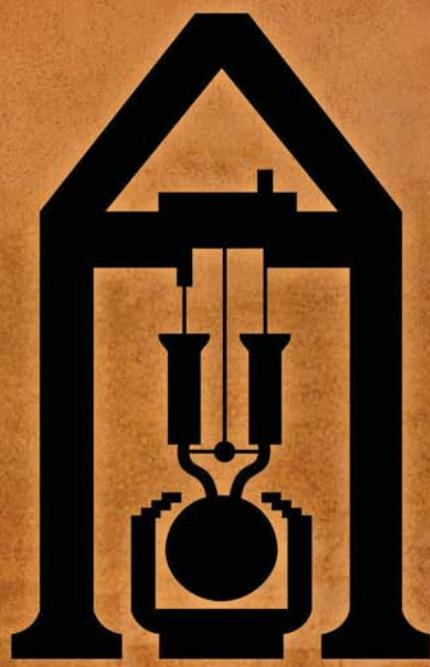


2025

4

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ



ПОЛЗУНОВСКИЙ  
АЛЬМАНАХ

4  
2025

ФГБОУ ВО  
«Алтайский государственный  
технический университет  
им. И. И. Ползунова»



МАТЕРИАЛЫ  
XX МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ «ВИРТУАЛЬНЫЕ  
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ  
СИСТЕМЫ»

НА ОБЛОЖКЕ:  
Сереброплавильный завод города Барнаула в середине XIX века

# ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ

## № 4 / 2025

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77-84785  
выдано 17 февраля 2023 г. Федеральной службой  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций РФ

*Главный редактор*  
А. М. Марков

*Зам. главного редактора*  
Е. С. Ананьева

*Редакционная коллегия:*  
Н. С. Зайков  
И. В. Харламов  
И. Н. Сычева  
А. С. Авдеев  
С. В. Ананьев  
А. С. Баранов  
И. А. Поляков

*Редакционный совет выпуска:*  
А. Г. Зрюмова  
В. А. Соловьев

*Под общей редакцией:*  
д.т.н., профессора кафедры  
«Информационные технологии»  
С. П. Пронина

*Адрес редакции и издательства:*  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,  
тел.: 29-09-48

© Алтайский государственный технический  
университет им. И. И. Ползунова, 2025

### ***В НОМЕРЕ:***

#### **Раздел 1** **ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ**

*Т. Е. Шляхтина*  
ОБЗОР МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ  
НАНООБЪЕКТОВ НА СЗМ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ  
МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ  
СЕТИ ..... 4

*А. А. Савлук, Д. А. Савлук, Г. В. Лысак,  
И. А. Лысак*  
РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ  
ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ  
МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ  
НАПЛАВКИ ТИТАНА В ВАКУУМЕ ..... 9

*И. Е. Гусаров, А. И. Калугин, Е. А. Антонов,  
Е. Ю. Шелковников*  
ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИИ ЧАСТОТ  
КОЛЕБАНИЙ ЗЕРКАЛЬНЫХ СКАНИРУЮЩИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ НА ВЕРОЯТНОСТЬ  
ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПОИСКА ПРИ  
СКАНИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВА ПО  
ТРАКТОРИИ  
В ВИДЕ ФИГУР ЛИССАЖУ ..... 13

*Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков,  
А. А. Клюшанов*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ  
ОЦЕНКИ НЕИНФОРМАТИВНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТ  
ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
ПРОВОДИМОСТИ РАСТВОРОВ ..... 17

*К. А. Шляхтин*  
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ  
ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ  
ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНОГО ТРАКТА  
ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ ..... 22

---

## **Раздел 2** **ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ** **СИСТЕМЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

---

*В. Н. Гусятников, Т. Н. Соколова*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ  
ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ..... 27

*И. А. Бобров, А. А. Чепуштанов*  
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВКЕ И  
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ОПЕРАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЕ RED OC ..... 31

---

## **Раздел 3** **ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ** **СИСТЕМЫ В ЭКОЛОГИИ И СЕЛЬСКОМ** **ХОЗЯЙСТВЕ**

---

*В. С. Афонин, А. Н. Чубов*  
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ  
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
СОСТАВА ЗЕРНОВОГО ПОТОКА ..... 34

*А. А. Пилецкий, С. П. Пронин*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОЗДНЕГО  
СЛИЯНИЯ ПРИЗНАКОВ В СВЕРТОЧНОЙ  
НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
УРОЖАЙНОСТИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ..... 37

*Д. Д. Машкин, С. П. Пронин*  
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ИЗМЕРЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ  
ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ... 40

---

## **Раздел 4** **ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ** **СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И** **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

---

*Г. В. Медведев, Ю. А. Осокин*  
ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ ..... 44

*Д. Е. Кривобоков, Н. А. Пушкин*  
МЕТОД КОМПЕНСАЦИОННОГО  
ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
ПРОВОДИМОСТИ  
КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ ..... 49

---

## **Раздел 5** **ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ** **СИСТЕМЫ В ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ**

---

*Д. Ю. Козлов, З. В. Тихомирова, Г. Е. Казаков*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ  
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ  
ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВЫХ  
ДАННЫХ ..... 52

*И. А. Бобров, А. Г. Зрюмова, П. А. Зрюмов*  
ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫДЕЛЕНИЯ  
ОБЪЕКТОВ ..... 57

*Т. В. Котлубовская, А. И. Агарин*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ  
СОРТИРОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ  
РАСТЕНИЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ  
MICROSOFT VISUAL STUDIO ..... 62

*Д. Е. Пузик, Н. П. Пустовойтов,*  
*В. И. Биянов*  
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К  
ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ  
ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ..... 68

*М. С. Гонохов, Д. Е. Косухин, В. С. Падалко*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ  
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА CH32V003 ..... 73

*В. В. Сидоров, А. А. Сухоруков,*  
*В. Р. Абдрашитов, Е. В. Грива*  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА  
ЮРИДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ ..... 76

*Д. Е. Пузик, Н. В. Пивоваров, Д. И. Ердаков,*  
*Д. А. Ласкин*  
ДЕТАЛИЗАЦИЯ ОКРУЖЕНИЯ В  
ПРИЛОЖЕНИЯХ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ  
ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ  
РЕАЛЬНОСТИХ ..... 79

---

## Раздел 6

### ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТАХ

---

<i>Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков, М. Ю. Ташкин</i> ВОЗМОЖНОСТЬ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ КОНДУКТОМЕТРОВ ЗА СЧЁТ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА ЭЛЕКТРОДАХ .....	83
<i>Д. Е. Пузик, Н. В. Пивоваров, Д. И. Ердаков, Д. А. Ласкин</i> ТЕКСТУРИРОВАНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ В ПРИЛОЖЕНИЯХ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ .....	86
<i>М. С. Королёв, А. С. Анисимов, В. А. Логинов, В. А. Щеколдина</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИМУЛЯТОРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ .....	90
<i>Т. В. Котлубовская, Д. Е. Романенко, Т. Ю. Федорова</i> РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ В ШОУ-БОКСЫ ..	94
<i>Д. Е. Пузик, Н. В. Пивоваров, Д. И. Ердаков, Д. А. Ласкин</i> АППАРАТНЫЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ .....	97
<i>П. А. Зрюмов, И. А. Курников</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ СЦЕНЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ MIDAS И ТЕХНОЛОГИИ MICROSOFT KINECT .....	99
<i>Д. Е. Пузик, Н. П. Пустовойтов, В. И. Биянов</i> ТРЕБОВАНИЯ К ОКРУЖЕНИЮ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ .....	102

<i>И. С. Кладов, Д. Е. Кривобоков</i> МЕТОД НЕЙРОСЕТЕВОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛОВ ПО ВИЗУАЛЬНЫМ ДАННЫМ .....	105
--	-----

<i>Д. Е. Кривобоков, Н. В. Марков</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО КОНТАКТНОГО КОНДУКТОМЕТРА .....	109
--	-----

---

## Раздел 7

### РАЗНОЕ

---

<i>Н. Н. Лопаткин, А. И. Чередниченко</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАБОТЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ .....	112
---	-----

<i>И. Д. Парамонов, А. Н. Сомов, К. Р. Заричный</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ .....	123
---	-----

<i>А. В. Куркин, С. Ф. Нефёдов</i> ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МИКРОСХЕМЫ ТРАФЕ5160 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 0.4 кВ .....	129
--	-----

<i>П. Б. Шибаев</i> МАССОВЫЙ ОТКРЫТЫЙ ОНЛАЙН-КУРС В СИСТЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНЬ .....	132
--	-----

<i>О.А. Соколов, А.А. Устинова</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ .....	142
--	-----

<i>О.А. Соколов, П.И. Угаров</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПАРИРОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО ПРЕДИКТИВНОГО СИНТЕЗА .....	146
---	-----

**Учредитель журнала:**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова»

УДК 556.5.072

## ОБЗОР МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НАНООБЪЕКТОВ НА СЗМ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Т. Е. Шляхтина

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН  
г. Ижевск

*В работе рассмотрены современные исследования по идентификации и распознаванию данных, получаемых со сканирующих зондовых микроскопов, с применением методов машинного обучения. Выявлены подходы, применяемые для эффективного детектирования объектов. В ходе анализа работ получена сводная таблица по методам детектирования нанообъектов на СЗМ-изображениях. Даны рекомендации по выбору методу детектирования СЗМ-изображений.*

**Ключевые слова:** сканирующая зондовая микроскопия, машинное обучение, нанообъекты, артефакты, детектирование.

### Введение

В последние годы в сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) широко применяются методы машинного обучения от автоматизации процесса зондирования [1] до генерации правдоподобных баз данных для обучения нейронных сетей [2]. Выявление различных структурных особенностей (наночастиц, дефектов, границ раздела материалов и др.) на изображениях, полученных с применением СЗМ, является важной задачей при разработке новых наноматериалов [1]. В данной работе рассматриваются исследования, в которых выполнялось детектирование нанообъектов на СЗМ-изображениях. Задача детектирования объектов на изображении заключается в выявлении участков, где расположены объекты и их последующая идентификация. Обнаружение и распознавание структурных особенностей исследуемого материала важно для построения моделей и прогнозирования свойств наноструктур. Кроме того, за счет автоматизации обработки данных происходит сокращение времени анализа изображений, минимизируя ручной труд и повышая производительность работы [2]. Обеспечивается точная и воспроизводимая идентификация нанообъектов, уменьшаются ошибки при интерпретации данных, за счет создания единых критерии для оценки и сравнения.

### Детектирование АСМ-изображений

В одной из ранних работ [1] по внедрению машинного обучения для распознавания структурных особенностей материалов предложен атомно-силовой микроскоп (АСМ) с «искусственным интеллектом», в котором

применяется метод опорных векторов. Целью этого исследования была проверка того, может ли обученный алгоритм машинного обучения различать несегнетоэлектрические и сегнетоэлектрические материалы и принимать верные решения для выполнения необходимого дополнительного зондирования в определенных критических местах для последующего анализа. В этом исследовании была создана платформа AI-AFM, которая в реальном времени классифицирует сегнетоэлектрические материалы и использует адаптивное сканирование «на лету» для проверки определенных свойств. В статье [2] разработана нейросеть на базе YOLOv5 [3] и ResNet-34 [4], которая классифицирует дефекты на АСМ-изображениях. Следует отметить, что семейство сетей YOLO (You Only Look Once) универсальны и могут решать задачи не только детекции, но и сегментации и классификации объектов на изображении. Сеть ResNet-34 является специализированной сетью для классификации изображений. Вначале сеть YOLOv5 обнаруживает все области с дефектами, а затем полученные области передают на вход сети ResNet-34, которая выполняет их классифицирование. Вместо обучения моделей с нуля в качестве отправной точки использовались предварительно обученные веса, полученные для идентификации светофоров с использованием набора данных Microsoft COCO [4], что позволило сократить общее время обучения. Авторы обучали сеть на базе всего двух реальных изображений используя классические алгоритмы для аугментации данных, получив 200 изображе-

