций в цифровых технологиях, трансформирующих платформы приложений, включая дизайн веб-приложений ASP.NET. Традиционные и классические веб-технологии постепенно забываются. Однако ASP.NET всегда является оптимальным выбором, поэтому сегодня используется знаменитое «детище» Microsoft для разработки веб-сайтов. Благодаря многим преимуществам, ASP.NET применяется во многих областях, таких как интернет-шопинг, образование, путешествия, бизнес, здравоохранение. Таким образом, разработка ASP.NET становится перспективной тенденцией дизайна веб-сайтов.

С каждым новым выпуском ASP.NET становится более стабильной платформой, поэтому многие администраторы фирм предпочитают разрабатывать веб-приложения на ASP.NET. Фундамент ASP.NET представляет собой платформу, которая позволяет разработчикам веб-приложений расширять свои идеи. Дизайн веб-сайтов на основе платформы ASP.NET дает много преимуществ, таких как:

- хорошая совместимость со многими браузерами и устройствами;
- легкое изменение интерфейса, расширение сайта;
- возможность размещать большой по размеру контент на веб-сайте;
- высокая безопасность;
- высокая скорость загрузки страницы. На сегодняшний день является самой быстрой платформой.
- поддержка SEO, эффективная оптимизация SEO.
- легкая и простая установка.

С точки зрения скорости, платформа ASP.NET резко сокращает объем кода, необходимого для создания больших и сложных приложений. Еще одно преимущество ASP.NET состоит в том, что производительность повышается за счет своевременной компиляции, технологии памяти, интеллектуальных счетчиков и оптимизации данных. Microsoft гарантирует высокую надежность и безопасность за счет встроенной проверки подлинности Windows и настройки отдельных приложений. Исходный код защищен лицензией OSI, что добавляет к списку преимуществ ASP.NET.

Есть много способов оптимизировать производительность приложений ASP.NET, оптимизировать front-end, back-end, запросы к базе данных. В этой статье рассматриваются 2 метода внутренней оптимизации: использование асинхронных и буферизованных запросов.

ASP.NET – это часть технологии .NET, используемая для написания мощных клиент-серверных интернет приложений. Она позволяет создавать динамические страницы HTML. ASP.NET возникла в результате объединения более старой технологии ASP (активные серверные страницы) и .NET Framework. Она содержит множество готовых элементов управления, используя которые можно быстро создавать интерактивные образовательные web-сайты.

На таблице 1 показано сравнение asp.net с некоторыми другими известными языками.

Таблица 1. Средства объектно-ориентированного программирования [1]

Технологии	HTML	PHP	CF	PERL	ASP	JS	VBS	PYTHON	JSP
ООП	1	4	4	4	2	2	3	3	4
Поддержка базы данных	1	4	4	4	2	2	2	2	2
Портативность	1	1	1	1	2	2	1	2	1
Рейтинг надежности	*	*	**	**	**	**	**	**	**

\* – Очень надежный  
 \*\* – Надежный  
 ООП - средства различных технологий веб-разработки  
 Примечание: 1 - отлично, 2 - очень хорошо, 3 – хорошо, 4 – плохо

ASP.NET MVC – платформа, поддерживающая шаблон MVC для ASP.NET. MVC – это аббревиатура от Model-View-Controller, она делит шаблон приложения на три части - модель, контроллер и представление. На рисунке 1 представлено сравнение скорости использования шаблона MVC и обычного запроса к веб-форме.

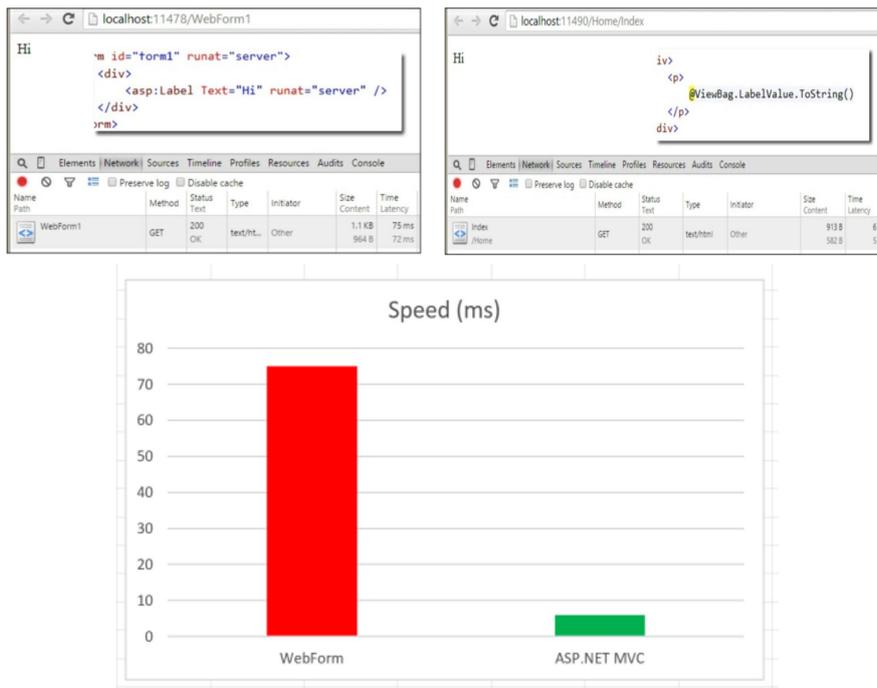


Рис. 1. Сравнение скорости запроса asp.net mvc и веб-формы

ASP.NET MVC загружает пустое представление за 7 миллисекунд на ПК, в случае с веб-формой загрузка происходит за 70 миллисекунд. Даже если абсолютное значение бесполезно, относительное значение является доказательством очень разного минимального значения тайм-аута для двух конструкций.

**Синхронное и асинхронное программирование**

Синхронный метод. Предположим, есть 3 задачи, расположенные последовательно: T1, T2 и T3; Время выполнения T1 составляет t1 секунд, при T2 - t2 секунды, T3 – t3 как показано на рисунке 2.

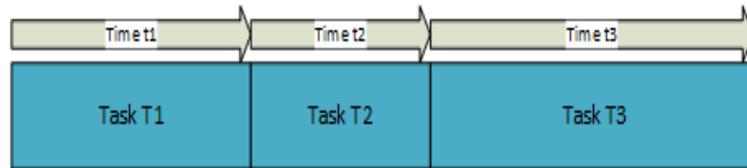


Рис. 2. Модель синхронного программирования

Когда задача T1 запущена, она должна завершиться и запустить T2 (после  $t_1$  с). После запуска T2 задача должна завершиться полностью и запустить T3 (после  $t_1 + t_2$  с). Общее время выполнения всех трех задач составляет  $t_1 + t_2 + t_3$  с.

Асинхронный метод. Если выполнять эти 3 задачи в асинхронном режиме, то каждая задача не ждет выполнения предыдущей задачи, чтобы начать выполнение как показано на рисунке 3.

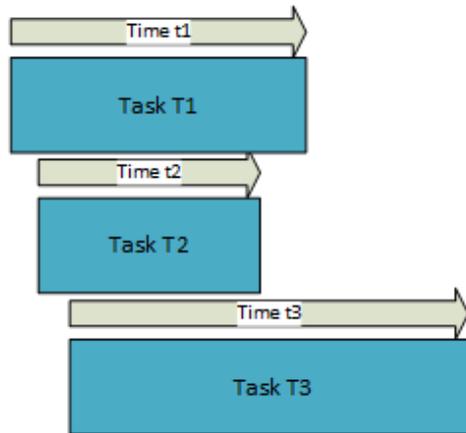


Рис. 3. Модель асинхронного программирования

Общее время выполнения третьей задачи больше не равно  $t_1 + t_2 + t_3$ , а лишь немного превышает максимальное время выполнения. Понятно, что у этой модели есть преимущество во времени выполнения.

Пример асинхронного выполнения задачи.

Для примера асинхронного программирования нами была выбрана ситуация «планирование вечеринки» (рассылка приглашений, покупка еды и уборка дома), как показано на рисунке 4.

```

1 reference
private static async Task PlanPartySequentially()
{
    Console.WriteLine("I'm planning a party!");
    var partyStatus = new PartyStatus();

    var timer = Stopwatch.StartNew();

    partyStatus.InvitesSent = await SendInvites();
    partyStatus.FoodCost = await OrderFood();
    partyStatus.IsHouseClean = await CleanHouse();

    Console.WriteLine($"Elapsed time: {timer.ElapsedMilliseconds}ms");
}
    
```

Рис. 4. Ситуация «Планирования вечеринки» в виде асинхронного метода

В приведенном выше коде мы видим, что у экземпляра PartyStatus есть три свойства, каждое из которых устанавливается на результат одной из операций подготовки к вечеринке. Если запустить этот код, то в результате можно увидеть, что прошедшее время составляет около 6000 мс. (приведено на рисунке 5).

```

4 references
public static async Task<int> SendInvites()
{
    await Task.Delay(2000);
    if (Program.ThrowExceptions) throw new Exception("");
    return 100;
}

4 references
public static async Task<decimal> OrderFood()
{
    await Task.Delay(2000);
    if (Program.ThrowExceptions) throw new Exception("");
    return 123.23m;
}

4 references
public static async Task<bool> CleanHouse()
{
    await Task.Delay(2000);
    if (Program.ThrowExceptions) throw new Exception("");
    return true;
}

1 reference
private static async Task PlanPartyConcurrently()
{
    Console.WriteLine("Now I'm planning one with helpers working concurrently!");
    var partyStatus = new PartyStatus();

    var timer = Stopwatch.StartNew();

    var sendInvites = SendInvites();
    var orderFood = OrderFood();
    var cleanHouse = CleanHouse();

    await Task.WhenAll(sendInvites, orderFood, cleanHouse);
    partyStatus.InvitesSent = await sendInvites;
    partyStatus.FoodCost = await orderFood;
    partyStatus.IsHouseClean = await cleanHouse;

    Console.WriteLine($"Elapsed time: {timer.ElapsedMilliseconds}ms");
}
    
```

Рис. 5. Пример использования конструкции Async-Await с указанием интервала исполнения

Чтобы выполнить эти задачи параллельно, но при этом назначить их результаты, нужно сделать два шага:

1. Назначить (await) методы локальным переменным.
2. Вызвать (с await) Task.WhenAll для локальных переменных.



Рис. 6. Сравнение скорости при использовании асинхронного программирования с использованием Await-Task

### Метод кэширования (Distributed cache)

ASP.NET Core начинает становиться популярным для разработки веб-приложений из-за более компактной и легкой архитектуры и кроссплатформенной поддержки. И многие из этих приложений ASP.NET Core имеют высокий трафик и работают в многосерверных развертываниях с балансировкой нагрузки. Фактически, очень часто можно увидеть 10-20 веб-серверов и несколько более крупных веб-сайтов.

Развертывание балансировки нагрузки на нескольких серверах делает приложение масштабируемым, поэтому можно добавлять больше серверов по мере увеличения транзакционной нагрузки. И это позволяет приложению ASP.NET Core легко обрабатывать очень большие транзакционные нагрузки. Однако по-прежнему существует «узкое» место в производительности, которое замедляет работу приложения ASP.NET Core.

«Узкое» место производительности ASP.NET Core находится в базах данных и хранилищах данных, которые не могут справиться с большой нагрузкой, поскольку невозможно создать обработку данных из базы данных на нескольких серверах. Ниже

приведены 2 типа хранилища данных, которые являются «узкими» местами производительности для приложений ASP.NET Core.

- Сервер базы данных (SQL Server);
- Сеансы ASP.NET Core.

Чтобы устранить эти «узкие» места производительности хранилища данных, лучше всего использовать распределенную буферизацию. Распределенное кэширование решает эту проблему, выступая в качестве центрального хранилища для кэширования. Это гарантирует, что ресурсы состояния, такие как пользовательский сеанс, являются «постоянными», что означает, что они передаются на тот же сервер, который обработал первый запрос для пользовательского сеанса.

Существует алгоритм, который позволяет реализовать эту стратегию (представлено на рисунке 7):

1. Определить, хранится ли элемент в кэше в настоящее время, используя правильный ключ кэша и область действия.
2. Если элемента в данный момент нет в кэше, прочесть элемент из хранилища данных.
3. Сохраните копию объекта в кэше.

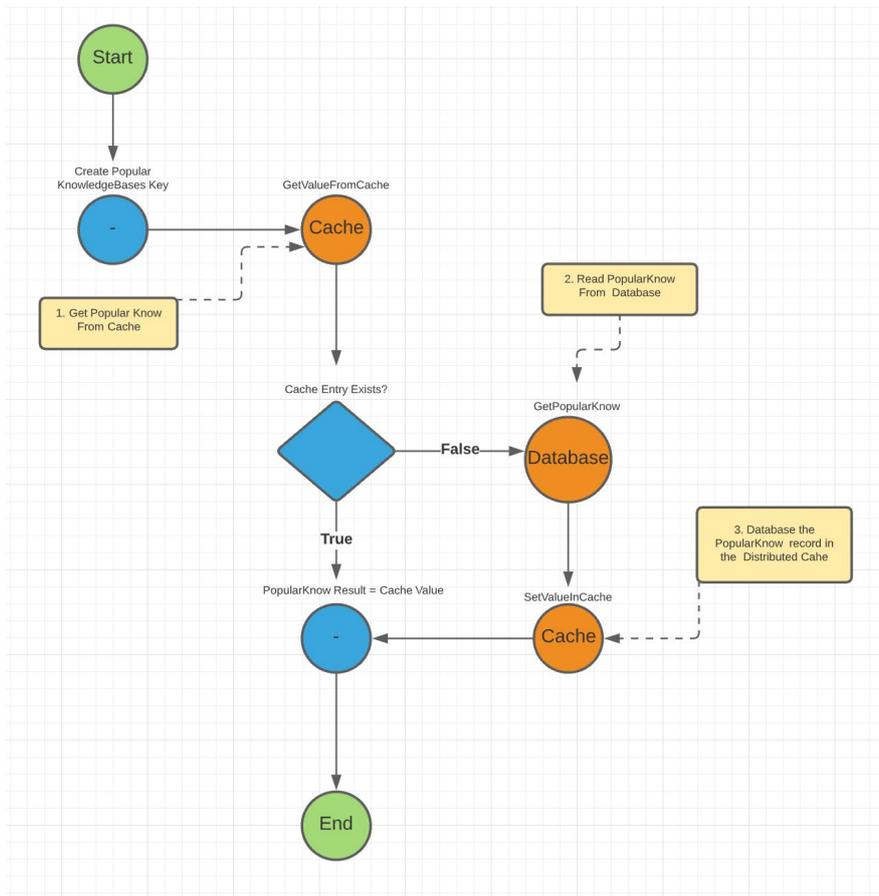


Рис. 7. Описание алгоритма работы модели, использующей распределенное кэширование

До появления ASP.NET Core более старые версии ASP.NET предоставляли автономный кэш ASP.NET, который не отвечал требованиям многосерверной среды. ASP.NET Core теперь представил интерфейс **IDistributedCache** как довольно простой стандартный API распределенного кэша, который позволяет программировать поверх него, а затем подключать плавно сторонний распределенный кэш.

Для примера нами было создано небольшое приложение для измерения скорости использования DistributedCache с приложением Postman. Мы используем приложение Postman

для измерения скорости получения запроса на сервере, чтобы получить 406 сообщений из базы данных. База данных приложения представлена на рисунке 8.

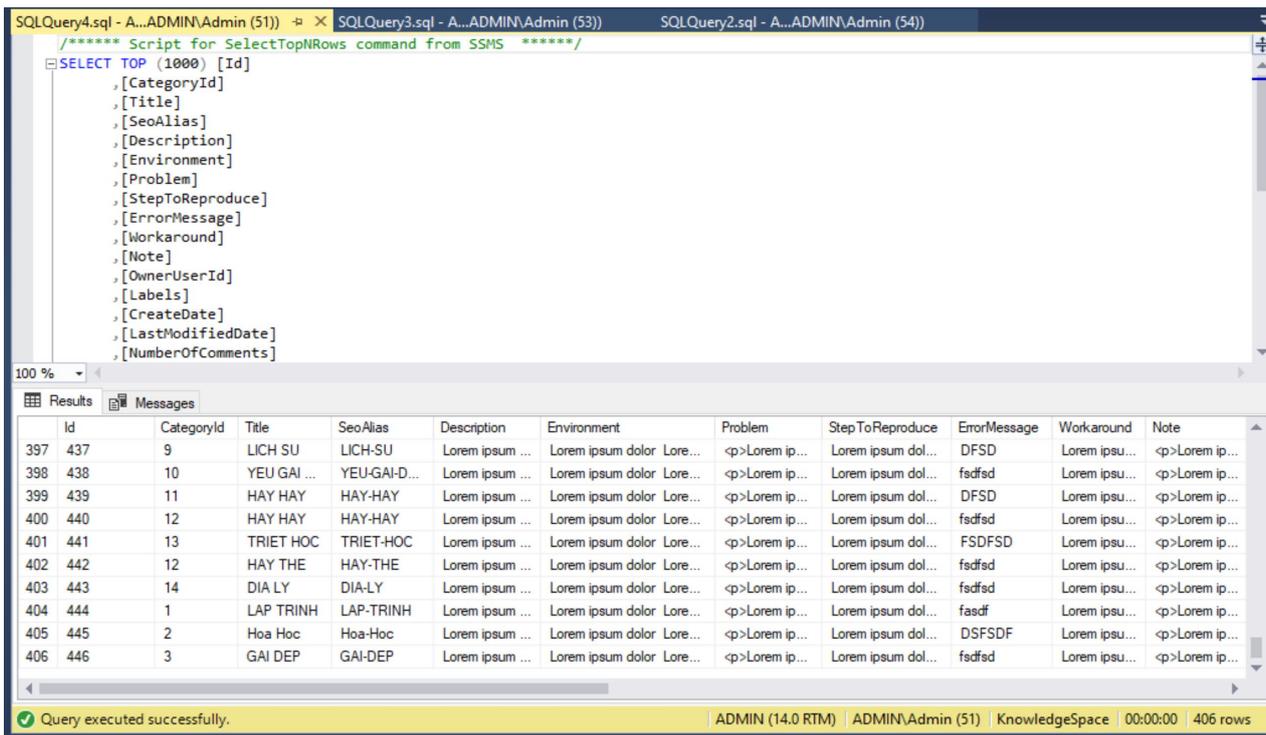


Рис. 8. База данных приложения Postman

Данные кэша хранятся в базе данных, поэтому в следующий раз, когда будет обращение к данным в пользовательском интерфейсе, он будет отображать данные напрямую, при этом нет необходимости запускать код запроса базы данных для доступа к данным.

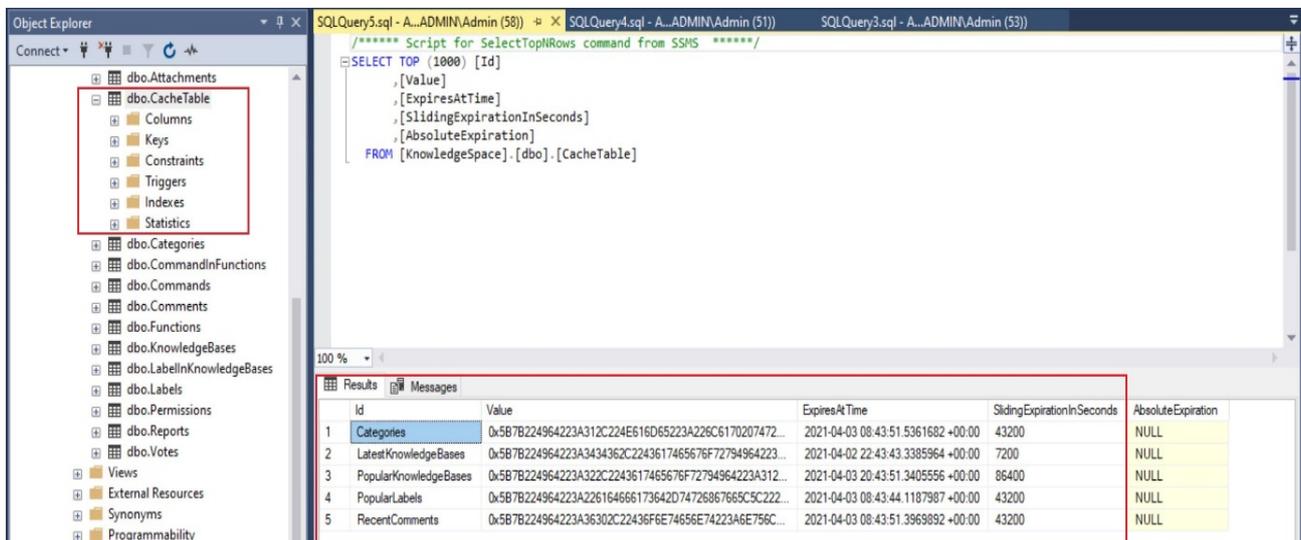


Рис. 9. Установка срока годности кэша

Когда нами было запущено приложение, без использования кэша потребовалось 314 мс, чтобы ответить на 406 сообщений в базе данных. При использовании кэша тот же объем данных был получен за 37мс. Быстродействие сайта увеличилось более чем в 10 раз по сравнению с тем, когда не используется распределенное кэширование.

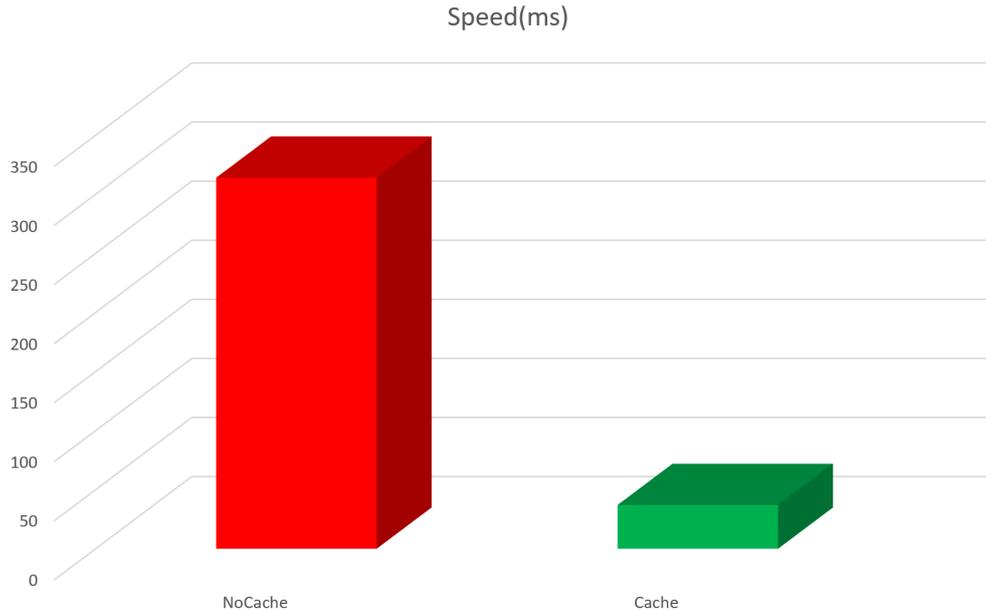
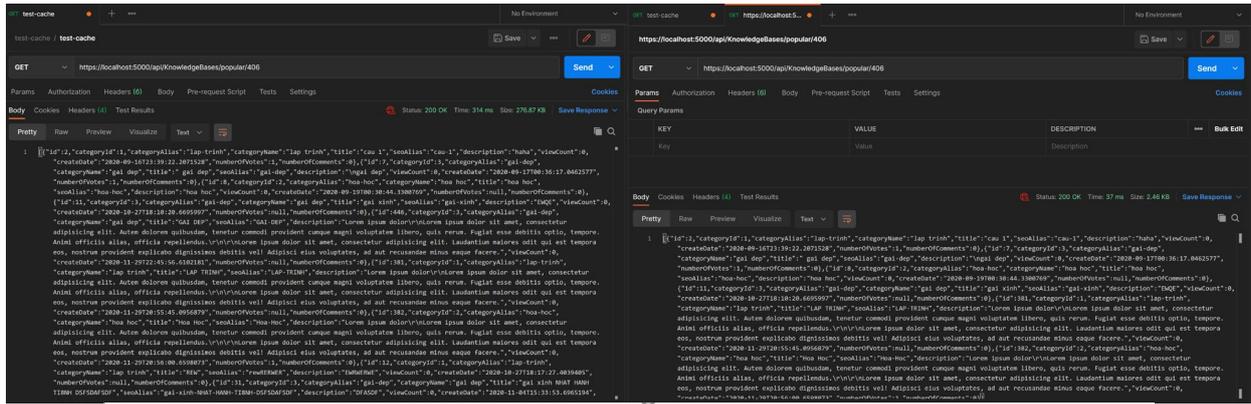


Рис. 10. Сравнение выходных данных, когда они не используются, и с использованием распределенного кэширования

### Литература

1. Amadin I.F , Nwelih E “An Empirical Comparison Of: html, php, coldfusion, perl, asp.net, javascript, vbscript, python and jsp”, Global Journal of Computer Science and Technology, 2010.

УДК 004.02

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ СОРТИРОВКА МАССИВА ПРОИЗВОЛЬНОЙ ДЛИНЫ

Чистяков В.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., профессор Платунов А.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы ВКР «Разработка и исследование аппаратных ускорителей на ПЛИС».*

В работе рассмотрен альтернативный способ программно-аппаратной сортировки массива на основе алгоритма быстрой сортировки.

**Ключевые слова:** алгоритмы, быстрая сортировка, аппаратное ускорение вычислений.

### Введение

Задача сортировки данных – классическая задача вычислительной техники. Способы решения данной задачи на процессорах общего назначения описаны еще в [1]. С момента выхода первого издания этой книги в 1990 году прошло более 30 лет, количество обрабатываемых вычислительными системами данных многократно возросло, а используемые алгоритмы сортировки практически не изменились, т.к. уже тогда они приблизились к максимальной теоретически возможной производительности. Единственная причина, почему классические алгоритмы сортировки данных справляются со своей задачей за удовлетворительное время – увеличение скорости работы ЦПУ. Подобный, экстенсивный, способ увеличения производительности алгоритмов в долгосрочной перспективе может привести к тому, что сортировка данных может стать узким местом в работе различных систем.

Одним из известных решений данной проблемы является перенос логики сортировки на специализированный аппаратный ускоритель. В [2] рассмотрены решения, позволяющие построить эффективный аппаратный ускоритель для сортировки данных. Важно отметить, что сам автор отмечает в своей статье: «Рассмотренные решения способны решать задачу сортировки только для массивов ограниченной длины». И в качестве решения предлагает использовать гибридный алгоритм на базе сортировки слиянием (merge-sort), состоящий из 3 этапов:

1. Разбить массив исходных данных на блоки.
2. Отсортировать каждый блок с использованием аппаратного ускорителя.
3. Произвести слияние отсортированных блоков с использованием CPU.

Недостаток данного подхода очевиден: с ростом размера сортируемых данных будет расти количество блоков. Увеличение количества блоков приведет к увеличению времени, которое требуется CPU для их слияния. В результате влияние аппаратного ускорителя на производительность алгоритма становится менее существенным.

Существует ряд исследований, которые пытаются решить данную проблему. В частности, в [3] предлагается использовать специализированный аппаратный ускоритель для слияния блоков. Однако это решение требует разработки дополнительного аппаратного блока, что повышает стоимость системы. В рамках исследования было предложено разработать альтернативный вариант сортировки с использованием одного специализированного аппаратного ускорителя.

### Предлагаемое решение

Использовать алгоритм сортировки слиянием в качестве основы для построения гибридного алгоритма является простым решением, однако процедура слияния массивов и их сортировки отличаются друг от друга слишком сильно и не могут быть реализованы с использованием одного аппаратного ускорителя. Поэтому было необходимо выбрать другой алгоритм сортировки в качестве основы для построения гибридного алгоритма.

В [1] приведены теоретические оценки производительности различных алгоритмов программной сортировки. Было выдвинуто предположение, что для достижения поставленной задачи используемый базовый алгоритм должен иметь теоретическую производительность в среднем не ниже, чем сортировка слиянием. Одним из таких алгоритмов является быстрая сортировка, которая и была выбрана в качестве основы для построения гибридного алгоритма.

Ключевой идеей алгоритма быстрой сортировки является разбиение массива данных на блоки относительно некоторого элемента, называемого опорным элементом. Был модернизирован аппаратный ускоритель, предложенный в [2]. Дополнительно к сортирующей сети были добавлены 2 аппаратных блока, вычисляющие количество элементов больше и меньше опорного. Зная эти 2 значения, можно однозначно соотнести каждый элемент в отсортированном блоке к одному из 3 классов: элементы меньше опорного, элементы равные опорному, элементы больше опорного.

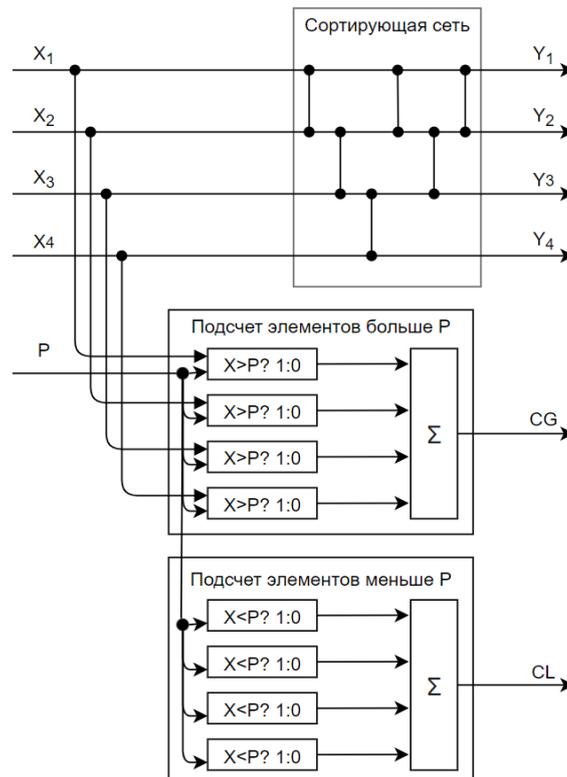


Рис. 1. Структурная схема разработанного аппаратного ускорителя

В результате разработанный аппаратный ускоритель все так же можно использовать для сортировки небольших массивов данных, размер которых не превышает количества входов сортирующей сети. Во всех остальных случаях предлагается следующий алгоритм работы:

1. Выбрать опорный элемент.
2. Разбить массив исходных данных на блоки.
3. Для каждого блока данных:
  - а. Отсортировать блок данных с использованием аппаратного ускорителя, классифицировать каждый элемент отсортированного массива.
  - б. Каждый элемент в отсортированном массиве записать в соответствующий ему буфер.
4. Отсортировать полученные собранные блоки (блок элементов меньше опорного, блок элементов больше опорного).

#### Исследовательский стенд

Для проверки корректности был взят готовый микроконтроллер SIGMA на базе архитектуры RISC-V ([4], [5]), в который был интегрирован разработанный аппаратный

ускоритель. В качестве платформы для отладки используется плата Nexys 4DDR, проектирование происходит в среде Xilinx Vivado 2019.2.

Связь микроконтроллера, реализованного на плате, и ПК осуществляется через COM- порт. Через специализированный отладочный модуль (входит в состав микроконтроллера SIGMA) ПК имеет прямой доступ к блоку памяти, размером 8000 байт. Дополнительно отладочный модуль позволяет автоматизировать загрузку программы в микроконтроллер.

Эксперимент производился по алгоритму, представленному на рисунке 2.

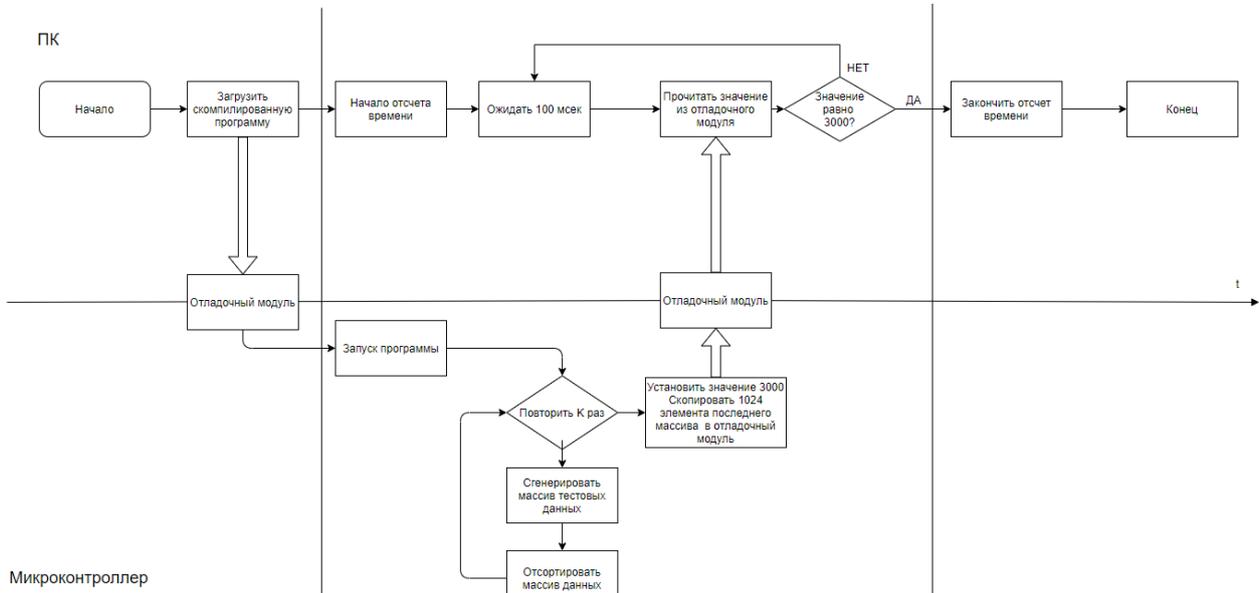


Рис. 2. Схема постановки эксперимента

В рамках эксперимента в качестве тестовых данных выбран один из самых часто используемых типов данных – целочисленный, знаковый 4 байтовый.

Для общения с ПК и отладочным модулем программа микроконтроллера использует ряд регистров, назначение которых описаны в следующей таблице 1.

Таблица 1. Адресная карта регистров специального назначения микроконтроллера

Аппаратный модуль	Адрес памяти	Наименование регистра	Назначение
Отладочный модуль	0x0000 6000	Массив данных	В целях отладки, в данные регистры могут быть записаны значения отсортированного массива. При измерении производительности запись в эти регистры отключается
	.....		
	0x0000 7000	Признак окончания работы	По окончании работы программа микроконтроллера устанавливает значение 3000 в данном регистре
	0x0000 7800		
0x0000 8000			
.....			
Аппаратный ускоритель	0x8000 0C00	Опорный элемент	Значение опорного элемента
	0x8000 0D00	Количество элементов меньше опорного	
	0x8000 0E00	Количество элементов больше опорного	Результаты работы аппаратного ускорителя
	0x9000 0000	Исходный массив данных	
	....		Отсортированный массив данных
	0xA000 0000		
...			

На стороне ПК был реализован скрипт на языке Python. В результате работы данный скрипт выводит в консоль суммарное время работы. Разделив полученное время работы на количество повторов исследуемого алгоритма, можно получить время, которое было затрачено на генерацию исследуемых данных и их сортировку. Очевидно, что более производительный алгоритм будет иметь меньшее значение данного параметра, при условии совпадения алгоритмов генерации исследуемых данных.

Для реализации исследуемых алгоритмов использовался язык C, компилятор riscv64-unknown-elf-gcc, входящий в состав riscv-gnu-toolchain ([6]).

Для исследования были реализованы 3 алгоритма:

1. Сортировка слиянием, без аппаратного ускорения.
2. Сортировка слиянием, с аппаратным ускорением.
3. Предложенный алгоритм, с аппаратным ускорением.

#### Тестовые данные. Результаты эксперимента

При проведении экспериментов ставились следующие цели:

1. Найти оптимальную стратегию выбора опорного элемента для разработанного алгоритма.
2. Сравнить производительность исследуемых алгоритмов сортировки на различных наборах данных и различном размере массивов входных данных.
3. Изучить производительность разработанного алгоритма при изменении характеристик аппаратного ускорителя.

Первая серия тестов сравнивает различные стратегии выбора опорного элемента: выбор первого элемента массива в качестве опорного, выбор последнего элемента массива в качестве опорного и выбор элемента из середины массива в качестве опорного. Результаты измерения производительности представлены в таблице 2.

Таблица 2. Зависимость времени сортировки от стратегии выбора опорного элемента

Размер массива(элементов)		32	64	128	256	512	1024	2048	3072
Время на сортировку (мсек.)	Середина	0,066	0,124	0,318	0,645	1,323	2,617	5,195	7,750
	Первый	0,073	0,158	0,325	0,666	1,322	2,616	5,197	7,786
	Последний	0,089	0,146	0,418	0,813	3,087	3,087	6,167	9,171

Как видно из результатов эксперимента, оптимальной стратегией выбора опорного элемента является выбор элемента из середины массива в качестве опорного. Это связано с тем, что в процессе работы алгоритма элементы внутри него становятся частично упорядочены и вероятность того, что минимальный (максимальный) элемент будет находиться в начале (конце) массива растет. Во всех последующих экспериментах использовалась стратегия выбора элемента из середины массива в качестве опорного.

Для сравнения производительности различных алгоритмов сортировки использовались множество наборов данных. Наибольший интерес представляют 2 граничных случая.

В первом случае каждый элемент массива уникален, элементы следуют в произвольном порядке.

Таблица 3. Производительность алгоритмов, все элементы массива уникальны, порядок следования произвольный

Размер массива(элементов)		32	64	128	256	512	1024	2048	3072
Время на сортировку (мсек.)	Слиянием	0,076	0,172	0,416	0,832	1,956	3,912	5,633	34,523
	Слиянием (с аппаратным ускорителем)	0,054	0,127	0,326	0,648	1,594	3,193	4,688	32,067
	Быстрая (с аппаратным ускорителем)	0,075	0,171	0,431	0,868	2,168	4,342	6,435	39,124

Во втором случае количество уникальных элементов в массиве ограничено, в массиве встречаются повторяющиеся значения.

Таблица 4. Производительность алгоритмов, все элементы отличаются

Размер массива(элементов)		32	64	128	256	512	1024	2048	3072
Время на сортировку (мсек.)	Слиянием	0,065	0,152	0,346	0,769	1,703	3,742	8,131	13,556
	Слиянием (с аппаратным ускорителем)	0,041	0,103	0,247	0,578	1,313	2,965	6,558	11,068
	Быстрая (с аппаратным ускорителем)	0,066	0,123	0,320	0,650	1,321	2,613	5,172	7,809

Как можно заметить, предложенный алгоритм все еще демонстрирует на небольшом массиве низкую производительность, но позволяет ускорить вычисления почти в 2 раза массиве, содержащем 3072 элемента.

Причина данного поведения заключается в том, что на каждой рекурсивной итерации массив данных разбивается на 3 части. При этом часть, которая содержит элементы, равные опорному уже занимает правильное положение в целевом массиве и в дальнейшей сортировке не участвует.

Последняя серия экспериментов была нацелена на исследование зависимости производительности разработанного аппаратного ускорителя от количества обрабатываемых за один запуск аппаратным ускорителем элементов.

Таблица 5. Производительность предложенного алгоритма при различном количестве входов аппаратного ускорителя

Время работы (мсек.)		Количество обрабатываемых элементов аппаратным ускорителем (шт.)				
Количество элементов массива (шт.)		4	5	6	7	8
	1024	2,543	2,441	2,322	2,322	2,628
	2048	7,596	7,844	7,364	6,299	7,756

Как можно видеть из данных результатов, с ростом количества обрабатываемых элементов производительность алгоритма не всегда возрастает, что особенно ярко проявляется на 8-элементном аппаратном ускорителе. Причина этого в том, что для сортировки 8 элементов аппаратному ускорителю требуются дополнительные такты процессора, что приводит к дополнительному времени ожидания результата, которое не компенсируется полученным выигрышем от добавления 1 дополнительного входа.

#### Заключение

В результате данной серии экспериментов разработанный алгоритм показал положительные результаты на ряде тестовых данных, в отдельных случаях выигрыш по производительности составляет почти 2 раза. В худших случаях алгоритм демонстрировал результаты, сопоставимые с другими рассмотренными алгоритмами. Это доказывает, что стратегия разделения элементов массива на классы с использованием аппаратных ускорителей является эффективным способом построения гибридных алгоритмов сортировки.

#### Литература

1. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L. Introduction to Algorithms , Second Edition. , 2001. 1184 с.
2. Mueller R., Teubner J., Alonso G. Sorting networks on FPGAs // VLDB Journal. 2012. Т. 21. № 1. Pp. 1– 23.
3. Papaphilippou P., Brooks C., Luk W. An Adaptable High-Throughput FPGA Merge Sorter for Accelerating Database Analytics // Proceedings - 30th International Conference on Field-

Programmable Logic and Applications, FPL 2020. 2020. Pp .65– 72.