ний для каждого из образцов. Аугментация данных в машинном обучении подразумевает искусственное увеличение набора данных путем создания новых из уже существующих, что позволяет улучшить качество и устойчивость моделей машинного обучения. Классические алгоритмы включают в себя случайные повороты, масштабирование, сдвиги (перемещение), обрезку и отражение (горизонтальное или вертикальное исходного изображения). Нетривиальные подходы аугментации данных включают в себя добавление случайного шума (например, гауссовского шума), применение эффектов размытия, случайное удаление или сложение областей изображения. Разработанная нейросеть показала наилучшие результаты в детектировании царапин, трещин и колебаний даже в сравнении с более поздней версией YOLOv5 – YOLOv8 (YOLOv8 достигла итоговой точности обучения 86,34%, точности тестирования 82,13% и точности проверки 83,71% по сравнению с 90,13%, 85,45% и 87,68% соответственно для модели AFM\_YOLO-ResNet). Авторы объясняют это тем, что набор данных весьма ограничен для обучения такой «тяжелой» нейронной сети. Кроме того, YOLOv8 имеет ограничения в обнаружении небольших объектов. В работе отмечено, что использование трансферного обучения может привести к повышению производительности и эффективности сканирования на АСМ. Трансферное обучение – это метод в машинном обучении, который заключается в обучении ранее обученной искусственной нейронной сети на новом наборе данных. В работе [5] рассматривались изображения, получаемые с помощью высокоскоростной атомно-силовой микроскопии (HS-AFM). Она позволяет получать тысячи топографических изображений в наномасштабе на небольшой площади. Одним из новых применений этого метода является обнаружение и измерение размеров отдельных молекул ДНК. В [5] полностью связная нейронная сеть (FCN) заменяет оператора HS-AFM, принимающего решения во время сбора данных, выдавая число от 0 до 1, где более высокие значения соответствуют «хорошим» (пространственно чётким, с низким уровнем шума и высокой контрастностью) изображениям, а более низкие – «плохим» (с шумом, размытостью и низкой контрастностью). Обработка одного изображения через FCN занимает миллисекунды, тогда как получение кадра – 0,5–1 с, что позволяет провести обработку и корректировки высоты кантилевера. Далее авторы применяют сеть

YOLOv8 для идентификации отдельных молекул. Авторы работы [6] исследуют биопленки – сложные микробные структуры, критически важные в медицине, промышленности и экологии. Авторы внедряют автоматизированный метод АСМ большой площади, позволяющий получать изображения высокого разрешения в миллиметровых областях, с использованием машинного обучения для бесшовного сшивания изображений, обнаружения клеток и их классификации. На первом этапе маркируется набор стандартных АСМ-изображений, размером 15 x 15 мкм<sup>2</sup> на платформе Robolow. Эта платформа упрощает задачи маркировки, сегментации и аугментации данных. Далее YOLOv8 используется для сегментации сшитого изображения большой области. Для этого изображение делится на меньшие изображения того же размера, что и те, которые использовались при обучении, с 10% перекрытием между ними. Сегментация этих маленьких изображений создает маску для каждой обнаруженной бактерии на каждом изображении, генерируя большой объем данных. Затем применяется фильтр коррекции краев для устранения масок объектов, которые касаются края изображения или находятся очень близко к нему. Заключительный этап включает расчет свойств каждой обнаруженной бактерии, включая площадь, эксцентриситет, большую и малую оси и ориентацию, а затем создание карты для каждого из этих свойств.

Исследования [7] посвящены методу автоматического обнаружения гибких нанопроводов. Хотя многие методы обработки изображений успешно применяются для обнаружения сферических наночастиц, обнаружение нанопроволок остается более сложной задачей. Это обусловлено главным образом тем, что большинство нанопроволок гибкие и, следовательно, могут иметь различную форму. Для идентификации всех подвижных нанопроводов на АСМ-изображениях в работе применяется сеть YOLOv3 на первом этапе выделяются области с нанопроволками, а затем выполняется их более точная детекция с помощью сети FCN.

В исследованиях [8] авторы провели сравнительный анализ качества классификации нескольких стандартных архитектур – MobileNetV2[9], VGG16 [10] – и разработанной авторами ML-AFM модели на наборе квазиплоских молекул, охватывающих важные структурные и композиционные фрагменты в органической химии. На основе трёх экспериментальных изображений для акридина,

# ОБЗОР МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НАНООБЪЕКТОВ НА СЭМ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

карбазола и дibenзотиофена с помощью вариационного автоэнкодера было получено 540 изображений молекул. В работе было показано, что наилучшие результаты классификации были достигнуты с применением разработанной сети ML-AFM, которая включала в себя, в отличие от VGG16 дополнительные внутренние слои (не 9, а 12), кроме того, использовались слои dropout для усиления устойчивости модели к переобучению. Также следует отметить, что в работе применялось трансферное обучение на базе данных ImageNet.

В работе [11] выполнен анализ современных исследований на АСМ, показано как исследователи реализовали подходы машинного обучения для повышения производительности атомно-силовой микроскопии, ускорения анализа данных АСМ и повышения производительности процедур измерения данных. Эти исследования затрагивают некоторые последние работы в области классификации и идентификации АСМ-изображений, которые также могут быть интересны для ознакомления.

## Детектирование СЭМ-изображений

Отечественные авторы [12] разработали автоматизированный инструмент для идентификации, подсчета и измерения частиц на СЭМ-изображениях. Авторы использовали нейронную сеть Cascade Mask-RCNN, обучение проводилось на наборе данных, содержащем 23 СЭМ-изображения с 5157 наночастицами. Для проверки использовались три изображения, содержащих 695 наночастиц. В результате обученная нейронная сеть (НС) распознала наночастицы в проверочном наборе с точностью 0,93. Точность определения среднего размера частиц, рассчитанного по предсказанным контурам, по сравнению с истинными данными составила 0,87–0,99. Результаты были сравнены с результатами, полученными с помощью других общедоступных программ, основанных на традиционных методах обработки изображений. На основе обученной нейронной сети авторы разработали бесплатный веб-сервис «ParticlesNN» с открытым доступом. В работе использовался подход трансферного обучения: Cascade Mask-RCNN была предварительно обучена на наборе данных COCO.

Точечные дефекты в двумерных материалах, таких как MoS<sub>2</sub>, могут критически влиять на их электронные и оптоэлектронные свойства. Точная идентификация этих дефектов крайне важна для понимания физики дефектов и производительности устройств. В

работе [13] изображения монослоя MoS<sub>2</sub>, полученные с помощью СЭМ, подаются на вход нейронной сети SAM [14] для автоматической сегментации возможных дефектных областей на СЭМ-изображениях. Авторы вырезают пустоты и примеси из обучающих данных. После этого выбирается чистый фон поверхности MoS<sub>2</sub> и вставляются вырезанные дефекты в фоновые изображения. Пропорции примесей и пустот рандомизированы для имитации реальных изображений. Также авторы использовали гауссово размытие на изображениях, чтобы уменьшить разрыв края и сделать границу вырезанных изображений и фона более гладкой. Каждая сегментированная область затем классифицируется сверточной нейронной сетью (СНС) по категориям дефектов. Полученная модель достигает точности классификации 95,06%. В работе отмечается, что критическую важность имеет сбалансированный набор данных для высокой эффективности обучения. Кроме того, следует изучить усовершенствованные стратегии по аугментации данных или использовать трансферное обучение для повышения точности классификации менее распространенных типов дефектов. Другая работа по детектированию дефектов на СЭМ-изображении MoS<sub>2</sub> [15] посвящена разработке программного обеспечения DL-ADD с применением СНС U-Net [16]. На первом этапе DL-ADD исходное СЭМ-изображение «разделяется», выделяется отдельно фон и дефекты. Далее случайным образом на фоне располагают выделенные дефекты, применяется размытие и далее для полученных изображений применяются стандартные алгоритмы аугментации данных. Таким образом, получают базу данных для обучения U-Net. Сеть обучается сегментированию по двум классам: «пустоты» и «примеси». Для проверки использовались 90 изображений поверхности полевого транзистора MoS<sub>2</sub>. В результате показано, что аугментация данных приводит к улучшению качества сегментации для всех классов и выбранных метрик оценки. Также выполнено сравнение работы DL-ADD с YOLOv4, показано превосходство разработанной модели. Отмечено, что возможно «тяжелой» сети YOLOv4 не хватило данных для обучения.

В исследованиях [17] авторы обучают нейронную сеть для распознавания примесей на СЭМ-изображениях. Сначала НС обучается на большом количестве смоделированных данных, а затем она применяется для распознавания экспериментальных изображений,

полученных при разных напряжениях. Авторы используют СНС для извлечения признаков из изображений. Выявлено, что с моделированные данные могут фиксировать универсальные осцилляции Фриделя, но не могут должным образом описывать физику ближнего действия вблизи примеси, а также шумы в экспериментальных данных. В данной работе показано, что даже включение некоррелированного белого шума в с моделированные данные позволяет значительно улучшить производительность нейронной сети на экспериментальных данных. Также авторы предлагают метод оценки достоверности предсказания нейронной сети на экспериментальных данных и добавляют эту меру достоверности в функцию потерь.

Работа [18] посвящена обнаружению дефектов атомного масштаба на изображениях монокристалла  $WSe_2$ , полученных с помощью сканирующей туннельной микроскопии, с использованием ансамбля СНС типа U-Net. Ансамбль сегментировал изображение по типам дефектов: впадины и пики. Координаты дефектов были автоматически извлечены из карт обнаружения дефектов, что свидетельствует о том, что анализ изображений, полученных с помощью сканирующего туннельного микроскопа и усовершенствованный с помощью машинного обучения, позволяет значительно повысить производительность характеризации образцов.

Результаты анализа работ по детектированию объектов на СЗМ-изображениях приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа работ по детектированию объектов на СЗМ-изображениях

Источник	Трансферное обучение	Аугментация данных, новое количество изображений, расширенное количество изображений	Количество экспериментальных размеченных изображений	Вид СЗМ	Метод машинного обучения
[1]	-	-	5	ACM	SVM
[2]	+, MS COCO	+, 200	2	ACM	Нейронные сети YOLOv5+ ResNet-34
[5]	-	+	Нет данных	ACM	FCN+YOLOv8
[6]	-	+	1	ACM	YOLOv8
[7]	-	+, 896	220	ACM	YOLOv3+FCN
[8]	+, ImageNet	+, 540	3	ACM	VGG16
[12]	+, MS COCO	+,	23	CTM	Нейронные сети Cascade Mask-RCNN + FPN
[13]	-	+, 198	150	CTM	SAM+CHC классификатор
[15]	-	+	90	CTM	CHC U-Net
[17]	-	+	Нет данных	CTM	Своя разработка НС
[18]	-	+, 2280	38	CTM	Ансамбль из U-Net

### Обсуждение и выводы

Таким образом, анализ работ показал, что аугментация данных является важным инструментом, при обучении НС в СЗМ, так как создать обучающую базу данных для детектирования дефектов или нанообъектов для исследования требует большого количества времени. Кроме того, качество детектирования также сильно зависит от эксперта, который выполняет разметку изображений.

Также в исследованиях отмечается важность применения трансферного обучения для повышения точности классификации менее распространенных типов дефектов. Исходя из проведенного анализа работ, можно дать следующие рекомендации по выбору методов и средств машинного обучения. Во-первых, при выборе архитектуры НС следует обратить внимание на количество параметров модели, если она требует большого на-

# ОБЗОР МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НАНООБЪЕКТОВ НА СЗМ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

бора данных (как сети семейства YOLO) следует применить алгоритмы аугментации данных. Во-вторых, во многих работах для выделения дефектов или других нанообъектов применяют сети семейства YOLO. Они хорошо зарекомендовали себя в обнаружении целевых объектов на изображениях и часто используются в сочетании с более узкоспециализированными свёрточными нейронными сетями (СНС) для решения практических задач.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang, B. An artificial intelligence atomic force microscope enabled by machine learning / B. Huang, Z. Li, J. Li // *Nanoscale*. – 2018. – Т. 10, № 45. – Р. 21320–21326.
2. Zhang, J. AFM Imaging Defect Detection and Classification Using Deep Learning / J. Zhang, J. Ren, S. Hu // *IEEE Access*. – 2024. – Т. 12. – Р. 132027–132037.
3. Dai, G. A Deep Learning-Based Object Detection Scheme by Improving YOLOv5 for Sprouted Potatoes Datasets / G. Dai, L. Hu, J. Fan, S. Yan, R. Li // *IEEE Access*. – 2022. – Т. 10. – Р. 85416–85428.
4. Gao, M., A Transfer Residual Neural Network Based on ResNet-34 for Detection of Wood Knot Defects / M. Gao, D. Qi, H. Mu, J. Chen // *Forests*. – 2021. – Т. 12, № 2. – Р. 212.
5. Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Bourdev, L., Girshick, R., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Zitnick, C.L., Dollár, P. Microsoft COCO: Common Objects in Context // 2014.
6. Driver, N. Computer vision techniques for high-speed atomic force microscopy of DNA molecules / N. Driver, A. Mikheikin, S. Koebley, M. Mostashari, L. Picco, S.I. Berger, J. Reed // *Nanotechnology*. – 2025. – Т. 36, № 29. – Р. 295101.
7. Millan-Solsona, R. Analysis of biofilm assembly by large area automated AFM / R. Millan-Solsona, S.R. Brown, L. Zhang, S.S. Madugula, H. Zhao, B. Dumerer, A.N. Bible, N.V. Lavrik, R.K. Vasudevan, A. Biswas, J.L. Morrell-Falvey, S. Retterer, M. Checa, L. Collins // *npj Biofilms and Microbiomes*. – 2025. – Т. 11, № 1. – Р. 75.
8. Bai, H. Deep-learning-based nanowire detection in AFM images for automated nanomanipulation / H. Bai, S. Wu // *Nanotechnology and Precision Engineering*. – 2021. – Т. 4, № 1. – Р. 013002.
9. Sandler, M. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks / M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, L.-C. Chen // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – Salt Lake City, UT: IEEE, 2018. – Р. 4510–4520.
10. Simonyan, K. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition // 2014.
11. Masud, N. Machine learning approaches for improving atomic force microscopy instrumentation and data analytics / N. Masud, J. Rade, Md.H.H. Hasib, A. Krishnamurthy, A. Sarkar // *Frontiers in Physics*. – 2024. – Т. 12. – Р. 1347648.
12. Okunev, A.G. Nanoparticle Recognition on Scanning Probe Microscopy Images Using Computer Vision and Deep Learning / A.G. Okunev, M.Yu. Mashukov, A.V. Nartova, A.V. Matveev // *Nanomaterials*. – 2020. – Т. 10, № 7. – Р. 1285.
13. Wu, S. Point Defect Detection and Classification in MoS<sub>2</sub> Scanning Tunneling Microscopy Images: A Deep Learning Approach / S. Wu, G. Chen, S. Shen, J. Yan // *Molecules*. – 2025. – Т. 30, № 12. – Р. 2644.
14. Archit, A. Segment Anything for Microscopy / A. Archit; S. Nair; N. Khalid; P. Hilt; V. Rajashekhar; M. Freitag; S. Gupta, A. Dengel; S. Ahmed; C. Pape // *Nat Methods*. – 2025. Т.22. – Р. 579–591
15. Chen, F.-X.R. Deep learning based atomic defect detection framework for two-dimensional materials / F.-X.R. Chen, C.-Y. Lin, H.-Y. Siao, C.-Y. Jian, Y.-C. Yang, C.-L. Lin // *Scientific Data*. – 2023. – Т. 10, № 1. – Р. 91.
16. Ronneberger, O. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox // Cham: Springer International Publishing. – 2015. – Р. 234–241
17. Wang, C. Machine learning identification of impurities in the STM images\* / C. Wang, H. Li, Z. Hao, X. Li, C. Zou, P. Cai, Y. Wang, Y.-Z. You, H. Zhai // *Chinese Physics B*. – 2020. – Т. 29, № 11. – Р. 116805.
18. Smalley, D., Detecting Atomic Scale Surface Defects in STM of TMDs with Ensemble Deep Learning // *arXiv: Materials Science*. – 2023. – Р. 9.

**Шляхтина Татьяна Евгеньевна** –  
м.н.с. УдМ ФИЦ УрО РАН, тел  
8 912 877 71 09, e-mail: shelktan@udman.ru.

## РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ТИТАНА В ВАКУУМЕ

А. А. Савлук<sup>1</sup>, Д. А. Савлук<sup>2</sup>, Г. В. Лысак<sup>1</sup>, И. А. Лысак<sup>1</sup>

1 Томский политехнический университет

2 Научно производственное предприятие Томская электронная компания  
г. Томск

*В статье рассмотрена задача разработки математической модели формообразования изделий из титана методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме, которая ляжет в основу разработки цифрового двойника, позволяющего воспроизводить рациональную траекторию электронно-лучевой наплавки титана в условиях вакуума. Цифровой двойник включает в себя виртуальные модели оборудования, материалов и процессов, а также алгоритмы для симуляции и оптимизации наплавочных операций и позволяет осуществлять виртуальные эксперименты для оценки влияния остаточных напряжений на качество наплавленного слоя и оптимизации технологических параметров.*

**Ключевые слова:** электронно-лучевая проволочная аддитивная технология, математическое моделирование, титановый сплав, послойная наплавка, компьютерная инженерия.

### Введение

В связи с активными проведениями научных исследований в области аддитивных технологий всё больше различных видов технологий аддитивного производства становится доступным из года в год.

Наиболее известная и изученная технология – порошковый метод с источниками нагрева в виде лазера или электронного пучка. Технология актуальна для изготовления мелких деталей, требующих высокой точности.

Что касается крупногабаритных деталей, то наиболее перспективными являются проволочные методы прямого осаждения материалов, такие как электронно-лучевое аддитивное производство (ЭЛАП) [1].

Электронно-лучевой источник тепла имеет определенные преимущества при обработке материалов из-за его высокой энергоэффективности и возможности использовать собственные высокие скорости сканирования для поддержания высокой температуры окружающей среды в вакууме. Однако образование дефектов препятствует дальнейшему применению ЭЛАП. Нестабильные ванны расплава приводят к появлению некоторых дефектов, связанных со стабильностью обработки, таких как дымление, разбрызгивание, более низкая адгезия, высокая шероховатость поверхности, высокое остаточное напряжение и деформация, а также испарение элементов,

что, в свою очередь, вызывает дефекты на микроструктурном уровне, такие как пористость, анизотропия и неоднородность микроструктуры, трещины и дислокации. Кроме того, процесс образования дефектов ЭЛАП при высокой температуре предварительного нагрева и в условиях высокого вакуума является более сложным и трудным для полного понимания. Поэтому установление взаимосвязи между механизмами образования дефектов и стабильностью процесса имеет большое значение для контроля дефектов и улучшения свойств.

**Цель исследования** – разработка математической модели теплового состояния титановой пластины при послойном нанесении титанового сплава марки ВТ6 с использованием программного комплекса ANSYS Workbench с целью управления остаточными напряжениями. Математическое моделирование процессов позволяет установить предпочтительные режимы обработки изделий с заданными свойствами без многочисленных экспериментальных исследований.

### Описание решаемой задачи

Моделирование в ANSYS Workbench включает в себя разработку геометрической модели (рисунок 2), задание граничных условий (тепловой поток от электронного луча, условия теплообмена с окружающей средой), выбор материала подложки и

**РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ  
ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ  
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ТИТАНА В ВАКУУМЕ**

наплавляемого сплава с учетом их температурных зависимостей физических свойств (теплопроводность, удельная теплоемкость, теплота плавления).

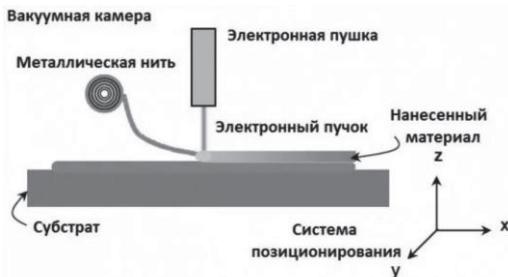


Рисунок 1 – Схема формообразования методом ЭЛАП

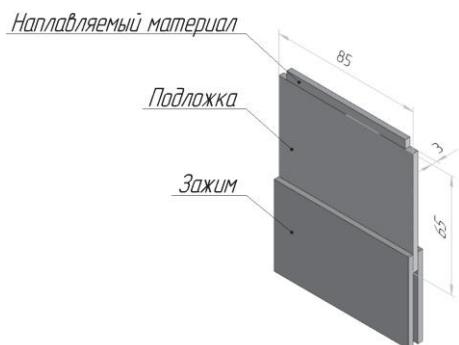


Рисунок 2 – Схема геометрии образца

При моделировании процесса ЭЛАП в качестве подложки планируется использовать пластину из титанового сплава марки ВТ6, размеры которой составляют 85 мм в ширину, 65 мм в высоту и 3 мм в толщину, рисунок 2. Наплавляемый материал – проволока Ø0,9 мм из титанового сплава той же марки (ВТ6). Сплав ВТ6 представляет собой альфа-бета титановый сплав, отличающийся уникальным сочетанием высокой прочности и малой плотности, что определяет высокое отношение прочности к массе. Эта характеристика, наряду с превосходной коррозионной стойкостью, делает сплав ВТ6 привлекательным материалом для различных конструкций, где требуется сочетание легкости и высокой прочности. Процесс ЭЛАП в вакууме позволяет прецизионно контролировать параметры процесса, обеспечивая высокое качество наплавляемого материала и минимальное образование пор. В качестве зажима используются медные пластины. Подложка, установленная в зажиме, охлаждается до температуры окружающей среды под вакуумом.

В работе планируется использовать стратегию двунаправленного сканирования,

при которой следующие слои будут иметь противоположные направления сканирования. Скорость перемещения и скорость подачи проволоки будет принята 3,81 мм/с и 8,5 мм/с соответственно, согласно [2].

В основе решения поставленной задачи лежит численная аппроксимация дифференциального уравнения теплопроводности, которое в общем случае имеет вид

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla(\lambda \nabla T) + Q, \quad (1)$$

где  $T = T(x, t)$  – температура;  
 $C$  – теплоемкость единицы массы;  
 $\rho$  – плотность;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  
 $Q = Q(x, t)$  – плотность тепловых источников, т.е. количество тепла, выделяющееся в единицу времени в единице объема;

$t$  – время.

Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность могут зависеть от температуры, времени и координат.

Начальное условие характеризует распределение температуры в объеме в момент времени  $t = 0$  и имеет вид:

при  $t = 0 T = T_0$

Радиационная составляющая теплопотерь описывается в соответствии с законом Стефана-Больцмана следующим уравнением:

$$q_{\text{рад}} = \varepsilon \sigma (T_{\text{пов}}^4 - T_{\infty}^4), \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент излучающей способности (1);

$\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{Т}^4)$ );

$T_{\text{пов}}$  – температура поверхности.

$T_{\infty}$  – температура окружающей среды.

Противоположная тепловоспринимающая поверхность зафиксирована в медной оправке, обеспечивающей отвод теплоты. Эта поверхность считается термостабилизированной при температуре окружающей среды  $T = \text{const}$ .

На тепловоспринимающей поверхности заданы сложные граничные условия, зависящие от времени и координат. Термическое состояние поверхности характеризовалось величиной плотности радиально распределенного теплового потока, согласно следующей зависимости

$$-\lambda_1 \left( \frac{dT}{dn} \right)_n = q_n(\tau, x, y) \quad (3)$$

Тепловой поток от электронного луча высокой плотности моделировался как конический объемный источник тепла [3] с гауссовым распределением, как показано в уравнении (4). Профиль распределения интенсивности взят и модифицирован на основе уравнения, предложенного Рукетом и др. [4]:

$$Q(x, y, t) = \frac{2\beta P}{\pi r^2} \exp\left(-\frac{2(x^2 + (y - vt)^2)}{r^2}\right), \quad (4)$$

где  $P$  – тепловая мощность источника излучения, Вт;

$r$  – радиус светового пятна, м;  
 $x, y$  – координаты источника нагрева, м;  
 $v$  – скорость сканирования, м/с;

$\beta$  – коэффициент поглощения излучения.

Распределение плотности теплового потока представлено на рисунке 3

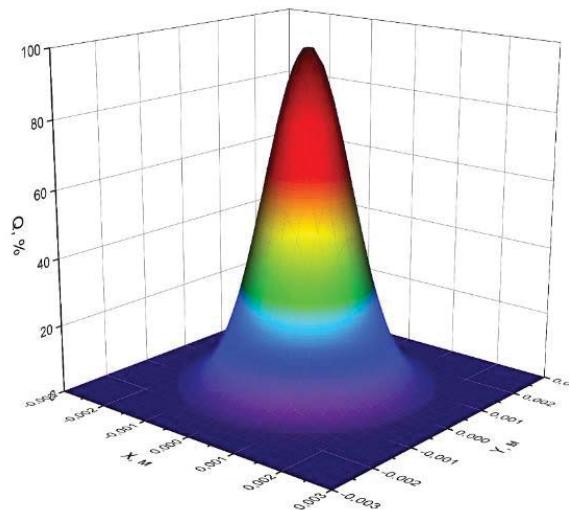


Рисунок 3 – Распределение плотности теплового потока

Применение граничных условий для каждой поверхности подложки представлено на рисунке 4.