4. Антонов А. “ActiveCore”, 2019. [В интернете]. Доступно: <https://github.com/AntonovAlexander/activecore>.
5. Антонов А., Кустарев П., Быковский С. MLIP Cores: Designing Hardware Generators with Programmable Microarchitectural Mechanisms., 2020. Pp. 1– 5.
6. RISC-V GNU Compiler Toolchain, 2021. [В интернете]. Доступно: <https://github.com/riscv/riscv-gnu-toolchain>.

УДК 004

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦВЗ В ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Чумаченко Р.В.<sup>1</sup>, Калабишка М.М.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Волошина Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».*

В настоящее время направление применения нейронных сетей в информационных системах различного назначения является интенсивно растущим и активно развивающимся. Так нейронные сети могут применяться как инструмент для проведения стеганоанализа для обнаружения широкого спектра стеганографических вставок, также обнаружения факта наличия цифрового водяного знака (ЦВЗ). В проведенном исследовании выполнен сравнительный анализ эффективности нейронных сетей в качестве инструмента стеганографического анализа. Подробно рассмотрены достоинства и недостатки существующих решений, а также выявлены общие параметры для получения более полного понятия оптимальной нейронной сети для стеганоанализа, существующей на сегодняшний день.

**Ключевые слова:** стеганография, нейронные сети, стеганоанализ, цифровые водяные знаки, эффективность.

### Введение

Глубокое обучение – относительно эффективный инструмент для стеганоанализа. Превосходство методов стеганализа на основе сверточных нейронных сетей было доказано неоднократно. Проблема в том, что при изменении размера изображения, содержания или съемочного оборудования обложки изображений могут выглядеть совсем иначе. Одна из основных задач стеганализа – разработать надежные контрольные системы, чтобы преодолеть эти изменения. За последнее время найдено несколько решений по применению нейросетевых технологий в области стеганоанализа, однако их эффективность для широкого спектра современных методов встраивания информации на данный момент полностью не проанализирована. Таким образом, задача анализа эффективности существующих нейронных систем, применяемых для обнаружения стеганографических вставок в изображениях, для широкого спектра методов встраивания является актуальной. Решению данной задачи и посвящено представленное исследование, показаны сравнительные результаты эффективности для нескольких классов методов встраивания.

Целью данной статьи является определение эффективности применения нейронных сетей для стеганоанализа изображения на наличие факта обнаружения ЦВЗ.

### **Виды сетей, применимые к решению задач стеганоанализа для обнаружения факта встраивания цифровых водяных знаков**

Технология водяных знаков, которая предоставляет незаметное встраивание информации в оригинальные данные, широко внедряется для защиты авторских прав и идентификации владельца, а также в отслеживании мультимедиа продуктов с целью обнаружения и расследования фактов нелегального распространения контента.

Основными требованиями к водяным знакам являются надежность, устойчивость к искажениям, незаметность, робастность. Выполнение свойства необнаруживаемости при разработке стеганографических систем приводит к возникновению проблемы обнаружения стеганографических вставок системами защиты информации. Для решения этой проблемы разрабатываются методы стеганоанализа, которые способны обнаруживать факт стеганографического встраивания для широкого спектра методов встраивания, включая встраивание цифровых водяных знаков. Развитие нейронных сетей набирает большой темп развития и популярность в сфере стеганоанализа. За последние 10 лет произошла эволюция архитектур нейронной сети для задач классификации и категоризации изображений. В

настоящее время используются несколько видов глубоких нейронных сетей в стеганографии: сверточные нейронные сети (convolutional neural network - CNN), остаточные нейронные сети (residual neural network) и сиамские нейронные сети (Siamese neural network).

С 2012 года были впервые применены нейронные сети в виде инструмента для стеганоанализа [5]. Тогда первой сверточной сетью была разработана модель AlexNet, которая дала самый высокий результат по точности в 84,7%. Одним из достоинств сети – это возможность проведения обучения сети на нескольких графических процессах, что дает возможность взять большие наборы данных для обучения. Немного позднее была создана следующая архитектура сети для анализа и классификации изображений VGGnet, которая за счет уменьшения параметров в сверточных слоях достигала поставленную цель – сокращение времени на обучение. На сегодняшний день существует несколько разновидностей, которые отличаются количеством внутренних слоев. В 2014 году GoogleNet [1] была разработана Кристианом Жегеди из компании Google с целью снизить объем вычислений. Эта сеть выполняет достаточной точно функции категоризации содержимого изображений, а также кадров из видео. Особенностью этой сети является объединение сверток разных размеров в один модуль. И, наконец, одной из актуальных на сегодняшний день является ResNet (residual network) – остаточная сеть. Идея, послужившая разработке этой модели сети — это введение остаточных блоков (residual blocks), которые содержат связь (identity shortcut connection), обходящую один или большее количество слоев. До появления ResNet вышеописанные архитектуры сетей показывали последовательность сверточных слоев в архитектуре, причем каждый сверточный фильтр обучался создавать наиболее характерные карты признаков путем приращения к картам признаков предыдущего слоя с целью повышения точности. Благодаря своим отличительным характеристикам ResNet позволяет относительно легко увеличить точность благодаря увеличению глубины, чего с другими сетями добиться сложнее.

В 2018 на основе ResNet разрабатывается архитектура нейронной сети, которая изначально учитывала особенности стеганоанализа, отчего и получила свое название Steganoanalysis residual network (SRNet). Как было сказано выше, быстрые соединения помогают распространять градиенты на верхние уровни, которые труднее всего обучать из-за явления исчезающего градиента, чаще отрицательно влияющие на сходимость и производительность глубоких архитектур. Они также поощряют повторное использование функций в процессе обучения. Предложенная модель [1] состоит из 4 модулей: первый отвечает за извлечение лишних шумов, второй – уменьшает размерность карт признаков, третий модуль – это полносвязный слой, которые отвечает за объединение остаточных слоев и четвертый – классификатор. Заострим внимание на архитектуре и процессе функционирования данной сети.

В экспериментах статьи [1] все сверточные слои используют ядра с фиксированным размером  $3 \times 3$  и нелинейные функции активации (ReLU). Передняя часть SRNet содержит семь остаточных слоев, которые используют необъединенные карты признаков на входе, чтобы позволить сети узнать соответствующие «остатки шума» для различных типов изменений встраивания как в пространственной области, так и в области JPEG. Объединение в виде усреднения карт, размером  $3 \times 3$  с шагом 2 применяется к выходным данным слоев 8–11. В 12 слое 512 карт признаков размером  $16 \times 16$  сокращаются до 512-мерного вектора признаков путем вычисления средних значений каждой карты признаков  $16 \times 16$ . Этот 512-мерный выходной сигнал попадает в классифицирующую часть сети. Получаем, что первые два слоя типа 1 с фильтрами  $3 \times 3$  работали для нас лучше [1], чем один слой с фильтрами  $5 \times 5$ . Их цель состоит в том, чтобы начать с большого количества ядер (64), а затем уменьшить количество карт функций до 16 перед разделенными слоями для экономии памяти.

В описанном эксперименте [1] обучающими датасетами (набор изображений) служили BOSSbase и BOWS2, на основе которых были созданы стегоконтейнеры с помощью следующих алгоритмов встраивания: WOW (Wavelet Obtained Weights) [5] – алгоритм, основанный на поиск шумных и текстурированных областей изображения для встраивания секретного сообщения, HILL – шифр Хилла, смысл которого в полиграфической замене,

основанный на линейной алгебре [6], и S-UNIWARD [5]-стеганографический алгоритм, основанный на наработках HUGO и WOW, использующий наиболее зашумленные места в изображении для улучшения скрытности алгоритма [5]. Были протестированы два типа обучения - путем заполнения сети, обученной для полезной нагрузки, и путем обучения прогрессивным способом, который, возможно, лучше всего описывается символически. Чтобы оценить способность обнаружения несовпадающих стего, что зачастую встречается в практике, авторы статьи включают результаты исследования, в котором SRNet была обучена на одном алгоритме встраивания и протестирована на другом одновременно. В итоге проведенных экспериментов сделан вывод, что данная сеть выдает лучший результат среди своих конкурентов в скорости обучения и процентном соотношении выдаваемых ошибок. Это значит, что SRNet можно обучать сквозным образом из случайно инициализированных сверточных ядер и таким же образом независимо от области внедрения.

В 2019 году предлагается инструмент сокращения слоев (channel-pruning-assisted) CALPA-NET [2], который способствовал поиску глубокой остаточной сетевой архитектуры для сокращения сетевой структуры нейронной сети для стеганоанализа. Исходя из существующих глубоких стеганалитических моделей с большим количеством параметров, CALPA-NET использует гибридный критерий для адаптивного определения количества каналов каждого задействованного сверточного слоя. Обратите внимание, что в данной статье [2] CALPA-NET используется только для поиска эффективных сетевых архитектур, который проходит по типичному трехэтапному конвейеру: обучение, сокращение, а затем точная настройка для сохранения набора унаследованных усвоенных важных весов, и целью статьи [2] является дальнейшая разработка алгоритма для быстрой адаптивной структурной перестройки нейронной сети (стеганализатора), чтобы они могли самостоятельно адаптироваться к целям без введения избыточных параметров.

В [11] были проведены обширные эксперименты с набором данных BOSSBase, BOWS2, ALASKA и ImageNet, результаты которых показывают, что структура модели, созданная с помощью CALPA-NET, может обеспечить сравнительную производительность с менее чем двумя процентами параметров и примерно одной третью FLOP по сравнению с исходной стеганалитической моделью. Новая модель обладает еще большей адаптивностью, переносимостью и масштабируемостью. Во время расчета количество параметров и количество FLOP для каждого сверточного слоя определяется следующим образом: |параметры| = |входные каналы| × |размер ядра| × |выходные каналы|; |FLOPs| = |размер выходного канала| × |параметры|, где |•| обозначает номер соответствующей переменной.

В Табл. III [2] есть сравнение эффективности обнаружения CALPA-SRNet и исходной SRNet, обученной на одном методе встраивания и протестированной на другом методе встраивания. Для проведения справедливого сравнения была использована следующая оценка эффективности, частота ошибок:

$$P_E = P_{FA} \frac{1}{2} (P_{FA} + P_{MD}),$$

где  $P_{FA}$  и  $P_{MD}$  частота ложных срабатываний и частота обнаружения промахов соответственно [1].

Из источника (Табл. III [2]) ясно видно, когда полезная нагрузка целей одинакова, CALPA-SRNet достигает аналогичной и даже лучшей переносимости по сравнению с исходной SRNet. Сравнивая с полученными данными экспериментов (рисунок 7 из статьи [2]), мы видим, что на наборе данных ALASKA точность проверки CALPA-SRNet, обученная с нуля, очевидно выше, чем у сокращенной SRNet с традиционным конвейером «обучение-обрезка-точная настройка». Для полноты данных о сравнении также сообщается [2] о точности тестирования трех моделей с наилучшей точностью проверки - CALPA-SRNet: 78,73%; обрезанная SRNet с конвейером «обучение-обрезка-точная настройка»: 77,53%; исходный SRNet: 78,42%. Все эти факторы уже показывают, что эффективность CalpaSRNet выше ее предшественницы.

Также одной из актуальных структур нейронных сетей является сиамская нейронная сеть (Siamese Neural Network), архитектура которой состоит из двух идентичных подсетей, то есть в случае стеганоанализа две подобласти входного изображения по отдельности входят в две параллельные подсети. Подсети имеют общие структуры, параметры и веса, где каждая подсеть состоит из двух этапов: предварительной обработки и извлечения признаков. В начале каждой подсети фаза предварительной обработки используется для получения остаточных шумов изображения, которые связаны со стеганографическим сигналом. Затем фаза выделения признаков используется для извлечения вектора признаков каждого остаточного шума подобласти. На втором этапе векторы признаков двух подсетей изучаются под управлением двух контрольных сигналов на этапе объединения / классификации. Первый – это сигнал классификации, который классифицирует слияние векторов признаков двух подсетей с вероятностными значениями между стего и обложкой (это достигается с помощью двух классового классификатора, состоящего из полностью связанного слоя, завершающегося слоем Softmax с кросс-энтропийной потерей). Второй - сигнал подобия, который побуждает векторы признаков, извлеченные из различных подобластей изображения обложки, становиться похожими (это достигается за счет контрастных потерь [4], основанных на евклидовом расстоянии). Наконец, выходы двух подсетей объединяются для извлечения взаимосвязей, позволяющих отличать стего от обложек. На базе такой структуры существует инструмент для стеганоанализа – SiaSteNet, на основании исследования показателей которой получаются следующие выводы: из результатов по точности обнаружения современного метода (SRNet) [1] и метода SiaStegNet показаны в (Таблице III [3]) следует отметить, что производительность SiaStegNet, у которой меньше параметров, сопоставима с производительностью SRNet. Например, точность предлагаемого SiaStegNet на 0,33% ниже при обнаружении встроенных данных с помощью J-UNIWARD [16], чем точность той же сети с использованием SRNet, а точность SiaStegNet для алгоритма внедрения HILL выше на 0,40%, чем у той же сети с использованием SRNet. Эти два процента точности обнаружения доказывают, что SiaStegNet хорошо работает при стеганоанализе изображений фиксированного размера. Цанг и Фридрих, авторы статьи [3], предлагают новаторское решение, позволяющее осуществлять стеганоанализ изображений произвольного размера, обеспечивая при этом конкурентоспособную производительность (SID - Size-Independent Detector). Этот детектор сначала обучается на изображениях фиксированного размера 256x256, а затем передняя часть сети фиксируется, и два полносвязных слоя переобучаются на статистических моментах, извлеченных из случайных обрезков нескольких случайных обучающих изображений разных размеров. Он использует взаимосвязь между подобластями изображения, чтобы различать, является ли изображение стего. То есть после шага фиксирования количество статистических моментов карты признаков (среднее, минимальное, максимальное и дисперсия), заменяющее окончательные карты характеристик, извлекается и подается в окончательный классификатор, который состоит из полностью связанных слоев и наконец, его полносвязные слои переобучаются на изображениях произвольного размера.

В целях обучения и оценки предлагаемой модели, а также для создания обучающего набора данных используется четыре метода стеганографического встраивания изображения изображений: WOW, S-UNIWARD, HILL. Изображения обложек были взяты из двух баз данных: BOSSbase и ALASKA.

### **Сравнительный анализ эффективности применения нейронных сетей в стеганоанализе**

Для решения задачи определения оптимальной нейронной сети для обнаружения ЦВЗ с помощью стеганографических методов анализа изображений, мы проведем сравнительный анализ существующих решений, которые рассмотрели ранее. Для сравнения были выбраны параметры, показывающие эффективность работы нейронной сети как инструмента обнаружения: точность обнаружения, ошибка обнаружения, виды стеганографических алгоритмов встраивания в изображения и базы данных обучения данных сетей. Отметим, что за ошибку обнаружения был взят общий параметр из экспериментов [1] и [3] с полезной

нагрузкой фиксированного значения 0.4 bpnzAC/bpp на пиксель. Эффективность обнаружения измерялась с полной вероятностью ошибки PE, описанный выше. Приведенные датасеты имеются в открытом доступе в сети интернет. Стоит заметить, что приведенные данные CalpaSRNet [2] основаны на обученной сети лишь на 1.97% параметров от исходной сети SRNet, что означает низкий результат в частоте ошибок.

В таблице предоставлен сравнительный анализ вышеописанных нейронных сетей.

Таблица. Сравнительный анализ эффективности нейронных сетей в стеганоанализе

Название	SRNet	CalpaSRNet	SiaStegNet
Точность обнаружения в %	80.67% в среднем	<b>91.78%</b> в среднем	79.41% в среднем
Количество параметров	4,7М	1,97% от параметров SRNet	0,7М
Используемые датасеты	BOSSbase, BOWS2	ALASKA, ImageNet, BOSSbase, BOWS2	BOSSbase, ALASKA
Ошибка обнаружения в соответствующем порядке: S-UNIWARD HILL WOW	0.1023 0.1414 0.893	10.63%* 14.63%*	<b>0.0633%</b>
Алгоритмы встраивания изображения	S-UNIWARD, HILL	S-UNIWARD, J-UNIWARD, HILL	WOW, S-UNIWARD, HILL

Полученные данные сравнительного анализа показывают, что CalpaSRNet и SiaStegNet – два оптимальных решения в изучаемой сфере. Эти две архитектуры дают высокие результаты в экспериментах на обнаружение самого факта наличия скрытых данных в изображениях при разных способах обучения и тестирования, чего не было достигнуто ранее. Сеть Calpa, обученная на малой доле параметров от исходной SRNet, превосходит результаты тестирования самой SRNet и может достичь сравнительной производительности обнаружения всего за несколько процентов от размера той же исходной модели и небольшую долю вычислительных затрат. В свою очередь, SiaStegNet впервые представлена как инструмент стеганоанализа и недостаточно изучена, хотя имеет потенциал для дальнейших исследований и экспериментов.

Современные исследования применения нейронных сетей в стеганоанализе базируются лишь на нескольких алгоритмах встраивания, которые не охватывают весь обзор существующих стеганографических методов. Поэтому вопрос об анализе изображений с более сложными и стойкими к стеганоанализу алгоритмами, таких как LSB, MLSB и F5, является не изученным и задает направление к будущим исследованиям.

## Литература

1. M. Boroumand, M. Chen and J. Fridrich, "Deep Residual Network for Steganalysis of Digital Images," in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 14, no. 5, pp. 1181-1193, May 2019, doi: 10.1109/TIFS.2018.2871749.
2. S. Tan, W. Wu, Z. Shao, Q. Li, B. Li and J. Huang, "CALPA-NET: Channel-Pruning-Assisted Deep Residual Network for Steganalysis of Digital Images," in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 16, pp. 131-146, 2021, doi: 10.1109/TIFS.2020.3005304.
3. W. You, H. Zhang and X. Zhao, "A Siamese CNN for Image Steganalysis," in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 16, pp. 291-306, 2021, doi: 10.1109/TIFS.2020.3013204.
4. R. Hadsell, S. Chopra, and Y. LeCun, "Dimensionality reduction by learning an invariant

mapping,” in Proc. Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), vol. 2, Jun. 2006, pp. 1735–1742..

5. Ставров, Е. А. Автоматизированная система анализа изображений на предмет скрытой информации: выпускная квалификационная работа / Е.А. Ставров, науч. рук. Е.В. Бурданова. - Белгород, 2017. - 83 с. - 02.04.01 Математика и компьютерные науки. Режим доступа: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/32537> (Дата обращения: 28.04.2021).
6. Шифр Хилла [Электронный ресурс] // Википедия — свободная энциклопедия. 2019. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Шифр\\_Хилла](https://ru.wikipedia.org/wiki/Шифр_Хилла) (Дата обращения: 10.05.2021).

УДК 681.5.017

## ANALYSIS OF DYNAMIC MODEL FOR SERIAL MANIPULATORS

Ali Shakkouf<sup>1</sup>, Ali Souliman<sup>1</sup>Scientific supervisor - candidate of technical sciences, Vladislav S.G.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

One of the main steps to control robots is to study the dynamical system of that robot and to analysis it. Mathematical modifications on the procedure of obtaining the dynamic model of serial robots are presented in this paper. Those modifications allow to write the dynamic model in regression form with the minimal size for the vector of the unknown parameters. Vector of the unknown parameters will be later estimated for further purposes like senseless control. It was shown that the minimal size of the vector is  $10n$ , where  $n$  is the number of robot links. The developed approach was used to obtain the dynamic model of the manipulator UR10.

**Keywords:** dynamic model of manipulators, regressor, kinetic energy, ur10, senseless control, dynamic parameters estimation.

More and more robotic applications involve contact with at least partially unknown environments. As a consequence, they require control approaches that go beyond the traditional position control. In particular, information about contact forces and torques has to be taken into account. However, integrating additional sensing equipment to obtain the required force/torque information is often technically challenging and expensive. Cartesian contact force and torque estimation allows obtaining force/torque information solely from available sensors. So, it is very important to develop a new key technology (mathematical approach) enabling force controlled robotic applications such as assembly, grinding, and deburring without the need for expensive additional sensing.

To realize force senseless control, the dynamic parameters need to be estimated. To this end, it is essential to convert the canonical equation of dynamic system to regressor model, where the matrix of unknown variables represents a combination of links masses, lengths, center of masses locations and tensor inertia. The more accurate the estimation of the dynamic parameters, the more accurate the estimation of external forces is.

In [1], authors provide an example of writing the dynamic model of two link robot in regression form. But they do not focus on the idea of estimating the dynamic parameters. The approach in [1] leads to some additional terms in the vector of dynamic parameters, which will lead to complexity in the regressor matrix analyze and study. Moreover, their approach is not general. So, it is difficult to program the approach they consider.

In [3], author suggests an idea of writing the kinetic energy in a new form. The main idea is to write the speed of center of math of one link as a summation of two parts; one is the speed of the connection point with the previous link, and the other one is the speed of Center of Mass with respect to the first point. The full mathematical procedure is not provided in [3], and the final result differs from the one developed in this paper. Moreover, there is no information about which coordinate system the vectors are represented in.

This article is organized in the following manner; Part A: provides some preliminaries and notations in cross product, skew matrix and serial robots. Part B: provides the main idea proposed by the authors. Part C: discusses the obtained result. Finally, Part D provide a conclusion and a plan for future work.

Part A, preliminaries and notations:

The symbol  $\times$  refers to cross product.

The symbol  $S(v)$  refers to skew symmetric matrix of  $v$ .

The symbol  $(\dots)^T$  refers to transpose of what is inside the parenthesis.

Consider a vector  $v$  of size  $1 \times 3$ , then:

$$S(v)^T = -S(v)$$

Consider three vectors  $a, b, c$  in 3D space, then we have:

$$a \cdot (b \times c) = b \cdot (c \times a) = c \cdot (a \times b).$$

$$a^T \cdot (b \times c) = b^T \cdot (c \times a) = c^T \cdot (a \times b).$$

Consider two vectors  $a, b$  in 3D space, then we have:

$$a \times b = -b \times a.$$

Consider two vectors  $a, b$  in 3D space, then we have:

$$a \times b = S(a) \cdot b.$$

Consider a real scalar variable or number  $a$ , then:

$$a = (a)^T.$$

Consider a link  $i$  in a serial robot, then we can enumerate the dynamic parameters of this link and its speeds as:

Inertia tensor parameters:

$$I_{ixx}, I_{iyy}, I_{izz}, I_{ixy}, I_{ixz}, I_{iyz}.$$

Center of mass coordinates:

$$r_{ci,x}, r_{ci,y}, r_{ci,z}.$$

Link mass:  $m_i$ .

${}^i v_{ci}$  is the linear speed of center of mass of link  $i$  with respect to frame  $i$ .

$\omega_i$  is the angular velocity of link  $i$ .

$I_{ci}$  is the inertia matrix obtained around the frame associated with center of mass.

$I_i$  is the inertia matrix obtained around a frame at the end of the link.

Part B, the proposed approach:

The dynamic model of a serial manipulator (without considering the friction) could be obtained from Lagrange equation:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau.$$

$$L = E - P.$$

Where  $E$  is the kinetic energy,  $P$  is the potential energy. The kinetic energy is expressed as:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (m_i v_{ci}^T v_{ci} + \omega_i^T I_{ci} \omega_i).$$

As a function of dynamic parameters, we can write this energy as:

$$E = F(I_{ci}, r_{ci}, r_{ci}^2, m_i).$$

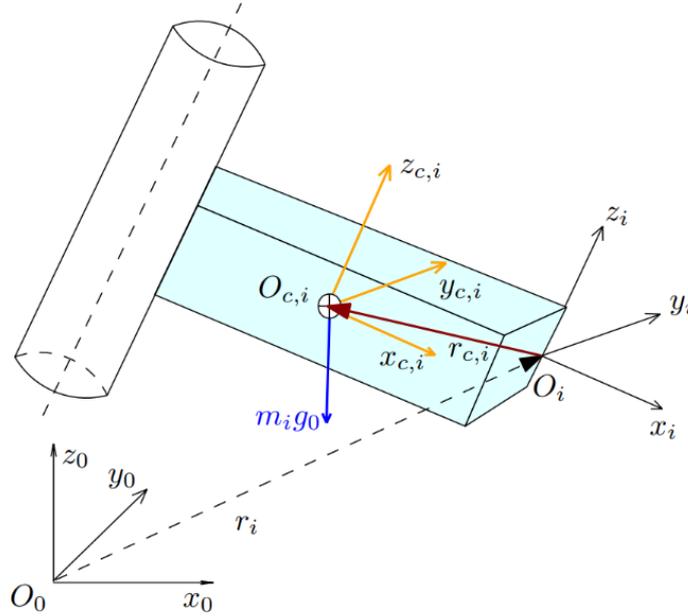


Figure. Coordinate systems of link  $i$

By building the regressor for link  $i$  depending on this form of kinetic energy we obtain:

$$\tau_i = \Phi_i(q, \dot{q}, \ddot{q}) \theta_i.$$

$$\theta_i = [I_{ixx} \quad I_{iyy} \quad I_{izz} \quad I_{ixy} \quad I_{ixz} \quad I_{iyz} \quad r_{ci,x} \quad r_{ci,y} \quad r_{ci,z} \quad r_{ci,x}^2 \quad r_{ci,y}^2 \quad r_{ci,z}^2 \quad r_{ci,x} r_{ci,y} \quad r_{ci,x} r_{ci,z} \quad r_{ci,y} r_{ci,z} \quad m_i]^T.$$

It is to be noticed that  $\theta_i$  contains 16 parameters, which are combinations of the basic 10 dynamic parameters. The multiplication of  $v_{ci}^T v_{ci}$  generates 6 additional combinations. These 6 additional parameters complicate analyzing regressor matrix for invertibility. Let's instead write the linear velocity as:  $v_{ci} = v_i + \omega_i \times r_{ci}$ , and the inertia tensor according to Steiner theory as:  $I_i = I_{ci} + m_i S^T(r_{ci}) S(r_{ci})$  then we obtain:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \left( \omega_i^T (I_i + m_i S(r_{ci}) S(r_{ci})) \omega_i + m_i (v_i + \omega_i \times S(r_{ci}))^T (v_i + \omega_i \times S(r_{ci})) \right).$$

Using the previously mentioned preliminaries in part A we obtain:

$$E = F(I_i, r_{ci}, m_i).$$

Now by building the regressor for link  $i$  depending on this form of kinetic energy we obtain:

$$\tau_i = \Phi_i(q, \dot{q}, \ddot{q})\theta_i.$$

$$\theta_i = [I_{ixx} \quad I_{iyy} \quad I_{izz} \quad I_{ixy} \quad I_{ixz} \quad I_{iyz} \quad r_{ci,x} \quad r_{ci,y} \quad r_{ci,z} \quad m_i]^T.$$

Which is the minimal set of dynamic parameters for one link.

Part C, Discussion:

Using the obtained result, we can convert the dynamic model of a serial manipulator from the canonical form to the regressor form, in other words from:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau.$$

To:

$$\tau = \Phi(q, \dot{q}, \ddot{q})\theta.$$

Where  $\Phi$  is a matrix of size  $n \times 10n$ , and  $\theta$  is a vector of size  $10n$ .

The previous procedure was carried out as a program for UR10 from universal robots. Authors developed a software in Matlab. The input to that software is DH table of any serial manipulator. The output is the regressor matrix.

The next step is to build a simulation model of UR10 in Simulink, applying the approach on this model. Then modify the dynamic model so that it takes friction in consideration.

## References

1. Spong, Mark W. et al. Robot Modeling and Control. Wiley, 2020. Pp. 165-215.
2. Wisama Khalil. Modeling and Control of Manipulators - Part I: Geometric and Kinematic Models. Doctoral. GdR Robotics Winter School: Robotica Principia, Centre de recherche Inria Sophia Antipolis – Méditerranée, France. 2019. ffccl-02129939. Pp. 23-35.
3. Колубин С.А. Динамика робототехнических систем: Учебное пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2017. - 117 с. - экз.
4. B. Siciliano and O. Khatib, eds., Handbook of Robotics. Springer, 2008. Pp. 35-60.

УДК 004

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЦИИ ИДЕНТИФИКАТОРОВ ГРАЖДАН ЕАЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКА РАЗРАБОТКИ MERN

Широков И.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.п.н. Готская И.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В статье рассматривается разработка алгоритма для генерации уникального идентификатора для каждого гражданина ЕАЭС и возможности внедрения данного идентификатора на примере электронного паспорта здоровья. Описанный в статье алгоритм показывает, что генерация такого рода идентификаторов посредством современного стека разработки веб-приложений MERN позволяет значительно сократить время как генерации идентификатора, так и его получение.

**Ключевые слова:** идентификация, ReactJS, реактивность, MERN, NodeJS.

На сегодняшний день существует проблема идентификации граждан Евразийского Экономического союза, куда входит Российская Федерация, Республика Казахстан, Республика Беларусь, Киргизская Республика, Республика Армения. Проблема заключается в законах об именах, принятых в этих государствах. Например, если гражданин Казахстана будет пересекать границу соседнего государства по заграничному паспорту, то автоматически этот гражданин теряет свое отчество, в то время как гражданин России остается полностью идентифицированным как внутри России, так и в зарубежных странах. Сегодня на территории ЕАЭС не существует единого сервиса, который позволил бы максимально централизовать данные всех граждан, поскольку каждое государство имеет свои ограничения, связанные с принимаемыми для регистрации граждан документами.

Для решения проблемы нами предлагается создать автоматизированную систему по присвоению идентификационных номеров для каждого гражданина Евразийского Экономического союза, тем самым упрощая текущие интеграционные процессы внутри Союза. Для автоматической генерации идентификаторов будет использован стек разработки MERN, который позволит в будущем соединить сервис генерации с другими сервисами, построенными на этом стеке. Данный стек представляет собой front- и back-end решения для разработки веб-решений.

Идентификатор, который мы назвали ЕРНГ (Единый регистрационный номер гражданина), представляет собой сложение двух удачных типов идентификации, используемых в Российской Федерации (Индивидуальный номер налогоплательщика) и в Республике Казахстан (Индивидуальный идентификационный номер). Два идентификатора имеют по 12 разрядов, в то время как ЕРНГ имеет 16 разрядов и имеет аналогичную с ИИН систему проверки. Добавление дополнительных разрядов решает проблему масштабируемости данного идентификатора, так как эти разряды отвечают за идентификацию места рождения гражданина, соответственно, порядковые номера идентификаторов привязываются не к стране, как это сделано на примере ИИН, а к конкретному региону конкретной страны. Таким образом, в одном регионе может быть зарегистрировано до 19998 человек, родившихся в один день, и с каждым днем количество граждан, которых можно зарегистрировать, будет только расти, поскольку каждый новый день обнуляет счетчик для регистрации граждан, родившихся в этот день.

Алгоритм вычисления создан таким образом, чтобы исключить вероятность совпадений. Данный результат был достигнут за счет активного соединения с базой данных, в данном случае MongoDB, с сервером (NodeJS). Данное решение позволило заметно сократить время поиска и вычисления уникального идентификатора, так как в алгоритме обработки запроса сервером алгоритм никогда не начинается с 0.

Перед тем, как система начинает процесс генерации, проверяется количество моделей идентификатора. Под моделью идентификатора подразумеваются первые 11 разрядов идентификатора. Наличие моделей в базе данных значительно экономит время для присвоения

очередного идентификатора. Модель ЕРНГ состоит из 4 частей, в которые входят код страны рождения, код региона рождения, дата рождения, пол. Используемый в стеке разработки фреймворк ReactJS позволил полностью избавиться от обновления страницы браузера при обновлении данных о месте рождения. Данного результата позволила добиться технология «hooks» в ReactJS. «React Hooks — это функции, которые позволяют определять категорию состояния и жизненный цикл (state, lifecycle) React-компонента без использования ES6-классов» [1]. Технология позволила оптимизировать не только обновление данных без повторного рендеринга страницы, но и уменьшить использование памяти веб-приложением за счет отказа от использования классов React в пользу функционального программирования.

Сейчас данный сервис состоит из 3 страниц:

1. Домашняя страница.
2. Страница анкеты.
3. Страница результата.

Домашняя страница представляет собой форму, которая приветствует пользователя, который создает свой ЕРНГ. При переходе на страницу анкеты пользователю необходимо ввести следующие данные:

Фамилия, имя отчество (при наличии);

1. Дата рождения.
2. Пол.
3. Место рождения.
4. Страна.
5. Регион.

Пример страницы анкеты приведен на рисунке 1.

Рис. 1. Страница анкеты

Исходя из вышеприведенной анкеты можно выделить обязательные и необязательные поля для генерации ЕРНГ:

1. Необязательные:
  - 1.1. Фамилия, имя и отчество.
2. Обязательные:
  - 2.1. Дата рождения.
  - 2.2. Пол.
  - 2.3. Место рождения.

Описанная ранее структура ЕРНГ объясняет все обязательные и необязательные поля.

Рассмотрим каждый элемент структуры ЕРНГ подробнее:

1. Место рождения:

- 1.1. Страна. Первые 2 разряда ЕРНГ – это код страны, присвоенный разработчиками. Так как нет единого стандарта нумерации стран внутри ЕАЭС и СНГ, то нами было принято решение применить следующие коды:

- 01 – Российская Федерация;
- 02 – Республика Беларусь;
- 03 – Республика Казахстан;
- 04 – Киргизская Республика;
- 05 – Республика Армения;
- 06 – Республика Узбекистан;
- 07 – Республика Таджикистан.

Дальнейшее развитие проекта позволит увеличить количество стран.

- 1.2. Регион. Вторые 2 разряда ЕРНГ – код региона рождения пользователя. Для людей, родившихся на территории современной территории Российской Федерации, будет работать присвоение кодов регионов по ОКАТО [2], например: 77 – г. Москва, 78 – г. Санкт-Петербург, 42 – Кемеровская область и т. д.

2. Дата рождения. Полученная из формы дата рождения записывается в 3 зону ЕРНГ, состоящую из 6 символов. Таким образом дата рождения записывается по формату ГГММДД.

3. Пол. Стоит отметить, что пол вычисляется по принципу ИИН, где четные числа – женский пол, нечетные – мужской. Однако не каждое четное и нечетное число – разряд ЕРНГ:

- 1 – мужчина, родившийся в 20 веке;
- 2 – женщина, родившаяся в 20 веке;
- 3 – мужчина, родившийся в 21 веке;
- 4 – женщина, родившаяся в 21 веке;

Описанные выше разряды создают модель ЕРНГ. После составления модели производится проверка наличия модели в базе данных. Результатом проверки выводится число, которое и будет началом цикла генерации. С самого начала цикла модели присваивается порядковый номер. После присвоения порядкового номера модели происходит проверка валидности ЕРНГ. Валидность проверяется по формуле, где сумма произведений номеров разрядов на разряды делится на 15 (количество разрядов на данном этапе генерации). 16 разрядом ЕРНГ является проверочное число, получаемое в результате проверки валидности. Если остаток от деления будет равен 0 или 10, то ЕРНГ будет считаться недействительным, но если остаток равен числам больше 10, то записывается единичный разряд полученного числа. Полученный результат проверяется на уникальность в базе данных, и, в случае своей уникальности, записывается в базу данных с введенными анкетными данными. Записанный в базу данных ЕРНГ на текущем этапе реализации в конце операций выводится на экран для пользователя. Это и является страницей результата, показанной на рисунке 2.

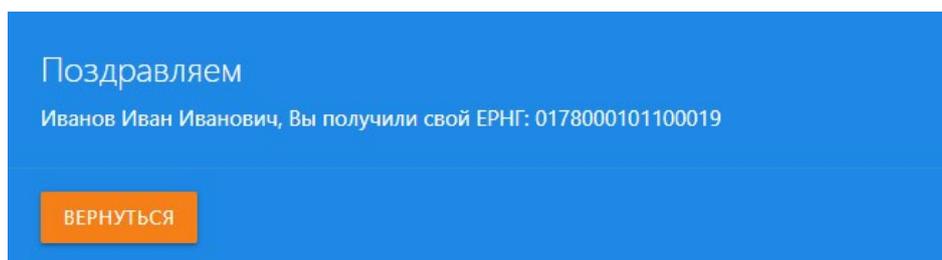


Рис. 2. Страница результата

Полученный в результате заполнения анкеты ЕРНГ записывается в базу данных. Приведенный на рисунке выше ЕРНГ показывает, что описанный ранее алгоритм работает. По результатам сгенерированного ЕРНГ можно сказать, что человек, получивший этот

идентификатор, родился в г. Санкт-Петербург (0178), родился 01.01.2000 (000101) и является мужчиной (1). Так как его модели ранее не было в системе, то ему был присвоен порядковый номер 1. Первая итерация в цикле ЕРНГ прошла валидацию успешно, и контрольное число равняется 9. В случае, если бы ЕРНГ не прошел валидацию, то порядковый номер был установлен по правилам валидации, которые были описаны ранее.

У системы в распоряжении максимум 9998 итераций для возможности присвоения ЕРНГ. При этом система настроена так, что при существующих моделях система не начинает итерацию с 0, а начинает с того числа, которое равно количеству зарегистрированных моделей. Была предусмотрена проверка повторяющихся ЕРНГ, которая при начале цикла проверяет, существует ли сгенерированный ЕРНГ в базе данных.

Стоит отметить, что на место ReactJS в данном проекте может встать любой фреймворк, поддерживающий так называемую «реактивность» [3]. Именно «реактивность» использовалась на странице анкеты. Данная возможность полезна при динамическом изменении данных на страницы без перезагрузки страницы. Ранее данную возможность реализовывали с помощью ајах, однако данная технология сегодня теряет популярность, а разработчики все больше используют «реактивные» фреймворки [4].

Результат исследования показал, что с каждым новым ЕРНГ, который генерируется в одной модели, скорость генерации повышается, так как точка старта проверки и генерации постоянно смещается вперед, что позволяет делать меньше итераций до результата. Система в будущем позволит создать свой «электронный карман», в котором у граждан будет доступ ко всем документам всех государств ЕАЭС. В отличие от предшественников, ЕРНГ возможно получить на данный момент в течение 2 минут, заполнив анкету. При внедрении в экосистему будет изменено правило получения ЕРНГ, которое будет направлено на то, что регистрировать граждан будет определенный государственный орган.

ЕРНГ, как и ИИН, и ИНН будет открытым идентификатором, что откроет больше возможностей для внедрения данного алгоритма и для предприятий. При изменении одного разряда ЕРНГ можно будет получить ЕРНБ (Единый регистрационный номер бизнеса), заменяющий ИНН для компаний в России и БИН в Казахстане.

Стоит отметить, что для полноценного функционирования и абсолютной идентификации при помощи ЕРНГ требуется ввод дополнительной информации, в виде данных национальных удостоверяющих документов. ЕРНГ позволит создать полноценную экосистему, которую можно назвать полноценным электронным правительством, поскольку ЕРНГ создаст жесткую связку человека с его данными, и, например, получить какую-либо справку будет возможно через несколько минут после запроса. На данный момент данная технология тестируется нами в разрезе разрабатываемого электронного паспорта здоровья. При использовании вышеупомянутого стека разработки, при этом заменив MongoDB на мощные реляционные базы данных, такие как MS SQL, MySQL или Oracle, можно добиться быстрой работы системы, в том числе и по оказанию различных услуг.

## Литература

1. Пишем приложение со списком дел при помощи React Hooks [Электронный ресурс] URL: <https://tproger.ru/translations/react-hooks/#:~:text=React%20Hooks%20—%20это%20функции%2C%20которые,компонента%20без%20использования%20ES6-классов.> (дата обращения: 09.05.2021).
2. Что такое ОКАТО? [Электронный ресурс] URL: [https://www.xn--c1adtt4e.xn--p1ai/voprosy/jur\\_uslugi/chto-takoe-okato.html](https://www.xn--c1adtt4e.xn--p1ai/voprosy/jur_uslugi/chto-takoe-okato.html) (дата обращения: 09.05.2021).
3. Что такое реактивность? [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/post/488530/> (дата обращения: 09.05.2021).
4. Сенин А. Д. Применение реактивной парадигмы программирования в управлении состоянием веб-приложений / А. Д. Сенин, И. Б. Государев // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО: XLVIII научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО, Санкт-Петербург. 2019. С. 253–256.

УДК 004.021

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ  
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПОВЕДЕНИЯ  
ПО МАТЕРИАЛАМ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ СУДЕБНЫХ  
ПРИСТАВОВ РФ**

**Юрьев Р.Н.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – д.т.н. проф. Бессмертный И.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрено применение методов обучения с подкреплением для целей выявления оптимальных решений в сфере государственного управления. В качестве материала использованы открытые данные Федеральной службы судебных приставов и продемонстрирована практическая применимость методов искусственного интеллекта в этой сфере.

**Ключевые слова:** обучение с подкреплением, искусственный интеллект, государственное управление, исполнительное производство, поиск оптимальной стратегии.

На современном этапе развития методов искусственного интеллекта наиболее многообещающими в сфере поиска оптимальных решений являются решения из сферы обучения с подкреплением. Именно в этой области были достигнуты наиболее впечатляющие результаты с точки зрения выбора стратегии поведения в непрерывно меняющемся реальном мире.

Сфера государственного управления, тесно связанная не только с техническими сторонами регулирования, но и с взаимодействием между людьми, требует не только выбора не только оптимальных решений, но и таких решений, которые могут быть оценены участникам и управленческого процесса. В отличие от других сфер применения искусственного интеллекта, например, в сфере компьютерного зрения, получение результата по методу «чёрного ящика» в многих случаях недопустимо. Кроме того, во многих сферах имеет место принятие решений, осложнённое противодействием другой стороны.

Применение обучения с подкреплением предоставляет в руки пользователю полный набор инструментов для качественной и количественной оценки всех вариантов поведения, а также возможность добавления в системе других агентов.

Согласно российскому законодательству, в случае неспособности юридического лица погасить взысканную задолженность у него есть единственный законный вариант прекращения своего статуса должника в рамках исполнительного производства — обращение с заявлением о признании компании банкротом (статья 9 Федерального закона от 26.10.2002 № 127-ФЗ (ред. от 20.04.2021) «О несостоятельности (банкротстве)»).

Обнародованная статистика прекращения исполнительных производств в связи с невозможностью взыскать с должника деньги позволяет оценить, насколько адекватно осуществляется государственная политика в этой сфере.

Данные об оконченных в соответствии с пунктами 3 и 4 части 1 статьи 46 и пунктами 6 и 7 части 1 статьи 47 Федерального закона от 2 октября 2007 г. № 229-ФЗ «Об исполнительном производстве» исполнительных производствах в отношении юридических лиц ежедневно публикуются по адресу: <https://opendata.fssp.gov.ru/7709576929-iplegalistcomplete> в формате csv, файлы объёмом около 2-3 Гб представляют собой записи о каждом прекращённом исполнительном производстве. Для целей настоящей работы значимыми данными являются даты возбуждения и прекращения производства, а также вид задолженности. Описание данных (в сокращённом виде) приведено в таблице.

Прежде чем перейти к методам извлечения знаний из неструктурированных текстов, необходимо рассмотреть саму возможность обработки полученных результатов в системе. Анализ данных показал, что для полноценной работы с ними необходимо применять методы извлечения знаний из плохо структурированных текстов. Эти методы были применены в ходе подготовки данных. Из столбца «Date, complete IP reason» пришлось вычленять существенный

для исследования данные, поскольку в исходном файле они были представлены в виде единой строки.

Таблица. Описание полей данных об оконченных исполнительных производствах

Наименование столбца	Описание
The name of the debtor	Наименование должника - юридического лица
Address of the debtor organization	Адрес организации - должника
Actual address of the debtor organization	Фактический адрес организации должника
The number of enforcement proceeding	Номер исполнительного производства
Date of the institution of proceeding	Дата возбуждения исполнительного производства
The total number of enforcement proceedings	Номер сводного производства по взыскателю или должнику
The executive document type	Тип исполнительного документа
Date of the executive document	Дата исполнительного документа
The number of executive document	Номер исполнительного документа
The object of executive documents	Требования исполнительного документа
The object of the execution	Предмет исполнения
Date, complete IP reason	Дата, причина окончания или прекращения ИП (статья, часть, пункт основания)
Departments of bailiffs	Наименование отдела судебных приставов
Address of departments of bailiff	Адрес отдела судебных приставов

На следующем этапе в самом общем виде задача для применения обучения с подкреплением к полученным данным была сформулирована так: «определить оптимальную стратегию поведения должника в рамках исполнительного производства для сокращения срока пребывания в статусе должника». Далее к этой задаче применяется метод одноногооручного бандита, адаптированный для библиотеки `pandas` на языке Python по примеру опубликованных реализаций этого метода в библиотеке `pytorch` (Лю, 2020).

После очистки данных от случайных значений (например, когда дата прекращения указана ранее даты возбуждения дела), от неденежных взысканий (например, «предоставление жилья военнослужащим») и от крайне редких типов взысканий для юридических лиц (например, «алиментные платежи», 1 взыскание на весь датасет), была сформирована система вознаграждения за тот или иной вид «поведения» должника. Вознаграждение вычислялось исходя из того, что объективно задача должника — как можно быстрее выйти из процесса исполнительного производства. Каждому участнику производства, который прекратил свой статус, присваивалось вознаграждение в размере 1. Однако это вознаграждение уменьшалось на параметр  $\gamma$  по мере того, как увеличивалась длительность его нахождения в статусе должника ( $T_n$ ). Для этого применялась простая формула (1).

$$\gamma = 1 - \frac{T_n}{T}. \quad (1)$$

Общее вознаграждение основано на простейшему методу вычисления значения ценностей (Саттон, 2014) по формуле (2), в которой  $r$  – общее вознаграждение. Для текущего исследования оно составляет всегда 1, однако в более сложных комбинациях может быть изменено.  $N$  – число подсчитанных случаев зафиксированного поведения. В целях данного исследования каждый случай выбирается случайно.

$$V = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \gamma r. \quad (2)$$

Всего в соответствии с этими данными у должника имелось четыре вида поведения в процессе: «исчезнуть» (статья 46 пункт 1 подпункт 3), «скрывать имущество» (статья 46 пункт 1 подпункт 4), «обанкротиться» (статья 47 пункт 1 подпункт 7) и ликвидироваться (статья 47 пункт 1 подпункт 7).

Фактическое распределение между этими видами поведения приведено на рис. 1. Из него можно заключить, что абсолютное большинство недобросовестных должников предпочитает просто «исчезнуть», чтобы судебные приставы не смогли их найти по месту нахождения юридического лица.

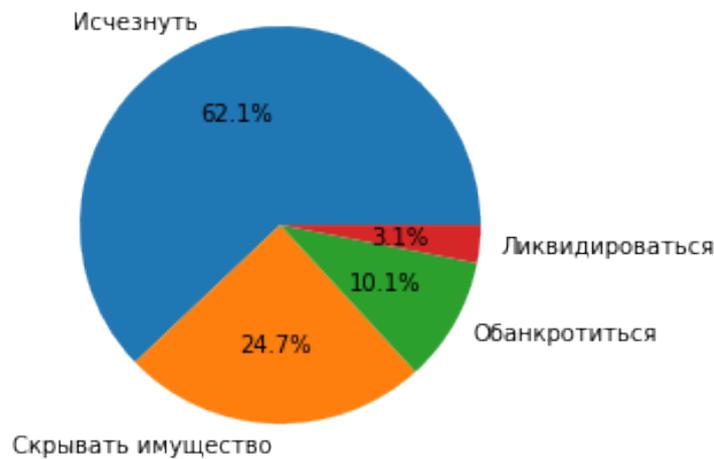


Рис. 1. Распределение оснований прекращения исполнительного производства

Данная работа основана на том предположении, что система обучения с подкреплением должна получать данные для обработки не в ручном режиме, а в автоматическом. Именно поэтому важно использование случайной выборки из представленных вариантов. Поскольку в нашем распоряжении имеется небольшой набор вариантов поведения, при этом выборка не является сбалансированной, целесообразно для исключения влияния наибольшей выборки выбирать случайные значения не напрямую из выборки, а после фильтрации по типам поведения. Это позволяет прийти к более объективным выводам.

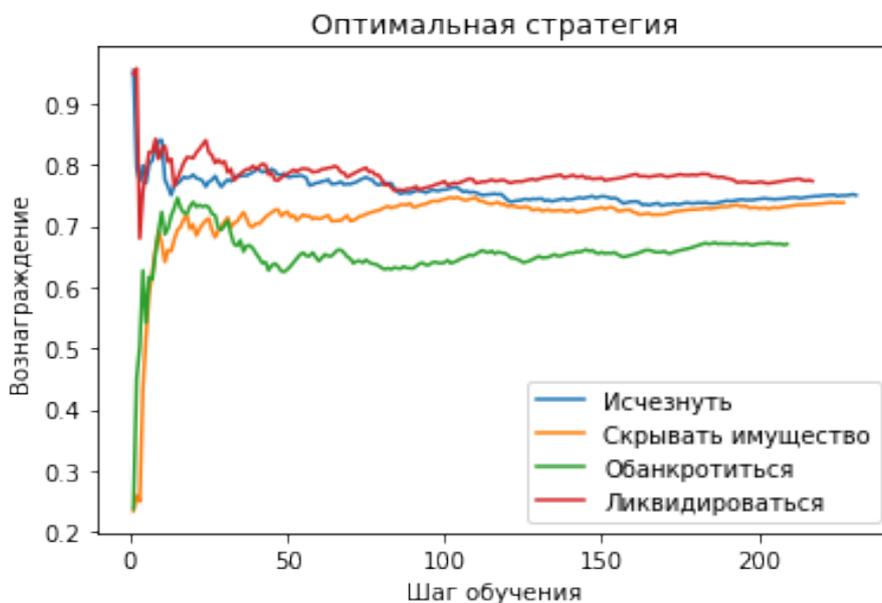


Рис. 2. Оптимальная стратегия поведения должника

Полученные в результате применения обучения с подкреплением данные являются парадоксальными с точки зрения действующего законодательства. Как видно из рисунке 2, фактически оптимальная стратегия – это не та, которая предусматривается законом, а прямо противоположная, так как именно она позволяет должнику в кратчайшие сроки избавиться от своего статуса.

Таким образом, в результате исследования показана практическая применимость методов обучения с подкреплением к работе с данными в задачах поиска оптимальных стратегий на примере базы данных судебных приставов. Путём применения простых алгоритмов за незначительное количество шагов удалось быстро получить результаты, показывающие реальную картину происходящего в этой сфере. Исследование показывает реальные перспективы применения методов искусственного интеллекта к задачам государственного управления с сохранением объяснимости каждого шага при выборе тех или иных решений. При этом в самих применяемых методах заложен широкий диапазон возможностей для расширения как исследуемых объектов, так и более тонкой настройки всех параметров.

### **Литература**

1. Саттон Р.С. Обучение с подкреплением. / Р.С. Саттон, Э.Г. Барто; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2014. С. 45.
2. Лю Ю. (Х.) Обучение с подкреплением на PyTorch: сборник рецептов / пер. с англ. А.А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс. 2020. С. 171.

УДК 004.925 004.946

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ

Яковлева В.Е.<sup>1</sup>, Скаков П.С.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №390364 «Бесконтактные методы быстрой визуализации микрообъема на основе интерферометрии малой когерентности».*

Целью работы является разработка и реализация программы, обеспечивающей визуализацию отдельных В-сканов и микрообъема. Динамическая визуализация была реализована в двух вариантах: на мониторе компьютера и с помощью шлема виртуальной реальности, что является наиболее перспективным вариантом с обеспечением возможности экспертной оценки результатов исследования объектов методом ОКТ.

**Ключевые слова:** оптическая когерентная томография, последовательность видеокадров, трехмерная визуализация, виртуальная реальность, рейкастинг, прямой объемный рендеринг, воксельная графика.

Визуализация трехмерной структуры в системах оптической когерентной томографии (ОКТ) востребована во многих научных и технологических приложениях: на производстве, при реставрации предметов живописи, в медицине и т.п. Разработанная в рамках гранта система корреляционной ОКТ позволяет исследовать малые участки нестатических (живых) объектов [1]. Следующим шагом стала разработка и реализация программы реалистичной визуализации трехмерных объектов с возможностью субъективного экспертного анализа трехмерных изображений, в т.ч. с использованием технологии виртуальной реальности.

Для визуализации трехмерных изображений применяется метод прямого объемного рейкастинга (рис. 1) [2]. Суть метода заключается в следующем: из точки наблюдения проводятся лучи через центры пикселей двумерной области просмотра на трехмерную текстуру. Затем для каждого луча, пущенного из точки наблюдения, определяется его первое пересечение с объектом, в роли которого выступает набор В-сканов. Цвет и прозрачность каждого спроецированного вокселя задается при помощи передаточной функции, которая может быть представлена кусочно-линейной функцией или таблицей значений. Эффект перспективы получается естественным образом в случае, когда бросаемые лучи запускаются под углом, зависящим от положения пикселя на экране и максимального угла обзора камеры.

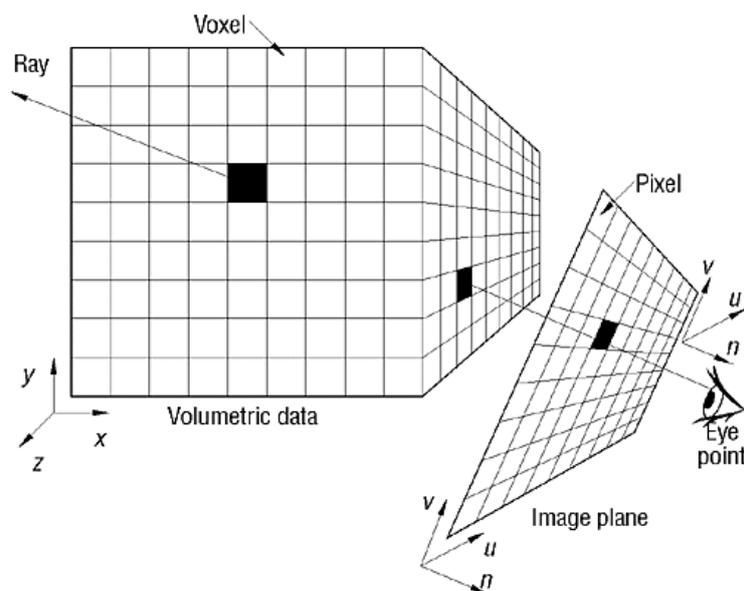


Рис. 1. Принцип объемного рейкастинга

Программа поддерживает несколько видов объемного рендеринга: проекцию максимальной интенсивности [3] и front-to-back альфа-смешивание. В методе проекции максимальной интенсивности значение точки на экране определяется максимальной найденной интенсивностью вдоль луча. Front-to-back альфа-смешивание подразумевает вычисление значения интенсивности на основе альфа-смешивания результатов передаточной функции по направлению луча от наблюдателя к объекту. Когда достигается максимально возможное значение интенсивности, то дальнейшая обработка не требуется, что уменьшает время работы алгоритма.

В простой реализации объемный рендеринг происходит за два прохода: первый проход используется для определения точек входа и выхода луча, а второй проход выполняется от точки входа луча до точки выхода с определенным шагом. В программе данные проходы объединены в один проход реализованы во фрагментном шейдере.

Для реализации системы визуализации использован кроссплатформенный API Vulkan [4] вместо часто используемого в аналогичных решениях API OpenGL. Интерфейсы API OpenGL плохо соответствуют внутренней работе современных графических процессоров, что влечёт дополнительные потери производительности и излишнее потребление памяти, а также различные результаты работы на графических процессорах разных производителей. Использование API Vulkan позволило снизить потребление ресурсов и добиться более предсказуемых результатов работы программы на различных системах. На рисунке 2 в общем виде представлена структура API Vulkan в реализованной программе.

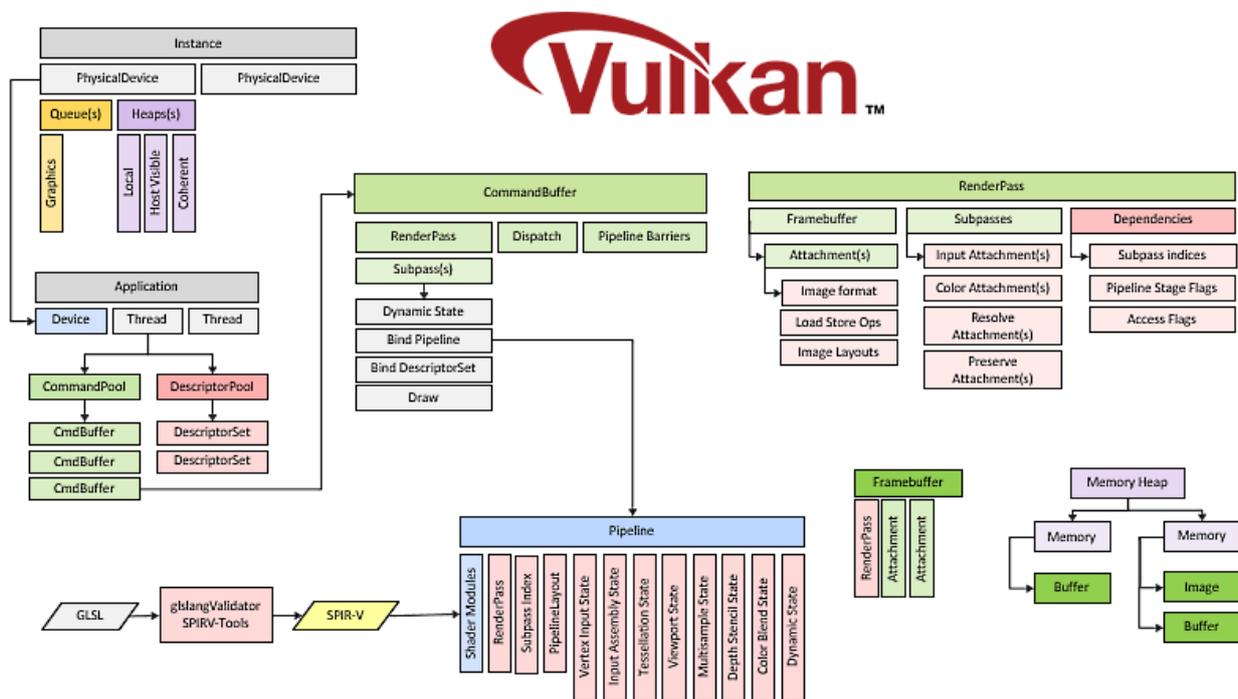


Рис. 2. Упрощенное представление API Vulkan

Для максимально широкой совместимости с различными графическими процессорами объемный рендеринг реализован через вершинный и фрагментный шейдеры, написанные на языке GLSL.

Программа поддерживает ввод порогового значения интенсивности для передаточной функции для быстрого подавления шумов низкой интенсивности, что наглядно показано на рисунках 3 а и б для метода отображения проекции максимальной интенсивности. На рисунке 3в приведен пример отображения того же изображения для front-to-back альфа-смешивания. Для наглядности изображения инвертированы.

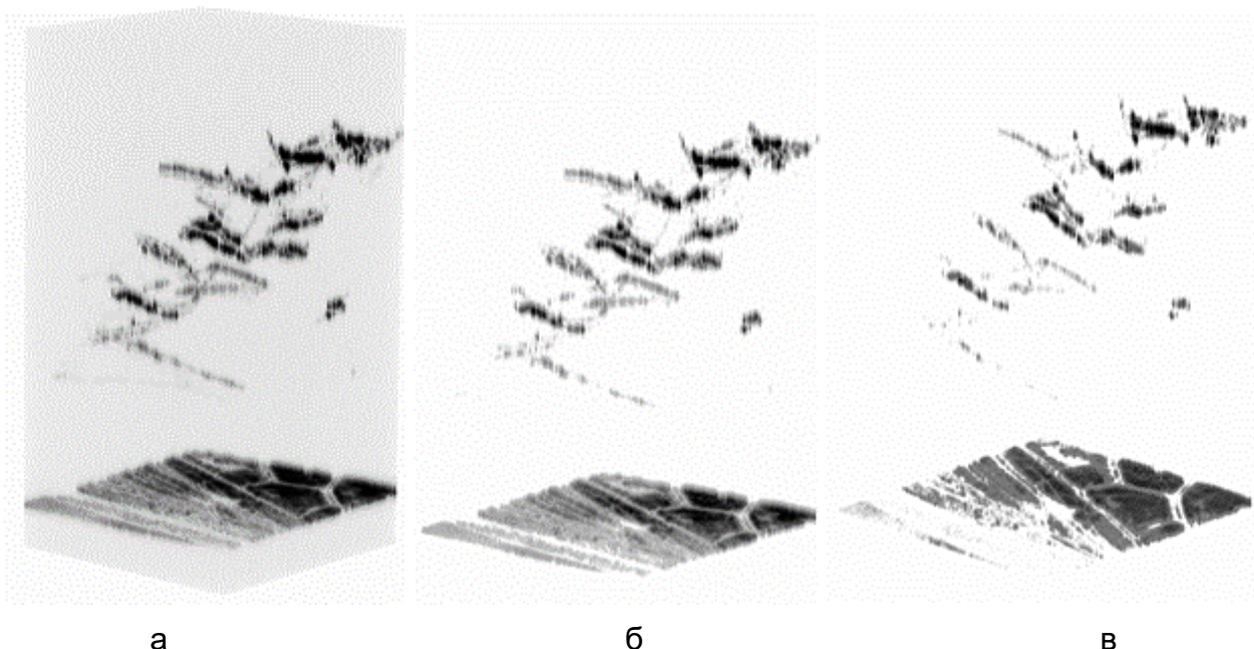


Рис. 3. Пример наблюдаемого трехмерного изображения: а) отображаемый методом проекции максимальной интенсивности; б) отображаемый методом проекции максимальной интенсивности с пороговым значением интенсивности 15; в) отображаемый методом альфа-смешивания

Реализована возможность задания положения камеры вокруг объекта через ввод с клавиатуры, мыши и геймпада. Таким образом, пользователь может посмотреть со всех сторон на объект интерактивно.

Проблема аппаратного ограничения на GPU на размер текстуры в 3D в случае, когда изображение по одной из координат превышает этот размер, была решена путем масштабирования изображения ВС-сплайнами до максимально возможного размера.

Программой поддерживается чтение входного набора В-сканов не только последовательно, но и с определенным шагом, позволяя легко уменьшить разрешение и снизить потребление ресурсов для быстрого предварительного просмотра или улучшения производительности при запуске на низкопроизводительном железе.

Поддерживается просмотр трёхмерного изображения в системах виртуальной реальности с использованием интерфейса OpenVR [5]. OpenVR поддерживает широкий список оборудования дополненной и виртуальной реальности от разных поставщиков. Разработка велась на шлеме виртуальной реальности Pimax 8K Plus. Исходный код, написанный для отображения на мониторе компьютера, потребовал незначительные изменения: дополнительный подсчёт матриц модели, вида и проекции для второго глаза и соответствующая инициализация парных объектов Vulkan. Полученные результаты визуально аналогичны рисунку 3.

В дальнейшем планируется интеграция системы отображения с остальной частью программного комплекса ОКТ.

## Литература

1. Волынский М. А. Динамическая визуализация микрообъема методом корреляционной оптической когерентной томографии // М.А. Волынский, И.П. Гуров, Н.Б. Маргарянц, А.Ю. Пименов. Сборник трудов XII Международной конференции «Фундаментальные проблемы оптики – 2020». Санкт-Петербург. 19-23 октября 2020 г. / Под ред. проф. С.А. Козлова. – СПб: Университет ИТМО, 2020. 418 с.: с ил.
2. Kruger J., Westermann R. Acceleration techniques for gpu-based volume rendering // InIEEEVisualization, 2003. VIS 2003., P. 287–292. IEEE, 2003.

3. Schreiner S., Galloway R.R. A fast maximum-intensity projection algorithm for generating magnetic resonance angiograms. IEEE Trans Med Imaging. 1993;12(1):50-7. doi: 10.1109/42.222666.
4. Home | Vulkan | Cross platform 3D Graphics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vulkan.org/> (дата обращения: 20.02.2021).
5. OpenVR SDK [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/ValveSoftware/openvr> (дата обращения: 25.02.2021).

УДК 623.746.-519

**ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ РОЛИ БЕСПИЛОТНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ИХ  
ПРИМЕНЕНИЯ**

**Ярулин И.М.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Виксин И.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены определения, классификация, виды и применение беспилотных летательных аппаратов и авиационных комплексов с целью проведения анализа использования данных БПЛА в различных отраслях по своему назначению.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, беспилотник, дрон, мультикоптеры, трикоптеры, квадрокоптеры, гексакоптеры, шоу дронов, мультироторные системы.

**Введение**

На современном этапе развития мирового авиастроения беспилотная авиационная техника характеризуется бурным ростом. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) повсеместно входят во все современные сектора экономики. Человечество уже достаточно давно задумывалось о создании такой машины, которая могла бы управляться на расстоянии. Так, в 1849 году австрийцы использовали аэростаты, снаряженные бомбами для атаки итальянских позиций в Венеции. Аэростаты не были управляемыми, но были оснащены бомбосбрасывателями на электромагнитах. В 1889 году Никола Тесла, изобретатель, физик и инженер, продемонстрировал первый в мире радиоуправляемый кораблик. Это событие придало огромный толчок по направлению к тем машинам, которые мы сейчас все хорошо знаем. Развитие данной технологии ускорило создание радиоуправляемых торпед, после чего стали активно проектироваться и воздушные дистанционно управляемые корабли. Американский военный инженер Чарльз Кеттерин в 1910 году провёл исследование и спроектировал летательный аппарат с часовым механизмом. В точное расчётное время аппарат мог пикировать на врага, до этого сложив свои крылья. Вооруженные силы США в конце Первой мировой войны сделали крупный заказ на такие летательные аппараты, но война уже закончилась, и они так и не были применены. Однако это подтолкнуло конструкторов разных стран продолжить исследования в данном направлении. И в 1916 году свой первый полет произвёл автоматический самолет Hewitt-Sperry, известный также как "летающая бомба" или "воздушная торпеда". Этот самолет представлял собой раннюю версию современных крылатых ракет. Пространственное положение самолета в воздухе контролировалось с помощью системы гироскопов.

Существенное влияние на развитие радиоуправляемого оружия оказала и Вторая мировая война. Первым беспилотником, который начал выпускаться серийно и принимал участие в военных действиях, являлась немецкая крылатая ракета Фау-1. Она оснащалась импульсивным реактивным двигателем и автопилотом, в который вводились координаты для траектории полёта.

В дальнейшем новый толчок развитию технологий БПЛА дала уже холодная война. В США и СССР практически одновременно начались исследования по беспилотникам, которые могли бы производить разведку в тылу противника и выполнять другие поставленные задачи. В СССР одним из первенцев подобных беспилотников являлся фоторазведчик ЛА-17, который создавался на базе летающей мишени. Но подтверждённых фактов его применения в военных действиях нет. В 70-е-80-е годы СССР удерживала мировое первенство по производству беспилотных летательных аппаратов. В то время советский оборонный комплекс был сориентирован на производстве крупных устройств типа Ту-143 «Рейс» и Ту-141 «Стриж». Одних только аппаратов Ту-143 «Рейс» было выпущено около 950 экземпляров. Стоит вспомнить и легендарное событие, которое произошло 15 ноября 1988 года. В этот день состоялся запуск советского космического

корабля многоразового использования «Буран». Выполнение полета по орбите и осуществление посадки были произведены с использованием бортового компьютера и специального программного обеспечения. Данный «неповторимый» полет «Бурана» был занесён в книгу рекордов Гиннеса, т.к. никто ранее не производил посадку космических аппаратов в полностью автоматическом (беспилотном) режиме [5].

После распада СССР России пришлось заморозить многие исследования в области беспилотной авиации, однако в последнее время она активно навёрстывает упущенное.

На сегодняшний день мир вступает в эпоху беспилотников, которые всё чаще будут применяться на поле боя вместо людей. В нашей стране развитие беспилотной авиации является одним из ключевых направлений модернизации и развития Вооружённых Сил.

### **Виды беспилотников**

Сегодня имеется большое количество беспилотников, которые отличаются по своим габаритам, внешнему виду, дальности полета, способу и типу управления, степени автономности и выполняемым назначениям.

На сегодня самыми распространёнными типами беспилотников являются БПЛА самолётного и вертолётного типов полёта.

В беспилотниках самолётного типа создание подъёмной силы осуществляется аэродинамическим способом благодаря набегавшему скоростному потоку воздуха, направленного на неподвижную поверхность крыла. Данные аппараты существенно отличаются от других типов такими показателями, как большая продолжительность полета, большой максимальный потолок полета и высокая скорость полёта. Данный тип аппаратов находят огромное применение при создании ортофотопланов территории исследуемой местности, создании и обработки цифровых моделей местности, проведении мониторинга и осуществлении контроля на протяженных объектах.

Подъёмная сила у аппаратов вертолётного типа создается аэродинамическим принципом не за счет крыльев, а за счет вращающихся лопастей несущего винта (винтов). Крылья у этих аппаратов либо отсутствуют совсем, либо играют вспомогательную роль. Главными преимуществами БПЛА этого типа являются способность зависания в точке и высокая маневренность, поэтому они часто применяются в качестве воздушных роботов. Находят применение они, в основном, для перспективной съемки, мониторинга небольших территорий или обследования сложных конструкций, рельефа местности и при лазерном сканировании местности [3].

Отдельно хотелось бы остановиться на одном из вертолётных типов БПЛА, который называют мультикоптер. К данному типу относят вертолеты, которые имеют больше двух несущих винтов. Трехроторные мультикоптеры носят наименование трикоптеры, четырехроторные – квадрокоптеры, шестироторные – гексакоптеры, восьмироторные – октокоптеры. Характерным их отличием является возможность вертикально производить взлет и посадку на практически неподготовленные площадки без дополнительного оборудования. Главным направлением применения мультикоптеров является фото- и видеосъемка, поэтому на них, как правило, устанавливают управляемые подвесы для камер. Для защиты винтов применяются специальные ограждения, а для повышения подъёмной силы и создания большей живучести обычно совмещают на одной балке тянущий и толкающий винты. Самым часто встречающимся видом среди мультикоптеров является квадрокоптер, в котором четыре жестко установленных ротора позволяют организовать довольно простое управление. Самый крупный и популярный производитель квадрокоптеров – это лидер отрасли, китайский гигант DJI Innovations [1].

### **Область использования БПЛА**

Сегодня беспилотная авиация включена и активно применяется в составе всех родов войск российских Вооруженных сил. В основном применяются аппараты легкого класса для осуществления мониторинга и разведки. Наиболее распространённым является беспилотный комплекс «Орлан-10» с летательным аппаратом массой всего 14 кг, который способен транспортировать 5 кг коммерческой нагрузки.

Основным отечественным БПЛА среднего класса в настоящее время является «Форпост» – копия израильского IAI Searcher II, выполненный по лицензии. Он обладает взлетным весом более 430 кг и способен нести на своём борту средства разведки. Кроме того, ведётся завершающий этап работ по БПЛА «Форпост-Р». Этот комплекс будет крупнее и тяжелее предшественника и будет иметь увеличенную продолжительность полета. В данном проекте будут применяться только отечественные комплектующие и программное обеспечение.

В октябре 2020 года ВКС РФ приняли на вооружение первую партию многофункциональных беспилотных летательных аппаратов «Орион», а также пункты управления. Данный БПЛА относится к классу средневысотных беспилотников длительной продолжительности полета, он сможет нести и применять управляемые ракеты и бомбы нескольких типов. Поэтому его можно назвать первым средним разведывательно-ударным беспилотником, который поступил в части российской армии. При размахе крыла более 16 м и длине 8 м он имеет взлетную массу 1 т. Полезная нагрузка – до 200 – 250 кг, а крейсерская скорость заявлена на уровне 120 км/ч. Аппарат способен работать на высотах до 7,5 км, а в зависимости от конфигурации и нагрузки может оставаться в воздухе около суток.

Также Минобороны уже заключило контракт на поставку установочной партии тяжёлых ударных беспилотников «Альтиус». Он имеет размах крыльев – 28,5 м, длину – 11,6 м, взлётный вес – 6 т. Указанный БПЛА может находиться в воздухе до 48 часов и управляться через спутник. Главной особенностью аппарата является способность нести разведывательное оборудование, корректирующие бомбы и ракеты общей массой до двух тонн.

Особый интерес представляет проект С-70 «Охотник-Б» разработки ОКБ Сухого. Это беспилотник, спроектированный по схеме «летающее крыло», в котором используются материалы, снижающие заметность для радаров противника. По открытым данным, он имеет длину 14 м, размах крыла 19 м, взлётную массу 20 т. Максимальная скорость «Охотника» достигает тысячи километров в час. Новейшая прицельно-навигационная система, установленная на «Охотнике», позволит использовать свободно падающие боеприпасы с точностью, которая приближается к точности высокоточного управляемого оружия. В дальнейшем его планируют использовать в качестве «умного ведомого» пилотируемых истребителей пятого поколения с малой радиолокационной заметностью СУ-57. В августе 2020 года глава ОАК Юрий Слюсарь заявил, что Минобороны России начнет получать серийные БЛА «Охотник» с 2024 года.

На сегодняшний день также ведутся исследования и разработки в области использования роя беспилотников. Разработанная в нашей стране система управления малыми БПЛА, которые предназначены для выполнения массированного удара, получила официальное наименование «Стая-93». Презентация данной системы производилась на выставках 2019 года. Основой системы является самоорганизующийся рой БПЛА СОМ-93, каждый из которых способен взять на борт до 2,5 кг различной нагрузки военного назначения. Основным предназначением «Стаи-93» является выполнение ударов по групповым и одиночным наземным, а также воздушным целям в условиях противостояния систем ПВО и средств РЭБ противника. Но в действии данная система еще не демонстрировалась.

Шоу дронов – это скоординированный полет определённого количества беспилотников. Их число может достигать 50, а может быть увеличена и до 500. На ритмичном изменении фигур, их цвета и яркости строится красота, изящность и драматургия представления основывается на динамичном изменении фигур пилотажа, цвета и контрастности фигур. Здесь необходимо выделить две основные составляющие: технические возможности каждого отдельно взятого беспилотника и их синхронизация в совокупности во время выполнения всего полета.

Преимущество шоу дронов в том, что оно осуществляется почти бесшумно. На расстоянии 50 метров беспилотник вообще не слышно. Вследствие чего, полностью исключены резкие звуки, не слышны дрожание оконных стекол, а также срабатывание автомобильных сигнализаций, что в совокупности крайне позитивно сказывается на спокойствии домашних животных. Поэтому на данные мероприятия разрешено допускать маленьких детей и домашних животных. Присутствующие на шоу зрители, испытывают как правило, довольно яркие и неповторимые эмоции, при этом для обсуждения шоу нет необходимости повышения голоса. Кроме вышесказанного, после проведения подобного мероприятия отсутствуют какие-либо отходы, отсутствует опасность поджигания кровли или зеленых насаждений. Именно в таком этичном и экологическом виде представляется современная беспилотная технология.

В Китае уже испытывают пассажирские БПЛА. Двухместный электрический беспилотник EHang 216 был пока ещё сертифицирован на полеты с коммерческой нагрузкой массой до 150 кг, но скоро ожидается получение разрешения и на пассажирские перевозки.

Что касается России, в группах дистанционного зондирования Земли и развлечений значительную долю занимают беспилотники иностранного производства, а сегмент перевозок совершенно не развит.

В сфере картографии как одного из направлений мониторинга беспилотная авиация применяется довольно массово и повсеместно. С начала существования аэрофотосъемка применялась для уточнения информации по расположению объектов на картах. Для этого в воздух поднимали пилотируемые самолёты или неуправляемые аэростаты, подверженные влиянию ветра. Сегодня компактные, маневренные и несложные в обслуживании беспилотники не только могут фотографировать местность, но и решать специализированные задачи для геодезистов и работников схожих специальностей:

- выполнение снимков выбранных территорий с высоким разрешением и последующим переносом их на карту;
- выполнение планировки земельных участков для строительных и земляных работ;
- уточнение данных о расположении дорог, линий коммуникации и различных объектов инфраструктуры;
- составление точных карт и макета рельефа местности;
- выполнение 3D-моделей для планирования работ по реставрации и реконструкции зданий и строений.

Так, ГК «Геоскан» был выполнен крупнейший в мире проект по беспилотной геологоразведке. На одном из месторождений Сибири беспилотниками данной компании была проведена магнитометрическая съёмка площади более 1250 кв. км.

Беспилотная авиация успешно находит применение пожарными и спасателями во всём мире. С помощью современных мультироторных систем и специализированного программного обеспечения выполняются такие задачи, как:

- быстрый поиск эпицентров возгорания благодаря тепловизорам;
- контроль ситуации и координирование действий пожарных расчётов;
- облёт лесов для недопущения распространения огня;
- выработка безопасных путей для перемещения сотрудников и схемы эвакуации пострадавших;
- поиск и координирование действий по спасению пострадавших [4].

Беспилотники активно используются и в транспортном секторе. Они собирают данные и производят высокодетализированные снимки местности. Это позволяет уменьшить затраты на всех этапах строительства: от проектирования до введения в эксплуатацию. На основе аэрофотосъемки формируется ортофотоплан. Полученные беспилотным аппаратом данные обрабатываются автоматизированными компьютерами. Такое средство сбора информации помогает точно воспроизвести поверхности, используя высокий уровень детализации и достоверный масштаб. Применение технического оборудования помогает составлять топографические карты и схему транспортного сообщения.

### **Дальнейшее развитие**

Ведутся разработки в области создания полностью самостоятельных интеллектуальных беспилотных аппаратов, которые будут способны автономно выбирать приоритетные задачи, находить нужные цели, распознавать данные цели и сами принимать решение об уничтожении этих целей. Проводимые в настоящее время исследования и разработки изучают возможности дозаправки комплекса беспилотника прямо в полёте с помощью летающих танкеров.

На данном этапе известно несколько наиболее перспективных направлений развития беспилотных летательных аппаратов. Одним из таких направлений развития является разработка и применение аппаратов гибридного типа (Optionally Piloted Vehicles), которые можно применять как в пилотируемой модификации полёта, так и в беспилотной.

Следующим направлением остаётся значительное уменьшение веса и размеров ударных БПЛА и производства для них более миниатюрных классов управляемого оружия. Такие аппараты должны быть просты в изготовлении и в эксплуатации и, как следствие, иметь меньшую себестоимость. Отдельно следует сказать о беспилотниках-камикадзе, которые способны патрулировать над полем боя, а после обнаружения цели по команде оператора пикировать на данную цель и наносить по ней высокоточный удар.

Концепцией, заслуживающей внимания, является применение значительного количества (роя, группировки) боевых беспилотников, которые создаются для совместного выполнения поставленной перед ними задачи. Беспилотники, входящие в описанную систему, должны уметь автономно обмениваться тактической информацией о поле боя и распределять боевые функции между собой. Функции и задачи могут быть абсолютно различными: от сбора разведывательной информации в глубоком тылу противника до атаки на цель или уничтожение вражеских РЛС.

Тем не менее, кроме ряда заметных преимуществ, современные БПЛА обладают и значительным рядом недостатков. К ним можно причислить недостаточную гибкость решаемых задач и направлений применения по сравнению с традиционной авиацией, также остаётся много нерешённых вопросов, которые касаются обеспечения связи, этапа посадки и выполнения спасения аппарата. Полеты беспилотников в мирное время во многих районах могут быть ограничены в связи с различными факторами и по многим причинам. А уровень надежности беспилотников пока еще немного уступает традиционным летательным аппаратам [2].

По сообщениям пресс-службы Федерального агентства воздушного транспорта РФ, правила использования БВС в общем воздушном пространстве разработаны уже в 43 странах, но только для беспилотников с небольшой массой. Для крупноразмерных БВС нормы интеграции еще предстоит создать: их проработкой в настоящий момент занимается ИКАО, и основной пакет стандартов ожидается к 2024 году.

По словам главы Росавиации, концепция интеграции беспилотных авиационных систем в единое воздушное пространство Российской Федерации, разработанная Министерством транспорта РФ, находится на финальной стадии согласования. Документ станет основой для дальнейшего развития беспилотной авиации в стране. Александр Нерадько, руководитель Росавиации, назвал одной из приоритетных задач агентства включение беспилотных авиационных систем в отрасль гражданской авиации, включая процедуры их сертификации.

### **Заключение**

Развитие рынка беспилотных летательных аппаратов гражданского применения в России в большой степени ограничивает отсутствие нормативно-правовой и нормативно-технической базы, которая регулировала бы аспекты проектирования, производства, сертификации, допуска к эксплуатации и правил выполнения полетов. Главным встаёт вопрос и правильного определения технологий, направленных на обеспечение и применение безопасного использования БПЛА и кибербезопасность.

**Литература**

1. Гребенников А. Г., Мяслица А. К., Парфенюк В. В. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов: справ. пособие – Х.: Нац. Аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т». 2008. С. 20-25.
2. Иноземцев Д. П. Беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Часть 1: Обзор технических средств // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2013. №2(49). С. 36-44.
3. Усов Д.В., Мураева М. А., Сеньюшкин Н.С., Ямалиев Р. Р. Особенности классификации БПЛА самолетного типа // молодой ученый. 2010. №11(22) .С. 54-56.
4. Беспилотные технологии для профессионалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geoscan.aero> (дата обращения: 25.04.2021).
5. История развития беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sciencedebate2008.com/development-of-unmanned-aerial-vehicles/> (дата обращения: 25.04.2021).