Сопряженный термомеханический анализ выполнялся с использованием стандартных шестиграных элементов SOLID226 – это трехмерные объемные элементы с 20 узлами. Размер ячеек наплавляемого слоя сохранялся постоянным, как показано на рисунке 5. Этот размер сетки был выбран в соответствии с толщиной слоя, а также для обеспечения наличия множества элементов в ванне расплава. Процесс наплавления титановой проволоки моделировался с использованием технологии «рождения и смерти элементов» (element birth and death) вдоль траектории сканирования электронного луча. Согласно этой методике, все элементы, связанные с наплавляемым материалом, уже существуют в модели, но они активируются только при постепенном перемещении источника тепла. Источник тепла был применен в виде теплового потока к вновь активированным элементам и предыдущим элементам в пределах диаметра луча. Нанесенные элементы активируются при температуре ликвидуса для BT6, в то время как все остальные элементы были установлены при начальной температуре  $T_0$  при  $t = 0$  с.

дике, все элементы, связанные с наплавляемым материалом, уже существуют в модели, но они активируются только при постепенном перемещении источника тепла. Источник тепла был применен в виде теплового потока к вновь активированным элементам и предыдущим элементам в пределах диаметра луча. Нанесенные элементы активируются при температуре ликвидуса для BT6, в то время как все остальные элементы были установлены при начальной температуре  $T_0$  при  $t = 0$  с.

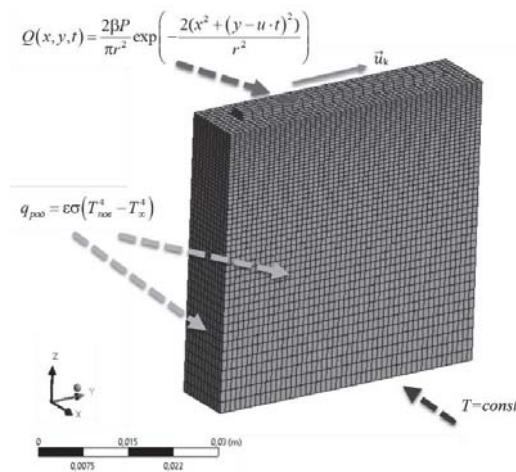


Рисунок 4 – Схема теплообмена титановой подложки

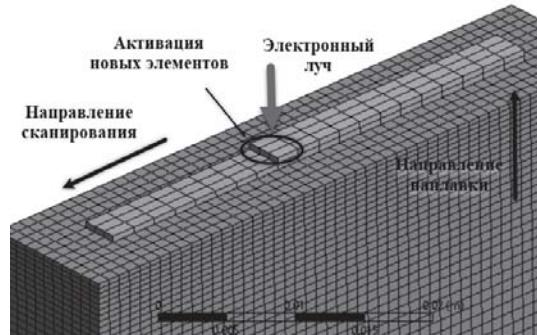


Рисунок 5 – Схема расположения ячеек на границе раздела, иллюстрирующая процедуру активации элементов и перемещение источника тепла

## Результаты

Контурная диаграмма, экспортированная из ANSYS, показывающая прогнозируемые эквивалентные остаточные напряжения в результате наплавки представлена на рисунке 6.

# РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ТИТАНА В ВАКУУМЕ

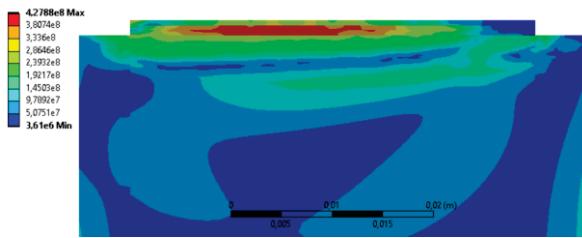


Рисунок 6 – Эквивалентные остаточные напряжения в результате наплавки

Контурная диаграмма демонстрирует, что в результате наплавки возникают остаточные напряжения в объеме наплавленного образца и титановой подложке. Технологические параметры процесса ЭЛАП, такие как короткое время воздействия и высокая скорость тепловложения создают большой градиент температуры в области наплавки, что способствует формированию в зоне образца и подложки окружных и осевых напряжений. Учитывая характер протекания процесса, наплавку титановой проволоки на титановую подложку возможно считать неразъемным соединением, в области которого присутствует ограничение движения деформации и увеличение внутренних остаточных деформаций. Высокие остаточные напряжения в детали могут вызвать ее коробление или появление «горячих» или «холодных» трещин, если внутренние напряжения в процессе охлаждения превысят предел прочности материала.

## Выводы

Численно решено трехмерное уравнение теплопроводности с начальными и граничными параметрами, соответствующими процессу электронно-лучевой наплавки в вакууме. Модель титанового сплава учитывала зависимость его физических характеристик от температуры.

Выполнен анализ контурной диаграммы эквивалентных остаточных напряжений в результате наплавки, которая демонстрирует максимальные эквивалентные остаточные напряжения в подложке 427 МПа. Анализ данных, полученных в результате исследования, установил необходимость проведения релаксации образца, в качестве которой рекомендуется провести термическую обработку – отжиг, целью которого является устранение

внутренних напряжений, возникших после электронно-лучевой наплавки материала, сварки, литья, ковки или прокатки.

Созданная математическая модель численного моделирования с использованием ANSYS Workbench на основе метода рождения/смерти позволит определять предпочтительные режимы обработки изделий и может быть использовано для разработки системы, позволяющей создавать, запоминать и воспроизводить рациональную траекторию электронного луча с оптимальной частотой и мощностью с целью изготовления деталей из металла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Byron Blakey-Milner. Metal additive manufacturing in aerospace: A review [Текст] / Byron Blakey-Milner, Paul Gradl, Glen Snedden, Michael Brooks, Jean Pitot, Elena Lopez, Martin Leary, Filippo Berto, Anton du Plessis // Materials & Design. — 2021. — № 209. — С.
2. Sikan, F.; Wanjara, P.; Gholipour, J.; Kumar, A.; Brochu, M. Thermo-Mechanical Modeling of Wire-Fed Electron Beam Additive Manufacturing [Текст] / Sikan, F.; Wanjara, P.; Gholipour, J.; Kumar, A.; Brochu, M. // Materials. — 2021. — № 14. — С. 911.
3. Zhang, Z.; Huang, Y.; Kasinathan, A.R. at all. 3-Dimensional heat transfer modeling for laser powder-bed fusion additive manufacturing with volumetric heat sources based on varied thermal conductivity and absorptivity. *Opt. Laser Technol.* 2019, 109, 297–312.
4. Rouquette, S.; Guo, J.; Le Masson, P. Estimation of the parameters of a Gaussian heat source by the Levenberg–Marquardt method: Application to the electron beam welding. *Int. J. Therm. Sci.* 2007, 46, 128–138.

**Саевлук Артур Альфредович** – аспирант гр. А5-20 ОМШ ИШНПТ ТПУ, тел.: 89083163877, e-mail: aas293@tpu.ru;

**Саевлук Дарья Алексеевна** – инженер-технолог 3-ей категории НПП «Томская электронная компания», тел.: 89521519781, e-mail: dab47@tpu.ru;

**Лысак Галина Владиленовна** – к.х.н. старший преподаватель ОМШ ИШНПТ ТПУ, тел.: 83822701777, e-mail: gvl2@tpu.ru;

**Лысак Илья Александрович** – к.т.н. доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ, тел.: 83822701777, e-mail: doc@tpu.ru.

# ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИИ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ЗЕРКАЛЬНЫХ СКАНИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПОИСКА ПРИ СКАНИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВА ПО ТРАЕКТОРИИ В ВИДЕ ФИГУР ЛИССАЖУ

И. Е. Гусаров<sup>1,2</sup>, А. И. Калугин<sup>1</sup>, Е. А. Антонов<sup>1</sup>, Е. Ю. Шелковников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН

<sup>2</sup>Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова  
г. Ижевск

В работе показано влияние флюктуации частоты качания зеркального сканирующего элемента на вероятность обнаружения объекта поиска. Показано, что вероятность обнаружения возрастает при отклонении частоты колебания от заданной средней величины. Однако, при наличии флюктуаций наблюдается диспозиция положений центров лазерных пятен в сканируемом пространстве, что снижает точность определения координаты объекта поиска в пространстве.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, вероятность обнаружения, фигуры Лиссажу, частота колебания, степень заполнения, траектория сканирования, сканирующая система, зеркальный сканирующий элемент, изменение частоты, искажение траектории сканирования.

Технология лазерного сканирования может применяться для решения задач, связанных с обнаружением некоторого объекта или группы объектов в исследуемом пространстве. Основным критерием оценки эффективности работы устройства для решения поставленной задачи можно назвать вероятность обнаружения объекта поиска  $P_d$ . В случае, когда объект неподвижен или движется со скоростью намного меньше, чем скорость движения лазерного пятна вдоль траектории сканирования, можно считать, что вероятность обнаружения равна степени заполнения лазерным излучением исследуемой области пространства  $Q$ :

$$P_d = Q. \quad (1)$$

Предположим, что центр лазерного пятна движется вдоль некоторой траектории. Тогда при использовании импульсного лазерного источника в исследуемой области формируется набор из  $n$  лазерных пятен  $p_i$ , как показано на рисунке 1. Данный набор пятен образует изображение (красная область на рисунке 1). Тогда степень заполнения пространства можно определить как:

$$Q = \frac{S_f}{S_0}. \quad (2)$$

где  $S_f$  – площадь формируемого изображения,  $S_0$  – площадь всего исследуемого пространства.

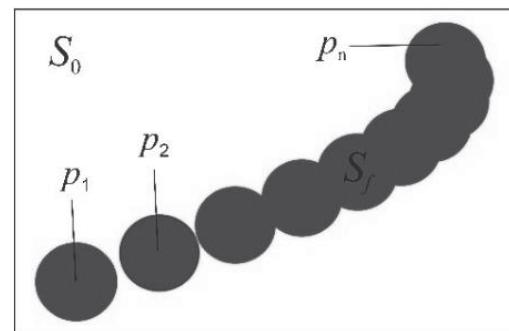


Рисунок 1 – Последовательность лазерных пятен в пространстве

Таким образом, параметр  $Q$  зависит от формы траектории, частоты следования лазерных импульсов и ширины формируемого на дистанции сканирования лазерного пятна.

Одним из наиболее простых способов осуществления сканирования является использование системы из двух зеркал, колеблющихся вокруг взаимно перпендикулярных осей. При использовании двухзеркальной системы центр лазерного пятна в сканируемой области движется вдоль траектории, которая представляет собой фигуры Лиссажу (ФЛ) [1]. В работе [2] предложен метод оценки интересующего нас параметра путём вы-

**ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИИ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ  
ЗЕРКАЛЬНЫХ СКАНИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПОИСКА  
ПРИ СКАНИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВА ПО ТРАЕКТОРИИ В ВИДЕ ФИГУР ЛИССАЖУ**

числения высоты центральной ячейки, имеющей форму ромба и формирующейся при пересечении петель ФЛ (рисунок 2).

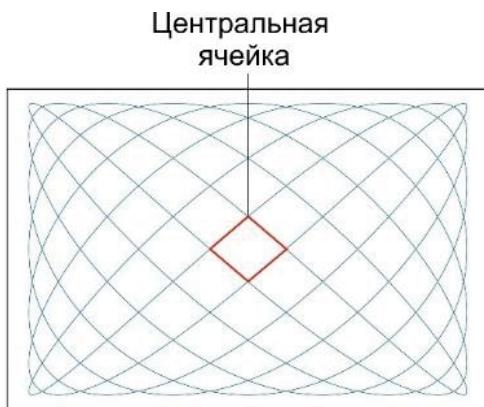


Рисунок 2 – Формирование ячеек при движении точки вдоль траектории в виде ФЛ

При использовании предложенного метода получаемое значение  $Q$  является оценочным и имеет значительную погрешность, так как в методе не учитываются множественные перекрытия пятен и влияние на величину  $Q$  наличия слепых зон, площадь которых тем больше, чем дальше пятна расположены друг относительно друга (рисунок 3).