## **Интердисциплинарные исследования**

УДК 538.9

## ЭФФЕКТЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПАМЯТИ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЛОЯХ ОКСИДА ЦИНКА

Агликов А.С.<sup>1</sup>, Николаев К.Г.<sup>1</sup>

Научный руководитель к.х.н., профессор Скорб Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 21-13-00403.*

Мемристивные устройства считаются наиболее перспективными кандидатами для преодоления технологических ограничений полупроводниковой технологии. В ходе работы были синтезированы наночастицы оксида цинка и сформированы их тонкие плёнки на подложках. Показано, что наноструктурированные плёнки таких частиц на металлических контактах в качестве двухполюсника демонстрируют эффект биполярного переключения. Обнаружен мемристивный эффект зависимости протекающего через плёнки тока от предыдущих состояний системы.

**Ключевые слова:** наночастицы, оксиды переходных металлов, вольт-амперная характеристика, мемристор, биполярное переключение.

### Введение

Невозможно представить развитие современной цивилизации без использования электронных приборов и устройств. Изобретение транзистора, интегральной микросхемы (ИМС), и создание миниатюрных счётных устройств на одиночном кристалле ознаменовали начало четвёртой научно-технической революции.

Темп миниатюризации электроники последние полвека весьма точно описывается законом Мура, утверждающим, что каждые 18 месяцев при сохранении цены микросхемы количество транзисторов на единицу площади сверхбольшой ИМС удваивается [1]. Общепринятой считается оценка, согласно которой в ближайшее время вычислительные устройства, базирующиеся на кремниевой КМОП-технологии, достигнут пределов миниатюризации [2]. Помимо проблем с атомарными размерами элементов ИМС и размерными эффектами, дизайнеры полупроводниковых чипов сталкиваются с вопросами энергопотребления и эффективного отвода тепла в сложных многослойных ИМС. Кроме того, наряду с прочими сложностями, существует фундаментальное слабое место – ограничение скорости работы процессора скоростью обмена данными между отдельными блоками в составе ИМС.

В свете проблем, указанных выше, учёными и технологами предлагаются, проектируются, создаются и исследуются различные системы, предназначенные для реализации классических или иных алгоритмов: фотонные и оптические вычисления, квантовые вычисления, спинтроника, магноника [3]. Ещё одной перспективной альтернативой является построение устройств, вдохновлённых принципами работы нервной ткани. Устройства с эффектом переключения проводимости первоначально использовались в качестве энергонезависимой памяти, теперь их предполагается использовать для построения стохастических сетей протекания электрического тока. Такие сети позволяют реализовать концепцию нейроморфных вычислений. В частности, синапсopodobный нелинейный электрический отклик мемристивных устройств особенно интересен за счёт способности воспроизводить различные функции мозга, такие как краткосрочная и долгосрочная возбуждения (STP/LTP), пластичность, зависящая от времени спайка (STDP), которые являются ключом к реализации механизмов обучения.

Предполагается, что за счёт процесса минимизации свободной энергии поверхности наночастицы на подложке агрегируют в кластеры. При протекании тока реализуются перколяционные пути за счёт стохастического или фрактального распределения частиц по поверхности. Пути протекания тока могут напоминать карту распространения нервных

импульсов в биологических тканях или иное сложное статическое или динамическое поведение электрических токов. Наиболее перспективным для реализации случайных сетей проводников электрического тока является применение в качестве материалов оксидов переходных металлов. Они обладают широким спектром поведения проводимости – от вырожденных полупроводников через n- и р-типы проводимости к изоляторам Мотта-Хаббарда в связи с разной заселённостью верхнего электронного уровня атомов металлов в кристаллической решётке. Это позволит эффективно подбирать соединения для реализации различных характеристик будущих устройств.

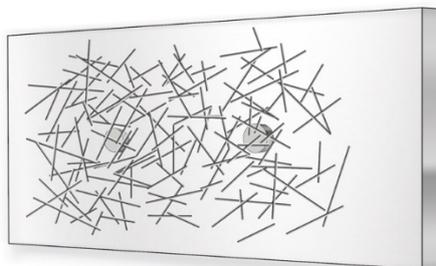


Рис. 1. Схематическое изображение планарной архитектуры случайной сети наночастиц

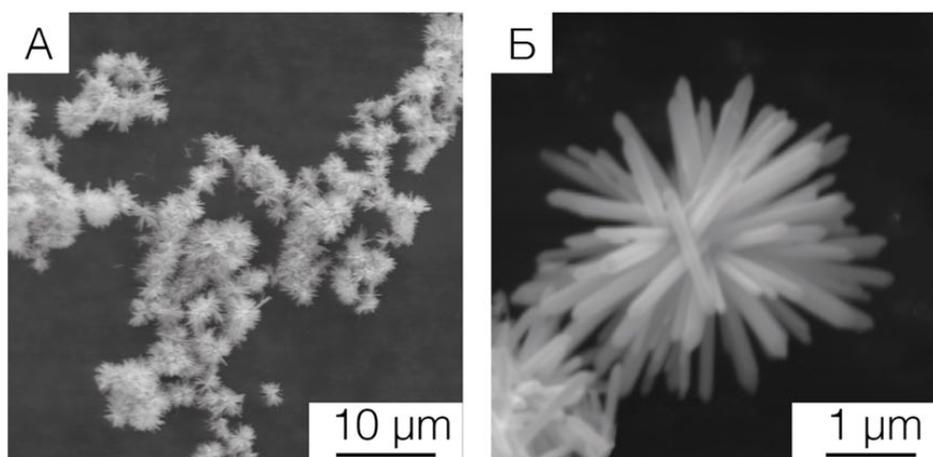


Рис. 2. А, Б – Микрофотографии СЭМ сферолитов ZnO

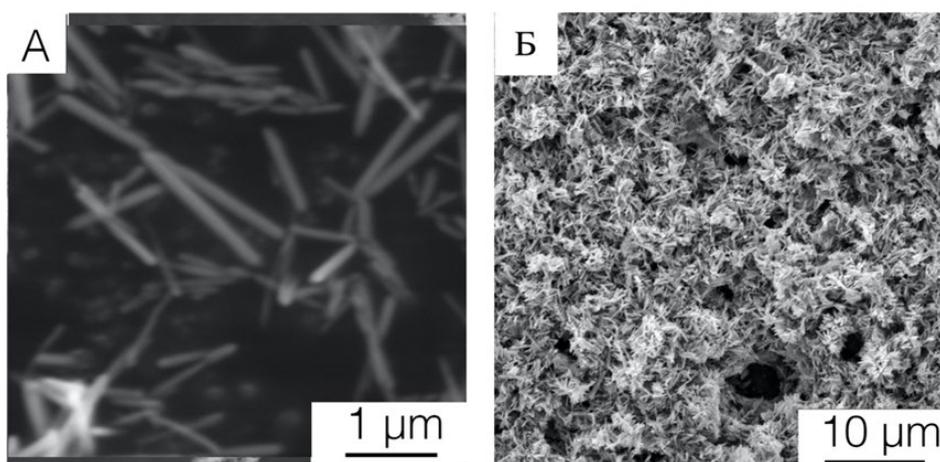


Рис. 3. Микрофотографии СЭМ монокристаллов ZnO после воздействия ультразвука (А), тонкой плёнки, высушенной на подложке (Б)

### Экспериментальная методика

Синтез наночастиц ZnO проводился согласно методике, описанной в литературе [4, 5] гидротермальным методом. На первом этапе готовился раствор, состоящий из гексагидрата нитрата цинка  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , гидроксида натрия NaOH и деионизованной воды (концентрация ионов  $[Zn^{2+}] = 0.005$  М, pH = 12). Далее 1 часть данного раствора смешивали с 10 частями этилового спирта  $C_2H_5OH$ , 5/3 частями деионизованной воды и 2 частями 1,2- диаминоэтана  $H_2NCH_2CH_2NH_2$ . Полученную смесь гомогенизировали в ультразвуковой ванне в течение 30 минут и помещали в реактор высокого давления. Кристаллизация наночастиц осуществлялась при температуре 180°C в течение 20 часов. Полученные частицы промывались деионизованной водой до нейтральных значений pH.

Морфологический анализ синтезированных частиц и поверхности плёнок проводился при помощи сканирующего электронного микроскопа Vega3 Tescan.

Для разрушения синтезированных сферолитов – сферических агрегатов ZnO – на отдельные монокристаллы их взвесы в воде подвергались воздействию ультразвука. Далее к высушенным монокристаллам ZnO добавлялся этиловый спирт при интенсивном перемешивании. Далее в процессе перемешивания с помощью пипет-дозатора отбиралась мельчайшая фракция наночастиц объёмом от 10 до 25  $\mu$ L и переносилась на подложку, каплю на подложке высушивали под вакуумом.

Подложки для измерений электрического отклика наноструктурированных слоёв частиц представляют из себя 2 металлических проволоки PtAg цилиндрического сечения диаметром 75  $\mu$ км, зафиксированных в эпоксидной смоле и разнесённых на расстояние 300  $\mu$ км.

Измерение зависимости тока, сопротивления двухполюсника и мгновенной электрической мощности от приложенного напряжения проводилось с использованием стандартного источника-измерителя Keithley 6480. Порядок подачи напряжения указан на временной диаграмме-вкладке рисунка 4, между циклами измерений двухполюсник замыкается на 0. Количество циклов измерений определялось выходом структур из строя.

### Результаты

В ходе работы при использовании гидротермального метода были синтезированы частицы ZnO микронного размера. Микрофотографии СЭМ синтезированных объектов представлены на рисунке 2. Видно, что распределение частиц по размерам достаточно узкое: при измерениях по 30 частицам средний размер сферолита составил  $2.77 \pm 0.24$   $\mu$ км.

Реализация узкого разброса частиц по размерам является важной, поскольку использование близких по размеру частиц позволяет избежать явлений существенной разницы протекающих токов при построении двухполюсника. Сферолиты ZnO разрушаются до монокристаллов под действием ультразвука (рис. 3а): составные частицы после ультразвукового воздействия распадаются до составляющих монокристаллов.

После нанесения капли и сушки в эксикаторе слой частиц на подложке представляет из себя случайно ориентированный наноструктурированный слой наночастиц (рис. 3б) – толщиной порядка десятков микрон. Следует отметить, что объём высаживаемой смеси и процесс кластеризации частиц на поверхности подложки во время высыхания существенно влияют на поведение двухполюсника и значения протекающих через него токов. В связи со стохастическим характером распределения частиц и их кластеров по поверхности подложки добиться постоянно воспроизводимого электрического поведения не удалось.

Набор вольт-амперных характеристик (ВАХ) одного из наноструктурированных слоёв ZnO для 1го, 5го, 10го и 15го циклов измерений представлен на рисунке 4. В таких слоях зафиксированы несколько особенностей в каждом из циклов измерений ВАХ. Это участки отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) структуры: видно, что функция тока от напряжения не монотонна. При уменьшении напряжения от 10 до 0 В происходит резкий скачок сопротивления, а затем и изменение его знака. Таких участков два – на положительном и отрицательном плечах ВАХ. В первом цикле на положительном плече электрическое сопротивление перед переменной знака при  $V_s = -0.4$  В возросло со средних 15

до 3270 кОм – в 218 раз. После резкого скачка сопротивление двухполюсника становится отрицательным. График зависимости сопротивления от тока представлен на рисунке 5. Электрическое сопротивление на различных плечах ВАХ меняется несимметрично. Такой тип переключения называется биполярным.

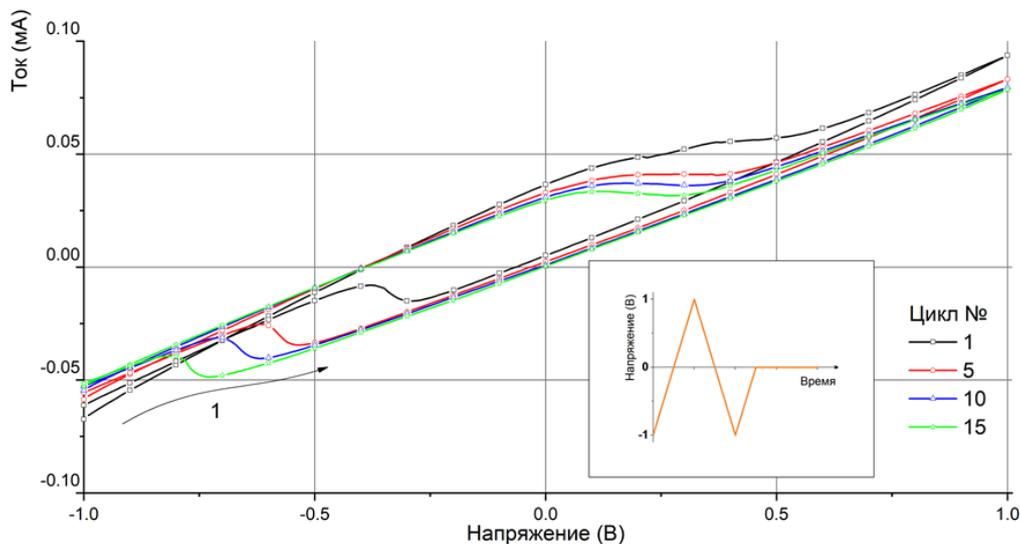


Рис. 4. Набор вольтамперных характеристик двухполюсника

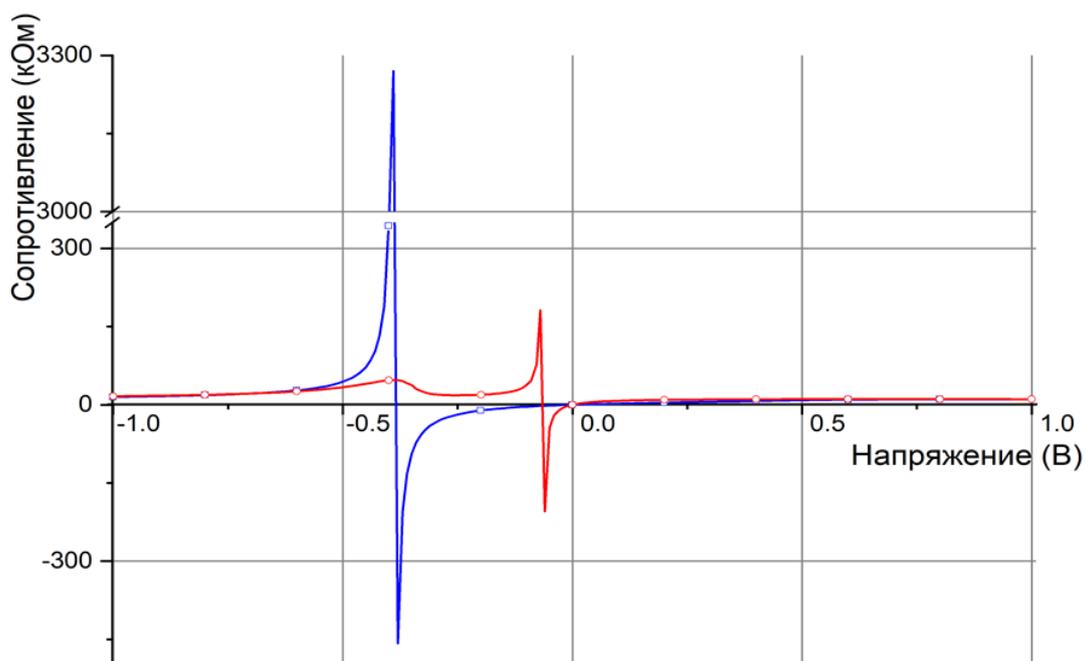


Рис. 5. Зависимость сопротивления двухполюсника от приложенного напряжения

В интервале между циклами измерения контакты двухполюсника соединялись с истинным заземлением. От цикла к циклу на обоих плечах ВАХ значение напряжения переключения двухполюсника снижалось. Участки ОДС двухполюсника смещались в область больших напряжений переключения. Напряжение переключения  $V_s$  и сопротивление структур при напряжении 1 В показали рост пропорционально количеству циклических измерений. Таким образом, в двухполюснике реализуется эффект памяти о суммарном заряде, прошедшем через структуру. В сущности, сопротивление структуры является функцией от суммы токов, прошедших через неё. Согласно классическому определению, таким образом реализуется

мемристивное поведение двухполюсника [6]. Биполярный тип переключения проводимости характерен для систем, реализующих короткие замыкания по пути протекания тока за счёт подвижности некомпенсированного положительного заряда по вакансиям  $O^{2-}$ .

#### **Заключение**

Представлены результаты наблюдения эффектов переключения проводимости и энергонезависимого хранения информации о количестве циклов измерений в структурах «металл-оксид-металл», состоящих из планарной плёнки микрокристаллических частиц ZnO. Описанный эксперимент может применяться в качестве модельного для изучения принципов работы случайных планарных сетей наночастиц, механизмов работы приборов энергонезависимой памяти на эффекте переключения проводимости.

#### **Литература**

1. Theis T. N., Wong H. P. The End of Moore's Law: A New Beginning for Information Technology // *Computing in Science & Engineering*. 2017. Т. 19, № 2. С. 41-50.
2. Jacob A. P., Xie R., Sung M. G., Liebmann L., Lee R. T. P., Taylor B. Scaling Challenges for Advanced CMOS Devices // *International Journal of High Speed Electronics and Systems*. – 2017. Т. 26, № 01n02. С. 1740001.
3. Grollier J., Querlioz D., Camsari K. Y., Everschor-Sitte K., Fukami S., Stiles M. D. Neuromorphic spintronics // *Nature Electronics*. 2020. Т. 3, № 7. С. 360-370.
4. Lu C.-H., Yeh C.-H. Influence of hydrothermal conditions on the morphology and particle size of zinc oxide powder // *Ceramics International*. 2000. Т. 26, № 4. С. 351-357.
5. Liu B., Zeng H. C. Hydrothermal Synthesis of ZnO Nanorods in the Diameter Regime of 50 nm // *Journal of the American Chemical Society*. 2003. Т. 125, № 15. С. 4430-4431.
6. L. Chua. Memristor-The missing circuit element // *IEEE Transactions on Circuit Theory&* – 1971. Т. 18, № 5, С. 507-519.

УДК 004.9

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ  
ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ В ПСИХОЛОГИИ ЛИЧНОСТИ****Груздева А.С.<sup>1</sup>****Научный руководитель – д.т.н., профессор Бессмертный И.А.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрена возможность применения уравнений волновой механики для классификации в психологии личности. Перечислены предпосылки для применения квантово-подобного подхода в данной области. Предложена модель классификации, основанная на уравнениях, описывающих многолучевую интерференцию сферических волн. Проведена предварительная экспериментальная проверка предложенного метода на базе психологических портретов известных личностей.

**Ключевые слова:** психология личности, классификация, квантово-подобная модель, семантическая близость, интерференция.

Психология личности, как следует из названия, изучает индивидуальность и ее взаимодействие с окружающей средой и другими людьми. Применяемые в общей психологии математическая статистика и факторный анализ, по отзывам специалистов, являются малоприменимыми для исследования индивидуальности. Такими же низкоэффективными выглядят методы, основанные на принципе подобия, т.к. практически не существует двух одинаковых личностей и часто невозможно априори определить, какие свойства личности и их сочетание могут сыграть решающую роль. Возможно, поэтому психология личности оказалась практически не снабженной математическими методами. Одной из основных задач данного раздела психологии является прогнозирование. Под прогнозированием понимается определение склонности человека к различным видам деятельности, его тенденции к попаданию в позитивные и негативные социальные группы и роли, предсказание манифестаций личности, моделирование поведения в разнообразных ситуациях, как правило, стрессовых для выбранного индивида. В данном рассмотрении задача прогнозирования близка к задаче классификации. Математическая модель, пригодная для решения задачи классификации в целях построения психологического прогноза, не должна базироваться на статистических данных и принципе подобия. Основу ее работы должен составлять анализ конкретного психологического портрета личности.

Решение поставленной задачи выглядит наиболее привлекательным в рамках математического аппарата квантовой или волновой механики. На эту мысль наводит достаточно большое количество аналогий, проводимых между психологией и квантовой механикой. О присутствии характерного для квантовой механики эффекта наблюдателя в психологических исследованиях, например, говорится: «Особое значение имеет проблема наблюдателя. Поведение человека или группы людей изменяется, если они знают, что за ними наблюдают со стороны» [1]. В таких специфических методах исследования, как беседа и самонаблюдение, эффект наблюдателя может проявляться особенно ярко. С точки зрения принципа неопределенности личность описывается как взаимодействие двух пар составляющих: «тело – сознание» с одной стороны и «рациональное – интуитивное» – с другой [2]. Поведение человека не позволяет определить, в каких пропорциях на результат повлияли тело, сознание, разум, интуиция, т.к. одно и то же поведение может быть обусловлено разными состояниями. Запутанность рассматривается в рамках «теории рабочих групп» и определяется, как состояние «взаимозависимости», которое является чем-то большим, чем взаимная зависимость и позволяет команде действовать, как единое целое, повышая суммарную эффективность работы [3]. Кроме того, значимая личность, чье мнение действительно важно для нас, влияет на наше поведение независимо от того расстояния, на котором находится. Принцип суперпозиции проявляется в том, что одна и та же личность может рассматриваться по-разному в разрезе разных социальных ролей, при этом и поведение человека также диктуется не только особенностями личности, но и той социальной ролью, которую в данный

момент исполняет. Один и тот же человек по-разному ведет себя и воспринимается окружающими в ролях, например, сына, отца, мужа, начальника, подчиненного, друга, соперника. Суперпозиция проекций личности на все возможные роли дает интегральное представление о человеке.

Для решения задачи классификации личности на основании ее психологического портрета была предложена волновая-семантическая модель. В рамках волновой модели личность человека представляется как волновой пакет, распространяющийся в пространстве классов и ситуаций. Такой волновой пакет, описанный с классической (детерминистической) точки зрения, соответствует пакету вероятности в квантово-механическом подходе, а суммарная интенсивность пакета в выбранных точках пространства пригодна для оценки амплитуды вероятности попадания объекта в данную точку [4]. Волновой пакет состоит из дискретного набора сферических волн, источниками которых в данном случае являются отдельные характеристики личности человека, а их амплитуда соответствует интенсивности проявления указанной характеристики. Сферическая волна описывается уравнением (1).

$$E_{ij} = \frac{A_j}{r_{ij}} \cos(\omega_j t - k_j r_{ij} + \varphi_{0j}), \text{ где } k_j = \frac{\omega_j}{v_j}. \quad (1)$$

В первом приближении будем считать все волны когерентными и распространяющимися с одинаковой скоростью, и пренебрежем начальной фазой, тогда формула (1) принимает вид (2).

$$E_{ij} = \frac{A_j}{r_{ij}} \cos(\omega t - k r_{ij}). \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) индекс  $i$  указывает на принадлежность к классу пространства, а индекс  $j$  – на источник, соответствующий отдельной характеристике личности.

$E_{ij}$  – напряженность поля, создаваемого волной с источником, соответствующим характеристике личности с индексом  $j$  в точке пространства, относящейся к классу  $i$ ;

$A_j$  – интенсивность проявления характеристики личности с индексом  $j$ ;

$r_{ij}$  – расстояние между точками  $i$  и  $j$ ;

$\omega$  – частота волны;

$k$  – волновое число, определяющееся, как отношение частоты к скорости распространения волны.

Суммарная интенсивность такого пакета в точке  $i$  пространства рассчитывается по формуле, описывающей многолучевую интерференцию сферических волн (3), где под  $M$  понимается количество характеристик, участвующих в расчете.

$$I_i = \sum_{j=1}^M \left( \frac{A_j}{r_{ij}} \right)^2 + 2 * \sum_{j=1}^{M-1} \sum_{l=j+1}^M \frac{A_j A_l}{r_{ij} r_{il}} \cos(k(r_{ij} - r_{il})). \quad (3)$$

В уравнении (3) остается неопределенным коэффициент  $k$ , который приобретает смысл параметра модели, отвечающего за влияние интерференции. Экспериментальное исследование модели показало, что наиболее значимое влияние интерференции наблюдается при значениях  $k$  в интервале от 1 до 100, поэтому для расчета используется усредненное значение суммарной интенсивности для  $k$ , изменяющихся в указанном диапазоне. Для сравнения и оценки влияния интерференции используется также расчет без ее учета – уравнение (4).

$$I_i^* = \left( \sum_{j=1}^M \frac{A_j}{r_{ij}} \right)^2. \quad (4)$$

Для оценки расстояний  $r_{ij}$  в заданном пространстве используется семантическая близость между понятиями, описывающими характеристики личности и целевые классы, и события.

Данный выбор обусловлен тем, что аппарат психологии не располагает физическими величинами, которые могут быть измерены или вычислены. Он оперирует только смыслами. Для расчета семантического расстояния используется национальный корпус русского языка (НКРЯ) интернет – ресурса [rusvectores.org](http://rusvectores.org) [5].

Предварительное экспериментальное исследование предложенной модели проводилось с использованием психологических портретов известных людей, взятых из посвященной им биографической литературы. Выбор обусловлен тем, что человек, достигший успеха, наверняка следовал своему призванию, а не случайно оказался в данной группе. На основании психологического портрета модель пытается определить принадлежность личности к определенным классам профессий (армия, искусство, медицина, менеджмент, наука, педагогика, политика), используя уравнения (3) и (4). Было замечено, что класс «политика» присутствует абсолютно у всех исследуемых, причем с преобладающим весом. Было предложено такие классы считать общими и для снижения их значимости в расчетах ввести понижающий коэффициент. Для класса «политика» он установлен в значение 0,5. Исследование проводилось для следующих личностей: знаменитый русский поэт Серебряного века А.А. Ахматова, известный русский хирург Н.И. Пирогов, Председатель Совета министров Российской империи времен Николая II П.А. Столыпин, известный ученый в области ядерной физики и химии М. Кюри, российский революционер В.И. Ленин, известнейший физик А. Эйнштейн. При расчете учитывались такие характеристики психологического портрета, как гендер, тип телосложения, темперамент, черты характера, способности.

В таблице представлены результаты экспериментальных расчетов. Классы, имеющие отношение к реальной сфере деятельности, отмечены значком (V).

Таблица. Результаты эксперимента

<b>Исследуемая личность</b>			
<b>Класс</b>	<b>Суммарная интенсивность без учета интерференции</b>	<b>Класс</b>	<b>Суммарная интенсивность с учетом интерференции</b>
<b>А.А. Ахматова</b>			
Педагогика	0,289297	Медицина	0,220420
Искусство (V)	0,263006	Искусство (V)	0,206377
Политика	0,194473	Наука	0,176877
Медицина	0,167815	Педагогика	0,165344
Армия	0,048068	Менеджмент	0,102304
Наука	0,020037	Политика	0,065107
Менеджмент	0,017304	Армия	0,063572
<b>Н.И. Пирогов</b>			
Педагогика (V)	0,272638	Менеджмент (V)	0,308102
Менеджмент (V)	0,232675	Педагогика (V)	0,171179
Медицина (V)	0,217824	Медицина (V)	0,165960
Политика	0,180648	Политика	0,117976
Искусство	0,042849	Армия	0,091809
Наука	0,030933	Наука	0,073255
Армия	0,022434	Искусство	0,071718

## Продолжение таблицы. Результаты эксперимента

<b>Исследуемая личность</b>			
<b>Класс</b>	<b>Суммарная интенсивность без учета интерференции</b>	<b>Класс</b>	<b>Суммарная интенсивность с учетом интерференции</b>
<b>П.А. Столыпин</b>			
Политика (V)	0,484107	Политика (V)	0,216348
Медицина	0,228419	Медицина	0,191464
Искусство	0,098356	Армия	0,170624
Армия	0,080580	Искусство	0,116545
Педагогика	0,074799	Наука	0,114879
Менеджмент	0,033443	Педагогика	0,097200
Наука	0,000296	Менеджмент	0,092939
<b>М. Кюри</b>			
Искусство (V)	0,394640	Искусство (V)	0,252820
Педагогика (V)	0,311831	Педагогика (V)	0,218259
Медицина	0,119291	Медицина	0,148521
Политика	0,085618	Наука (V)	0,125930
Наука (V)	0,045402	Менеджмент	0,101885
Менеджмент	0,043016	Армия	0,083116
Армия	0,000202	Политика	0,069470
<b>В.И. Ленин</b>			
Политика (V)	0,496283	Искусство	0,196480
Педагогика	0,247297	Политика (V)	0,191336
Искусство	0,100677	Педагогика	0,165425
Медицина	0,082829	Медицина	0,148428
Наука	0,043139	Наука	0,144067
Менеджмент	0,021418	Менеджмент	0,101091
Армия	0,008356	Армия	0,053172
<b>А. Эйнштейн</b>			
Политика (V)	0,263029	Политика (V)	0,234776
Медицина	0,230437	Наука (V)	0,214466
Наука (V)	0,149184	Медицина	0,159529
Педагогика	0,141761	Педагогика	0,155048
Искусство	0,131193	Искусство	0,101721
Менеджмент	0,084395	Менеджмент	0,092901
Армия	0,000001	Армия	0,041559

Полученные результаты эксперимента позволяют предположить, что предложенная модель классификации может оказаться эффективной в сфере психологии личности. В большинстве случаев реальные классы личностей показывают достаточно высокую интенсивность и, следовательно, находятся среди наиболее вероятных классов. Безусловно, объем проведенных на данный момент исследований крайне мал для того, чтобы можно было говорить о надежности и прогностических качествах данной модели. Пока можно лишь сделать вывод о том, что модель заслуживает дальнейшего развития и изучения.

Пока остается открытым вопрос о значимости волновой природы в описанном подходе. Расчеты не показывают значительного различия между результатами, полученными с учетом

и без учета интерференции. Возможно, это связано с усреднением результатов расчетов в достаточно обширном диапазоне волновых чисел.

В дальнейшей работе планируется исследование возможностей уточнения параметра  $k$  (волнового числа) и, следовательно, более тонкого учета интерференции, а также детальное экспериментальное исследование модели. Для тестирования предполагается использовать как обезличенные реальные данные обследований практикующих психологов, так и прочие произвольные наборы данных, предполагающие возможность классификации объектов по их текстовому описанию.

### Литература

1. Волчанский М.Е., «Общая характеристика экспериментальных и неэкспериментальных методов в психологии. Методические рекомендации для студентов факультета социальной работы и клинической психологии» // Волгоград, ВГМУ. 2004.
2. Шелехов И.Л., Белозёрова Г.В., Берестнева О.Г., «Системная теория личности» // Томск. ТГПУ, С24-V2. 2018. С. 376-390.
3. Lawless W.F., «The entangled nature of interdependency. Bistability, irreproducibility and uncertainty» // *Journal of Mathematical Psychology* 78, 2017. P. 51–64.
4. Френкель Я.И., «Волновая механика» // Москва, URSS. 2019.
5. Kutuzov A., Kuzmenko E., «WebVectors: A Toolkit for Building Web Interfaces for Vector Semantic Models» // Ignatov D. et al. (eds) *Analysis of Images, Social Networks and Texts. AIST 2016. Communications in Computer and Information Science*, vol 661. Springer, Cham. 2017.

УДК 001.98

## ОТОЗВАННЫЕ РОССИЙСКИЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Ефимова А.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Мальков Д.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №620163 «Практики взаимодействия в трансдисциплинарном пространстве».*

В работе рассмотрены российские отозванные статьи, индексируемые Web of Science или Scopus. Рассматривается распределение статей по областям научных знаний, причины отзывов статей, год публикации статей, год отзыва статей и время, прошедшее между публикацией и отзывом. Полученные данные сопоставлялись с мировыми тенденциями в области отзывов научных статей. Исследование проводилось на основе базы Retraction watch database.

**Ключевые слова:** отзыв научной статьи, ретракция, плагиат, фальсификация, дублирование, наукометрия.

Отзыв научных статей (ретракция) предупреждает учёных о нарушениях, которые были произведены в процессе исследования. Главная цель ретракции – это исправления ошибок.

Ретракция – это комплекс мер, совершаемых по инициативе журнала или автора статьи:

- выпуск статьи, в которой указывается причина отзыва, кто был его инициатором;
- отметка статьи-оригинала как отозванной в журнале, на сайте журнала и в библиометрических базах. При этом доступ к первоисточнику сохраняется, статья не удаляется навсегда [1].

По степени вовлеченности ученого типы нарушений, вызывающих ретракцию, можно разделить на:

- Намеренное нарушение правил и этики научного сообщества. Их можно разделить на плагиат, фальсификацию и нарушение правил. Плагиат – это копирование чужих идей без указания авторства. Некоторые исследователи относят к плагиату дублирование своих результатов без указания первоисточника. Фальсификация – манипуляция с данными, которая представляет вымысел за научный результат. К нарушениям научной этики можно отнести действия, не влияющие на содержание статьи прямым образом, например, публикация без согласия соавтора.
- Ненамеренное нарушение правил – ошибки. Они возникают в процессе сбора, обработки информации или в процессе публикации статьи.
- Нарушения, не зависящие от авторов статей, например, ошибка издателей [2].

С каждым годом количество отозванных статей увеличивается [3]. Это связано с увеличением количества журналов, публикующих научные отзывы. При этом индекс ретракции в журналах, уже выпускавших отзывы, не изменился. Индекс ретракции – это величина, отражающая частоту отзывов в журналах за определённый промежуток времени [4]. Оказалось, что этот индекс пропорционален значению импакт-фактора журналов. Это связано с тем, что воздействие журналов с высоким импакт-фактором велико. Статьи в журналах с высоким импакт-фактором вызывают большее доверие учёных, поэтому издания более тщательно следят за корректностью статей.

Время ретракции – это важный параметр для статистических данных. Оно включает время до выявления подозрений, проверку статьи, урегулирование ситуации с авторами и, наконец, публикацию отзыва. Исследование времени отзыва проводилось на основе базы PubMed, выборка с 2000 по 2010 год [5]. Данные показали, что вероятность ретракции в первый год составляет 35.2%, а в течение 5 лет – 82.6%.

Для исследования отзывов статей существует специализированная база – RetractionWatch Data Base. Журнал *Science* [6] признал, что RetractionWatch является наиболее

полной базой данных отозванных статей. Данные базы в июле 2018 года включали около 17000 отозванных статей. Анализ показал, что 53.5% статей относится биологическим наукам, 38.7% – к медицинским наукам, 29.6% к техническим, 10.6% – бизнес и технологии, 7.7% – науки об окружающей среде, 5.6% – социальные науки, 0.8% – гуманитарные науки. Причиной отзыва были научные нарушения в 34.8% случаев, статьи с плагиатом и дублированием в 24.8% случаев [7].

Китайские авторы [8] исследовали национальные научные отзывы, используя PubMed и Web of Science в мае 2017. В выборку попало 825 отзывов статей. Количество ретракций в стране возрастает, что соответствует мировым тенденциям. Среднее время от публикации до отзыва составило 18.5 месяцев. Причинами отзывов послужили: плагиат – 192 статьи (21.7%), ошибки – 159 (18.3%), дублирование публикации – 143 (16.2%), подделывание рецензирования – 137 (15.5%), авторские разногласия – 96 (10.9%).

Южнокорейские исследователи [9] оценивали ретракции с помощью национальной медицинской базы KoreaMed с 1990 по 2016 год. Из найденных 111 ретракций причинами отзывов статей оказались дублирование в 57% случаев, плагиат – 8.8%, научные ошибки – 4.4%.

Феномен ретракции неоднозначен и является «исправлением ошибок, а не наказанием», но к отзывам статей в научном мире относятся неоднозначно. Из-за недобросовестности одних учёных другие могут попасться на статью с манипуляциями. Закон «publish or perish» – «публикуйся или умри» диктует академическому миру такие условия: статистической значимости результатов приводит к большой конкуренции и поиску возможности их обойти [10].

Исследователи замечают [11], что количество нарушений не увеличивается, увеличивается раскрываемость нарушений прошлых лет. Важно учитывать, что количество выпускаемых статей растёт, поэтому стоит оценивать процент ретракций от всех опубликованных статей.

### Результаты исследования

В качестве источника данных была выбрана база данных RetractionWatch Data Base [12]. При поиске российских статей было найдено 1186 результатов. В качестве исследуемых параметров были выбраны название статьи, область знаний, причины отзыва, год публикации и год отзыва. При обработке данных был выявлен необычный феномен: 37 российских докладов было отозвано из журнала из-за утери индексации базой Web of Science.

Retraction or Other Notice	Reason(s)	Author(s)	Original Paper Date/PubMedID/DOI
Title/Subject(s)/Journal — Publisher/Affiliation(s)/Retraction Watch Post URL(s) 600 Items Displayed Out of 1186 Items Found			
600 Items Displayed Out of 1186 Items Found			
closed form analytical solution for dispersion of Lamb waves in functionally graded plates	Duplication of Article	Sergey V Kaznetsov	0418-2019-00060000 10.1016/j.wavesmot.2018.09.020
(PHY) Physics			
<i>Wave Motion — Elsevier</i>			
Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Sciences, Russia			
Bauman Moscow State Technical University, Russia			

Рис. 1. Интерфейс RetractionWatch Data Base



Рис. 2. Темы отозванных статей

Распределение отозванных статей по областям знаний представлено на рисунке 2, где soc – социальные науки, b/t – бизнес и технологии, bls – биологические науки, hum – гуманитарные науки, env – науки об окружающей среде, hcs – медицинские науки, phy – технические науки. Каждая статья могла относиться к нескольким областям знаний.

На основе рисунка 2 можно сделать вывод, что наиболее подвержены ретракции в России статьи о технических науках, следующие по частоте биологические науки и бизнес и технологии, следом медицина.

Для сравнения данных оценим тот же параметр с помощью инструментов SciVal. База составлялась из DOI опубликованных статей. Из 1186 статей DOI имели 246, база данных составила 69 статей с 2010 по 2019 год, DOI статей за 2020 отсутствовали. Результаты показаны на рисунке 3.

Такой объем первоначальной выборки (5.8%) объясняется тем, что база RetractionWatch Data Base в начале 2021 года начала пополняться за счёт журналов, индексируемых РИНЦ или имеющих на портале eLibrary.ru. Российская наука чётко разделяется на «внутреннюю» и «внешнюю», представление в международной науке не советуется внутреннему рынку.

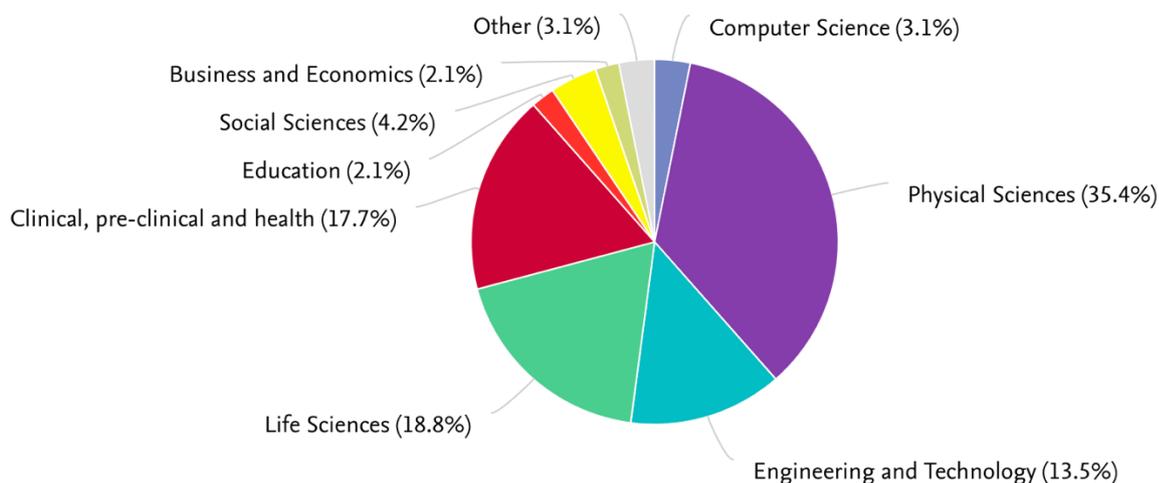


Рис. 3. Темы отозванных статей SciVal

Причины отзывов научных статей могут быть различными: это дублирование данных, ошибки, ошибки со стороны журналов, плагиат или сомнительные. Для одной статьи могло быть несколько причин отзывов, или данные могли отсутствовать вовсе. Наименования ретракций представлены в таблице 1.

К эвфемизмам плагиата, например, относится «случайно скопированный текст». Исходя из данных таблицы 1, можно сделать вывод, что наиболее частой причиной отзывов российских научных статей служит плагиат и дублирование. Стоит учитывать, что другие причины ретракций являются более сложными для выявления, так как выявляются не с помощью программ.

Даты публикации и отзыва статьи (рис. 4) позволяют узнать, сколько статей было отозвано каждый год и в каких годах были опубликованы ретракции. По данным рисунка видно, что база данных ещё будет пополняться, провал после 2019 года очень резкий. Также наблюдается тенденция к выявлению ошибок прошлых лет, а не текущего года. Это подтверждает то, что ретракция – не мгновенный процесс.

Таблица 1. Причины отзывов статей

	Причины отзывов статей	Количество
Плагиат	Эвфемизмы плагиата	495
	Плагиат текста	482
	Плагиат статьи	16
	Жалобы на нарушение авторских прав	6
	Плагиат данных	2
Дублирование	Дублирование статьи	237
	Взято из диссертации	55
	Дублирование текста	14
	Эвфемизмы дублирования	11
	Дублирование изображения	4
	Дублирование данных	3
Ошибки	Ошибки в тексте	219
	Ошибки в результатах или выводах	84
	Ошибки в методах	13
	Ошибки в анализе	5
	Ошибки в данных	4
	Ошибки в материалах	3
	Ошибки в изображении	2
Проблемы с содержанием	Проблемы с результатом	15
	Ненадежные результаты	13
	Проблемы с данными	11
	Проблемы с источниками	8
	Ненадежные данные	2
Подделка	Манипуляция изображениями	2
	Фальсификация / фабрикация данных	1
	Поддельное рецензирование	1
	Манипулирование результатами	1
Этические проблемы	Конфликт интересов	28
	Проблемы с авторством	25
	Этические нарушения со стороны автора	14
	Ложное авторство	7
	Ложная аффилиация	1
	Нарушение со стороны автора	1
	Нарушение политики автором	1
Проблемы со стороны издателя или журнала	Ошибки издателя или журнала	34
	Дублирование из-за ошибки издателя или журнала	26
	Непонимание со стороны журнала / издателя	1

RetractionWatch Data Base позволяет получить данные, какие организации публиковали статьи. В таблице 2 находятся вузы, в которых было отозвано более 10 статей. Примечательно то, что списке оказались не только университеты. Наибольшее количество отзывов оказалось в самом крупном вузе России. География вузов разнообразна, среди наименований встречаются как гуманитарные, так и технические вузы.



Рис. 4. Даты публикации и отзыва статьи

Таблица 2. Организации, в которых чаще всего встречались отзывы статей

<b>Аффилиации организаций</b>	<b>Количество</b>
Московский государственный университет	40
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации	38
Санкт-Петербургский государственный университет	27
Карачаево-Черкесский государственный университет	23
Российский экономический университет	21
Северо-Осетинский государственный университет	19
Кубанский государственный аграрный университет	17
Омский государственный педагогический университет	16
Алтайский государственный университет	15
Балтийский федеральный университет	14
Российский университет дружбы народов	14
Донской государственный технический университет	13
Башкирский государственный университет	13
Кубанский государственный университет	13
Пермский национальный исследовательский политехнический университет	12
Федеральная служба исполнения наказаний	11
Российский государственный университет правосудия	11
Владимирский государственный университет	11
Ростовский государственный экономический университет	10
Уфимский государственный нефтяной технический университет	10
Ставропольский государственный аграрный университет	10

В результате выполнения научно-исследовательской работы было проведено исследование на тему ретракции российских научных статей. Результаты показали, что плагиат является одной из самых распространенных причин для отзыва статьи в России. Существуют разные закономерности для научных статей, опубликованных в российских журналах, и для статей, опубликованных в международных журналах.

### Литература

1. Wager E. et al. Retractions: guidance from the Committee on Publication Ethics (COPE) //Maturitas. 2009. Vol. 64. №. 4. P. 201-203.
2. Shuai X. et al. A multidimensional investigation of the effects of publication retraction on scholarly impact //Journal of the Association for Information Science and Technology. 2017. Vol. 68. №. 9. P. 2225-2236.
3. Fanelli D. Why growing retractions are (mostly) a good sign //PLoS Med. 2013. Vol. 10. №. 12. – P. e1001563.
4. Fang F. C., Casadevall A. Retracted science and the retraction index. 2011.
5. Steen R. G., Casadevall A., Fang F. C. Why has the number of scientific retractions increased? //PloS one. 2013. Vol. 8. №. 7. P. e68397.
6. Brainard J. Rethinking retractions. //Science – 2018. Vol. 362. №. 6413. P. 390-393.
7. Bar-Ilan J., Halevi G. Retracted Research Articles from the RetractionWatch Data Base Research in Progress Paper //17th international conference on scientometrics & informetrics. 2019. Vol. 1. P. 322-328
8. Chen W. et al. Retracted publications in the biomedical literature with authors from mainland China //Scientometrics. 2018. Vol. 114. №. 1. P. 217-227.
9. Huh S., Kim S. Y., Cho H. M. Characteristics of retractions from Korean medical journals in the KoreaMed database: A bibliometric analysis //PloS one. 2016. Vol. 11. №. 10. P. e0163588.
10. Barde F., Peiffer-Smadja N., de La Blanchardière A. Fraude scientifique: une menace majeure pour la recherche médicale //La Revue de Médecine Interne. 2020
11. Grieneisen M. L., Zhang M. A comprehensive survey of retracted articles from the scholarly literature //PloS one. 2012. Vol. 7. №. 10. P. e44118.
12. RetractionWatch Database [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://retractiondatabase.org/> (дата обращения: 31.05.2021).

УДК 546.06

## СОЗДАНИЕ НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ИНКАПСУЛИРОВАННОГО ГЕМИНА В ZIF-8 И НАНОТРУБКИ ИЗ ДИОКСИДА ТИТАНА

Ефимова С.А.<sup>1</sup>, Иконникова Е.В.<sup>1</sup>, Бутонова С.А.<sup>1</sup>, Морозов М.И.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.х.н., доцент Виноградов А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР №19-19-00433 «Российский Научный Фонд».*

В данном исследовании приводится описание синтеза композита для доставки гемина на основе фотокаталитической активации полупроводникового слоя, который способен вызывать локальный градиент рН в ответ на внешнее электромагнитное излучение. Показаны подбор условий синтеза и анализ полученных экспериментальных результатов, оказывающих влияние на морфологические и функциональные свойства.

**Ключевые слова:** металл-органический каркас, титановые нанотрубки, диоксид титана, цеолитный имидазольный каркас, фактор роста, гемин, ап-конверсия.

Регенерация тканей *in situ* – одна из основных задач функционального материаловедения, направленная на восстановление функциональных и анатомических свойств после травматических, инфекционных или дегенеративных заболеваний [1]. Она относится к увеличению концентрации клеток вокруг поврежденной структуры тканей. Механизмы регенерации и восстановления включают в себя контроль пролиферации клеток, а также множество функций компонентов внеклеточного матрикса. Новые терапевтические подходы подразумевают использование передовых медицинских устройств для контролируемой доставки биоактивных молекул или факторов роста в поврежденную зону [2]. В работе рассматривается альтернативный метод локализации биоконпонентов для восстановления структурной целостности покровов.

Данный подход включает в себя изготовление нанотрубок (NTs), состоящих из диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) и способных самоупорядочиваться на титановых подложках путем электрохимического анодирования. Они легко могут быть интегрированы в текущую технологию титановых имплантатов, имея улучшенную биоактивность, механику и поверхностную модификацию по сравнению с обычными аналогами [3]. Нанотрубочные материалы имеют большое значение из-за их исключительных физических свойств и потенциальных применений [4].

Нанотрубки диоксида титана (TNTs) могут быть синтезированы различными способами, такими как электрохимическое осаждение в нанопористых матрицах из оксида алюминия, золь-гель и гидротермальный методы, посевной рост и электроспинирование. Но все эти методы имеют одни и те же недостатки - сложность получения и низкий выход нанотрубок. Недавно был разработан синтез TNTs с использованием электрохимического анодирования титановой пластины в электролитах, содержащих фторид-ион [5]. Данный метод является более простым, экономичным и легко масштабируемым по сравнению с ранее разработанными, приводящим к созданию высокоупорядоченных массивов вертикально выровненных нанотрубок. Напряжение при анодировании может использоваться для контроля диаметра, а время анодирования может быть изменено для контроля средней длины нанотрубок. Содержание воды определяет прочность соединения между массивами и исходной титановой подложкой. Основываясь на наблюдениях и преимуществах, в качестве синтеза TNTs было выбрано электрохимическое анодирование Ti-электрода в водном растворе этиленгликоля и фторида аммония. Pt-электрод используется в качестве катода, и анодирование выполняется в двухэлектродной ячейке. После 20 часов анодирования при 30 В и 0,65 А титановый электрод выдерживается в этаноле в течение 12 часов для удаления

побочных продуктов электрохимического взаимодействия, а затем нагревается в течение 1,5 часов до 450 °С и 3 часа прокаливается при данной температуре.

Допирование нанотрубок ионами  $Er^{3+}$  позволяет получить ап-конверсионные свойства ( ${}^2H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  с максимумом около 520 нм,  ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  с максимумом 550 нм и  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  с максимумом 670 нм) при облучении ИК-светом. Проникающая способность ИК-лучей выше по сравнению с УФ-лучами, что даёт возможность использовать нанокompозит в различных очаговых точках организма [6]. Применение процесса преобразования электромагнитного излучения с повышением энергетического уровня системы оптимизирует фотокаталитические характеристики традиционных УФ-активных фотокатализаторов. УФ-излучение провоцирует генерацию протонов за счёт того, что фотоиндуцированные "дырки" сначала достигают молекул воды и взаимодействуют с ними [7].

Используемый для инкапсуляции фактора роста цеолитный имидазольный каркас (ZIF-8) способен разлагаться в кислой среде, что делает его привлекательным для адресной доставки биоактивных компонентов с целью инкапсулирования, транспортировки и селективного pH-зависимого высвобождения [8]. ZIF-8 состоит из ионов  $Zn^{2+}$ , расположенных в узлах кристаллической решётки, и линкеров 2-метилимидазола в стехиометрии 1:2.

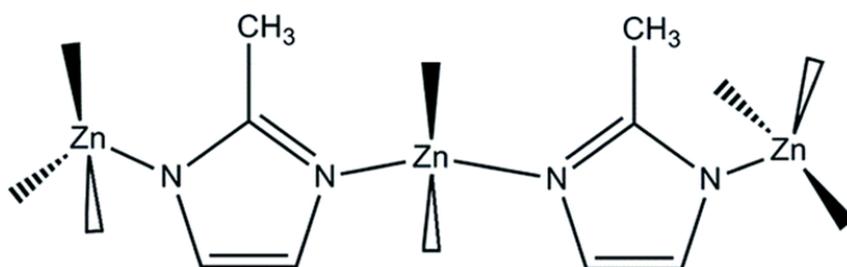


Рис. 1. Структура ZIF-8

Диаметр сферических пор (полостей) в структуре ZIF-8 составляет около 10,1 Å; они соединены между собой каналами в 3,5 Å. Гибкость данного каркаса позволяет также проникать внутрь молекулам большего размера. Удельная площадь поверхности данного материала по литературным данным составляет более 1500 м<sup>2</sup>/г. Выделение в биологическую среду гемина при разрушении металл-органического каркаса приводит к делению и размножению живых клеток, а также к их дальнейшей пролиферации [9].

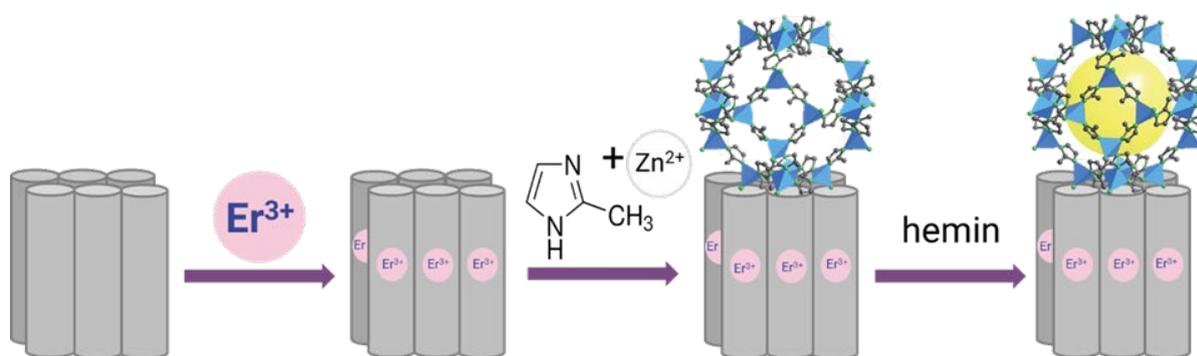


Рис. 2. Схема проекта

В работе показан синтез нанокompозита и выполнен анализ экспериментальных результатов с целью установления зависимости параметр – структура – свойство. В перспективе планируется оценить воспроизводимость полученных данных и

биосовместимость материалов. Данный фундаментальный научный проект имеет большое значение для применений титановых костных имплантов в медицине.

### Литература

1. Suh, H. Tissue Restoration, Tissue Engineering and Regenerative Medicine // *Yonsei Medical Journal*. 2000. №6(41). p. 681–684.
2. Sharsheeva, A., Iglin, V. A., Nesterov, P. V., Kuchur, O. A., Garifullina, E., Hey-Hawkins, E., Ulasevich, S. A., Skorb, E. V., Vinogradov, A. V., Morozov, M. I. Light-controllable systems based on TiO<sub>2</sub>-ZIF-8 composites for targeted drug release: Communicating with tumour cells // *Journal of Materials Chemistry B*. 2019. №7(43). p. 6810–6821.
3. Nah, Y. C., Paramasivam, I., Schmuki, P. Doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanotubes: Synthesis and applications // *ChemPhysChem*. 2010. №11(13). p. 2698–2713.
4. Hu, X., Li, G., Yu, J. C. Design, fabrication, and modification of nanostructured semiconductor materials for environmental and energy applications // *Langmuir*. 2010. №26(5). p. 3031–3039.
5. Byrne, J. A., Davidson, A., Dunlop, P. S. M., Eggins, B. R. Water treatment using nanocrystalline TiO<sub>2</sub> electrodes // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2002. №148(1–3). p. 365–374.
6. Wu, S., Butt, H.-J. Near-infrared photochemistry at interfaces based on upconverting nanoparticles // *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2017. №19. p. 23585–23596.
7. Roslyakov, I. V., Napolskii, K. S., Stolyarov, V. S., Karpov, E. E., Ivashev, A. V., Surtaev, V. N. A Thin-Film Platform for Chemical Gas Sensors // *Russian Microelectronics*. 2018. №47(4). p. 226–233.
8. Kumar, P., Bansal, V., Lalit, A. Biological applications of zinc imidazole framework through protein encapsulation // *Applied Nanoscience*. 2016. №7(6). p. 951–957.
9. Butova, V.V., Polyakov, V.A., Erofeeva, E.A., Efimova, S.A., Soldatov, M.A., Trigub, A.L., Rusalev, Y.V., Soldatov, A.V. Synthesis of ZnO Nanoparticles Doped with Cobalt Using Bimetallic ZIFs as Sacrificial Agents // *Nanomaterials*. 2020. №7(10). p. 1275–1288.

УДК 621.78.019

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОТЕРИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

**Иванова А.Н.<sup>1</sup>, Слободов А.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт

Получены результаты, которые дают детальную картину химических взаимодействий, в отличие от ограниченных опытных данных, что позволяет выделить основу для оптимизации водно-химического режима (ВХР).

**Ключевые слова:** физико-химическое моделирование, термодинамика, оптимизация ВХР, борнокалиевый режим, ВВЭР, теплоноситель, коррозия.

**Введение**

Исследование и оптимизация ВХР АЭС осложняется многообразием протекающих химических взаимодействий, высокими температурами, процессами радиолиза, возможными отклонениями ВХР от регламента, что может привести к возникновению аварийных ситуаций. Лишь детальное исследование всего комплекса химических взаимодействий позволяет изучить причины отклонений от регламента и необходимые мероприятия по их устранению. Экспериментальное изучение процессов существенно затруднено и ограничено получением лишь единичных характеристик типа показателя рН среды. Использование моделирования отдельных процессов энергоблоков АЭС с помощью термодинамического подхода в целом должно обеспечить помимо вышеуказанного повышение безопасности эксплуатации и сокращение затрат при сопровождении на всех этапах жизненного цикла. Цель работы - исследовать все многообразие взаимодействий, изучить детальный состав среды, выявить закономерности взаимодействий в зависимости от состава и температуры, а также создать основу для оптимизации ВХР, в первую очередь, для аварийных ситуаций с нерегламентированным попаданием в водную среду неконтролируемых примесей (например, соляной и азотной кислот), обеспечение слабощелочной среды при значении рН в диапазоне от 7.0 до 8.0 в аварийном бассейне при тяжелой аварии, сопровождающейся отказом САОЗ (система аварийного охлаждения активной зоны). Так как стандартным поглотителем нейтронов является борная кислота, то для контроля водно-химического режима - ВХР на российских АЭС с ВВЭР применяется борнокалиевый режим работы [1].

**Определение состава изучаемой среды водного раствора**

Состав водной среды определяется типом водно-химического режима, сценарием аварии, составом поступающих в контейнмент водных сред, а также неконтролируемым образованием ряда примесей за счет радиолитических, термических и химических взаимодействий. Состав водной среды можно разделить как на контролируемые примеси, соответствующие режиму работы АЭС, так и неконтролируемые.

Поступление каждого из этих растворов и общий объем (масса) водной среды зависят от типа и сценария аварии, а также от конкретного момента времени от начала аварии.

**Описание контролируемых примесей**

Для АЭС с ВВЭР используется борнокалиевая система:  $H_2O - H_3BO_3 - KOH - (H_2) - NH_3$ .

В результате происходящих процессов диссоциации – ассоциации, гидролиза химический состав воды первого контура реактора ВВЭР будет включать следующие соединения:  $B(OH)_3$ ,  $B(OH)_4^-$ ,  $B_2(OH)_7^-$ ,  $B_3(OH)_{10}^-$ ,  $B(OH)_5^{2-}$ ,  $B(OH)_6^{3-}$ ,  $B_4(OH)_{14}^{2-}$ ,  $H_2O$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $K^+$ ,  $NH_3$ .

**Описание неконтролируемых примесей**

**Азотная кислота.** При тяжелой аварии вследствие высокой мощности гамма-излучения в атмосфере контейнмента протекает радиолитическое окисление азота воздуха до оксидов  $NO$  и  $NO_2$ , которые при взаимодействии с каплями воды и конденсатом образуют азотную

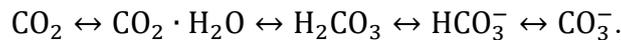
кислоту ( $\text{HNO}_3$ ), поступающую затем в приемок. Содержание азота в воздухе составляет 75.5% по весу. Скорость образования азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) пропорциональна мощности дозы гамма-излучения и массе азота в атмосфере контейнента. Выход азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) вследствие облучения  $g(\text{HNO}_3)$  принят равным 2.0 молекулы/100эВ [2, 3, 4].

**Соляная кислота.** Соляная кислота  $\text{HCl}$  (ион хлора  $\text{Cl}^-$ ) образуется в результате термоллиза и радиоллиза примесей хлора в материалах кабельной изоляции. Концентрацию соляной кислоты ( $\text{HCl}$ ) в водной среде определяют как результат деления количества поступившей соляной кислоты ( $\text{HCl}$ ) на объем воды в приемке. При объеме раствора в приемке равном  $2572 \text{ м}^3$  (при тяжелых авариях, сопровождающихся отказом активной части САОЗ) максимальная концентрация хлорида составит  $3 \times 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Йод и продукты деления.** Источником йода является ядерное топливо, из которого йод выделяется при авариях. Масса йода, образующегося во время топливного цикла, составляет – 18.4 кг. Доля  $^{131}\text{I}$  в общем количестве йода, составляет примерно 800 г. Для консервативной оценки примем, что массовая доля йода, выделяющегося из топлива, при тяжелой аварии составляет 100 %. Таким образом, в теплоноситель поступит 18.4 кг йода. Объем теплоносителя первого контура составляет  $372 \text{ м}^3$ , соответственно концентрация йода в теплоносителе составит  $4 \times 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>. С учетом объема раствора в приемке равном  $2572 \text{ м}^3$ , концентрация йода составит  $5.7 \times 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Диоксид углерода.** Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) изначально присутствует в атмосфере контейнента.  $\text{CO}_2$  первоначально накапливается в атмосфере контейнента и затем распределяется между парогазовой и водной фазами в соответствии с константой Генри. Концентрация диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в воздухе составляет ~ 0.03% по объему (или 0.046 мас.%), т.е. 0.46 г/кг воздуха.

В воде диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) существует в сложной равновесной системе:



При контакте раствора приемка с воздухом контейнента концентрация диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в растворе составит  $\sim 1 \times 10^{-6}$  моль/кг, поэтому  $\text{CO}_2$  практически не влияет на величину рН и не учитывается в модели расчета рН.

#### Методика термодинамического описания

Необходимо выявить закономерности протекающих физико-химических процессов в температурном диапазоне от 25 °С до 350°С, а также изучить водную среду аварийного бассейна, состоящую из следующих компонентов:  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{H}_3\text{BO}_3$ - $\text{KOH}$ - $\text{H}_2$ - $\text{NH}_3$ - $\text{HCl}$ - $\text{HNO}_3$ . Для выявления закономерностей в водной среде нужно найти ее равновесный состав. В условии равновесия при постоянных значениях температуры и давления все процессы протекают в направлении уменьшения энергии Гиббса системы. Выбран эффективный метод, основанный на термодинамическом подходе, применяемый с использованием программной информационной системы. Состоянию равновесия системы отвечает экстремальная точка соответствующей (характеристической) термодинамической функции этой системы. При постоянстве температуры  $T$  и давления  $P$  в системе общие условия равновесия соответствуют минимуму ее энергии Гиббса  $G$  и могут быть представлены в виде следующей задачи условной минимизации, где второе из уравнений означает условие материального баланса, а третье – условие неотрицательности:

$$\begin{cases} G = \sum_{i=1}^n \mu_i y_i \equiv \sum (\mu_i^0 + RT \ln \gamma_i x_i) y_i \rightarrow \min_{\{y_i\}} \\ \sum_{i=1}^n a_{ij} y_i = y_j^0, j \in 1 : m \\ y_i \geq 0, i \in 1 : n \end{cases},$$

где  $y_j^0 (j \in 1 : m)$  – заданные мольные количества базисных элементов;  $\{a_{ij}\}_{n \times m}$  – стехиометрическая матрица системы, выражающая все компоненты системы через базис;

$y_i, \mu_i, \mu_i^0 (i \in 1:n)$  - искомые количества (моль, г и др.) компонентов системы, их химические и стандартные химические потенциалы соответственно;  $x_i, \gamma_i (i \in 1:n)$  - концентрации и соответствующие (используемой концентрационной шкале) коэффициенты активности компонентов системы. Для термодинамического моделирования выбран банк данных ASTIB, который является пополняемым, и на данный момент для компонентов водных растворов в банке данных содержатся термодинамические данные свыше 1500 веществ [5].

### Результаты моделирования системы

На рисунке 1 показан один из результатов для типичного состава водной среды при аварийной ситуации при изменении температуры. Данные графика дают общую картину по химическому взаимодействию компонентов водной среды. Среда носит слабощелочной характер, основные свойства увеличиваются с возрастанием температуры, значение pH в районе 8. По гидроксиду калия видно, что при увеличении температуры степень диссоциации ослабевает и образуется заметное количество KOH. Также с ростом температуры ослабевает поляндерный гидролиз борной кислоты. Концентрация KCl растет. Жирными линиями выделены концентрации ионов водорода и ионов гидроксида.

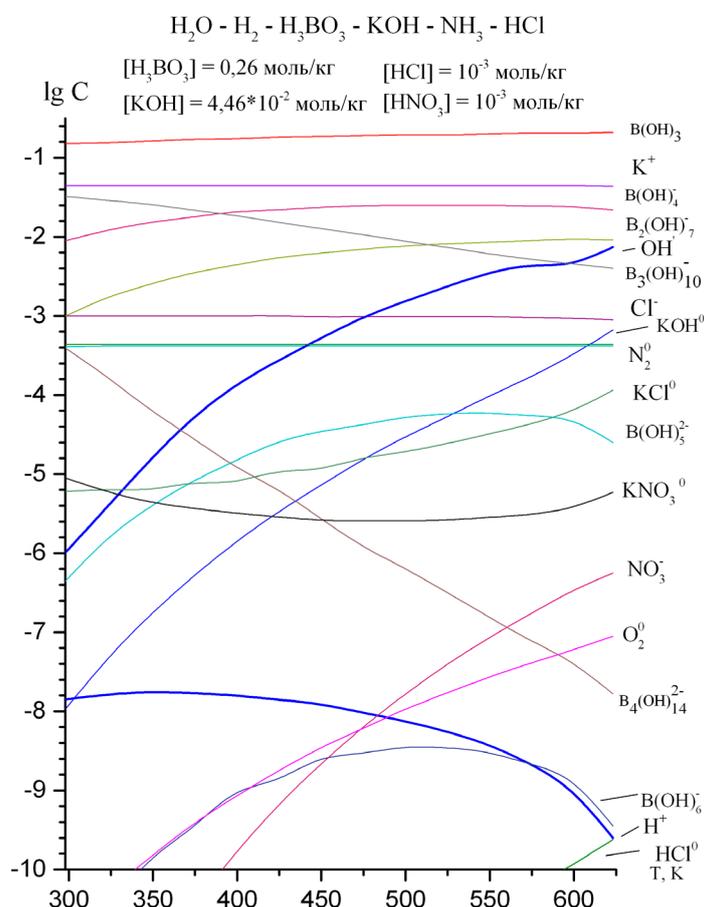


Рис. 1. Влияние температуры на химические взаимодействия при типовом составе для аварийного режима

### Выводы

Получены закономерности по влиянию температуры на химию взаимодействий и на детальный ионно-молекулярный состав водной среды аварийного бассейна (в том числе pH). Опытные данные дают, как правило, значение только по pH. Результаты позволяют обеспечить необходимые условия для поддержания слабощелочного pH около 8, необходимого по регламенту, с целью последующей минимизации процессов коррозии. Это

дает основу для разработки оперативных мероприятий для ликвидации последствий аварии. Результаты расчетов хорошо согласуются с литературными данными. Программный информационный комплекс позволяет проводить расчетную оценку процессов, протекающих в защитной оболочке реактора в условиях аварийных режимов на АЭС.

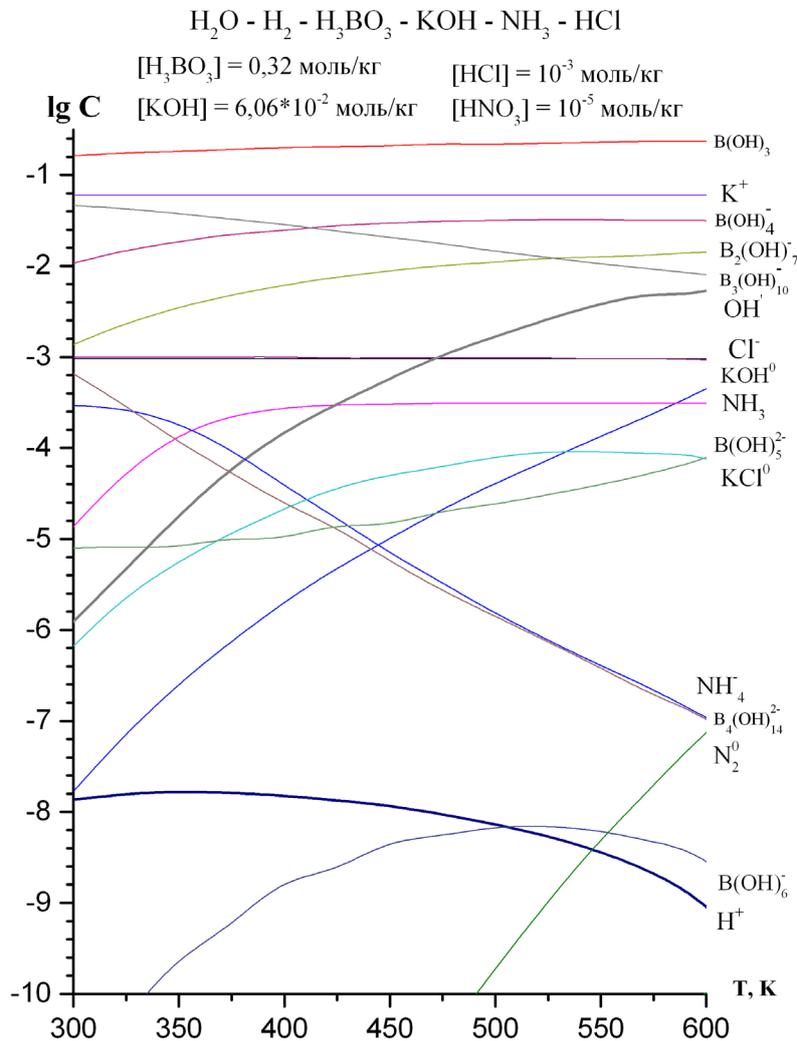


Рис. 2. Влияние температуры на химические взаимодействия при типовом составе для аварийного режима

### Литература

1. Крицкий В.Г. Формирование и удаление отложений в 1-ом контуре АЭС с ВВЭР: Гос. корпорация по атом. энергии "Росатом", Вост.-Европ. головной науч.-исслед. и проект. ин-т энергет. технологий (ВНИПИЭТ), СПб. 2011.
2. Radio Nuclide Package Reference Manual (MELCOR). – Rev.2. NUREG/CR-6119.
3. Dickinson S., Sims H., Jacquemain D. et al. Kinetics of the uptake of Aqueous Iodine on Silver Surfaces. In Iodine Aspects of Severe Accident Management. Workshop Proceed. Vantaa, May 1999. NEA/CSNI/R (99)7, p. 209-222.
4. Sjovald H., Routamo T., Tuomisto H. Iodine Management in the Finnish NPPs. In Iodine Aspects of Severe Accident Management. Workshop Proceed. Vantaa, May 1999. NEA/CSNI/R(99)7, p.391-400.
5. Слободов А.А. Термодинамическое моделирование физико-химического состава многокомпонентных систем в широкой области параметров состояния // Автореферат дисс. на соиск. уч. степени доктора хим. наук, спец. 02.00.04. СПб ГТИ // СПб. 2002, 40 с.

УДК 004.89

## ON THE PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF DIGITAL HUMANITIES

Кондрашов Ф.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.г.-м.н. Пшеничный К.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Digital Humanities is a new and rapidly developing field. An inquiry is made about its scientific paradigm by comparing the answers it gives to the ontological, methodological and epistemological questions that are used to define a scientific paradigm by the philosophy of science against the classical answers of positivism and critical theory. Possible consequences of the paradigm choice are discussed.

**Keywords:** philosophy of science, positivism, digital humanities, critical theory, scientific paradigm.

Digital Humanities (henceforth DH), being a very young field, still claims to be a full-scale science. Opposite to applied activity such as technology or business, any science or, put it broadly, any field of research, is supposed and expected not to be driven solely by possibility (“why not to”) or demand (coming from industry, business, society, state, or other) but to embed itself into existing scientific paradigms (worldviews) addressed by philosophy of science. The origin, evolution and interplay of scientific paradigms have been deeply studied by many thinkers, see, e.g., Kuhn (1962), Popper (1934), Lakatos (1978) and references therein.

Paradigm, the term coined by Thomas Kuhn to explain the lifecycle of science from “normal science” to “scientific revolution” and on to “normal science” again, was meant to cover “works served for a time implicitly to define the legitimate problems and methods of a research field for succeeding generations of practitioners. They were able to do so because they shared two essential characteristics. Their achievements was sufficiently unprecedented to attract an enduring group of adherents away from competing modes of scientific activity.

Simultaneously, it was sufficiently open-ended to leave all sorts of problems for the redefined group of practitioners to resolve [1].

Three meta-scientific paradigms are known today: Positivism, Interpretivism and Critical Theory [2]. The paradigms can be described by placing them against three main challenges: ontological, epistemological and methodological. Thus, Interpretivism and Critical theory appear to be rather close and jointly oppose the Positivism, but Critical Theory occupies more radical position, so the main difference between global scientific paradigms can be described by comparing Positivism and Critical Theory. In brief, Positivism claims that scientific knowledge is, or should be, objective; all theories can be tested and results are always repeatable. Conversely, Critical Theory describes the emotional knowledge, admitting that research and researchers are closely connected, and a big role in research plays the researcher’s experience. So, briefly, Positivism is a basis for natural and technical sciences (for example, math, physics, chemistry and of course, computer science), while Critical Theory serves well for the humanities (history, sociology, politics). Likewise, any scientific discipline can be viewed through these three issues to reveal and place its paradigm closer to one or the other endpoint.

The same approach for DH gives the following results.

### 1. Ontological Issue

- Nature of reality:
  - Humanitarian knowledge has a property of self-reflection.
  - Humanitarian knowledge improves the connection between different theories and models created by other sciences.
  - Humanitarian knowledge appeared in the system of language: in the system of social community – social semiotics [3].
- Nature of human beings:
  - Humanitarian knowledge is subjective, so this is the reason why it cannot be objectively estimated [3].

### 2. Epistemological Issue

- Nature of knowledge:
    - Every knowledge is packed in the system of signs, and because digital sets represents part of its system (its subset), so foundation of digital space were founded in the footing of semiotics.
    - Digital instruments developed from help function, so now they increase the competitiveness of those spheres that were developed to the digital format.
    - Digitalization increased the speed and the density of communication [3].
  - Theory building/testing:
    - There is nothing new in DH theory: it just reviews, reformulates and presents the existing knowledge in new way, but, nonetheless, claims to express, probably in the future, some philosophical aspects of data transfer.
  - Role of research:
    - Opening new ways of presentation of knowledge.
    - Extension of availability of knowledge [4].
  - Role of common sense:
    - DH is founded on the understanding of information by new ways – partly by subconsciously and intuitively.
3. Methodological Issue
- Role of researcher:
    - Changes expand the borders: now everybody can become a researcher and make his own expert opinion.
    - Allow the scientists from different spheres to communicate with themselves in the process of making DH product [4].
  - Role of values:
    - DH provide the idea of modern famous social justice: fighting against racism, sexism, homophobia and etc.
    - Changing the values of cultural artefact: 3-D visualized manuscript helps to understand its texture and therefore its fragility [4].
    - If ancient books are digitalized, the relationship to the originals changes for the worse: they are no longer needed because of electronic libraries.
  - Type of studies:
    - Humanitarian sciences are approached by computer-based methods and digital technologies – this is the main distinctive feature of DH.

Rounding up, in the ontological aspect, Digital Humanities has humanitarian knowledge in its basement. At the same time, epistemologically, one may not say that Digital Humanities suits only the critical-theoretic, as well as solely the positivistic paradigm. Finally, according to the methodological issue, Digital Humanities is completely a science with a positivistic paradigm.

The study of the paradigmatic basis of DH is still at its very onset but is vitally important to understand the real meaning, possible scope and best use of this newly emerging discipline, as well as possible related risks of its incorporation into the research programs in humanities. Thus, there is enough ground to consider this issue worth special studies in the nearest future.

## References

1. Kuhn T. «Structure of scientific revolutions» // 1962. P. 12.
2. Aliyu Ahmad Aliyu, Ibrahim Musa Singhry, Haruna Adamu, Mu'Awuya Muhammad Abubakar, «Ontology, epistemology and axiology in quantitative and qualitative research: elucidation of the research philosophical misconception» // Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Nigeria. 2015.
3. Gerasimov S., «Ontology of humanitarian knowledge in terms of informational society» // Saint-Petersburg state university of economics. 2020.
4. Debates in Digital Humanities [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dhdebates.gc.cuny.edu/> (дата обращения: 12.05.2021).

УДК 544.77

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ЛЕЦИТИН – СМЕСЬ МАСЕЛ - ВОДА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ**Королева Е.А.<sup>1</sup>Научный руководитель – к.х.н. Мурашова Н.М.<sup>1</sup><sup>1</sup>Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

В работе было изучено влияние добавок масел и изменения концентрации лецитина на вязкость жидких кристаллов в системе лецитин – жирное растительное масло – эфирное масло – вода. Полученные данные позволяют предлагать жидкие кристаллы для создания носителей для трансдермальной доставки биологически активных веществ с необходимой вязкостью.

**Ключевые слова:** лецитин, лиотропные жидкие кристаллы, вязкость, трансдермальная доставка, самоорганизующиеся наноструктуры.

Лецитин – природный фосфолипид, являющийся основным липидным компонентом биологических мембран. К уникальным свойствам лецитина как поверхностно-активного вещества относят биосовместимость и нетоксичность. Благодаря термодинамической устойчивости лиотропные жидкие кристаллы лецитина обладают такими достоинствами, как простота методов получения и длительность сроков хранения. Жидкокристаллические носители позволяют солубилизировать сравнимое количество как гидрофильных, так и липофильных лекарственных веществ [1, 2].

Ранее на кафедре нанотехнологии и наноматериалов РХТУ им. Д. И. Менделеева были предложены лиотропные жидкие кристаллы лецитина в четырехкомпонентной системе лецитин – жирное растительное масло – эфирное масло – вода, как носители для трансдермальной доставки биологически активных веществ [2]. Такие жидкие кристаллы могут применяться для создания препаратов пролонгированного действия с возможностью замедленного высвобождения лекарственных веществ [3]. Было показано, что разработанные жидкие кристаллы с добавлением в качестве действующего вещества метилурацила или белково-пептидного экстракта из органов иммунной системы свиньи оказывают ранозаживляющее действие [4]. Однако в ходе экспериментов *in vivo* обнаружено, что предложенные жидкие кристаллы трудно наносятся на поврежденную ткань из-за их высокой вязкости, поэтому необходимо найти способы регулирования вязкости разработанной жидкокристаллической композиции за счет изменения ее состава.

Целью работы является исследование влияния добавок различных масел и изменения концентрации лецитина на вязкость жидкокристаллической композиции в системе лецитин – жирное растительное масло – эфирное масло – вода.

Были приготовлены образцы жидких кристаллов следующего состава (мас. %): лецитин – 70, масло авокадо – 5, масло чайного дерева – 5, рыбий жир/облепиховое масло – 5, вода – 15. Контрольный образец содержит (мас. %): лецитин – 70, масло авокадо – 10, масло чайного дерева – 5, вода – 15. Также была исследована зависимость вязкости от содержания лецитина в образцах, содержащих от 50 до 70 мас. % лецитина.

Получение образцов жидких кристаллов проводили по следующей методике, основанной на параллельном приготовлении «водной» и «масляной» фаз. Навеску лецитина делили пополам, и каждую ее часть смешивают с водой или смесью масел в стеклянном бюксе. Растворение лецитина происходило при постоянном перемешивании в первой емкости при комнатной температуре в течение 60 минут, а во второй – при 35-37°C в течение 120 – 180 минут. Далее «водную» и «масляную» части смешивали между собой до получения гомогенного образца жидкого кристалла. Такая методика позволяет вводить в состав жидких кристаллов биологически активные вещества, не устойчивые к нагреванию.

В работе проведено исследование текстуры образцов с помощью метода поляризационной микроскопии. Полученные микрофотографии подтверждают ламеллярную

структуру жидкокристаллических композиций. На рисунке 1 приведен пример микрофотографии образцов.

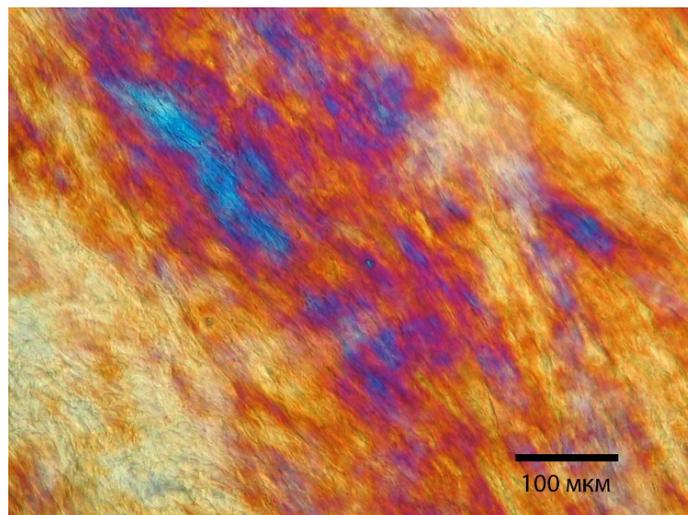


Рис. 1. Микрофотография образца жидкого кристалла под микроскопом при скрещенных поляризаторах

Динамическая вязкость жидкокристаллических композиций была измерена при 25°C и 37°C в диапазоне скоростей сдвига 0,01 – 1,00 с<sup>-1</sup> при помощи реометра Haake Viscotester IQ, измерительное устройство коаксильные цилиндры, при увеличении скорости сдвига. Были построены кривые течения как среднее по 3-м измерениям.