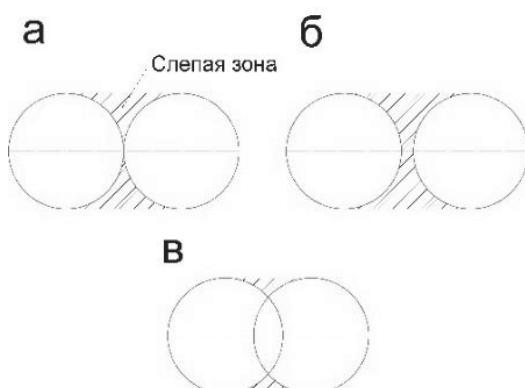


Рисунок 3 – Возникновение слепых зон между соседними лазерными пятнами при различном взаимном расположении лазерных: а – пятна касаются, б – пятна разнесены в пространстве, в – пятна пересекаются

Ввиду сложной формы траектории и неравномерного распределения центров лазерных пятен получение аналитического выражения для расчёта степени заполнения становится трудной задачей. Поэтому в данном случае целесообразно воспользоваться ме-

тодом Монте-Карло для вычисления площади изображения и расчёта  $Q$ .

Форма получаемых ФЛ зависит от соотношения частот колебаний зеркал. На практике удобно использовать такую комбинацию частот качания зеркал, при которых достигается траектория, близкая к построчной. Под построчной траекторией понимается такая форма, при которой в зондируемой области образуется набор линий (строк), каждая из которых содержит некоторое число лазерных пятен. Выбор ФЛ близких к построчной траектории обусловлен тем, что при использовании более сложных ФЛ потребуется высокий уровень синхронизации колебаний, что налагивает ряд требований к системам, приводящим зеркала в движение. Для достижения траектории, близкой к построчной, должно выполняться условие:

$$\frac{f_y}{G} = 1, \quad (3)$$

где  $f_y$  – частота колебания зеркала, совершающего колебания вдоль оси  $OY$ ,  $G$  – наибольший общий делитель частот колебаний зеркал. При этом справедливо равенство:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_x}{n_y}, \quad (4)$$

где  $f_x$  – частота колебания зеркала, совершающего колебания вдоль оси  $OX$ ,  $n_x$  и  $n_y$  – числа петель ФЛ вдоль осей  $OX$  и  $OY$  соответственно.

В реальности могут возникать случайные отклонения частоты колебаний одного или нескольких зеркал от требуемой величины. Причиной этих флуктуаций является воздействие внешних вибраций, например, в случае установки сканирующей системы на подвижной платформе, а также погрешность работы электронных систем устройства и инерционность вращаемого зеркального сканирующего элемента. Изменение частот колебаний зеркал в процессе построения кадра сканирования приведёт к срыву формирования требуемой траектории сканирования и изменению вероятности обнаружения объекта поиска.

Пусть формирование траектории в виде ФЛ происходит по следующему закону [2]:

$$\begin{aligned} x &= A_x \cos(2\pi f_x t); \\ y &= A_y \cos\left(2\pi f_y t + \frac{k\pi f_x}{4G}\right), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $A_x$  и  $A_y$  – амплитуда колебаний вдоль осей  $OX$  и  $OY$  соответственно,  $k$  – некоторый коэффициент, величина которого определяет форму ФЛ. В дальнейших расчётах будет

принято, что  $k = 2$ , т.к. в данном случае достигается замкнутая ФЛ с большим числом петель [2]. Частоты  $f_x$  и  $f_y$  можно представить в следующей форме:

$$\begin{aligned} f_x &= f_{x0} + \Delta f_x(t); \\ f_y &= f_{y0} + \Delta f_y(t), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $f_{x0}$  и  $f_{y0}$  – требуемая частота колебания вдоль оси ОХ и ОY соответственно,  $\Delta f_x$  и  $\Delta f_y$  – соответствующие флуктуации частоты колебаний. Величины  $\Delta f_x$  и  $\Delta f_y$  не являются постоянными и изменяются во времени случайным образом. Примем, что величины  $\Delta f_x$  и  $\Delta f_y$  меняются по следующему закону:

$$\begin{aligned} \Delta f_x &= \frac{\rho_1(t)}{F_1}; \\ \Delta f_y &= \frac{\rho_2(t)}{F_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – случайные числа, значения которых лежат в диапазоне [-1, 1],  $F_1$  и  $F_2$  – параметры, определяющие порядок величин  $\Delta f_x$  и  $\Delta f_y$ . Распределение величин  $\rho_1$  и  $\rho_2$  можно считать равномерным.

Моделирование построения ФЛ при лазерном сканировании проводилось при следующих параметрах: угловой размер сканируемой области равен  $30^\circ$  на  $30^\circ$ , дистанция до сканируемой области  $L = 500$  м, ширина пятна в области сканирования  $w = 2$  м, частота следования лазерных импульсов 250 кГц. На рисунке 4 приведена зависимость вероятности обнаружения объекта от величины параметра  $F_1$  для разных отношений частот  $n_x/n_y$  и при условии, что  $\Delta f = 0$ .

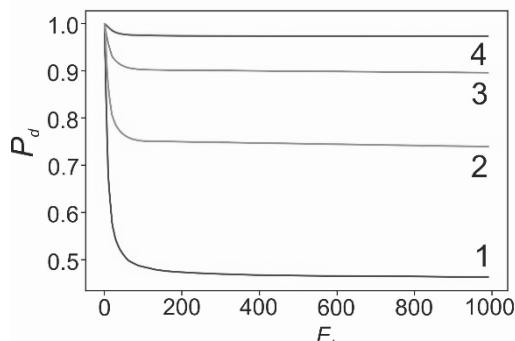


Рисунок 4 – Зависимость вероятности обнаружения объекта поиска от величины параметра  $F_1$  при различном соотношении частот  $f_{x0}$  и  $f_{y0}$ : кривая 1 при 19:1 Гц, 2 – 38:1 Гц, 3 – 57:1 Гц, 4 – 76:1 Гц

Из приведённых зависимостей видно, что при больших значениях  $F_1$  вероятность  $P_d$  соответствует некоторому уровню, зависи-

щему от частоты  $f_{x0}$  при отсутствии флуктуаций. То есть, значение величины  $P_d$  становится близким к значению вероятности обнаружения, достигаемому при  $\Delta f_x = 0$ . При уменьшении  $F_1$  и, следовательно, увеличении  $\Delta f_x$  происходит резкий рост вероятности обнаружения объекта поиска. Это объясняется тем, что при случайном изменении частоты колебаний зеркального сканирующего элемента во времени по закону (7) отношение частот  $f_x$  и  $f_y$  также меняется случайным образом, из-за чего формируются неповторяющиеся во времени траектории движения лазерного пятна [3]. Причем смещения пятен относительно их положения на ФЛ, получаемого при отсутствии флуктуаций частот, могут достигать больших значений. На рисунке 5 показаны положения центров лазерных пятен при различных значениях параметра  $F_1$ . При расчёте было принято, что частоты колебаний зеркал  $f_x$  и  $f_y$  равны соответственно 5 Гц и 3 Гц, угловой размер сканируемой области равен  $30^\circ$  на  $30^\circ$ , дистанция до сканируемой области  $L = 500$  м, частота следования лазерных импульсов 2 кГц.

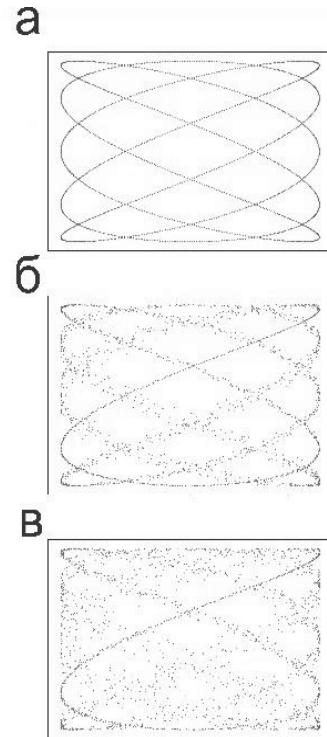


Рисунок 5 – Распределение центров лазерных пятен при сканировании пространства вдоль ФЛ при различных значениях  $F_1$ : а - без флуктуаций, б -  $F_1 = 50$ , в -  $F_1 = 25$

**ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИИ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ  
ЗЕРКАЛЬНЫХ СКАНИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПОИСКА  
ПРИ СКАНИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВА ПО ТРАЕКТОРИИ В ВИДЕ ФИГУР ЛИССАЖУ**

Как видно из рисунка, диспозиция центров пятен тем сильнее, чем ниже значение  $F_1$ . Минимально допустимое значение рассматриваемого параметра зависит от необходимой точности положения пятна в пространстве, устанавливаемой техническим требованием к разрабатываемому устройству. Должно выполняться следующее соотношение:

$$\frac{\Delta f_{x,y}}{f_{x0,y0}} = \frac{1}{f_{x0,y0} \cdot F_{x,y}}, \quad (8)$$

Пусть минимально возможное  $F_1$  равно 50, а требуемая частота колебания  $f_{x0} = 19$  Гц. Тогда согласно (8) относительное отклонение частоты не должно превышать 0.001.

Таким образом, при наличии флюктуации частоты качания даже одного сканирующего зеркала отклонение положения пятен в области сканирования от ожидаемых координат является случайной величиной, достигающей больших значений, и, следовательно, определить точное положение объекта поиска в пространстве становится невозможно при использовании одноэлементного фотоприёмного устройства. Поэтому применение такого

типа сканирующих устройств ограничено в основном стационарными системами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Steckenrider J.J. Lissajous curves as aerial search patterns / J. J. Steckenrider, M. Miller, R. Blankenship, V. Trujillo, J. Bluman // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – No. 1. – P. 11144. – DOI 10.1038/s41598-024-60803-2.
2. Wang, J. Design rules for dense and rapid Lissajous scanning / J. Wang, G. Zhang, Z. You // Microsystem & Nanoengineering. – 2020. – Vol.6. – No.101. – DOI 10.1038/s41378-020-00211-4.
3. Hwang K. Frequency selection rule for high definition and high frame rate Lissajous scanning / K. Hwang, Y.-H. Seo, J. Ahn, P. Kim, K.-H. Jeong // Scientific Reports. – 2017. – No.7. – P. 14075. – DOI 10.1038/s41598-017-13634-3.

**Гусаров Илья Евгеньевич** – м.н.с. Удм ФИЦ УрО РАН, аспирант ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, e-mail: gusarovie@udman.ru;

**Калугин Алексей Игоревич** – в.н.с. Удм ФИЦ УрО РАН, e-mail:kalugin@udman.ru;

**Антонов Егор Александрович** – с.н.с. Удм ФИЦ УрО РАН, e-mail: slick25@udman.ru;

**Шелковников Евгений Юрьевич** – г.н.с. Удм ФИЦ УрО РАН, e-mail: ev-shelk@mail.ru.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НЕИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ РАСТВОРОВ

**Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков, А. А. Клюшанов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Проведён сравнительный анализ трёх методов определения неинформативных параметров контактных первичных преобразователей, влияющих на результат измерения удельной электрической проводимости растворов. Для эксперимента использованы растворы хлорида калия (KCl), измерения активной составляющей импеданса выполнены с травлёнными и нетравлёнными платиновыми электродами по последовательной и параллельной схемам замещения в диапазоне частот 1–200 кГц с применением R-L-C-метра. Полученные экспериментальные данные обработаны тремя различными методами, построены зависимости активной составляющей импеданса от частоты для каждого из методов и исследованных растворов.

**Ключевые слова:** удельная электропроводность, электроды, контактный кондуктометр, систематическая погрешность.

### Введение

Измерение удельной электрической проводимости жидкостей с использованием контактных кондуктометрических преобразователей сопровождается влиянием неинформативных параметров, обусловленных электрохимическими процессами на границе раздела электродов и раствора. К таким параметрам относятся поляризационное сопротивление и ёмкость двойного электрического слоя, величина которых зависит от состояния поверхности электродов, свойств анализируемого раствора и частоты питающего напряжения. Наличие этих факторов приводит к возникновению систематической погрешности, влияющей на точность измерений. Для её снижения требуется определение и последующий учёт указанных параметров при обработке экспериментальных данных. Актуальность исследования обусловлена ростом требований к точности измерений в лабораторных и промышленных системах контроля, а также необходимостью метрологически обоснованного выбора частоты и методики, позволяющих уменьшить систематическую погрешность. В работе проведено сравнение трёх методов обработки результатов измерений, направленных на оценку неинформативных параметров контактных ПИП, таких как поляризационный импеданс электродов. Сопоставление результатов по методам позволяет выделить диапазоны частот, в которых вклад

поляризационного импеданса в активную составляющую импеданса минимален.