В ходе работы было определено, что кривые течения всех образцов соответствуют псевдопластическим неньютоновским жидкостям, вязкость которых снижается в сотни раз с увеличением скорости сдвига. Установлено, что при добавлении 5 мас.% облепихового масла и рыбьего жира вязкость жидких кристаллов в системе лецитин – масло авокадо – масло чайного дерева – вода увеличивается по сравнению с контрольным образцом в 8,07 и 5,43 раз при 37°C (рис. 2), а при 25°C – в 3,27 и 3,36 соответственно (рис. 3).

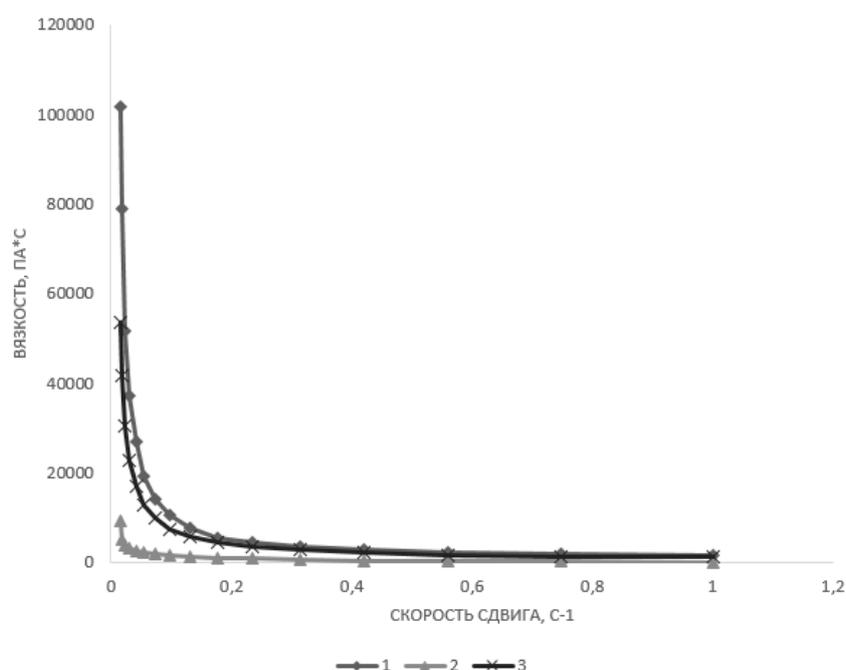


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости образцов от скорости сдвига при 37°C, где 1- образец с содержанием облепихового масла; 2- контрольный образец; 3- образец, содержащий рыбий жир

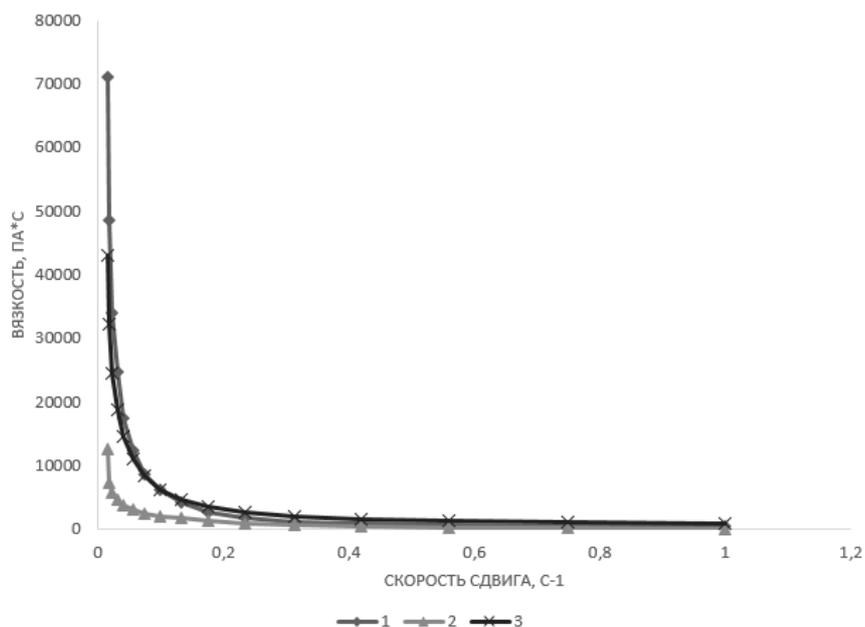


Рис. 3. Зависимость динамической вязкости образцов от скорости сдвига при 25°C, где 1- образец с содержанием облепихового масла; 2- контрольный образец; 3- образец, содержащий рыбий жир

Поскольку именно лецитин образует структуру жидкого кристалла, было изучено влияние содержания лецитина на вязкость. Установлено, что при 25°C для образца с содержанием лецитина 50 мас.% вязкость снизилась в 8,84 раз в сравнении с контрольным образцом, а для образца, содержащего 60 мас.% - 3,12 раза (рис. 4).

Из рис. 5 видно, вязкость жидкокристаллических композиций с содержанием 50 и 60 мас.% уменьшается в сравнении с контрольным образцом в 8,22 и 9,72 раз при 37°C. Для образца, содержащего 50 мас.% лецитина, наблюдалось расслоение фаз на жидкий кристалл и микроэмульсию.

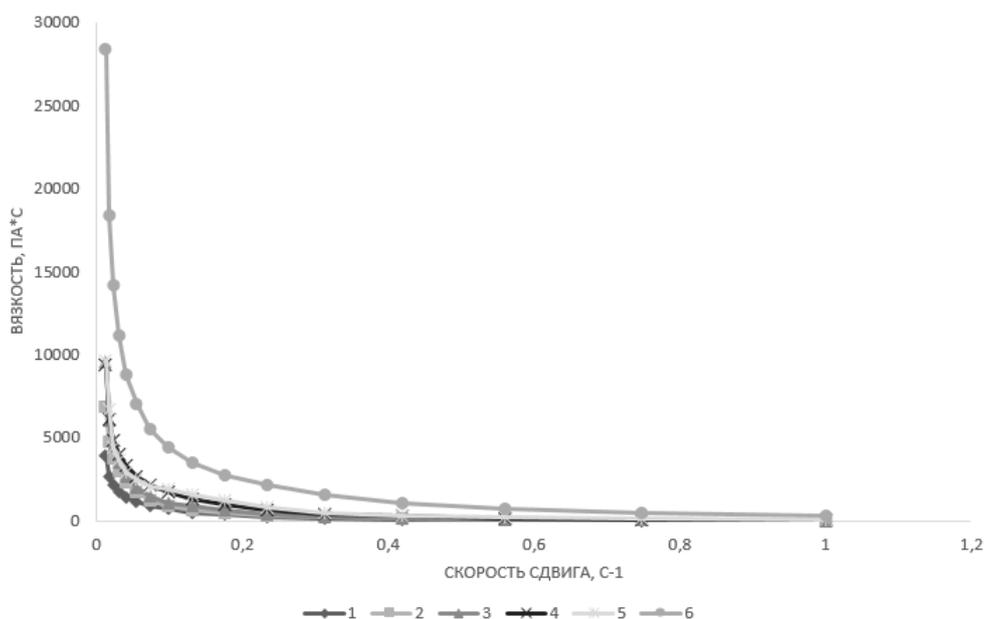


Рис. 4. Зависимость динамической вязкости образцов от скорости сдвига при 25°C, где 1- образец, содержащий 50 мас.% лецитина; 2- образец, содержащий 52 мас.% лецитина; 3- образец, содержащий 55 мас.% лецитина; 4 - образец, содержащий 60 мас.% лецитина; 5- образец, содержащий 65 мас.% лецитина; 6- контрольный образец

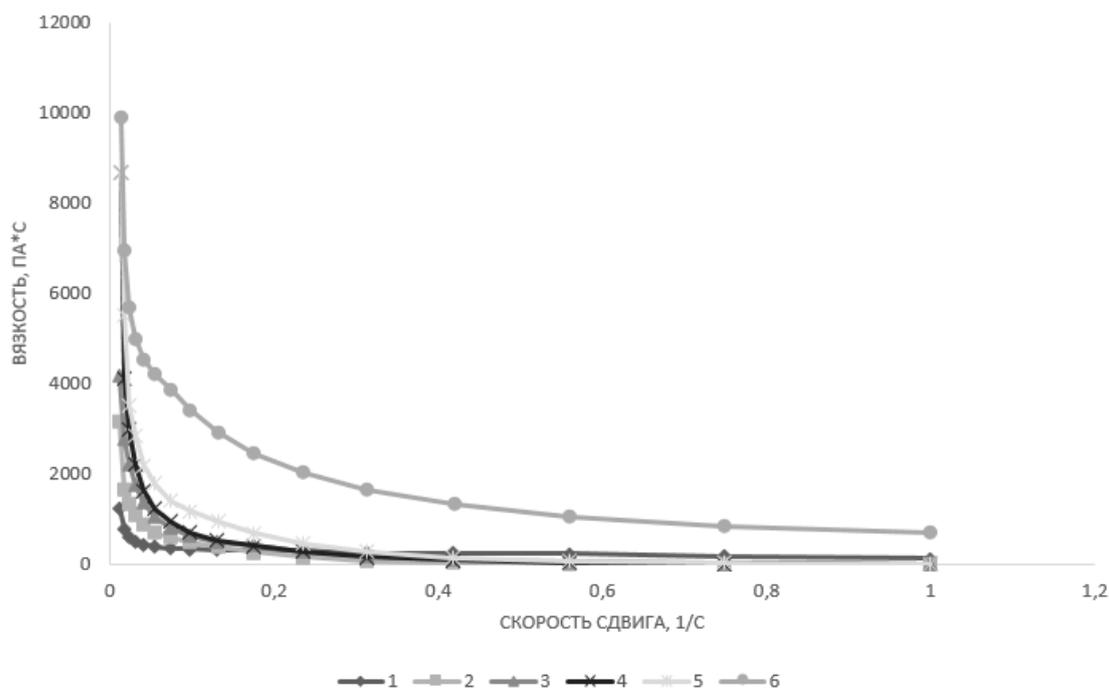


Рис. 5. Зависимость динамической вязкости образцов от скорости сдвига при 37°C, где 1- образец, содержащий 50 мас.% лецитина; 2- образец, содержащий 52 мас.% лецитина; 3- образец, содержащий 55 мас.% лецитина; 4 - образец, содержащий 60 мас.% лецитина; 5- образец, содержащий 65 мас.% лецитина; 6- контрольный образец

Для описания кривых течения полученных образцов жидких кристаллов как неньютоновских жидкостей были рассчитаны коэффициенты  $k$  и  $n$  в уравнении Оствальда (1), описывающем зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига.

$$P = k * \dot{\gamma}^n. \quad (1)$$

где,  $k$  – коэффициент густоты потока,  $\text{Па} \cdot \text{с}^{-1}$

$\dot{\gamma}$  – градиент скорости вдоль оси, перпендикулярной к плоскости сдвига жидкости,  $\text{с}^{-1}$

$n$  – показатель поведения жидкости.

Из таблицы установлено, что коэффициент  $k$  возрастает с увеличением концентрации лецитина, а также при добавлении рыбьего жира.

Таблица. Коэффициенты  $k$  и  $n$  в уравнении Оствальда, рассчитанные по результатам эксперимента

Образец	T, °C	n	lg k	k
Контрольный	25	0,3091	2,7412	551,0614
	37	0,4387	2,7567	571,084
Рыбий жир	25	0,0403	2,8406	692,7874
	37	0,0595	2,9518	894,953
50 мас.% лецитина	25	0,1675	2,2404	173,9402
52 мас.% лецитина	37	0,3462	2,3362	216,8703

Во всем исследованном диапазоне скоростей сдвига вязкость жидких кристаллов лецитина с содержанием 5 мас.% облепихового масла, рыбьего жира в сравнении с контрольным образцом увеличивается, вне зависимости от температуры, при которой проводится измерение. Обнаружено, что вязкость снижается в несколько раз при уменьшении содержания лецитина в образцах жидких кристаллов.

Таким образом, с помощью введения различных добавок и изменения концентрации лецитина можно регулировать вязкость лиотропных жидких кристаллов лецитина, предназначенных для трансдермальной доставки лекарственных веществ. Полученные в работе данные позволят разрабатывать составы жидкокристаллических носителей для доставки лекарственных веществ, обладающие требуемой вязкостью.

### Литература

1. Щипунов Ю. А. Самоорганизующиеся структуры лецитина //Успехи химии. 1997. Т.66, №4. С. 328-349.
2. Мурашова Н.М. Костюченко М.Ю., Бизюкова А.Н., Юртов Е.В. Жидкокристаллическая композиция для трансдермальной доставки биологически активных веществ //Патент RU. 2017. №.2623210
3. Мурашова Н.М., Трофимова Е.С., Костюченко М.Ю., Мезина Е.Д., Юртов Е.В. Микроэмульсии и лиотропные жидкие кристаллы лецитина как системы для трансдермальной доставки лекарственных веществ // Российские нанотехнологии. 2019. Т.14, № 1–2. С.69–75.
4. Л. В. Федулова, Н. М. Мурашова, Е. Р. Василевская, В. А. Пчелкина, А. А. Новикова, Е. В. Юртов. Лиотропные жидкие кристаллы лецитина как система доставки биомолекул животного происхождения // Биофармацевтический журнал. 2019. Т.11, №5. С. 19-23.

УДК 523.98; 73.04

## РАЗРАБОТКА ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ИНСТАЛЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Куставинова А.А.<sup>1</sup>, Веснин А.М.<sup>2</sup>

Научный руководитель – к.т.н. Шершенков Б.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет

<sup>2</sup>Институт Солнечно-Земной Физики Сибирского отделения РАН

<sup>3</sup>Университет ИТМО

В современном мире функционирование техногенной среды и здоровье человека напрямую зависят от процессов, происходящих на Солнце. Именно поэтому необходимо поддерживать развитие и освещать такое важное направление науки, как солнечно-земные связи, для качественного прогнозирования мощности солнечной активности и минимизации ее последствий. Интерактивная иммерсивная инсталляция посредством изменяющейся внутри структуры, зависящей от данных Солнечного цикла, наглядно покажет участникам экспозиции роль активности Солнца.

**Ключевые слова:** солнечный цикл, Art&Science, инсталляция, данные SDO, коллоидная система.

Каждый среднестатистический человек знает о существовании Солнца. Но многие ли задумывались о скрытых процессах Звезды, которые недоступны для наблюдения человеком с Земли без специализированного оборудования?

Солнечный цикл представляет из себя определенный временной диапазон, примерно 11 лет, заключающий в себе периодические изменения магнитного поля Звезды, обуславливающие солнечную активность, которая способна значительно влиять нашу земную жизнь. Во время максимума цикла более вероятен выход магнитных силовых линий в фотосферу Солнца, что приводит к формированию зон активности, напрямую влияющих на земные атмосферу и магнитосферу, посредством солнечного ветра. Структуры и события на Солнце проецируются на Землю в виде явлений космической погоды. Одно из таких явлений — это «солнечная вспышка», взрывной процесс выделения энергии на Солнце в виде излучений, которая на Земле может спровоцировать сбой или временные отключения систем связи и навигации; облучение экипажей самолетов и космических кораблей, выход из строя оборудования космических аппаратов. Другое явление — «выброс корональной массы» или выброс замагниченной плазмы Солнца из звездной атмосферы, приводящий к возникновению северного сияния в полярных областях и более низких широтах; геомагнитной бури; перегрузки и вывода из строя электросети с дальнейшей перспективой отключения питания на больших территориях при неподготовленности энергетических компаний [1]. В современном мире такие последствия солнечной активности могут быть весомыми для стабильного существования техногенной среды. Для минимизации возможных результатов космической погоды ученые прогнозируют мощность Солнечного цикла и строят системы мониторинга на основе наблюдений солнечного диска. В конце 2019 года завершился 24-й цикл, и теперь необходимо рассчитать силу следующего [2].

Качество вычислений напрямую зависит от инструментов наблюдения, соответствующего вычислительного оборудования и квалифицированных специалистов. На выделяемые ученым гранты для исследований может влиять поддержка общества, также способствующая привлечению молодых ученых.

Распространение информации о важности актуальных или будущих исследований может идти нестандартными путями. «Art&Science» — синергия искусства и науки, основывающаяся на реальных научных исследованиях, представленных для общества посредством художественных методов [3]. По миру распространены так называемые «Музеи естественной истории», где помимо экспонатов и реконструкций исторических объектов представлено огромное количество локаций, в которых все желающие могут ощутить действие физических законов. В России такая практика только внедряется и распространена в рамках небольших «Экспериментариев». Направление «Art&Science» только начало развиваться в нашей стране

и делает возможным не только строгую демонстрацию физических явлений, но и может позволить себе абстракцию, представить невидимые нам явления, например, магнитные поля в виде потоков жидкости — обыграть «Электромагнетизм» с помощью «Гидродинамики». Такой междисциплинарный подход может оказать содействие освещению существующих проблем, ведь чаще всего для понимания подготовленных учеными презентаций и пресс-релизов исследований необходимо обладать специализированным багажом знаний, в случае его отсутствия связь «Спикер – Аудитория» становится очень слабой, «Art&Science» может усилить ее и снизить порог вхождения в восприятие научных данных через художественную призму.

Проектов, демонстрирующих солнечную активность, не так много, и в основном в них используются художественные образы Солнца или его процессов, обработанные видеоматериалы с коронографа (специального телескопа, регистрирующего только корону Солнца), общие измеряемые характеристики всей поверхности Солнца, а также спекулятивные данные. В данном поле не наблюдалось одновременное использование реальных данных, отображающие активность всего 24-го Солнечного цикла, соотношенных с пространством и сопровождающихся эффектом погружения в исследование посредством отображения коллоидной системой позиционирования и интенсивности активности на поверхности Солнца.

В качестве демонстрации разнообразия явлений, происходящих в течение Солнечного цикла, используется интерактивная иммерсивная инсталляция (Рис. 1), исключая привычную для традиционного искусства статичность и привлекающая внимание зрителя своей динамичной работой.

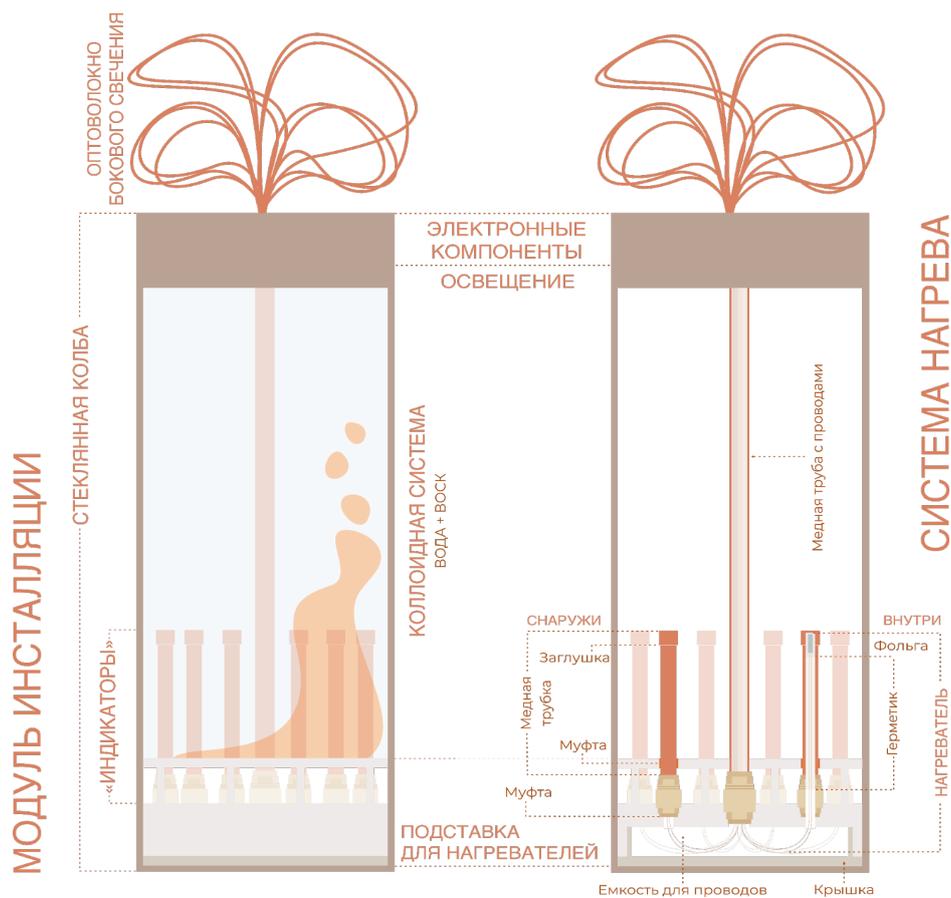


Рис. 1. Схема интерактивной иммерсивной инсталляции

Инсталляция представляет собой вертикальную колбу, заключающей в себе коллоидную систему в виде двух несмешивающихся веществ: вода и воск, которые протекают друг через друга, демонстрируя движения замагниченной плазмы вблизи поверхности Солнца. Система

начинает работать при обнаружении очагов активности на Солнце. За основу были взяты данные уже завершённого 24-го Солнечного цикла, обрабатываемые с помощью языка программирования Python, все изменения передаются инсталляции благодаря микроконтроллеру. Поверхность Солнца на изображении поделена на несколько зон, за каждую из которых отвечает физический «индикатор» (Рис. 2), находящийся в инсталляции и приводящий воск в движение. При выявлении в той или иной зоне активности — коллоидная система начинает изменяться с помощью включенного «индикатор»-нагревателя, который разогревает воск в нужном месте, выстраивая новую структуру внутри колбы. Таким образом, зрителю отображается некая история определенного фрагмента существования Солнца, воск — словно строительный материал, благодаря которому формируется слепок изменения поверхности Солнца. Также при возникновении активности загорается оптическое волокно бокового свечения, закрепленное сверху инсталляции, отражая процесс над поверхностью солнца — в короне. Если возникла солнечная вспышка или корональный выброс массы — транслирующий кабель имитирует высокую активность или экстремальные явления на Солнце посредством мигания света. Взаимосвязь происходящих процессов на разных участках Солнца с координатами пространства внутри инсталляции важна, не каждый фрагмент поверхности Солнца одинаково «полезен» для нашей планеты — большинство из них дают нам живительное тепло, но некоторые могут принести геомагнитную бурю или обжечь Землю радиацией. «Индикатор» связаны как раз с такими областями активности, отражая их мощность.

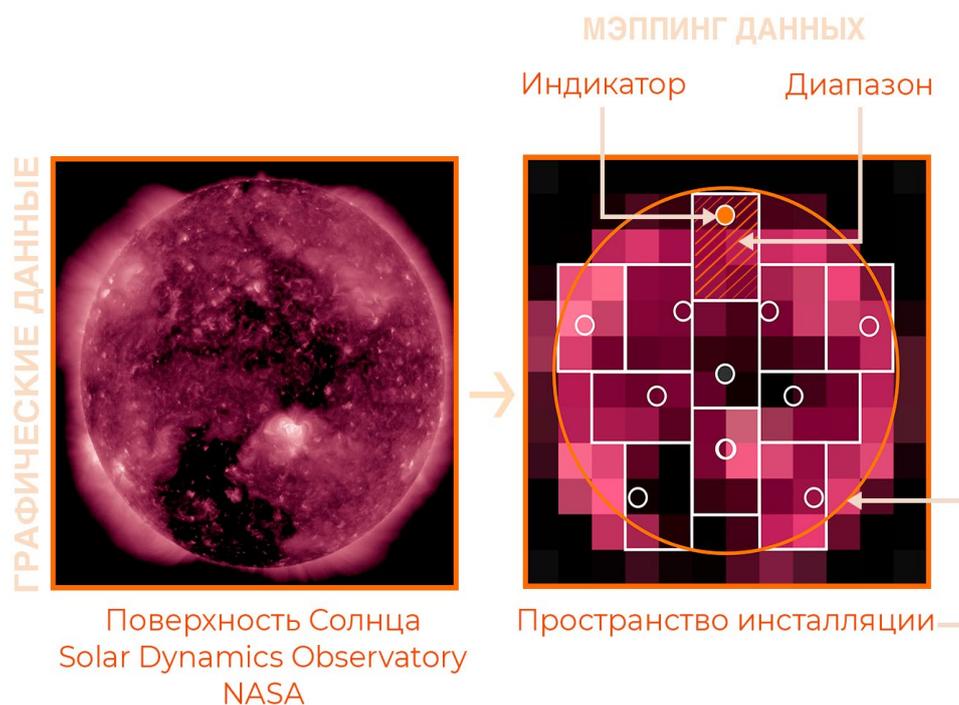


Рис. 2. Слева изображение диска Солнца. Справа взаимосвязь полученных данных с пространством инсталляции

Такая колба является модулем, и общая экспозиция обладает возможностью дальнейшего масштабирования: физический модуль может быть увеличен в размере, что дает большую детализации, а также количество модулей может быть расширено, в этом случае каждая колба является одним годом Солнечного цикла (в среднем цикл длится около 11 лет), и зритель/участник может узреть цикл, поворачивая голову или меняя свое положение в пространстве экспозиции. Масштаб такой конструкции позволит человеку чувствовать соизмеримость себя с частями инсталляции, что в сочетании с визуальными эффектами позволит достичь иммерсивности, погрузиться в атмосферу изменения солнечной активности во время развития солнечного цикла.

Инсталляцию, интерпретирующую течение солнечной активности, предполагается экспонировать на соответствующих по тематике выставках/ивентах для освещения обществу существующих взаимосвязей Солнца с окружающей нас техногенной средой и здоровьем человека.

### Литература

1. Почему солнечные бури становятся все опаснее для человечества. BBC News [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features-46301202> (Дата посещения 12.03.2021).
2. Solar Cycle 25 Is Here. NASA, NOAA Scientists Explain What That Means [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nasa.gov/press-release/solar-cycle-25-is-here-nasa-noaa-scientists-explain-what-that-means> (Дата посещения 15.03.2021).
3. Дмитрий Булатов: «Искусство будущего. Science Art: от посредников к медиаторам» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://theoryandpractice.ru/videos/923-dmitriy-bulatov-iskusstvo-budushchego-science-art-ot-posrednikov-k-mediatoram/> (Дата посещения 20.03.2020).

УДК 004.413.2, 004.031.42, 004.91

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Ларин А.<sup>1</sup>, Бодров К.Ю.<sup>2</sup>

Научный руководитель – Бодров К.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>2</sup> Университет ИТМО

В докладе представлено исследование способов построения архитектуры в сложных клиент-серверных веб-приложениях. Описан перечень задач, решаемых командой разработчиков. Рассмотрен ряд существующих принципов проектирования и разработки клиент-серверных приложений и интернет ресурсов. Проведен анализ найденных решений и приведена оценка их применимости для разрабатываемой системы. В конце работы представлены выводы и описаны перспективы дальнейшей разработки.

**Ключевые слова:** разработка ПО, клиент-серверные приложения, микросервисная архитектура, масштабируемая архитектура.

В интердисциплинарных коллективах регулярно рождаются и воплощаются идеи, собираются команды, происходит обмен опытом. Для коммуникации и организации в них, как правило, используются различные площадки, социальные сети, документы в облаке с общим доступом и прочие инструменты.

Например, в проекте, разрабатываемом междисциплинарным коллективом, присутствуют задачи в сфере дизайна, программирования, некоторой узкой предметной области и, как следствие организации их совместной работы. Вероятным сценарием в данной ситуации будет использование отдельного инструмента организации и версионирования для каждой области. Так, организация работы по программированию, вероятно, будет осуществляться при помощи системы версионирования (например Git); различные предметные области, в силу разнообразия форматов и размеров используемых файлов будет версионироваться в ручном или полу-ручном режиме с использованием различных облачных сервисов для хранения файлов

Все перечисленные задачи решаемы имеющимися инструментами, однако они порождают зависимость от ряда сторонних сервисов для организации работы, которые зачастую не вполне приспособлены для поставленных задач. Проблему также представляет большое их количество, сложность интеграции и поддержка повсеместной актуальности информации.

Данные проблемы наводят на мысль о потребности в единой специализированной системе, предназначенной для учета и ведения проектов, команд, ресурсов и решения прочих задач, характерных для междисциплинарных коллективов. В связи с этим было решено рассмотреть возможность разработки собственного приложения.

Также было решено провести исследование существующих решений, и построить архитектуру приложения с их использованием.

### **Требования к функционалу**

Среди запросов к функционалу системы значатся: необходимость учета состава команд, организации их работы, возможность эффективного управления; учет проектов, их ведение внутри системы, способ следить за прогрессом и влиять на него, формирование отчетов о проделанной работе в т.ч. для демонстрации третьим лицам; планирование и организация мероприятий, составление расписания, учет присутствующих.

### **Требования к архитектуре**

Из запросов к функционалу следует ряд требований к архитектуре для выполнения поставленной задачи. Среди них – необходимость оперативного обращения к данным, отдача статических данных, двустороннего взаимодействия между сервером и клиентом, отправка данных без запроса со стороны пользователя, а также хранение файлов относительно

большого размера, их загрузка в хранилище и получение из него. Также имеются требования к возможности масштабирования по мере роста нагрузки.

Исследованы способы решения такого рода проблем. В частности, весомый вклад внес опыт проектирования социальных сетей, т. к. ввиду множественных пересечений их задач с имеющимися в проекте многие решения могут быть адаптированы.

# Общие принципы построения архитектуры систем подобного рода с отсылками к социальным сетям

Архитектурный минимум систем такого назначения обычно состоит из следующих частей:

Клиентская часть приложения для взаимодействия с пользователем

Сервер для обработки запросов

База данных для хранения логов, пользовательских данных и пр.

Графическое представление такой архитектуры представлен на рисунке 1

Это минимальный набор для небольшой системы с малым количеством пользователей, его принято называть трехзвенной архитектурой. На практике в нынешнем виде она не удовлетворяет многим из поставленных требований. Среди них:

1. Хранение файлов большого размера. Использование базы данных для этой цели неэффективно.
2. Масштабирование (горизонтальное), практически невозможно.

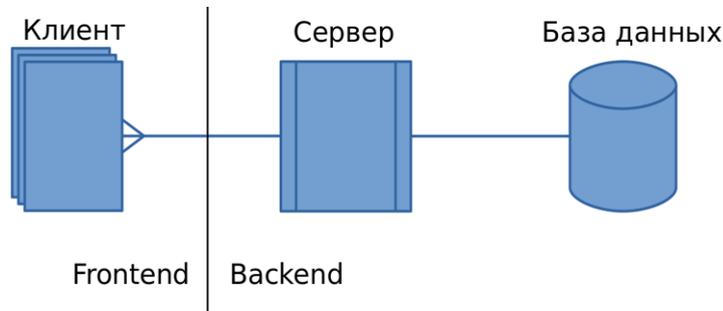


Рис. 1. Классическая трехзвенная архитектура

Распространенным решением является выделение балансировщика (load balancer), сервера, принимающего запросы пользователей и закрывающего сервера, занятые обработкой запросов (backend сервера). Вид архитектуры с балансировщиком нагрузки представлен на рисунке 2.

Одним из преимуществ данного решения является возможность гибкой балансировки запросов между backend серверами. Запросы могут распределяться равномерно, тем самым размазывая нагрузку по всем серверам, либо взвешенно, с разделением нагрузки в разных долях.

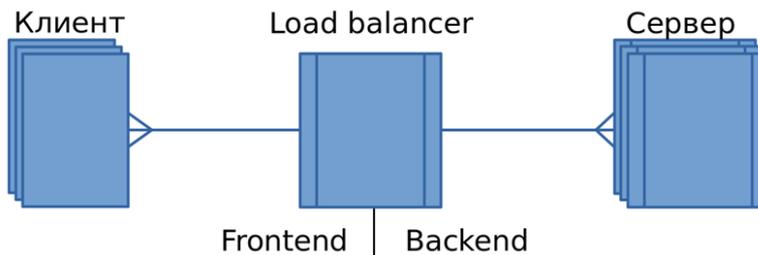


Рис. 2. Архитектура с балансировкой нагрузки

Другим преимуществом является возможность снятия части нагрузки с серверов путем частичной обработки запросов. Распространенной практикой является расшифровка https и передача на backend сервер незашифрованного запроса [1]. Данное решение накладывает дополнительные требования по безопасности на канал связи между backend и frontend серверами. Например, они могут быть связаны в одну подсеть, не связанную с сетью интернет, backend сервера в этом случае будут иметь только «серые» ip-адреса.

Распространенной практикой является использование веб-сервера nginx для закрытия backend-серверов и балансированию нагрузки между ними. Именно этот подход выбран для разрабатываемой системы.

### **Переход к микросервисной архитектуре**

Backend сервер, как правило, не является атомарной сущностью. На нем лежат задачи обработки разного рода запросов, аутентификации, нотификация, т. е. отслеживание изменений состояния системы и уведомление об этом и т. д., Использование монолитной архитектуры при таком круге задач нецелесообразно. Оно годится для систем, не предполагающих большой нагрузки, или чью нагрузку можно надежно спрогнозировать и заложить в систему необходимые ресурсы. Для масштабируемых же систем традиционно используют микросервисную архитектуру. Она предполагает вынесение отдельных задач в сервисы и дальнейшую коммуникацию между ними. При этом появляется сложность коммуникации между отдельными модулями, однако гибкость всей системы сильно возрастает, как и возможности для горизонтального масштабирования практически любого сервиса.

Разрабатываемая система имеет требования к масштабируемости, и конкретные масштабы плохо прогнозируемы. Одновременно она логично разбивается на различные компоненты по роду выполняемых задач. Это делает выбор микросервисной архитектуры в данном случае оправданным.

На данном этапе, исходя из требований, в системе выделяется следующий набор сервисов:

- REST. Он занят непосредственно обработкой пользовательских запросов. По мере увеличения количества запросов и возможности логичного разделения их на подмножества он может быть разбит на несколько сервисов с более узкими задачами.
- Сервис авторизации. Он отвечает за авторизацию пользователей в системе, выдачу токенов и их валидацию по необходимости.
- Сервис нотификации. Он отвечает за активное взаимодействие с пользователями, рассылку сообщений, уведомление о изменениях состоянии системы всех пользователей или их подмножества исходя из конкретной ситуации.

Для реализации перечисленных сервисов был выбран фреймворк Flask, облегчающий разработку веб-приложений. Причинами для этого послужили удобство, количество вспомогательных инструментов и расширений, а также использование Python в качестве основного языка, что существенно упрощает разработку.

### **Вопрос выбора СУБД**

Для решения проблемы оперативного доступа к данным рассмотрены различные СУБД. Есть возможность размещения СУБД в рамках сервиса приложения, что допустимо для небольших систем. Для этого используются небольшие встраиваемые СУБД, на пример SQLite. Однако в контексте микросервисной архитектуры в целях обеспечения масштабируемости возникает необходимость отделения системы хранения данных от системы их обрабатывающей. Таким образом, СУБД становится отдельным сервисом архитектуры, общающимся с остальными по сети.

Отдельным вопросом является масштабирование базы данных. Количество запросов может расти, и в какой-то момент ресурсов сервера перестанет хватать для их обработки. В этом случае целесообразно иметь способ отдать часть нагрузки другим серверам.

Существует как минимум два варианта эффективно решить данную задачу

Первый – репликация. Он предполагает ведение параллельно с основной базы данных её реплик с идентичным содержанием. Любые запросы на добавление и изменение информации выполняются на главной базе и одновременно дублируются на репликах. Для внешних сервисов реплики доступны только на чтение. Преимуществом, которое дает репликация, является возможность переложить запросы по выбору информации из основной базы на реплики. Параллельное ведение реплик существенно снижает нагрузку на основную базу данных, учитывая тот факт, что запросы на выборку информации зачастую являются самыми

тяжеловесными, т. к., в отличие от, например, запросов на добавление информации, в запросах на выбор требуется пробежаться по всей таблице, с которой осуществляется работа.

Другими преимуществами репликации являются:

- a. Отказоустойчивость. В случае отказа основной БД возможно назначение основной одной из реплик и сохранить работоспособность системы в целом.
- b. Перенос данных. Одну из реплик можно временно вывести из эксплуатации для выгрузки данных, например для создания снапшота, архивации или аналитики.

Второй вариант решения проблемы масштабирования – шардирование. Оно подразумевает разделение данных на «шарды» и распределение всех шардов на разных серверах. Здесь присутствует неопределенность в терминах: по некоторым терминологиям шардами называются части данных, по другим – сервера, хранящие эти данные. Это дает очевидные преимущества в виде возможности распределить по серверам все операции, а не только операции выборки и чтения. Однако у данного метода есть явные ограничения. Они связаны с тем, что операция выбора информации из нескольких шардов очень дорогостоящая и должна по возможности избегаться.

Соответственно, возникает необходимость проектировать модель таким образом, чтобы информация, которая нужна в определенный момент времени, находилась в пределах одной физической базы данных и отсутствовала необходимость обращения к разным шардам для ее получения. При этом информация должна раскладываться по шардам равномерно. Иначе получится перекосяк по объему хранимой информации и эффективности шардирования. Решение этих проблем достаточно проблематично и требует анализа хранимых данных с целью эффективного их разделения. Также многие подобные решения связаны с дополнительными расходами по памяти.

В качестве СУБД был выбран PostgreSQL. Он имеет требуемые возможности по обеспечению масштабируемости, инструменты для шардирования. Важным фактором также являлась открытость PostgreSQL и сообщество, поддерживающее проект.

### **Хранение файлов**

СУБД решает задачу хранения и получения информации, однако при использовании СУБД для хранения файлов большого размера возникают проблемы. Например, при получении информации из БД информация сначала загружается в оперативную память, что приводит к ее неэффективному расходу. Также становится затруднителен дамп базы в удобном для работы виде. Нахождение в текстовом дампе большого количества бинарной информации делает его нечитаемым, а его обработку и загрузку в базу – долгими. Потому хранилище для файлов целесообразно организовывать отдельно. Существует несколько вариантов организации такого хранилища.

Существуют готовые решения для развертывания хранилища на сервере. Многие из них имеют встроенный интерфейс для работы с данными, распределение данных по нескольким серверам, шифрованию и пр. Одним из рассмотренных решений является MinIO. Оно позволяет быстро развернуть и настроить хранилище и имеет API для работы с данными.

Другим вариантом может стать написание своего хранилища. Этот вариант более трудоемкий, однако он вполне выполним. Он дает более гибкий контроль над логикой хранения, позволяет реализовать дополнительный функционал, специфичный для системы (например, какую-то обработку файлов перед загрузкой и отдачей). При этом возникает задача хранения метаданных помимо самих файлов, но это можно поручить уже рассмотренной базе данных. Данный вариант схематично представлен на рис. 3.

Третьим рассмотренным вариантом является аренда облачного хранилища. Множество компаний предлагают свои услуги по хранению файлов в облачных хранилищах. При этом задача доступности и сохранности данных полностью ложится на поставщика услуги. Такие услуги предлагает Yandex, Amazon и прочие компании, обладающие развитой инфраструктурой, способной обеспечить сохранность данных. Они также решают проблему, которая возникает при развертывании хранилища на своих серверах — CDN.

Для решения проблемы хранения файлов в разрабатываемой системе было решено использовать свою реализацию хранилища, а не использовать готовые решения. Это обусловлено меняющимися требованиями к функционалу и, соответственно необходимости в контроле за деталями реализации хранилища.

В крупных системах пользователи зачастую могут массово обращаться к данным, находясь далеко от сервера-хранилища. Соответственно, отдача данных будет происходить медленно. Для решения этой проблемы разворачивается CDN [2] (Content Delivery Network) — сеть серверов, распределенных географически ближе к целевым пользователям, которые могут отдавать через себя файлы, а также хранить из продолжительное время. Таким образом при множественных запросах одного файла из удаленных мест файл будет загружаться с ближайшего к пользователю сервера, что позволит закешировать файл при первом обращении и для всех последующих запросах отдавать сохраненную версию. Это не только увеличит скорость доставки данных, но и дополнительно снизит нагрузку на главное хранилище.

### Полученные результаты

Финальный вид архитектуры представлен на рисунке 3.

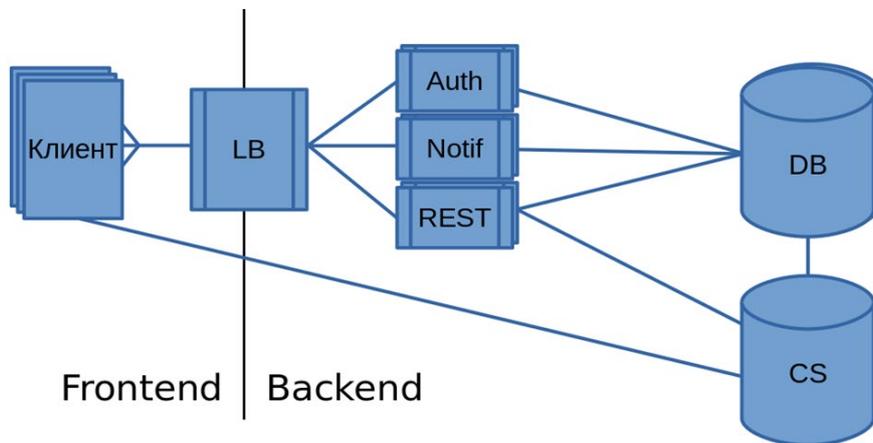


Рис. 3. Финальный вид архитектуры

Здесь:

- LB — Load balances. Балансировщик нагрузки.
- Auth, Notif, REST — выделенные сервисы.
- DB — Data base. База данных.
- CS — Content server. Хранилище файлов.