### Методы исследования

Существует несколько методов для оценки величин, формирующих систематическую погрешность при измерении удельной электрической проводимости растворов. Для описания первичного измерительного преобразователя (ПИП) используется общепринятая эквивалентная схема, отражающая процессы на границе электрод-раствор: параллельная ветвь поляризационного импеданса электродов ( $C||R_p$ ) последовательно соединена с активным сопротивлением раствора  $R$  [1,2], где  $C$  – суммарная ёмкость двойного электрического слоя,  $R_p$  – суммарное поляризационное сопротивление электродов,  $R$  – сопротивление анализируемого раствора.

Один из методов опирается на сопоставление результатов измерений активной составляющей импеданса при двух вариантах включения компенсирующего элемента: последовательно и параллельно. Для каждой частоты  $f$  фиксируются значения по последовательной схеме (1) и по параллельной схеме (2) компенсации. Разность  $\Delta R$  между ними (3) используется как индикатор влияния поляризационного импеданса. При  $\Delta R \approx 0$  вклад  $R_p$  и  $C$  минимален и оценка  $R$  наименее смещена. В области, где емкостной член доминирует, из  $\Delta R$  получают оценку  $C$  (4), после чего находят  $R_p$  (5) [3].

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ  
НЕИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ  
УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ РАСТВОРОВ**

$$R_1(\omega) = \frac{RC^2\omega^2R_n^2 + R_n + R}{C^2\omega^2R_n^2 + 1}. \quad (1)$$

$$R_2(\omega) = \frac{R^2C^2\omega^2R_n^2 + R_n^2 + R^2 + 2RR_n}{RC^2\omega^2R_n^2 + R + R_n}. \quad (2)$$

$$\Delta R(\omega) = \frac{C^2\omega^2R_n^4}{(C^2\omega^2R_n^2 + 1)(RC^2\omega^2R_n^2 + R + R_n)}. \quad (3)$$

$$C \approx \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{1}{R \cdot \Delta R}}. \quad (4)$$

$$R_n \approx \frac{1 + \sqrt{1 - 4C^2\omega^2(R_1 - R)^2}}{2C^2\omega^2(R_1 - R)}. \quad (5)$$

Второй метод – аналитический «по трём частотам». Активная составляющая импеданса при трёх различных частотах  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  однозначно выражается через три неизвестных  $C$ ,  $R_n$ ,  $R$ . Для расчета используется активная составляющая импеданса при использовании последовательной схемы замещения (1), из которой для трёх частот получается система уравнений (6) [4].

$$\begin{cases} R_1 = \frac{RC^2\omega_1^2R_n^2 + R_n + R}{C^2\omega_1^2R_n^2 + 1} \\ R_2 = \frac{RC^2\omega_2^2R_n^2 + R_n + R}{C^2\omega_2^2R_n^2 + 1} \\ R_3 = \frac{RC^2\omega_3^2R_n^2 + R_n + R}{C^2\omega_3^2R_n^2 + 1} \end{cases} \quad (6)$$

Третий метод – стохастический подбор параметров. Критерием определения величин эквивалентной электрической схемы замещения (ЭЭСЗ) является задача минимизации расхождения между измеренными и расчётыми значениями импеданса раствора на выбранном наборе частот. На каждой итерации случайным образом изменяется один или несколько параметров в заданных пределах, если ошибка между измеренными и истинными значениями уменьшается, изменение принимается, иначе отклоняется. Практически показано, что совместное обновление сразу нескольких коэффициентов даёт лучшую сходимость и заметно сокращает время вычислений по сравнению с поэлементной коррекцией, поскольку между параметрами фиксируется устойчивая статистическая связь при их изменении [5].

#### Ход исследования

Для экспериментальной проверки рассмотренных методов были приготовлены водные растворы хлорида калия (KCl) с различной удельной электрической проводимостью, значения которой предварительно определялись на поверочной установке КПУ-1 с погрешностью не более  $\pm 0,1\%$ . Измерения

импеданса растворов выполнялись с использованием RLC-измерителя класса 0,05 в диапазоне частот 1-200 кГц. В ходе исследования применялись две кондуктометрические ячейки: одна с нетравлеными, другая с травлеными платиновыми электродами, что позволило оценить влияние состояния поверхности на величины поляризационного сопротивления и ёмкости двойного электрического слоя. В качестве контрольных растворов использовались следующие значения удельной электрической проводимости  $\chi$ (См/м): для травленых электродов – 1,9114; 1,0076 и 0,1554 См/м, для нетравленых электродов – 1,8995; 0,73949 и 0,36653 См/м.

Экспериментальные данные были обработаны тремя указанными методами. Оценённые параметры эквивалентной электрической схемы замещения подставлялись в аналитическое выражение активной составляющей импеданса, на основании чего построены частотные зависимости этой составляющей.

#### Результаты исследований

Результаты расчёта параметров ЭЭСЗ – активного сопротивления раствора  $R$ , поляризационного сопротивления электродов  $R_n$  и суммарной ёмкости двойного электрического слоя  $C$  – по трём рассмотренным методам сведены в таблицу 1 (травленые платиновые электроды) и таблицу 2 (нетравленые платиновые электроды).

На рисунках 1 и 2 представлены зависимости активной составляющей импеданса от частоты для травленых и нетравленых платиновых электродов соответственно.

Каждый рисунок разделён на три части, соответствующие различным значениям удельной электрической проводимости ( $\chi$ ) контрольных растворов.

На каждом графике приведено сравнение результатов, полученных разными методами обработки экспериментальных данных:

– кривая 1 (пунктирная линия) — зависимость, рассчитанная по первому методу (сопоставление последовательной и параллельной схем компенсации);

– кривая 2 (штриховая линия) — результаты, полученные аналитическим методом «по трём частотам»;

– кривая 3 (штрихпунктирная линия) — зависимость, построенная по стохастическому методу подбора параметров;

– кривая 4 (сплошная линия) — экспериментальные значения активной составляющей, измеренные RLC-метром.

Таблица 1 – Результаты расчёта параметров ЭЭСЗ, полученные тремя методами для травленых электродов

УЭП $\chi$ , См/м	Метод	Активное сопротивление раствора $R$ , Ом	Суммарное поляризационное сопротивление электродов $R_p$ , Ом	Суммарная емкость двойного электрического слоя электродов $C$ , мкФ
1,9114	1	5,881	12,193	58,73
	2	5,856	0,105	113,89
	3	5,907	0,808	78,57
1,0076	1	11,063	1,410	41,46
	2	11,060	0,138	141,11
	3	11,095	2,831	112,18
0,1554	1	71,127	0,226	11,63
	2	71,139	0,162	97,37
	3	71,191	0,132	48,19
	2	30,139	0,715	27,62
	3	30,294	5,339	22,84

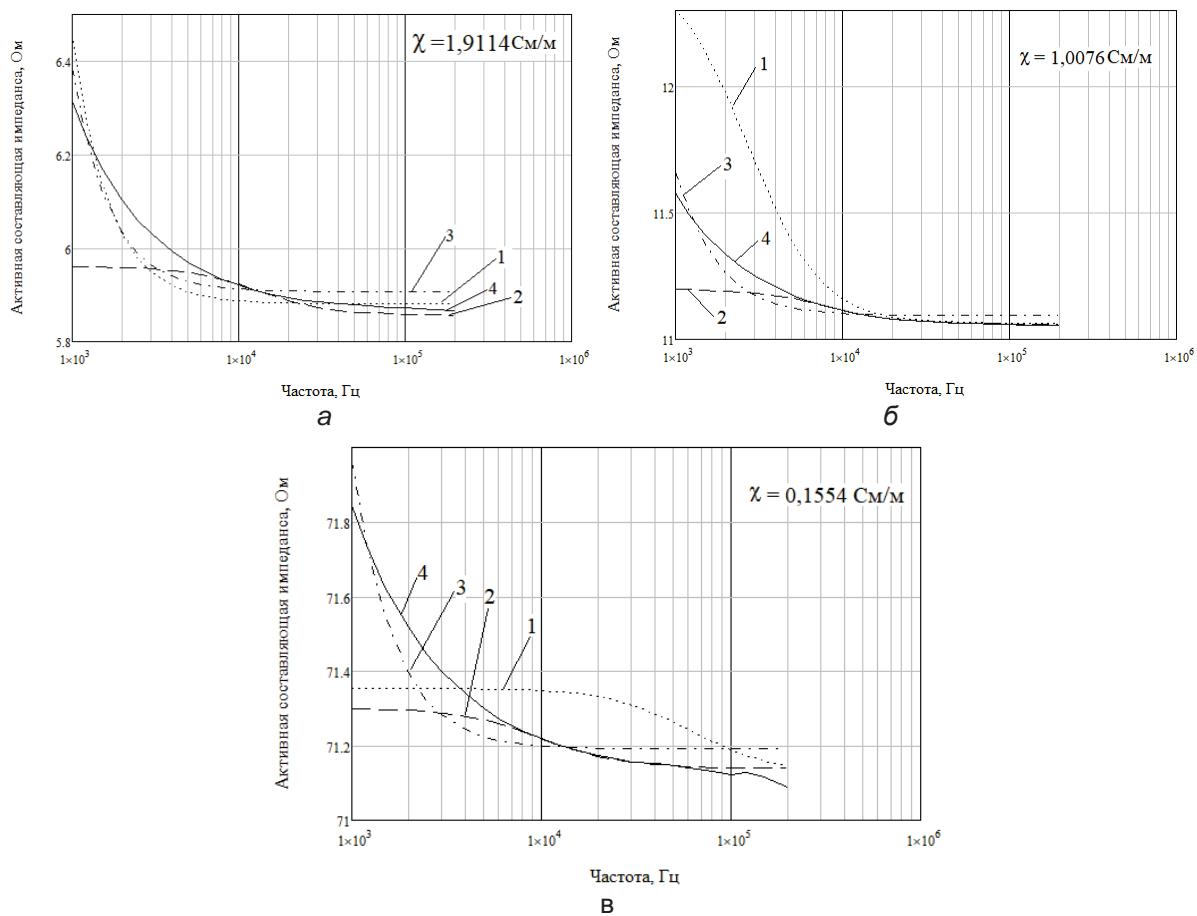


Рисунок 1 – Зависимость активной составляющей импеданса раствора от частоты для травленых электродов

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ  
НЕИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ  
УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ РАСТВОРОВ**

Таблица 2 – Результаты расчёта параметров ЭЭСЗ, полученные тремя методами для нетравленых электродов

УЭП $\chi$ , См/м	Метод	Активное сопротивление раствора $R$ , Ом	Суммарное поляризационное сопротивление электродов $R_p$ , Ом	Суммарная емкость двойного электрического слоя электродов $C$ , мкФ
1,8995	1	5,926	4,988	13,21
	2	5,944	0,736	27,05
	3	6,011	4,327	23,72
0,73949	1	15,032	3,868	11,83
	2	15,034	0,705	28,08
	3	15,104	3,975	24,71
0,36653	1	30,238	0,861	13,82

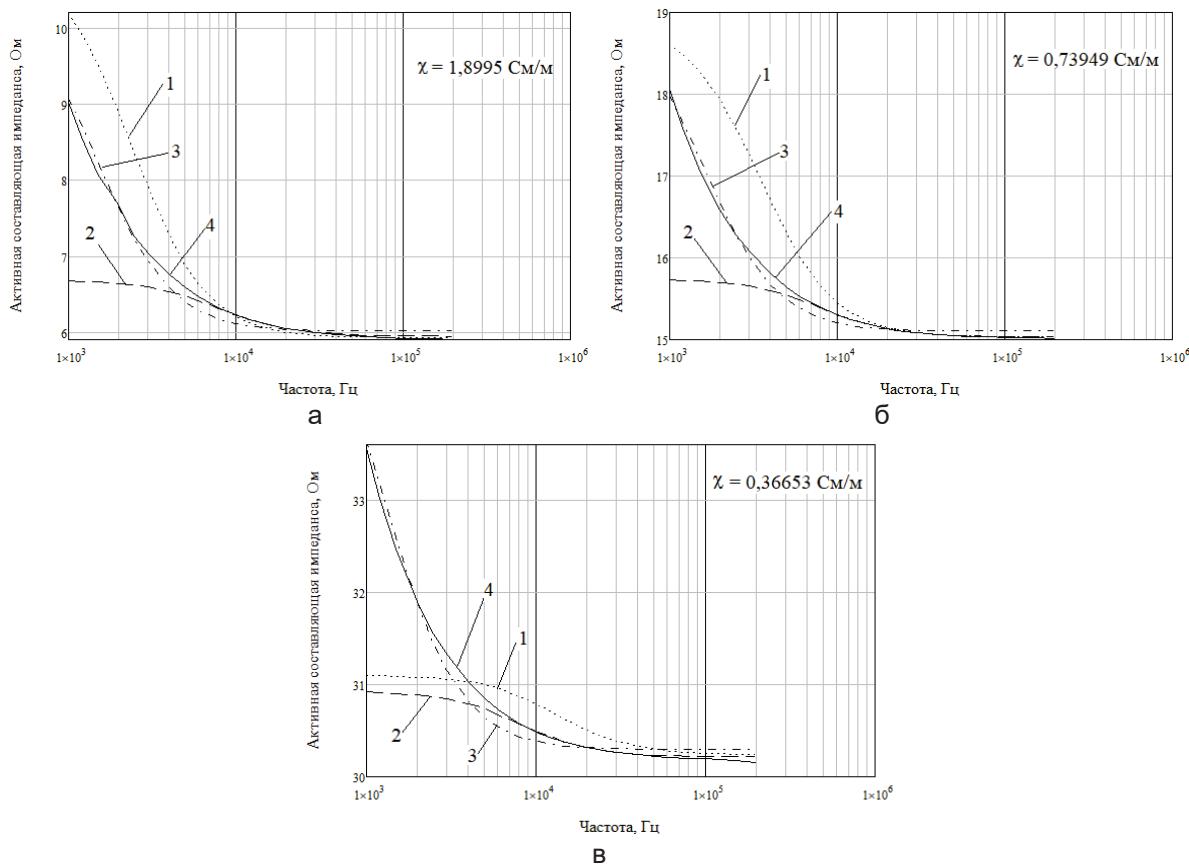


Рисунок 2 – Зависимость активной составляющей импеданса раствора от частоты для нетравленых электродов

#### Обсуждение и заключение

Результаты расчёта параметров ЭЭСЗ, представленные в таблицах 1 и 2, показывают, что активное сопротивление раствора  $R$ , полученное разными методами, в целом демонстрирует близкие значения, расхождения не превышают 0,5%, а в наихудшем случае (нетравленые электроды,  $\chi=1,8995$  См/м) со-

ставляет 1,4%. В то же время неинформативные параметры – поляризационное сопротивление  $R_p$  и ёмкость двойного электрического слоя  $C$  – существенно расходятся между собой, различия достигают нескольких порядков, что указывает о неполноте используемой эквивалентной схемы и ограниченности применённых методов, которые не учиты-

вают всех электродных и межфазных процессов, происходящих на границе раздела электрод-раствор.

Анализ частотных зависимостей активной составляющей импеданса (рисунки 1, 2) показывает, что во всех случаях наблюдается типичное для контактных ячеек поведение: при увеличении частоты значение активной составляющей уменьшается и стремится к истинному сопротивлению раствора. Это свидетельствует о снижении влияния ёмкостных и поляризационных эффектов на результат измерения в области высоких частот.

Во всех сериях экспериментов при частотах выше примерно 10кГц результаты, полученные тремя методами, демонстрируют хорошую сходимость между собой и близки к значениям, определённым поверочной установкой КПУ-1. В этом диапазоне влияние электродных процессов минимально, и все методы дают сопоставимые оценки активного сопротивления раствора  $R$ .

В области низких частот, менее 10кГц, расхождение между методами существенно возрастает. Это связано с возрастающим вкладом поляризационного сопротивления  $R_p$  и ёмкости  $C$ , что делает результаты расчёта чувствительными к выбранной схеме замещения. Особенно заметно расхождение для растворов с меньшей удельной электропроводностью – при снижении  $\chi$  различия между кривыми по методам возрастают, что объясняется увеличением доли приэлектродных процессов.

Из трёх рассмотренных методов наиболее стабильные и приближённые к эталонным результатам показал стохастический метод, обеспечивающий наилучшее совпадение во всём диапазоне частот с экспериментальными данными, полученными с помощью RLC-метра. Это подтверждает его большую устойчивость к модельным ошибкам и возможность адаптации под реальные измерительные условия.

Проведённый анализ показал, что ограниченная согласованность оценок неинформативных параметров обусловлена прежде всего принятой эквивалентной электрической схемой замещения, в её рамках методы учи-

тывают лишь часть приэлектродных процессов. Следовательно, для повышения точности и физической достоверности результатов в первую очередь необходимо усовершенствовать ЭЭСЗ, расширив её состав, а уже затем адаптировать алгоритмы обработки к обновлённой модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, А. М. Разработка экспериментального образца кондуктометрического датчика, обеспечивающего измерения УЭП в диапазоне от 10-5 до 10-3 См/м / А. М. Смирнов, Д. Е. Кривобоков // Метрология физико-химических измерений : Материалы III Международной научно-технической конференции, Морозовка, 09–11 октября 2018 года. – Морозовка: Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений", 2019. – С. 165-168.

2. ГОСТ 8.292-2013. Кондуктометры жидкости лабораторные. Методика поверки. -Москва: Стандартинформ, 2014. –14 с

3. Первухин, Б. С. Определение параметров контактных первичных преобразователей кондуктометров / Б. С. Первухин // Измерительная техника. – 2008. – № 3. – С. 61-63.

4. Первухин, Б. С. Методическая погрешность контактных кондуктометров / Б. С. Первухин // Естественные и технические науки. – 2011. – № 1(51). – С. 176-182. Разработка модели ёмкостного первичного измерительного преобразователя при использовании стохастического метода определения параметров / Д. Е. Кривобоков, А. И. Дуда, Б. С. Первухин, В. С. Афонин // Ползуновский альманах. – 2014. – № 1. – С. 16-19.

5. Первухин, Б.С. Методическая погрешность контактных кондуктометров/ Первухин, Б.С./ Естественные и технические науки – 2011. – №1(51). – С. 41-44.

**Первухин Борис Семенович** – д.т.н., профессор кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова», тел.: (385-2)66-65-02, e-mail: bspervuhin@mail.ru;

**Кривобоков Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова», e-mail: dmitriikrivobokov@mail.ru;

**Клюшанов Алексей Александрович** – магистрант кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова», e-mail: aklyushanov2019@mail.ru.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНОГО ТРАКТА ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

К. А. Шляхтин

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН  
г. Ижевск

Выполнен анализ влияния полосы пропускания на форму дальностного портрета в лазерной локационной системе. Предложена методика определения полосы пропускания, которую должен иметь приемно-усилительный тракт, для обеспечения допустимого уровня искажения. Даны рекомендации по выбору элементов приемно-усилительного тракта.

**Ключевые слова:** дальностный портрет, полоса пропускания, приемно-усилительный тракт, лазерная локационная система.

### Введение

Лазерные локационные системы (ЛЛС) выполняют сканирование окружающего пространства путем последовательного испускания лазерного импульса в заданном направлении. Отраженное излучение от окружающих объектов попадает на вход фотоприемного устройства и преобразуется в электрический сигнал. В простейшем варианте реализации ЛЛС путем измерения временного интервала между испусканием лазерного импульса и приемом отраженного сигнала определяется расстояние до объекта и строится трехмерная карта окружающего пространства в виде облака точек в сферических координатах. Анализ формы принимаемого сигнала, называемого дальностным портретом (ДП), позволяет получать информацию о форме объекта, от которого произошло отражение, а также о свойствах его поверхности [1].

В качестве фотоприемного устройства в ЛЛС в настоящее время широко применяются лавинные фотодиоды (ЛФД). В отличие от обычного лавинного фотодиода имеет внутреннее умножение сигнала, обеспечиваемое прикладываемым к ЛФД высоким напряжением обратного смещения (от десятков до сотен вольт).

Для работы на длине волны 1550 нм безопасной для глаз и хорошо пропускаемой атмосферой [2,3] применяются ЛФД на основе арсенида галлия-индия (InGaAs). Для работы ЛФД в линейном режиме напряжение обратного смещения  $U_r$  устанавливается немного ниже напряжения пробоя  $U_b$ , задавая значение коэффициента умножения порядка 10 и более [4]. Построение ДП возможно и при работе ЛФД в гейгеровском режиме

(обеспечивающего срабатывание ЛФД даже при попадании одиночных фотонов) путем приёма сигналов от множества импульсов лазера и построения гистограммы [5–7], однако это значительно снижает скорость сканирования. Далее в работе будет рассматриваться функционирование ЛФД в линейном режиме.

Выходной сигнал с ЛФД подается на преобразователь тока в напряжение (ПТН) и затем усиливается одним или каскадом из нескольких последовательно включенных усилителей. Преобразование сигнала в цифровую форму для дальнейшей обработки выполняется аналого-цифровым преобразователем.

Для выбора необходимого ЛФД, ПТН и усилителей необходимо определить полосу пропускания приемно-усилительного тракта, обеспечивающую достаточно низкий уровень искажений.

### Анализ влияния полосы пропускания на форму дальностного портрета

Для демонстрации искажений, вносимых верхней границей полосы пропускания, на рисунке 1 представлен пример ДП и результат его фильтрации с применением фильтра Баттервортса низких частот первого порядка с различными частотами среза. По графику видно, что при частоте среза 10 ГГц искажения минимальны и сглаживаются только очень резкие выбросы. При частоте среза 5 ГГц сглаживание усиливается, но общее искажение формы сигнала по-прежнему незначительно. При частоте 2 ГГц и ниже сглаживание становится существенным, возрастает время нарастания и спада сигнала, а амплитуда пиков снижается.

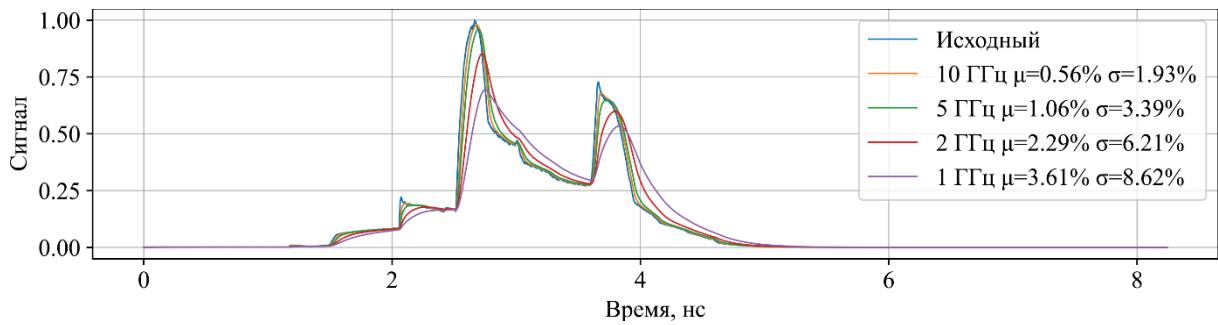


Рисунок 1 – Пример ДП при различных значениях верхней границей полосы пропускания

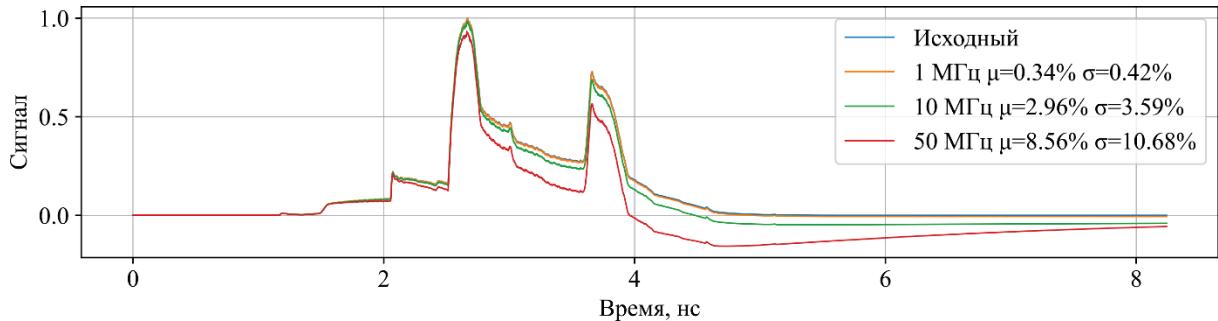


Рисунок 2 – Пример ДП при различных значениях нижней границей полосы пропускания

На рисунке 2 аналогично показаны искажения, вносимые нижней границей полосы пропускания. По графику видно, что при частоте среза 1 МГц дальностный портрет практически совпадает с исходным. При частоте среза 10 МГц видны заметные искажения ДП, связанные с постепенным падением амплитуды импульсов после фронта. На частоте 50 МГц эти искажения существенно влияют как на величину импульсов, так и на значение сигнала после дальностного портрета.