### Выводы

В докладе представлены результаты анализа требований, выдвигаемых к целевой системе, проблемы, сопряженные с удовлетворением этих требований. Продемонстрированы решения, призванные устранить имеющиеся и предотвратить потенциальные проблемы разработки. По итогам рассмотренных статей и изученных решений ведется работа по созданию прототипа системы.

В будущем планируется расширение системы по масштабу и функционалу, развитие коммуникационной составляющей системы, реализация функций, характерных для социальных сетей, добавление функционала для нетворкинга. Это приведет к повышенным требованиям как к используемым системой ресурсам, оперативности работы, так и в плане архитектурных решений.

### Литература

1. FAQ по архитектуре и работе Вконтакте | HighLoad++ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/oleg-bunin/blog/449254/> (дата обращения: 15.05.2021).
2. Что такое CDN и как это работает | Selectel [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/463915/> (дата обращения 05.05.2021).

УДК 7.067

**ART & SCIENCE КАК МЕТОД ЭСТЕТИКО-ХУДОЖЕСТВЕННОЙ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ НАУЧНЫХ ДАННЫХ. ИНСТАЛЛЯЦИЯ “ENTER THE SOIL” ДЛЯ ВЫСТАВОЧНОГО ПРОЕКТА “ЗАЗЕМЛЕНИЕ”**

**Любенова У.М.<sup>1</sup>, Горланова К.С.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.ф.н. Озерков Д. Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Статья раскрывает возможности прикладного использования Art & science подхода в презентации научных данных и проблематики гибридными научно-художественными средствами. В качестве центрального примера рассматривается создание мультимедиа Art and science инсталляции “Enter the soil” в рамках культурно-образовательного проекта “Заземление”.

**Ключевые слова:** art and science, геохронологическая шкала, локальные геологические феномены, постгуманизм, Санкт-Петербургский метрополитен.

В статье рассматриваются основные пункты нашего междисциплинарного исследования, посвященного переосмыслению отношений “человек-природа” через призму проблем геологии города в связи с особенностями Петербургского метрополитена. Итогом проекта станет инсталляция “Enter the soil” (“Войти в землю” (название находится на стадии разработки)) в Музее почвоведения в Санкт-Петербурге. Проект инсталляции, иллюстрирующей гипотезу исследования, является частью выставочного проекта “Заземление” (“Grounding”) Университета ИТМО совместно с Музеем почвоведения. Наша инсталляция – приглашение зрителя к диалогу о локальных геологических феноменах. Одна из задач инсталляции – трансформация человеческого восприятия структуры подземных геологических образований на территории Санкт-Петербурга. Помимо этого, проект затрагивает вопросы сосуществования, а именно поиска альтернативных возможностей взаимодействия человека с землей, на которой он живет, выработка нового отношения человека к геологическим феноменам.

Реализация проекта осуществляется в русле концептуальной парадигмы междисциплинарного направления Art and science, в котором методы искусства и науки работают сообща, и тем самым оба исследования (научное и творческое) выигрывают от взаимодействия. Здесь можно привести в качестве иллюстрации инсталляцию словенской художницы Робертины Шебьянич “Aurelia 1+Hz / proto viva sonification”. В этой инсталляции художница исследует вопрос сосуществования животного и машины в искусственной среде посредством создания сложного составного аквариума с медузами в выставочном пространстве музея, а также аквариума с роботической структурой в том же пространстве [1]. Проект осмысляет возможность достижения бессмертия при осуществлении коммуникации между животными (в данном случае, медузами) и роботом.

Вообще, взаимодействие в рамках условной триады “человек–животное–машина” – одна из основных тем исследований Art & science. Для них также характерно создание и изучение полуживых и полумертвых организмов/машин. Границы между биологическим и искусственным размываются. Философы и художники пытаются переосмыслить роль и место человека и человечества в современном мире, а также его отношения с другими видами и неживыми природными материями. Взгляды на эти проблемы на сегодняшний день очень расхожи. Например, философы трансгуманизма выделяют в качестве способа адаптации человека к новым условиям жизни расширение возможностей тела (протезирование, киборгизация), а представители постгуманистического направления находят решение в налаживании новых отношений человека с другими живыми существами. Однако все эти философские концепции сводятся к одному: подчинение человеческим видом остальных видов и земных ресурсов в своих целях изжило себя, так как это привело к необратимой экологической катастрофе.

Например, известный американский теоретик постгуманизма Донна Харауэй в своей книге “Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene” утверждает, что время “trouble” (с англ. – беда, неблагополучие) наступило, следовательно, все жизненные процессы человечества должны

подвергнуться серьезным преобразованиям в самой своей основе, иначе человеческий вид может перестать существовать как вид [2]. Также Донна Харауэй вводит новый термин для обозначения эпохи, которая должна противопоставиться Антропоцену (Anthropocene) и Капиталоцену (Capitalocene) – Хтулуцен (Chtulucene). В центре новой эпохи стоит не “антропос” как повелитель и покровитель Земли, а хтонические существа (“chthonic ones”). Донна Харауэй определяет их как “существ земли” (“beings of the earth”) [2]. И здесь мы приходим к понятиям земли, почвы, гумуса и их актуальности для решения проблем современного мира. В нашем проекте мы стремимся разобраться в том, как знания о земле родного города могут повлиять на восприятие и решение фундаментальных проблем человечества, в целом.

Исследователи Борн и Барри (Georgina Born, Andrew Barry) в своей статье высказывают мнение, что Art and science “может действовать не столько как способ собрать общественность для науки, сколько как общественный эксперимент”, что также интересно [3]. Разбираясь в методах Art and science, мы замечаем следующее: научные методы, такие как выдвижение гипотезы, эксперимент, наблюдение, подвергаются трансформации или синтезу с творческими методами, такими как метафорическая интерпретация, спекуляция, стилизация и пр. В итоге образуются новые методы междисциплинарного исследования, например, эксперимент как стратегия, DIY (do it yourself) как политическое заявление или постгуманизм как подход. В некоторых случаях применяются также методы критики или деконструкции по отношению к науке, а также использование научных достижений в качестве реди-мейд объекта. В процессе создания нашей инсталляции “Enter the soil” и подготовительной работе к ней используются следующие методы:

- метафорическая авторская интерпретации научных данных;
- деконструкция науки;
- эксперимент;
- наблюдение.

Работа над проектом состоит из двух частей: исследовательской и творческой.

Исследовательская часть предполагает следующие этапы:

- изучение геологической структуры районов, где располагаются 12 рассматриваемых станций метрополитена;
- выделение из многочисленных данных тех, которые подходят для творческой интерпретации, определение проблемных и необычных с геологической, а также исторической точек зрения мест;
- изучение философских источников постгуманистического дискурса;
- изучение и применение техник цианотипии (фотографического метода печати на ткани) и создание инсталляции из полотен ткани;
- запись, композиция и монтаж звуковой инсталляции.

Итак, изучение геологической структуры районов города, где располагаются выбранные станции, заключается в работе с геологическим атласом Санкт-Петербурга. Упор в изучении будет сделан на геохронологические особенности строения недр города. Этот выбор обусловлен интересом авторов к историческим этапам формирования Земли и относительно неглубокому залеганию докембрийских отложений в некоторых районах. Геохронологические эпохи интересны тем, что отражают незначительность масштабов эволюции человечества и его жизненного цикла по сравнению с масштабами эволюции земной коры.

Творческая часть проекта выражается посредством двух каналов: физического (инсталляции из полотен ткани) и звукового (многоканальная звуковая инсталляция). Предполагается разместить инсталляцию в одном из залов Музея почвоведения.

Одна из ключевых тем инсталляции – тема отношений между человеком и природой – раскрывается посредством образного ряда, а именно конкретных образов, выражающих “человеческое” и “природное”. Данные о современном состоянии Петербургского метрополитена и слоев, окружающих станции и тоннели, позволят более ясно отразить проблемы сегодняшнего дня, связанные с отношением граждан к вопросам состояния земли и экологии подземного мира.

Образ природы выражен в цилиндрической композиции из белых полотен натуральной ткани, выкрашенных посредством цианотипии, одной из техник солнечной печати на ткани. Вертикальное расположение элементов инсталляции формирует пространство, напоминающее абстрактную модель подземного мира Санкт-Петербурга. Чтобы объяснить выбор цианотипии в качестве техники для окрашивания полотен, следует привести причины этого решения:

- 1) Синий цвет дает ассоциативную связь с образом воды (вода – один из важнейших факторов формирования рельефа Санкт-Петербурга).
- 2) Влияние Солнца на результат (Солнце как природный фактор для выражения образа природы в произведении).
- 3) Цианотипия используется при копировании строительных чертежей.

Образ метрополитена, выраженный посредством звукового воплощения в инсталляции, имеет символическое значение человеческого вторжения в земные пласты, формировавшиеся тысячелетиями. С одной стороны, этот процесс сродни экстрактивизму, с другой – он показывает необычность человека как вида, потому что ни один вид не может проникать настолько глубоко под землю. Феномен Петербургского метрополитена для нас интересен тем, что некоторые станции заложены довольно глубоко и находятся в докембрийских пластах. То есть, погружаясь на глубину, человек попадает в другую эпоху, во времена до появления жизни на Земле. И здесь мы приходим к двум интерпретациям образа человека в инсталляции. Первый выражен посредством феномена метро, вторжения человека в подземный мир. А второй – это образ наблюдателя, выраженный в отношении к посетителю инсталляции и в образе людей, спускающихся под землю посредством метрополитена. Звуковая композиция, отражающая агрессивное человеческое вторжение на контрасте с близкой человеку инсталляцией из тканей, будет создаваться на основе полевых записей из метрополитена Санкт-Петербурга и транслироваться по многоканальной схеме.

Воплощенный проект инсталляции представляет собой уникальное художественное произведение, рассматривает важные в наше время научные проблемы, а также является частью выставочного проекта фестиваля “Заземление”. Место расположения проекта имеет определяющее значение, так как Музей почвоведения сам по себе отсылает к проблемам геологии и исследований почв, а предложенная инсталляция дополняет экспозицию музея.

Инсталляция “Enter the soil” (рабочее название) имеет целью обратить внимание посетителей выставочного проекта “Заземление” на проблемы земли и подземного мира Санкт-Петербурга посредством методов из области Art and science. В качестве вышеупомянутых методов используются сбор и обработка геологических данных, а также практическое применения техник цианотипии для создания инсталляции из ткани и современных методов звукообработки для создания звукового сопровождения. Помимо этого, изучаются источники современной философской мысли, в том числе представителей постгуманистического дискурса. Экспонирование результата проекта в Музее почвоведения предполагает реализацию вышеуказанной цели и популяризацию проблем геологии среди жителей Санкт-Петербурга. В качестве вывода следует добавить, что во междисциплинарных исследованиях и проектах Art & science наблюдается следующее: наука транслирует знание, в то время как искусство – смысл, открывая возможность для коммуникации со зрителем посредством множественности каналов чувственного восприятия.

## Литература

1. Šebjanič R., “Aurelia 1+Hz / proto viva sonification”, audio – visual performance with living system (live moon jellyfish). 2015 // Проект на сайте художницы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robertina.net/aurelia-1hz-proto-viva-sonification/> (дата обращения: 10.05.2021).
2. Haraway D. J., “Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene”. Duke University Press, 2016. P. 1–8.
3. Born G., Barry A., “ART-SCIENCE. From public understanding to public experiment”, Journal of Cultural Economy, 3:1, 2010, P. 103-119.

УДК 004.91

**TAKING INTO ACCOUNT THE PECULIARITIES OF CONVERTING  
HIGHLY SPECIALIZED PROFESSIONAL TEXTS TO A CONCEPTUAL  
SERIES THAT IS UNDERSTANDABLE TO UNSKILLED USERS WHEN  
CHOOSING MACHINE TRANSLATION TECHNOLOGIES  
IMPLEMENTED WITHIN A SINGLE LANGUAGE**

**Mashina E.<sup>1</sup>**

**Research supervisor-Ph.D. Balakshin P.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

The article is devoted to the creation of automated machine translation systems for highly specialized texts. The paper considers the features of semantic adaptation of such texts to the conceptual range of unskilled users. Based on the analysis, a reasoned choice of technologies is made for creating an automated system for such transformation, as well as directions for further research are determined and their practical applicability is evaluated.

**Keywords:** machine Translation, Recurrent Neural Networks (RNN), Example-Based Machine Translation (EBMT), Translation Memory (TM).

**Introduction**

The current stage of the scientific and technological revolution leads to a very rapid expansion of the conceptual range of almost all branches of knowledge, science, and technology. The pace of transformation is so high that these changes do not have time to integrate naturally into everyday languages of communication. At the same time, more and more complex samples of "user solutions" are being released to the consumer market.

All this leads to the fact that a detailed description of the functioning of new devices is becoming more difficult for the end-user to understand.

This almost automatically leads to a misinterpretation of various "user instructions" by the buyer of new products. Accordingly, this leads to a widespread reluctance of users to get acquainted in detail with the materials prepared for them. And as a result, all this leads to incomplete use of the capabilities of the proposed tools or even to gross errors in operation.

On the other hand, the openness of information resources and high-performance means of telecommunications provide end-users with almost unlimited access to highly specialized texts that can further expand the knowledge and educational level of non-professional readers. However, even in this case, the lack of necessary qualifications in the subject area of situational interest does not allow the user to fully perceive the necessary information.

**Problem statement**

There are two ways to solve the problem of improving the clarity of highly specialized content by an unskilled user:

- generation of special content aimed at the average unskilled user who has a certain unified amount of knowledge (usually, this level is a set of secondary school residual knowledge [1]),
- creation of specialized automated tools that allow unskilled users to access well-structured highly specialized data [2].

Naturally, the first way has the best quality of adaptation of specialized information for an unskilled user, which is reduced to duplicating narrowly professional texts into the everyday language of unskilled users. However, this way of transforming the original professional data into a conceptual set of unskilled users can hardly be considered economically feasible (especially considering the large amount of specialized information that is generated by various branches of knowledge today).

In this regard, the task of creating automated mechanisms for adapting professional information resources to the needs of non-professional users is relevant.

This task can be reduced to creating a kind of translator "from professional to ordinary". Moreover, it should be borne in mind that the presence of reverse conversion in such tools also seems necessary (including to improve the adequacy of processing user requests).

### **Features of the problem that affect the method of its solution**

Currently, the task of supporting a non-professional user in mastering highly specialized texts is usually solved by using numerous interactive dictionaries of special terms or various reference books [3]. But this cannot be considered satisfactory today, given the current level of development of fully automated means of linguistic translation [4].

Thus, the task is to build a means of automatic transformation of specialized texts for non-professionals, carried out within a single language.

At first glance, it seems that the solution to the problem of creating a so-called "Babel Goldfish" [5] for translating professional texts into the language of non-professionals, which takes place within one language, is not as difficult as creating a translator between different languages, which sometimes have a completely different message structure. And when solving it, you can only use the standard algorithms of "interlinguistic" translators. However, several reasons do not allow effective use of cross-language automatic translation technologies for adapting specialized texts for the needs of non-professionals, carried out within a single language.

The main features include the following.

First, the translation of a specialized text for a layman requires unambiguity and accuracy of interpretation of the result. Otherwise, the unqualified user does not need to use specialized sources to raise their awareness.

Secondly, highly professional language systems operate with several concepts that have no unambiguous analogs in colloquial systems. Therefore, the translation of specialized terminology requires many accompanying clarifications to increase the degree of unambiguity, which complicates the adapted material. And this leads to a decrease in the clarity of the translation.

Third, highly professional texts (usually related to the most advanced research and development) contain many special terms, acronyms, and abbreviations that have not yet received universal recognition. In this regard, when translating, it is often necessary to create and use a personalized author's thesaurus.

Fourth, the concept of the "thesaurus of the non-professional reader", which describes the conceptual range of the unskilled user (to which the adapted text should be "brought" by simplifications and explanations), today seems rather vague and also requires unambiguous clarification.

It is obvious that shortly, due to significant differences in the structure of the conceptual systems of different branches of knowledge, it is almost impossible to expect the creation of a universal solution for the adaptation of highly specialized texts [6]. However, when creating such translation systems, it still seems appropriate to use the most universal (but at the same time highly professional) solutions that allow creating a limited number of such "professional translators" within a single language.

### **Methods that are proposed to be used to solve the problem**

An analysis of the development of modern machine translation systems shows that it is possible to quickly create a tool for adapting professional texts based on the methods of deep learning that are widely used today (including recurrent Neural Networks (RNN)), which allow you to build translation options based on already obtained data) [7].

However, the direct use of the translation methods described above (which are the basis of most modern automated TRANS-linguistic translators) is practically not applicable in the case of translations "from professional" to "everyday unskilled". Because today there are no systematized "mirror text databases" of sufficient volume that can be used for training neural networks. But it is known that with small amounts of comparable information, it is almost impossible to speak about the correctness and stability of a translation based on deep learning methods [8]. And this practically closes the possibility of using training methods to build systems for adapting highly specialized texts for unskilled users, since the main requirements for such translation are its accuracy and unambiguity [9]). In this regard, the task is to determine a different approach to building an automated system for adapting specialized content.

When choosing a General technology for automatic adaptation of professional medical content for the needs of a non-professional user, you should pay attention to the fact that such highly specialized

texts are well structured. And the terms and descriptions of actions used in them are mostly standardized into specialized chains, often called protocols [10].

In this regard, it seems appropriate as a first approximation for the base of the technology of building of machine translation (medical to every day) take Machine Translation Based on Examples — Example-based Machine Translation (EBMT) [11].

The performance of EBMT technology for the adaptation of highly specialized texts is because it did not require extensive databases "mirror texts" necessary for learning, on the other hand, does not require to do a deep linguistic analysis necessary to create a translation system based on rules.

With EBMT, the sentences of the translated (adapted) text are divided into certain phrases, then these simple phrases are translated, taking into account the previously accumulated translation experience. After that, the final translation of the sentence is constructed from these phrase fragments [11].

At the same time, the EBMT technology allows you not to pre-build a comprehensive system of rules and exceptions necessary for building phrases. Instead, EBMT uses text fragments that have analogs in the language to be translated. This allows us to speak about its universality for various branches of knowledge.

Moreover, it should be noted that some fragments of translation algorithms based on examples (although in non-automatic mode) have long been successfully used in highly specialized translation systems of branches of knowledge that impose special requirements for accuracy and unambiguity on translation [12].

Translation Memory (TM) technology is another mechanism designed to improve the performance of the created solution for adapting highly specialized content based on EBMT methods and algorithms. This technology increases the speed of translation by reducing the amount of work performed when translating repetitive text fragments [13].

At the same time, the increase in translation performance is because the TM mechanism is based on comparing the fragment of the document to be translated with the data stored in the pre-created translation database.

When performing a translation, the system finds segments in the General text array that have already been translated once and selects the most similar translations from the Translation Memory database for current use.

Thus, based on the knowledge of previous successful translations, the system creates its specialized dictionary of translation of text fragments and terms, gradually complementing the pre-loaded dictionaries of terms and correspondences, compiled regardless of the experience of using the system.

Thus, the use of Translation Memory technology greatly simplifies the mechanisms of "additional training" of the translation system, in fact reducing them to connecting additional dictionaries created, including based on previous successful translations.

However, it should be borne in mind that the comparative simplicity of implementing a translation system based on EBMT technology leads to the need to solve another problem in areas where accuracy and unambiguity are the defining requirements for the translation system.

This problem of "semantic accuracy of translation" is caused by the fact that translation systems based on EBMT technology do not provide for semantic analysis of the resulting text. Therefore, without additional verification procedures, you can only trust the result of the transfer with a given degree of probability.

Therefore, to ensure the necessary quality of translation when using EBMT technology, it is necessary to additionally introduce specialized mechanisms into the system verifications of the received result, designed to assess whether the quality of the received translation result is acceptable.

At the same time, one of the options for such automatic verification can be the method of controlled changes in the volume of the dictionary of phrases and concepts available to the created automatic translator. A comparative assessment of the stability of the result obtained to the volume of the dictionary provided will indicate the quality of the translation.

## Conclusions

The above-mentioned features of the process of transforming highly specialized texts to a form that is understandable to non-professional users (which is carried out within a single language) allow us to say that:

1) the most effective mechanism for this is Machine Translation Based on Examples — Example-based Machine Translation (EBMT), supplemented by Translation Memory (TM) technology.

2) when using these technologies as "source data", which is used for preliminary training of the system, you can use not arrays of "mirror texts" (usually missing in the required volume when translating highly professional texts), but explanatory dictionaries of specialized terms.

3) to ensure the necessary quality of translation, the created system must additionally introduce specialized verification mechanisms, which can be based on the method of controlled changes in the volume of source dictionaries.

4) the most promising direction for the introduction of such systems for automatic generation of highly specialized content adapted for unskilled users is telemedicine in the part that relates to the creation of patient-oriented information systems.

## References

1. Mashina E. A., Beilin M. T. Analysis of standards describing the provision of primary pre-medical care to determine the needs of municipal medical volunteers working with the use of information support systems // Proceedings of the VIII Congress of young scientists (Saint Petersburg, 15-19 April 2019). 2019. Vol. 3. Pp. 264-266.
2. Mashina E. A., Nelepko L. N. Creating a patient-centered telemedicine system PersonalMedHelper in the open inter-University space of coworking // youth Work in the XXI century: challenges and opportunities. Dialogue of generations. Materials of the St. Petersburg international youth labor forum-2019 (St. Petersburg, 27-28fevralya 2019). 2019. P. 243-257.
3. Nelyubin, L. L. Introduction to translation techniques (cognitive theoretical and pragmatic aspect) // L. L. Nelyubin. - 5th ed., ster. - Moscow: FLINT. 2016. 216 p.
4. Demyankov V. Z., Cognitive linguistics as a kind of interpretive approach. / V. Z. Demyankov // Questions of linguistics. 1994. № 4 (35). P. 17-33.
5. Somers, H. computers and translation: translator's guide. - John Benjamins Publ. Company- Amsterdam. 2003. 351 P.
6. Bowker, L. technology of automated translation: a practical introduction-University of Ottawa Press-Ottawa. 2002. 184 P.
7. Mashina E. A., Barkalov M. M. Possibilities of using machine learning methods for analyzing arrays of factographic data generated when using patient-oriented telemedicine systems // Proceedings of the VIII Congress of young scientists (Saint-Petersburg, 15-19th April 2019.). 2019. Vol. 3. P. 260-263.
8. Groves, E. H. cognitive representation of semantic categories // journal of experimental psychology: General, 1975. T. 104. No. 3, pp. 192– 233.
9. Mashina E. A. Features of creating patient-oriented telemedicine systems // Proceedings of the VIII international Congress of young scientists (Saint Petersburg, April 15-19, 2019). 2019. Vol. 3. P. 256-259.
10. Mashina, E. A., Nelepko, N. N. Structure and sources of specialized data of the information support system for municipal volunteers providing pre-medical care // Proceedings of the VIII international Congress of young scientists (Saint Petersburg, April 15-19, 2019). 2019. Vol. 3.Pp. 267-270.
11. Somers, H. approximate machine translation // machine translation, 1999, no.14, Pp. 113-157.
12. Borisov, V. V. Abbreviation and acronym. Military and scientific and technical abbreviations in foreign languages / V. V. Borisov; ed. by A. D. Schweitzer. - M: Military publishing house, 2004. 320 p.
13. Kit C., Pan H., Webster J. J. machine translation based on examples: a new paradigm // translation and information technologies / S. W. Chan (ed.)- Hong Kong: Chinese University of Hong Kong, 2002.pp. 57-78.

УДК 547.854.5

**РАЗРАБОТКА pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ  
ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ КОНДЕНСАЦИИ КНЁВЕНАГЕЛЯ  
С БАРБИТУРОВОЙ КИСЛОТОЙ**

**Небалуева А.С.<sup>1</sup>, Тимралиева А.А.<sup>1</sup>, Кириллова Д.К.<sup>1</sup>, Стадник А.Н.<sup>1</sup>,**

**Шиловских В.В.<sup>1</sup>, Боярский В.П.<sup>2</sup>, Скорб Е.В.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель - проф. Скорб Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

*Работа выполнена в рамках темы НИР № «2019-1075».*

В работе рассмотрен физико-органический подход о влиянии метилового и этилового заместителей в производных барбитуровой кислоты на изменение окраски при различных pH, а также на структуру плёнок на основе этих веществ. Произведен синтез производных барбитуровой кислоты по реакции Кнёвенагеля с использованием альдегидов: (4-гидрокси-3-метокси-бензальдегида) ванилина и (4-гидрокси-3-этокси-бензальдегида) этилванилина. Синтезированные вещества могут использоваться в качестве pH-чувствительных материалов, в дальнейшем ряд веществ будет расширен.

**Ключевые слова:** функциональные материалы, производные барбитуровой кислоты, контроль pH, плёнки с откликами на внешние воздействия, физико-органический подход.

В настоящее время активно разрабатываются новые функциональные материалы, которые могут быть применены в различных областях. В современном материаловедении есть растущий запрос на синтез новых веществ, способных к обратимому функциональному переходу при небольших изменениях среды. Барбитуровая кислота является многообещающим кандидатом для модификации благодаря выраженной способности формировать прочные водородные связи и относительно легкой модификации. Производные барбитуровой кислоты, как правило, существуют в бесцветной кето-форме, р-конъюгация в их кольце прерывается sp<sup>3</sup>-гибридизованным атомом углерода. Напротив, енольная форма барбитуратов обладает сильным положительным резонансным эффектом и является хромофором, который обладает интенсивной полосой поглощения в видимой и УФ области. Определенные внешние воздействия могут спровоцировать появление енольной формы. К примеру кислотно-щелочная реакция может стабилизировать енол или енолят форму [1].

Полученные в ходе работы синтетические производные барбитуровой кислоты интенсивно окрашены, причем положение полосы поглощения смещается в длинноволновую область при депротонировании в щелочной среде. На рисунке 1 представлены синтезированные нами порошки, а также то, что кетонная и енольная форма барбитуровой кислоты меняет окраску соединений, благодаря протонированной форме, чему способствует щелочная среда раствора.

Этот общий тип реакции известен как реакция конденсации Кнёвенагеля [2] и широко используется для образования углерод-углеродных связей в органическом синтезе, в том числе в синтезе карбоциклических и гетероциклических соединений.

В работе были использованы карбоциклические ароматические альдегиды ванилин и этилванилин в качестве модификаторов ввиду возможности р-конъюгации из ароматической системы с енолят-формой барбитуровой кислоты. Кроме того, эти вещества нетоксичны, что расширяет возможности применения продуктов реакции.

Синтез 4-гидрокси-3-метокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона и 4-гидрокси-3-этокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона происходит в водной среде без добавления катализатора. Протекание реакции ванилина и этилванилина с барбитуровой кислотой легко регистрируется методами спектроскопии видимого света, так как реакция бесцветного ванилина или этилванилина и барбитуровой кислоты образует окрашенный 5-(4-гидрокси-3-метокси-бензилиден)пиримидин-2,4,6-трион или 5 - (4-гидрокси-3-этокси-бензилиден)-

пиримидин-2,4,6-трион соответственно. На рисунке 2 а и б показано, что в ходе образования продукта происходит значительное увеличение интенсивности поглощения с максимумом при длине волны 405 нм. Интересно, что в случае с 4-гидрокси-3-метокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона окраска более интенсивна.

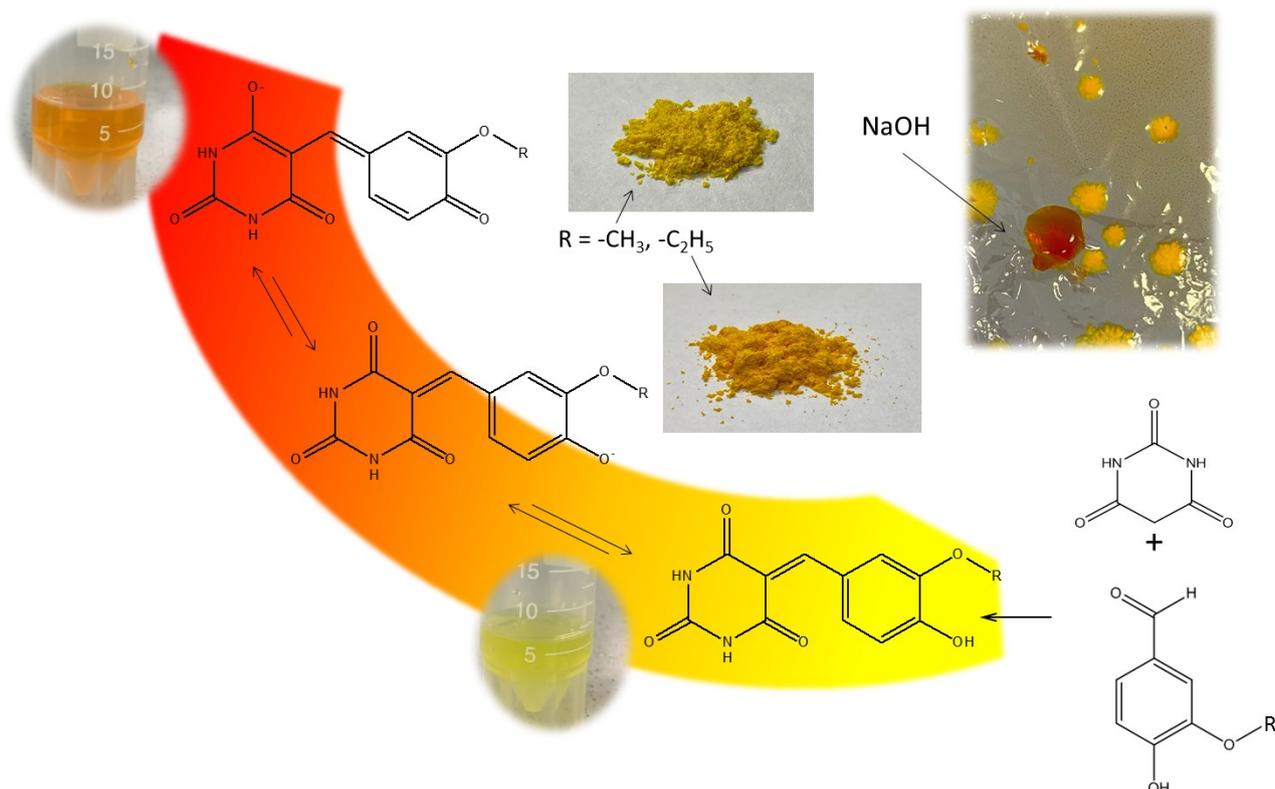


Рис. 1. Схема представленного процесса с зависимостью цвета производных барбитуровой кислоты от pH среды, синтезом реакцией Кнёвенагеля. Оптические фотографии образцов порошков 4-гидрокси-3-метокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6- триона и 4-гидрокси-3-этоксид-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона, а также эпидорфы их растворов при разных pH и сформированная агаровая пленка, где при нанесении NaOH выделено четное изменение окраски, что видно по нанесенной капле красного цвета

В щелочной среде поглощение смещается в длинноволновую область, и раствор визуально меняет цвет с желтого на красный. На рисунке 2 в и г представлены спектрофотометрические данные, на которых наблюдается падение интенсивности при 405 нм и появление максимума поглощения при 490 нм, что говорит о появлении депротонированной формы, и опять изменения более выражены в случае 4-гидрокси-3-метокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона.

Важным является возможность влиять на свойства и тормозить или ускорять реакцию даже при небольших изменениях, как в представленном случае, при введении одной дополнительной метильной группы, что, с одной стороны, не сильно влияет на реакционную способность, одновременно позволяет регулировать скорости реакции, отклик материалов на их основе на изменения внешних воздействий.

Данные порошковой рентгеновской дифракции говорят о понижении кристалличности с увеличением объема заместителя. Полученные рентгеновские спектры представлены на рисунке 3. Характер данных дифрактограмм говорит, что вещества обладают схожими кристаллическими структурами.

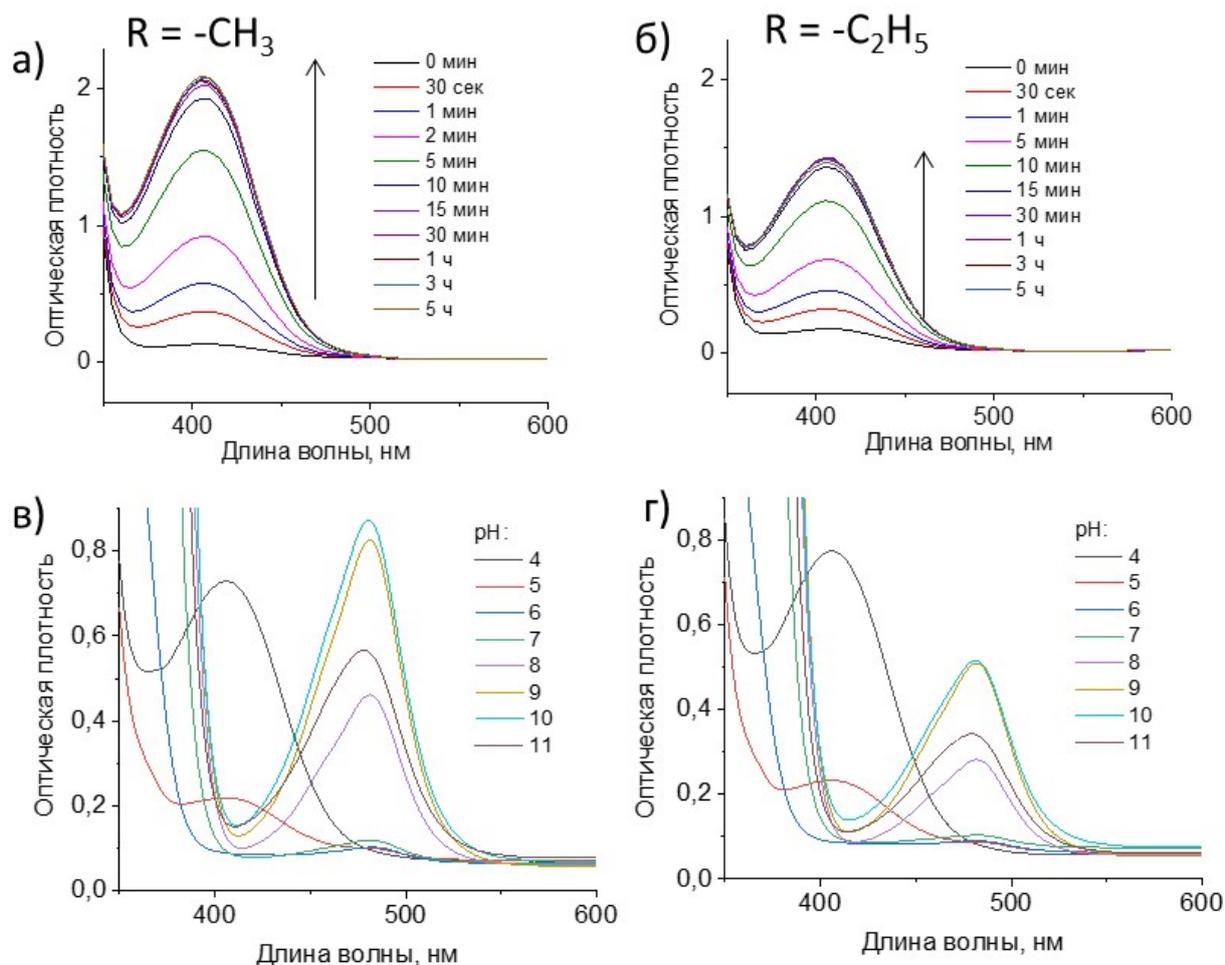


Рис. 2 Спектры поглощения в ультрафиолетовой и видимой области для а и б – оценки скорости прохождения реакций образования; в и г – смещения пика в случае изменения рН системы

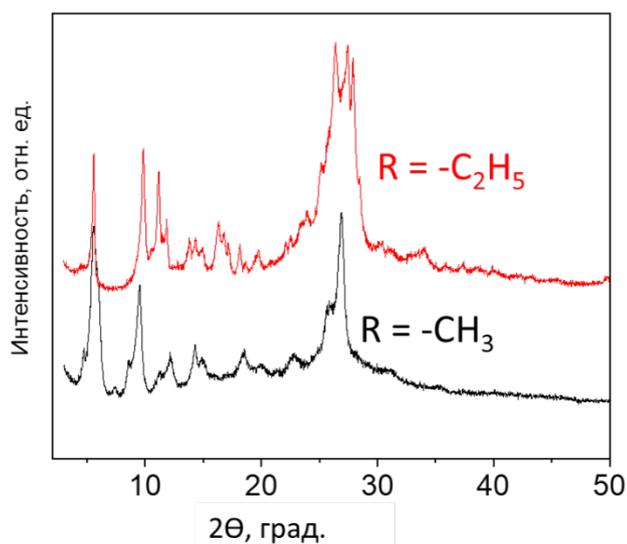


Рис. 3. Порошковая рентгеновская дифракция 4-гидрокси-3-этокси-бензалиден-пиримидин-2,4,6-триона (красный) и 4-гидрокси-3-метокси-бензалиден-пиримидин-2,4,6-триона (черный)

Порошки 4-гидрокси-3-метокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона и 4-гидрокси-3-этоксид-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона получены при испарении растворителя из реакционной среды. Соединения образуют вытянутые желтые кристаллы до нескольких десятых долей миллиметра в длину, причем в случае метилового заместителя частицы обладают выраженной эластичностью и значительно длиннее, переход к этилзамещенной производной приводит к формированию плотных агрегатов. Структура кристаллов исследована методом оптической микроскопии, результаты которой представлены на рисунке 4.

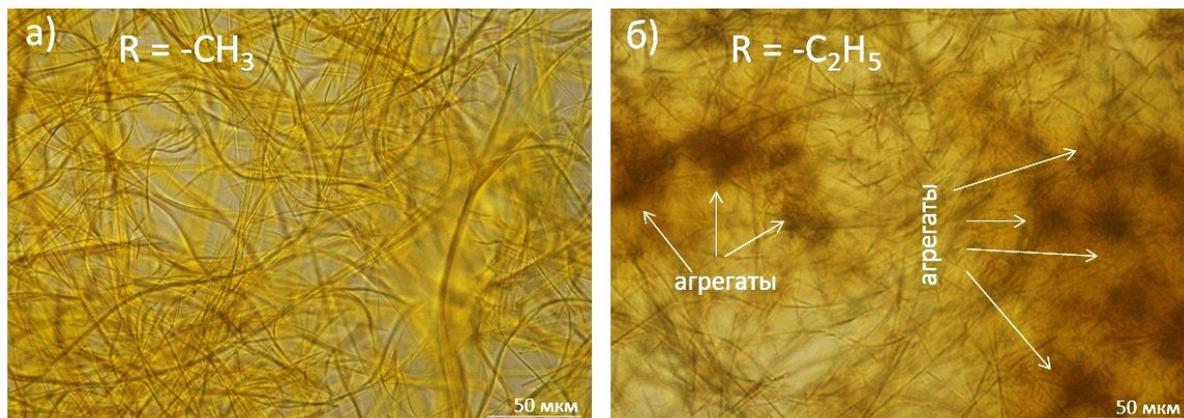


Рис. 4 Фотографии оптической микроскопии характеристики кристаллов производных барбитуровой кислоты а) 4-гидрокси-3-метокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона б) 4-гидрокси-3-этоксид-бензилиден-пиримидин-2,4,6-триона

В ходе работы было рассмотрено влияние этильной и метильной группы на образование плёнок, благодаря этильной группе в структуре молекул образуются агрегаты, метильная же группа благоприятствует образованию нитевидных кристаллов. Также выявлено, что 4-гидрокси-3-метокси-бензилиден-пиримидин-2,4,6-трион и 4-гидрокси-3-этоксид-бензилиден-пиримидин-2,4,6-трион имеют отклик на pH и образуют протонированные формы, что было подтверждено с помощью адсорбционной спектрофотометрии.

В дальнейшей работе планируется включение данных молекул в состав супрамолекулярных структур [3], а также создание на их основе самостоятельных плёнок без использования гелеобразующего агента.

### Литература

1. Schade, A., Schreiter, K., Rüffer, T., Lang, H., & Spange, S. Interactions of Enolizable Barbiturate Dyes // *Chemistry - A European Journal*. 2016. V. 22. P. 5734–5748.
2. Левина, Р. Я. Величко, Ф. К. Успехи химии барбитуровых кислот // *Успехи химии.*, 1960. Т. 8. С. 1929-1960 с.
3. Shilovskikh, V., Timralieva, A., Nesterov, P. V., Novikov, A. S., Sitnikov, P.A., Konstantinova, E.A., Kokorin, A. I., Skorb, E. V. Melamine-barbiturate supramolecular assembly as pHdependent radical trap material. // *Chemistry – A European Journal*. 2020. V. 26. P. 16603-16610.

УДК 001.3

## ПРОЕКТЫ ГРАЖДАНСКОЙ НАУКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Понедельник И.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Прокуратова В.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР «Проекты гражданской науки для мониторинга индикаторов Целей устойчивого развития в России».*

В работе определены концепции гражданской науки в зарубежных источниках литературы, указана взаимосвязь проектов гражданской науки и достижения ЦУР. Реализация всего потенциала гражданской науки требует демонстрации ее ценности в глобальной экосистеме данных, налаживания партнерских отношений с данными гражданской науки для ускорения прогресса в достижении ЦУР и привлечения инвестиций для улучшения ее использования и воздействия.

**Ключевые слова:** научное волонтерство, устойчивое развитие, ЦУР, гражданская наука, общество.

Цели устойчивого развития ООН (далее — ЦУР) — это видение достижения устойчивого будущего. Надежные, своевременные, полные и последовательные данные имеют решающее значение для измерения прогресса и, в конечном итоге, достижения ЦУР.

Данные, полученные в рамках проектов citizen science (далее — гражданская наука), представляют собой новый источник данных, который можно использовать для отчетности и мониторинга ЦУР. Однако по-прежнему отсутствует информация о текущем и потенциальном вкладе гражданской науки в систему индикаторов ЦУР.

По данным исследования, благодаря систематическому обзору метаданных и рабочих планов по 244 индикаторам ЦУР, проекты гражданской науки вносят и могут вносить данные в систему индикаторов ЦУР [1]. Проекты гражданской науки «уже вносят свой вклад» в мониторинг 5 индикаторов ЦУР, «могут способствовать» 76 индикаторам ЦУР, что вместе составляет около 33% всех индикаторов.

На текущий момент в России отсутствует система мониторинга достижения ЦУР. Одна из проблем формирования национальной системы индикаторов ЦУР по глобальным индикаторам — пробелы в данных и методологии, а также дезагрегация. Значения более 90% показателей глобальной базы данных не совпадают с базой данных Росстата. Поэтому проекты гражданской науки, реализуемые в России, могут сформировать собственную систему мониторинга индикаторов ЦУР и способствовать развитию системы Росстата.

Проекты гражданской науки играют важную роль во взаимодействии между научным миром и обществом. С одной стороны, они повышают научную грамотность граждан, а с другой — предоставляют возможность ученым показать обществу, как социальные проблемы и требования влияют на их работу. Это показывает, что наука и технологии важны и доступны для всех членов общества.

Таким образом, открывается новая возможность для конструирования знаний через участие общества в процессах науки, что влияет на демократизацию и понимание науки.

Термин «гражданская наука» использовался в научных статьях с середины 1990-х годов. Впервые этот термин был упомянут в Википедии в 2005 году и вошел в Оксфордский словарь английского языка в 2014 году. По Ирвин — термин использовался для описания типа сотрудничества между гражданами, не являющимися экспертами, и учеными-специалистами [2].

Хотя во многих развивающихся странах о проектах гражданской науки знают по-прежнему мало, они становятся важным инструментом взаимодействия для науки. Куртис выделяет различные формы участия граждан: сбор данных, расчет, анализ, оценка, разработка гипотез и разработка методологии или распространение данных [3]. Таким образом, даже

непрофессионалы могут внести свой вклад в создание науки, тем самым делая гражданскую науку демократизирующим элементом для науки и научной политики.

Гражданскую науку можно охарактеризовать как исследование, проводимое представителями общественности с целью сбора научной информации, которая может быть использована в процессах принятия решений. Гражданская наука становится важным инструментом для выполнения научных исследований, особенно в области охраны окружающей среды, поскольку масштабы и актуальность экологических проблем превосходят имеющиеся ресурсы для сбора данных [4]. В последние годы сформировались новые организации, полностью посвященные исследованиям, основанным на продвижении естественной науки, а правительственные учреждения и университеты, наконец, начинают осознавать потенциал гражданской науки для внесения вклада в их работу.

ЦУР были одобрены Организацией Объединенных Наций в 2015 году в рамках Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Документ призван обеспечить преемственность с Целями развития тысячелетия (далее — ЦРТ) и решить проблемы, которые не удалось достичь с помощью ЦРТ.

ЦУР сосредоточены на областях, которые имеют критически важное значение для человечества и планеты:

- Люди: покончить с бедностью и голодом и обеспечить, чтобы каждый мог развивать свой потенциал с достоинством и равенством в здоровой среде;
- Планета: защитить планету от деградации за счет ответственного потребления и производства, чтобы гарантировать поддержку потребностей будущих поколений;
- Процветание: обеспечение того, чтобы все люди могли наслаждаться процветающей жизнью с экономикой в гармонии с природой;
- Мир: укрепление мирного, справедливого и открытого для всех общества;
- Партнерство: мобилизовать необходимые средства для реализации Повестки дня с участием всех стран, заинтересованных сторон и людей.

Повестка дня на период до 2030 года включает 17 целей устойчивого развития и 169 задач, разделенных в общей сложности на 232 индикатора, которые используются для мониторинга прогресса в достижении соответствующих целей.

По заявлению основных групп и заинтересованных сторон в области науки и технологий Ассамблеи Организации Объединенных Наций по окружающей среде «доминирующая культура научных знаний не учитывает разные способы познания и часто не привлекает общественность. Таким образом, citizen science делает упор на совместный интеллект и совместное творчество для содействия научным и общественным решениям».

Рост научного внимания к теме взаимодействия ЦУР и проектов гражданской науки связан с продолжающимся ростом общественного сознания и включения науки в отношении повестки ЦУР, необходимости вовлечения разных стейкхолдеров в работу по мониторингу ЦУР. Последние 22 научные статьи по этой теме были опубликованы в 2020 году, что говорит о росте темы взаимодействия проектов гражданской науки и ЦУР только после 5 лет после принятия ЦУР.

При этом, если ранее потенциал гражданской науки рассматривался только на уровне целей и задач, то сейчас, например, в работе Fritz приводятся несколько примеров того, как данные гражданской науки уже вносят вклад в некоторые индикаторы ЦУР.

В свою очередь, только работа Fraisl содержит полный анализ всех индикаторов и возможность включения проектов гражданской науки в мониторинг индикаторов ЦУР. По данным исследования, проекты гражданской науки «уже вносят свой вклад» в мониторинг 5 индикаторов ЦУР и «могут способствовать», предоставляя прямую или дополнительную информацию, 76 показателей. По оставшимся 165 показателям учёные не смогли определить какие-либо текущие или прошлые инициативы в области гражданской науки.

Гражданская наука активно способствует достижению ЦУР, поскольку она охватывает широкий спектр соответствующих областей (например, качество воды и воздуха, морской

мусор, биоразнообразие, здоровье и гендерные вопросы), предоставляя данные за достижение показателей установленных нормативов.

Большая часть проектов гражданской науки во всем мире привлекает население к наблюдению за природой или аннотированию природных данных в Интернете. В частности, наблюдения за орнитологами резко расширили коллективные знания о многих видах птиц, о чем свидетельствуют многие рецензируемые научные публикации, которые включают данные наблюдений со всего мира. Одна только платформа eBird получает около 7,5 миллионов наблюдений за птицами ежемесячно и более 100 миллионов наблюдений за птицами в год.

BirdLife International, имеющая сеть добровольцев-наблюдателей, собирающих данные о популяциях птиц, является официальным поставщиком информации о находящихся под угрозой исчезновения видах птиц в Индекс Красного списка. BirdLife International также использует данные из проектов гражданской науки, таких как eBird, для составления списка.

Программа ООН по окружающей среде в настоящее время разрабатывает методологию, которая использует данные гражданской науки в качестве основного источника информации для измерения морского пластика на пляжах и береговой линии.

Таким образом, участие граждан имеет решающее значение для получения данных и отслеживания изменений, происходящих на глобальном уровне. Такие данные должны быть доступны в свободном доступе, чтобы граждане могли принимать информированные решения [5].

Другие аналогичные научные работы включают отчеты о вкладе данных, полученных от граждан, в достижение ЦУР с особым вниманием на несколько тематических исследований.

Таким образом, гражданская наука может способствовать достижению всех 17 ЦУР, поскольку она уже вносит или может внести свой вклад как минимум в один показатель для каждой цели. Таким образом, проекты гражданской науки могут быть включены и в систему индикаторов ЦУР в России. Это включает в себя, помимо прочего, гражданскую науку, являющуюся основным источником данных, которые используются для измерения прогресса по показателю или заполнения пространственных, или временных пробелов в наших знаниях.

## Литература

1. Fraisl D. et al. Mapping citizen science contributions to the UN sustainable development goals //Sustainability Science. 2020. Т. 15. №. 6. С. 1735-1751.
2. Brovelli M. A. et al. Citizen Science in Support of Digital Earth //Manual of Digital Earth. Springer, Singapore, 2020. С. 593-622.
3. Curtis V. et al. Online citizen science and the widening of academia. Palgrave Macmillan, 2018.
4. Thornhill I. et al. The citizen science opportunity for researchers and agencies //BioScience. 2016. Т. 66. №. 9. С. 720-721.
5. Lu Y. et al. Policy: Five priorities for the UN sustainable development goals //Nature. 2015. Т. 520. №. 7548. С. 432-433.

УДК 616.711-007.55

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНОЧНИКА НА  
РАЗНЫХ СТАДИЯХ СКОЛИОЗА**

**Мохаммад Р.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Попов И.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

*Работа выполнена в рамках темы НИР № 620164 «Робототехника и искусственный интеллект».*

Метод математического моделирования, использовавшийся авторами в работах с целью описания эволюции трехмерной деформации позвоночного столба, продемонстрировал идентичность процессов, полученных при имитации процессов в предложенной на том этапе модели позвоночного комплекса с реальной клинической картиной формирования сколиоза. Статистическое исследование будет проводиться для детей в возрасте от 8 до 11 лет. Выработаем на основе этого анализа какие-то рекомендации для медиков и использования результатов для верификации биомеханических моделей позвоночника.

**Ключевые слова:** тела позвонков, диски, дугами разбита, ANOVA, статистический анализ.

В работах [1, 2] реальный позвоночный столб рассматривался в виде двухколонного образования, состоящего из:

- дорзальной (задней) колонны S, представленной спинным мозгом,
- вентральной (передней) колонны L, представленной костно-связочно-мышечным «футляром» спинного мозга.

Статистическое исследование будет проводиться для детей в возрасте от 8 до 11 лет. Чтобы выяснить наличие корреляции между позвонками и кифозом, мы проведем статистический анализ каждой возрастной группы с использованием анализа ANOVA, чтобы этот анализ обеспечил разделение общей суммы квадратов группы данных в различные источники, цель статистического анализа - проверить гипотезу, равную средним значениям сразу группы выборок, которые называются treatments.

Одним из условий этого теста является то, что данные подлежат проверке. нормальное распределение и их вариации однородны.

Статистический анализ данных восьмой возрастной группы. Выборка состоит из измерений высоты позвонков th2, th3, th4, th5, th6, th7, th8, th9, th10, th12, l1, l2 у 20 детей. Сначала были оценены недостающие значения, и в программе были определены две переменные: переменная, включающая позвонки, и переменная, указывающая их высоту.

Следующим шагом является проверка того, что данные подчиняются нормальному распределению, и это то, что мы можем получить, наблюдая отношение коэффициента асимметрии к его стандартной ошибке, которое составляет  $0.411/0.151 = 2.72$ , поскольку это отношение равно больше 2, это означает, что распределение искажено положительно (вправо).

В таблице 1 показаны значение коэффициента асимметрии и его стандартная ошибка.

Таблица 1. Descriptives

		Statistic	Std. Error
Mean		15.2148	.19892
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	14.8231	
	Upper Bound	15.6065	
Variance		10.288	
Std. Deviation		3.20751	
Skewness		.411	.151

Теперь мы подтверждаем однородность вариаций с помощью теста Левинса, где проверяется нулевая гипотеза о том, что дисперсия коэффициентов однородна. Несоблюдение

этого условия приведет к принятию неверных решений при проверке гипотезы о равном влиянии коэффициентов или равном среднем значении коэффициентов. Часто, когда дисперсии не равны, это приводит к невыполнению условия нормального распределения внутри процессоров, и это условие необходимо для проверки гипотез, где мы предполагаем, что случайная ошибка имеет нормальное распределение  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ . В этом случае необходимо выполнить преобразования данных, чтобы обеспечить однородность дисперсии. Выполнение этого преобразования приближает распределение к нормальному при каждой коэффициенте.

Cox & Box предлагал диагностический инструмент, чтобы решить, нужно ли преобразовывать контрасты. Этот инструмент зависит от определения наличия взаимосвязи между обрабатываемыми средами и их стандартными отклонениями, поэтому наклон рассчитывается как регрессия логарифма отклонений от среднего логарифма обрабатываемых сред. Чтобы сформировать (power transformation) для данных в соответствии со следующей формулой  $y^{1-b}$ , где  $y$  представляет исходные данные, а  $1-b$  представляет мощность (power).

Найдите из таблицы, что значение sig меньше 0.05. Поэтому мы отклоняем нулевую гипотезу и принимаем альтернативную гипотезу о том, что дисперсии неоднородны.

В таблице 2 показано значение вероятности значимости.

Таблица 2. Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.239	12	247	.011

С помощью диаграммы (рис. 1) можно диагностировать проблему неоднородности дисперсии, показывая, что значение наклона  $b = 1.048$  и значение  $p = 0.0489$ .

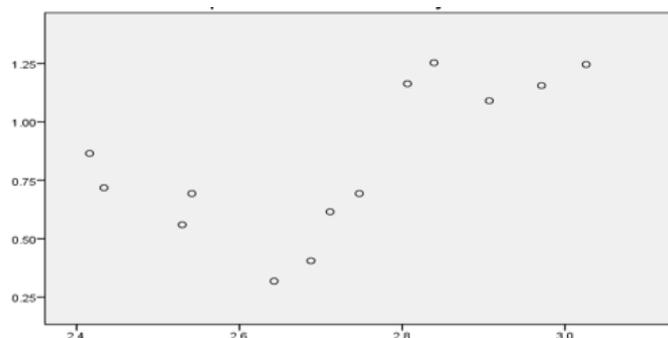


Рис. 1. График зависимости спреда от уровня, Slope = 1.048, Power for transformation = -.048

В результате мы выберем преобразование логарифма, чтобы получить следующую диаграмму (рис. 2), которая показывает, что  $b = 0.011$ , где  $b$  - значение (наклон), чтобы мы могли получить данные, которые удовлетворяют условиям анализа ANOVA дисперсии.

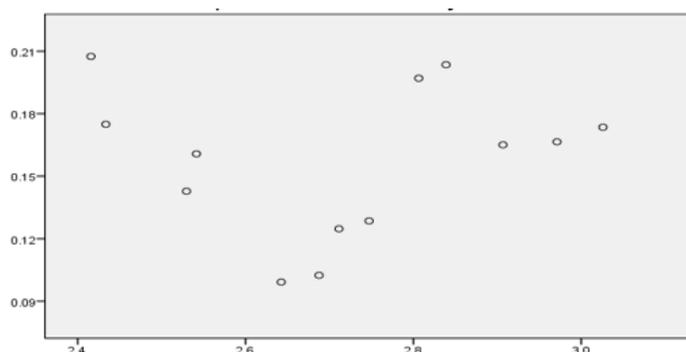


Рис. 2. График зависимости спреда от уровня, Slope = .011, Data transformed using P = -.048

В табл. 3 Показано наличие статистически значимых различий.

Таблица 3. ANOVA

(I) t	(J) t	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
th12	th2	6.64090*	.49999	.000	5.3430	7.9388
	th3	6.21251*	.49999	.000	4.9146	7.5104
	th4	5.63684*	.49999	.000	4.3389	6.9347
	th5	5.31184*	.49999	.000	4.0139	6.6097
	th6	4.18696*	.49999	.000	2.8891	5.4849
	th7	3.52889*	.49999	.000	2.2310	4.8268
	th8	3.16420*	.49999	.000	1.8663	4.4621
	th9	2.43961*	.49999	.000	1.1417	3.7375
	th10	1.83075*	.49999	.000	.5328	3.1287
	th11	1.06377	.49999	.034	-.2341	2.3617

Таким же образом проводится статистический анализ данных для возрастных групп 9, 10 и 11, чтобы получить следующий результат: существуют статистически значимые различия между средней высотой позвонков, начиная от позвонка th3 до позвонка th12 при статистической значимости. уровень 0.01.

Дуга, образованная грудным кифозом, состоящая из 12 позвонков и 12 межпозвонковых дисков, имеет протяжённость:

$$(1+0.5+1.1+0.6+1.2+0.6+1.3+0.6+1.4+0.7+1.5+0.7+1.6+0.8+1.7+0.8+1.8+0.9+1.9+0.9+2+1+2.1+1) = 27.7 \text{ см.}$$

Отрезок, соединяющий две точки грудного отдела позвоночника – начальную и конечную – имеет длину 16 см, исходя из роста ребёнка в 128 см.

Определим индекс кифоза:

Расстояние между вышеуказанным отрезком и передним контуром наиболее отдалённого позвонка составляет 3,6 см.

Рассчитываем индекс кифоза:

$3,6/27,7 = 0,13$ , что свидетельствует о нарушении физиологического грудного кифоза (норма 0.09 – 0.11).

**Выводы:**

- высота тел позвонков по направлению от шейных к поясничным постепенно увеличивается;
- высота межпозвонковых дисков по направлению от шейных к поясничным также постепенно увеличивается;
- крестцовый кифоз более резко выражен, являясь более «крутым», по сравнению с грудным кифозом. Это, как раз-таки, и объясняется увеличением высоты дисков и позвонков по направлению сверху вниз;
- чем крупнее позвонок, тем заметнее становится его смещение, тем под более острым углом он повёрнут к другим позвонкам.

**Литература**

1. Дудин М.Г., Синицкий Ю.Ф. О механизме торсионных изменений при сколиозе, Ортопедия травматология и протезирование.1981. №2. С. 33-36.
2. Дудин М.Г., Баллошин Ю.А., Бобер С.В., Поморцев И.Ю. Математическое моделирование трехплоскостной деформации позвоночного столба человека, Российский журнал биомеханики. 2016. Т. 20. № 3. С.272–282.

УДК 009.004

**TO THE ISSUE OF SPEECH SYNTHESIS EFFECTIVENESS IN  
TEACHING A FOREIGN LANGUAGE (THE CASE OF TEACHING  
ENGLISH TO JAPANESE STUDENTS)**

**Trofimova D.D.<sup>1</sup>**

**Research Advisor – Doctor of Sciences (Philology), Docent Zavyalova V.L.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok

The article is devoted to the issue of the effectiveness of the implementation of programs based on speech synthesis in the process of teaching a foreign language on the example of teaching English to native Japanese speakers. It examines the reasons for using speech synthesis in teaching a foreign language, as well as the efficiency of this approach.

**Keywords:** digital humanities, speech synthesis, foreign language teaching, English language teaching, Japanese English speech production.

It is impossible to imagine modern society without digital technologies and resources that have an impact on almost every area of our life, including the field of the humanities. The use of computer technologies in teaching a foreign language, in particular English, is the subject of many studies in Digital Humanities and in particular in the field of speech technologies (A.V. Black, B.M. Lobanov, D. Klatt, S.V. Rybin, A.A. Puchkovskaya, etc.). This is primarily due to the trends of globalization, in which mass language contacts take place, and which require more detailed consideration. In the situation of contact between languages as dissimilar in terms of origin as English and Japanese, interference inevitably occurs, entailing violations, mainly, at the prosodic level of the speech production.

Despite the fact that recently the term "digital humanities" has become very popular and applicable to many disciplines, there is no single interpretation and unambiguous definition of it. This is due to the fact that many researchers understand and interpret the subject itself in different ways. A. A. Puchkovskaya gives the definition of Digital Humanities as a field of research, training and creation, which is created at the intersection of computer technology and the humanities. This field involves combining the methods of traditional humanities (such as philology, history, philosophy, cultural studies, etc.) and computer technologies [8]. In our study, we will adhere to this definition.

Regarding the causes of prosodic distortions in the English speech of Japanese speakers, we can mention some shortcomings in the teaching of English in Japan. The fact is that Japanese textbooks of English for senior secondary school (grades 10-12) contain little material for the practice of oral communication, most of which is aimed at teaching reading, grammar, and vocabulary. Due to the fact that the school curriculum is usually limited in time, often there is very little or no time left for the practice of communication in English. This is the first reason of prosodic interference [12].

When performing speech activity in a foreign language, prosodic interference occurs, which is a distortion of the prosodic structure of the studied language and is perceived by native speakers as a foreign accent, which is even more unacceptable than the errors made in the articulation of sounds [4].

Another reason for prosodic interference can be considered the widespread use of English loanwords, given their place in Japanese culture as a whole. Due to the imposition of one pronunciation pattern (when borrowing English words) on another (when producing English speech), distortions in pronunciation occur. The resulting violations require more careful study and correction, which is the task of teaching a foreign language [14].

As a result of the contact between the English and Japanese languages, an intermediate subsystem appears, which differs from each of the languages involved in the language contact, and is characterized by a number of violations at the phonetic (in particular, prosodic) level [1, 3]. Talking about these violations we can mention some of them:

- Consonant “dropout” from English CC, CCC, CCCC syllables;
- Adding vowels to English CC, CCC, CCCC syllables [1, 3];

- Pausing at the junction of syllables within (most often, polysyllabic) words to simplify their pronunciation [7];
- Accentuation of function words, the absence of vowel reduction in them in fluent speech;
- Changes in the location of stress: for example, the appearance of excessive stress or the shift of stress from stressed syllables to unstressed ones;
- Absence of “linking r”, which gives speech a specific accent;
- Non-dictinction of phonemes [r]/[l], which can interfere with semantic differentiation and create homophonic pairs of words such as closed [kləuzd] - crossed [krɔst], play [pleɪ] – pray [preɪ] [1, 3].

At the same time, correction of these violations, aimed at increasing the accuracy of speech production, can be provided by programs and training platforms based on speech synthesis systems. Due to the development of computer technologies and, in particular, digital humanities, there is a demand in society for training using electronic resources and computer technologies. As a result, the question of the impact of e-learning and learning using computer technologies and materials directly on the learning process is in the focus of many research. For example, schools and universities can focus on a learner-centered approach to learning by choosing to use various electronic resources in teaching a foreign language. This approach gives each student the opportunity to express themselves in different types of educational process, which allows them to develop different skills and abilities of the student, as well as to maintain their motivation to learn the language and involvement in the educational process [13]. The learner-centered approach in teaching foreign language is characterized by the fact that the individual characteristics and abilities of each student and their development come to the fore. The methods and techniques of this approach are not only able to develop the individual abilities of the student and help in his self-determination and self-realization, but also are able to develop students' independence [5].

It is worth noting that one of the main advantages of using modern innovative technologies in teaching a foreign language is that they help to improve the student's own competencies, which will be based on the experience and knowledge gained. In the future it will allow students to respond to current and future challenges, as well as become a person capable of self-development and self-education [3].

Also, e-learning resources, platforms, applications, or websites are an accessible, mobile, and user-friendly learning tool. Accessibility is provided by a wide range of users without any restrictions. Mobility consists in the possibility to remotely use electronic resources, for example, using your personal computer, smartphone, or tablet. Personal devices also provide the opportunity to self-study at any convenient time, almost continuously. The convenience of e-learning consists not only in the above aspects, but also in the ability to take into account the user's preferences and automatically adapt the entire training course to a specific user, his/her individual characteristics and success, sometimes better than a teacher as a human can do [10].

In a broad sense, speech synthesis refers to the artificial creation of sounding speech that would be similar to a human voice. In a narrower sense, it is a technology that allows you to convert input text information into speech [9].

Nowadays the development of systems and software products in the field of speech technologies is a topical issue of studies. The very concept of a "talking computer" brings human-machine communication to a new level, opening up new opportunities for using computer technologies not only in the field of speech synthesis technologies, such as, for example, the inclusion of speech functions in the operating system for more convenient and fast information transfer, but also in the field of education [6].

Our research is aimed at introducing the use of programs based on speech synthesis in teaching a foreign language (using the example of teaching English to native Japanese speakers). This proposal is due to a number of reasons and inconveniences when learning a foreign language, which can be neutralized using a program or a training platform like an electronic assistant in correcting pronunciation. For example, by practicing your pronunciation with the app, it is possible to get rid of

the fear of making mistakes or interfering with someone. It is important to Japanese students because the fear of making mistakes is the part of their culture. It is said that the cultural norm is often considered to be the lack of desire to speak in front of other people in the event that they can distract someone or interfere. Plus, they are afraid of making mistakes and believe that they should know English perfectly before speaking it [16]. Also, this application or resource will always be freely available if it is impossible to practice with a foreigner or native speaker. Thus, the accessibility, mobility, and convenience of learning a foreign language, as well as the accuracy of the correction of input speech, will be realized.

The high accuracy of computers, phones, applications, and electronic educational resources based on speech synthesis can help in the study of a foreign language, and especially in the acquisition of pronunciation and the prosodic system of the language. Taking into consideration all these factors, it can be concluded that a program or application based on speech synthesis systems can help, for example, Japanese people overcome most of the causes of their problems with learning English. The use of programs based on speech synthesis in teaching a foreign language can help to remove difficulties that arise when learning a foreign language and improve the accuracy of the formation and correction of students' skills and abilities.

### References

1. Белоножко Ю. В. Слог и ритм английской речи носителей японского языка. 2007. С. 35-74.
2. Гришина Д. В., Латыпова Э. Р. Значение инновационных технологий при обучении иностранным языкам // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития. Чебоксары. 2020. С. 44-47.
3. Завьялова В. Л. Интерференция звуковых систем английского и восточных языков // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Серия: Лингвистика. № 2. 2012. С. 94-101.
4. Иванова М. А. Акцентуационно-ритмическая структура русского слова и словосочетания в речи китайцев: Дис. ... канд. филол. наук. Санкт-Петербург, 1994. 190 с.
5. Линева Е. А., Яковлева Э. Н. Личностно-ориентированный подход в обучении иностранному языку // Современное гуманитарное образование и иностранный язык. Мальта. 2016. 31 с.
6. Лобанов Б. М., Цирульник Л. Н. Компьютерный синтез и клонирование речи. Минск: «Белорусская наука», 2008. 11 с.
7. Полянская М. А. Просодические маркеры синтагматического членения английских фраз в речи носителей китайского языка // Вестник Новосибирского государственного ун-та. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация. Том 9, вып. 1. 2011. 9 с.
8. Пучковская А. А., Третьяков А. О. Digital Humanities: анализ применения цифровых технологий в гуманитарной сфере // Культура и искусство. 2018. № 10. С. 1-9.
9. Рыбин С. В. Синтез речи. Учеб. пособие. СПб: Университет ИТМО. 2014. С. 6 – 40.
10. Тампель И. Б., Краснова Е. В., Панова Е. А., Левин К. Е., Петрова О. С. Использование информационно-коммуникационных технологий в электронном обучении иностранным языкам // Научно-технический вест. ИТМО. 2013. №2 (84). С. 154-159.
11. Black A. W., Lenzo K. A. Building synthetic voices // Language Technologies Institute, Carnegie Mellon University and Cepstral LLC. 2003. Vol.4 №2. 62 p.
12. Cripps A. English Language Education in Japan: Problems and Solutions. 2016. Pp. 11-12.
13. D'Antoni S. The Virtual University: Models and Messages. Lessons from Case Studies. Paris, 2006. Pp. 24-25.
14. Honna N. English in Japanese Society: Language within language // Multilingual Japan. Clevedon-Philadelphia-Adelaide. 1995. 57 p.
15. Klatt D. H. Review of text-to-speech conversion for English // The Journal of the Acoustical Society of America. 1987. Vol. 82, №3. Pp. 737–793.
16. Tsuboya-Newell I. Why do Japanese have trouble learning English? // the Japan Times. – 2017. – Режим доступа: <https://www.japantimes.co.jp/opinion/2017/10/29/commentary/japan-commentary/japanese-trouble-learning-english/> (Дата обращения: 10.01.2021).

**Оглавление**

<b>Компьютерные технологии и управление.....</b>	<b>6</b>
Андропов А.В. ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТРОГЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.	7
Андреева А.Ю., Афанасьева Л.П. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ДИЗАЙНА ОБУЧАЮЩЕГО ВЕБ-РЕСУРСА ПО АНАТОМИИ .....	12
Балина А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АКУСТООПТИЧЕСКОГО КАНАЛА УТЕЧКИ ЧЕРЕЗ ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАБЕЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ СВЯЗИ .....	18
Басова Т.В. СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ БИБЛИОТЕК В САМ-СИСТЕМАХ .....	23
Богомолов Ю.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ.....	27
Бондарева А.Д. ПРОБЛЕМАТИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОСРЕДСТВОМ СЕГМЕНТАЦИИ СЕТИ.....	31
Голованов А.А., Иогансон И.Д. ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ДЕАНОНИМИЗАЦИИ УЧАСТНИКА ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ .....	36
Горло В.Ю. ЗАКОНЫ ЮЗАБИЛИТИ В ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ: ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ .....	40
Дакуо Ж.-М.Н. МЕТОДИКИ АНАЛИЗА БЛОКОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАМЕНЫ ПРИ АТАКАХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА .....	43
Двойникова А.А., Садикова А.А. ВЛИЯНИЕ ПЛАНИРОВЩИКА НА ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ВЕРИФИКАЦИИ ДИКТОРА .....	47
Денисова А.В. НЕЙРОСЕТИ В МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ .....	52
Елагина Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛЕТОК ТРОМБОЦИТОВ.....	56
Заглубоцкий А.В., Березина А.С. RAPTOR: DISTRIBUTED INTELLIGENT DIAGNOSTICS SERVICE FOR VIDEO STREAMS.....	60
Зайцева Е.В., Попов И.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ КУБИТА ЧЕРЕЗ ТУРБУЛЕНТНУЮ АТМОСФЕРУ .....	63
Захаров О.О., Компаниец Р.И. ТЕСТИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА .....	67
Зименко К.В., Афанасьев М.Я. ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АЛГОРИТМАХ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ АДДИТИВНОЙ ОБРАБОТКЕ .....	71
Карпова М.В., Запруднова А.Н., Кузнецов М.С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ СТАЛЕЙ РАЗНЫХ СТРУКТУРНЫХ КЛАССОВ .....	75
Колесник Н.С., Ентякова В.Ю. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМ АППАРАТОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭКСТРАКТА ХМЕЛЯ .....	80
Кондратьева К.С., Осипов Е.В., Николаев А.А. СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР С БИМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ .....	85
Костенкова А.В. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ХЕШ-ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	91
Котосов С.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ .....	94

Кочнева О.Р. АЛГОРИТМ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАЩИКА НА БАЗЕ КОМПОНЕНТОВ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ .....	98
Кузьмичева К.Е. СЕРВИС ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЗАПИСЕЙ ДЕЛОВЫХ ТЕЛЕФОННЫХ РАЗГОВОРОВ .....	104
Лазаренко А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЯЗЫКОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ В ВЕБЕ..	108
Ларин М.Е. ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ IT-ПРОЕКТАМИ.....	111
Левин П.К., Щур. С.Ю. ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ГРАФИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ.....	116
Литвинов Е.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНОЙ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ В ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ.....	120
Машина Е.А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ УЗКОСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТОВ К ПОНЯТИЙНОМУ РЯДУ НЕКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ.....	124
Машина Е.А. ПОСТРОЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ПАХОТНОГО ГОРИЗОНТА .....	129
Меинов А.С. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С НОСИМЫХ УМНЫХ УСТРОЙСТВ.....	133
Меренков Д.Н. МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВНУТРЕННИХ НАРУШИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДЕВИАНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЕ .....	136
Мешков А.В. О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО БИОМЕТРИКАМ .....	140
Михалева П.Н. РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ “ТРЕНАЖЕР ПО АКАДЕМИЧЕСКОМУ РИСУНКУ” С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ.....	144
Муратова У.Д., Николов Г.М. ВСТРАИВАНИЕ ГОТОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ПРОТОТИП ЧАТ- БОТА .....	148
Мыськив И.И. РЕПУТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ .....	151
Нгуен Хак Тунг, Власов С. М, Буй Ван Хуан АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА.....	157
Низомутдинов Б.А., Беген П.Н. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОИСШЕСТВИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ. КЕЙС САНКТ- ПЕТЕРБУРГА.....	161
Новицкая Д.В., Захаров Д.Н. МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ СИТУАЦИЙ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK .....	164
Ольшанский В.К. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ.....	170
Пермякова М.А. АНАЛИЗ РИСКА ВЫВОДА ЗНАЧИМОГО ОБЪЕКТА КИИ ИЗ СТРОЯ В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ УГРОЗЫ ПЕРЕХВАТА УПРАВЛЕНИЯ АСУ ТП.....	175
Подлужный И.А., Андрусенко А.Ю., Лаптев А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ VRE-DROROUT В ОБУЧЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ДЛЯ ТУРЕЦКОГО ЯЗЫКА .....	180
Покидов Д.А. МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАРЬЕРНОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ .....	184
Радченко В.Д. МЕТРИКИ И ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА В ВИРТУАЛЬНО ИНТЕРАКТИВНЫХ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВАХ .....	189

Разводов А.О. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОТКЛОНЕНИЙ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	193
Разуминин В.В., Анохин И.И. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ПОЗЫ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА НА ВИДЕОПОТОКЕ .....	198
Редчиц А.В. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МНОГОМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПСИХОКОРРЕКЦИИ ИХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ .....	202
Роечко Д.В., Зыкин М.М. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ .....	206
Румянцева М.Ю. РАСПОЗНАВАНИЕ КОНТУРОВ ФЛОТАЦИОННОЙ ПЕНЫ В ПОТОКЕ .....	213
Рябенков М.Ю. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА СЛЕПКА ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ.....	217
Садикова А.А., Двойникова А.А. МЕХАНИЗМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	220
Сенчило М., Телешев С.А. РАЗРАБОТКА RLSP-СОВМЕСТИМЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ДЛЯ НАИЛУЧШЕГО ПОНИМАНИЯ ОСНОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	224
Сизая А.В. РЕШЕНИЕ СОВМЕСТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОУПРУГОСТИ СТАЛЬНОГО 3D ОБРАЗЦА, ПОДВЕРЖЕННОГО НЕОДНОРОДНОМУ НЕСТАЦИОНАРНОМУ НАГРЕВУ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО РЕШАТЕЛЯ FENICS.....	229
Симаков А.А., Шалькин Д.О., Ткаченко С.Ф. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОПУСКА НА ОБЪЕКТЫ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРАВОНАРУШИТЕЛЕЙ.....	233
Смирнова А.А. РАЗРАБОТКА МНОГОПОТОЧНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ .....	236
Странадкин Р.Н., Асадуллин А.Я., Шалькин Д.О. МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ВЫЯВЛЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	242
Сулиман Али, Шаккуф Али HIGH GAIN FEEDBACK CONTROLLER FOR A ROBOTIC ARM ...	246
Тищук Б.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕКОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ КОМАНД НА МИКРОАРХИТЕКТУРУ RISC-V ПРОЦЕССОРОВ.....	249
Ткешелашвили А.М. ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОГО ТЕКСТА ИЗ ДОКУМЕНТОВ В ФОРМАТЕ PDF .....	253
Трезубов К.А. ПРОБЛЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ КУРСОВ ЦЕННЫХ БУМАГ СРЕДСТВАМИ ТРЕЙДИНГОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРИ ПОРТФЕЛЬНОМ ИНВЕСТИРОВАНИИ .....	256
Файзрахманов Р.Р. АНАЛИЗ СИСТЕМ КЛАССА «УМНЫЙ ДОМ».....	259
Хохлова Е.Д. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	264
Чан Зуи Хань, Комаров И.И., Ле Зуи Дон АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ В ГРУППИРОВКЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	267
Черниченко Т.Н. РАЗРАБОТКА ЗВУКОВОГО ФОРМАТА И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ РЕШЕНИЙ FLAC 5D ДЛЯ ТРАНСЛЯЦИИ СОВЕРШЕННОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗВУКА В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ .....	271
Чинь Куок Бао, Широков И. ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ РАБОТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ASP.NET ПРИ ПОМОЩИ АСИНХРОННЫХ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И КЭШИРОВАНИЯ.....	274

Чистяков В.А. ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ СОРТИРОВКА МАССИВА ПРОИЗВОЛЬНОЙ ДЛИНЫ .....	281
Чумаченко Р. В., Калабишка М. М. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦВЗ В ИЗОБРАЖЕНИЯХ.....	287
ШАККУФ АЛИ, СУЛИМАН АЛИ ANALYSIS OF DYNAMIC MODEL FOR SERIAL MANIPULATORS.....	293
Широков И. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЦИИ ИДЕНТИФИКАТОРОВ ГРАЖДАН ЕАЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКА РАЗРАБОТКИ MERN .....	297
Юрьев Р.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПОВЕДЕНИЯ ПО МАТЕРИАЛАМ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ СУДЕБНЫХ ПРИСТАВОВ РФ .....	301
Яковлева В.Е., Скаков П.С. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ .....	305
Ярулин И.М. ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ РОЛИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.....	309
<b>Интердисциплинарные исследования.....</b>	<b>315</b>
Агликов А. С., Николаев К.Г. ЭФФЕКТЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПАМЯТИ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЛОЯХ ОКСИДА ЦИНКА .....	316
Груздева А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ В ПСИХОЛОГИИ ЛИЧНОСТИ.....	321
Ефимова А.С. ОТОЗВАННЫЕ РОССИЙСКИЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ .....	326
Ефимова С.А., Иконникова Е.В., Бутонова С.А., Морозов М.И. СОЗДАНИЕ НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ИНКАПСУЛИРОВАННОГО ГЕМИНА В ZIF-8 И НАНОТРУБКИ ИЗ ДИОКСИДА ТИТАНА.....	332
Иванова А.Н., Слободов А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОТЕРИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ.....	335
Кондрашов Ф.А. ON THE PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF DIGITAL HUMANITIES .....	339
Королева Е.А. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ЛЕЦИТИН – СМЕСЬ МАСЕЛ - ВОДА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ .....	341
Куставинова А.А., Веснин А.М. РАЗРАБОТКА ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ИНСТАЛЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА.....	346
Ларин А., Бодров К.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ.....	350
Любенова У.М., Горланова К.С. ART & SCIENCE КАК МЕТОД ЭСТЕТИКО-ХУДОЖЕСТВЕННОЙ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ НАУЧНЫХ ДАННЫХ. ИНСТАЛЛЯЦИЯ “ENTER THE SOIL” ДЛЯ ВЫСТАВОЧНОГО ПРОЕКТА “ЗАЗЕМЛЕНИЕ” .....	355
Машина Е. TAKING INTO ACCOUNT THE PECULIARITIES OF CONVERTING HIGHLY SPECIALIZED PROFESSIONAL TEXTS TO A CONCEPTUAL SERIES THAT IS UNDERSTANDABLE TO UNSKILLED USERS WHEN CHOOSING MACHINE TRANSLATION TECHNOLOGIES IMPLEMENTED WITHIN A SINGLE LANGUAGE .....	358
Небалуева А.С., Тимралиева А.А., Кириллова Д.К., Стадник А.Н., Шиловских В.В., Боярский В.П., Скорб Е.В. РАЗРАБОТКА pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ КОНДЕНСАЦИИ КНЕВЕНАГЕЛЯ С БАРБИТУРОВОЙ КИСЛОТОЙ.....	362

Понедельник И.В. ПРОЕКТЫ ГРАЖДАНСКОЙ НАУКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ .....	366
Мохаммад Р. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНОЧНИКА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СКОЛИОЗА .....	369
ТРОФИМОВА Д.Д. TO THE ISSUE OF SPEECH SYNTHESIS EFFECTIVENESS IN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE (THE CASE OF TEACHING ENGLISH TO JAPANESE STUDENTS) .....	372

# **Сборник трудов X Конгресса молодых ученых Том 1**

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Дизайн обложки

Вёрстка

Подписано к печати 16.12.2021

Заказ № 4530 от 16.12.2021

Тираж 100 экз.

Печатается в авторской редакции

Н.Ф. Гусарова

Н.О. Терещенко

К.Д. Бутылкина