#### Методика определения полосы пропускания

Для определения необходимой полосы пропускания приёмно-усилительного тракта предлагается следующая методика. Для набора 3D-моделей объектов выполняется моделирование дальностных портретов [8] при различных положениях объектов в пространстве. Выполняется нормировка полученных при этом  $n$  дальностных портретов  $U_i^t$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $t = 1, 2, \dots, T_i$ ) к максимальному значению по всему набору:

$$\hat{U}_i^t = \frac{U_i^t}{\max_{i,t} U_i^t}.$$

Для определения верхней границы полосы пропускания осуществляются следующие шаги. Выбирается диапазон  $[f_{h,min},$

$f_{h,max}]$ , в котором может лежать искомое значение верхней границы (например, от 100 МГц до 40 ГГц). В выбранном диапазоне задается набор из  $m$  частот среза  $f_j \in [f_{h,min}, f_{h,max}]$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ). К каждому нормированному дальностному портрету применяется цифровой фильтр Баттервортса нижних частот первого порядка

$$Y_i^t = LPF_{f_j}(\hat{U}_i^t), \quad j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n,$$

моделирующий верхнюю границу полосы пропускания усилителя. Определяется средняя:

$$\mu_{j,i} = \frac{1}{T_i} \sum_{t=1}^{T_i} |Y_i^t - \hat{U}_i^t|, \\ j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n$$

и среднеквадратическая ошибка:

$$\sigma_{j,i} = \sqrt{\frac{1}{T_i} \sum_{t=1}^{T_i} (Y_i^t - \hat{U}_i^t)^2}, \\ j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n$$

отфильтрованных ДП относительно исходных. Определяется максимальное значение средней:

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНОГО ТРАКТА ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

$$\mu_{j,\max} = \max_i \mu_{j,i}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

и среднеквадратической ошибки:

$$\sigma_{j,\max} = \max_i \sigma_{j,i}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

среди всех ДП.

По графику зависимостей  $\mu_{j,\max}$  и  $\sigma_{j,\max}$  от  $f_j$  определяется значение верхней границы полосы пропускания  $f_j$ , при котором обеспечивается приемлемый уровень ошибки. Если значения верхней границы полосы пропускания, обеспечивающих удовлетворительную величину ошибки, найти не удалось, диапазон частот может быть расширен и процедура поиска выполнена повторно.

Аналогично выполняется определение нижней границы полосы пропускания с применением фильтра Баттервортса верхних частот.

## Применение методики определения полосы пропускания

Для тестового набора 3D-моделей объектов построены дальностные портреты на расстояниях от 100 до 1000 м с различными углами поворота. Длительность импульса лазера установлена равной 10 пс.

Графики зависимостей значений ошибок от верхней границы полосы пропускания, полученные по предложенной методике, приведены на рисунке 3, от нижней границы — на рисунке 4. Из графиков видно, что для верхней границы полосы пропускания наибольшую значимость имеет среднеквадратиче-

ская ошибка: при фильтрации ФНЧ искажение проявляется преимущественно в снижении амплитуды импульсов, тогда как форма сигнала в целом остаётся неизменной.

Для нижней границы полосы пропускания большее значение имеет средняя ошибка, так как при фильтрации ФВЧ происходит смещение всего ДП вниз.

## Обсуждение и выводы

Если принять предельно допустимую ошибку за 0,05 (5 %), то, согласно полученным графикам, требуемая полоса пропускания составляет от 20 МГц до 4 ГГц.

Поскольку система из последовательно соединённых элементов имеет полосу пропускания уже, чем у отдельных составляющих [9], верхняя граничная частота ЛФД, ПТН и усилителей должна превышать 4 ГГц (рекомендуемый диапазон — 8–10 ГГц и выше), а нижняя — быть ниже 20 МГц (рекомендуемый диапазон — 1–10 МГц и ниже).

Высокочастотные ПТН выпускаются фирмами Texas Instruments и Analog Devices. Их характеристики представлены в таблице 1. Однако применение данных микросхем затруднено в связи с тем, что они производятся в бескорпусном исполнении и их монтаж требует применения специализированного оборудования для микросварки тонких проволочных проводников к площадкам на кристалле микросхемы. Поэтому рекомендуется применять лавинные фотодиоды со встроенным ПТН, предназначенных для 10-гигабитных каналов передачи данных. Характеристики таких ЛФД приведены в таблице 2.

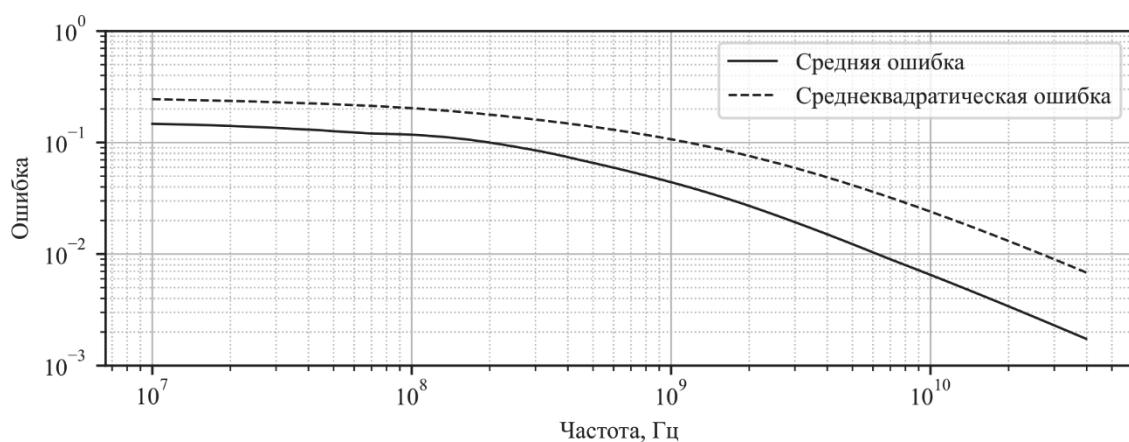


Рисунок 3 – Графики зависимостей средней и среднеквадратической ошибок от верхней границы полосы пропускания

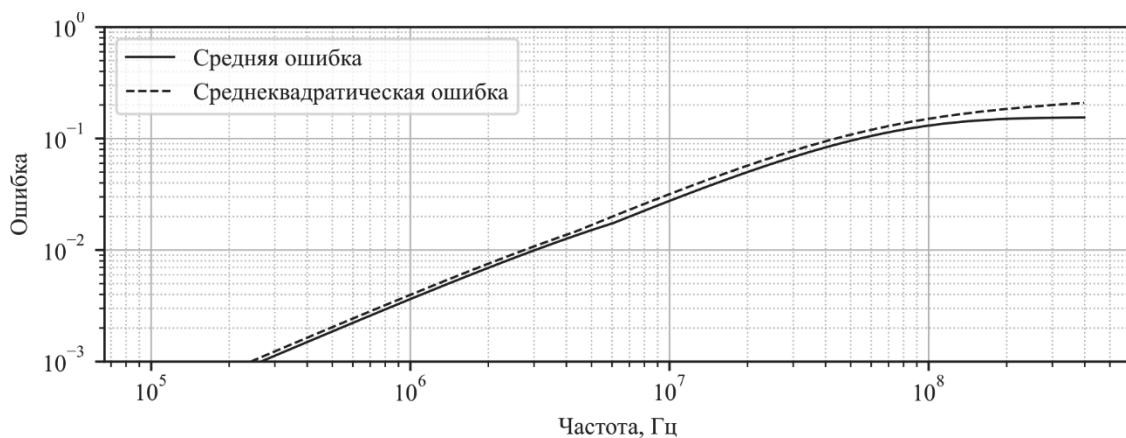


Рисунок 4 – Графики зависимостей средней и среднеквадратической ошибок от нижней границы полосы пропускания

Таблица 1 – Высокоскоростные преобразователи тока в напряжение

Наименование	Производитель	Нижняя граница полосы пропускания, кГц	Верхняя граница полосы пропускания, ГГц	Переходное сопротивление, Ом
ONET8501T[10]	Texas Instruments	30	10	7000
ONET8521T[11]	Texas Instruments	30	9	2400
ONET8531T[12]	Texas Instruments	30	10	4500
ONET8541T[13]	Texas Instruments	30	9	4000
ONET8551T[14]	Texas Instruments	30	9	10000
ONET2804T[15]	Texas Instruments	30	17,5	7500
MAX3970[16]	Analog Devices	70	9	600

Таблица 2 – Лавинные фотодиоды со встроенным преобразователем тока в напряжение, предназначенные для 10-гигабитных каналов передачи данных

Наименование	Производитель	Нижняя граница полосы пропускания, кГц	Верхняя граница полосы пропускания, ГГц	Переходное сопротивление ПТН, Ом
APD-10[17]	Optilab	–	8	12000
LSIAPDT-10G[18]	Lightsensing	20	–	3200
A10T-TO[19]	NuPhotonics	100	8	4000
KPDXA10G-H34S[20]	Dexerials	–	8	2000

В качестве усилителя рекомендуется использовать малошумящие усилители с широкой полосой пропускания и постоянным коэффициентом усиления в полосе пропускания, такие как ADL8122 [21] или ADL8120 [22].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баулин, Ф.Б. Проблемы формирования систем, обеспечивающих автоматическое распознавание объектов по дальностным портретам / Ф.Б. Баулин, Е.В. Бурый // Компьютерная оптика. — 2019. — Т. 43, № 1. — С. 5–13.
- Wallace, A.M. Full Waveform LiDAR for Adverse Weather Conditions / A.M. Wallace, A. Halimi, G.S. Buller // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2020. — 69(7). P. 7064–7077.
- Wojtanowski, J. Comparison of 905 nm and 1550 nm semiconductor laser rangefinders' performance deterioration due to adverse environmental conditions / J. Wojtanowski, M. Zygmunt, M. Kaszczuk, Z. Mierczyk, M. Muzal // Opto-Electronics Review. — 2014. — 22(3). P. 183–190.
- Huntington, A.S. InGaAs avalanche photodiodes for ranging and Lidar / A.S. Huntington. — Woodhead Publishing, 2020.— 385 p.
- McManamon, P. Field guide to lidar / P. McManamon. — Bellingham: SPIE Press, 2015.— 151 p.
- Yin, S. Research on an Echo-Signal-Detection Algorithm for Weak and Small Targets Based on GM-APD Remote Active Single-Photon Technology / S. Yin, S. Li, X. Zhou, J. Sun, D. Guo, J. Lu, H. Zhao // Photonics. — 2024. — 11(12).P. 1158.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ  
ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНОГО ТРАКТА ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

7. Williams, G.M. Probabilistic analysis of linear mode vs. geiger mode APD FPAs for advanced Ladar enabled interceptors / G.M. Williams, A.S. Huntington // Defense and Security Symposium. — Orlando (Kissimmee), FL, 2006. — Р. 622008.
8. Альес, М.Ю. Высокопроизводительный метод моделирования дальностного портрета с применением механизма растеризации графического процессора / М.Ю. Альес, Е.Ю. Шелковников, К.А. Шляхтин // Оптический журнал. — 2025. — Т. 92, № 6. — С. 66–76.
9. Pease, R.A. Analog circuits / R.A. Pease, — Newnes/Elsevier, 2008. — 436 p.
10. ONET8501T – 11.3 Gbps Limiting Transimpedance Amplifier With RSSI / Texas Instruments // 2011. — 16 p.
11. ONET8521T – 11.3 Gbps Limiting Transimpedance Amplifier With RSSI / Texas Instruments // 2011. — 16 p.
12. ONET8531T – 11.3 Gbps Limiting Transimpedance Amplifier With RSSI / Texas Instruments // 2011. — 17 p.
13. ONET8541T – 11.3 Gbps Limiting Transimpedance Amplifier With RSSI / Texas Instruments // 2011. — 16 p.
14. ONET8551T – 11.3 Gbps Limiting Transimpedance Amplifier With RSSI / Texas Instruments // 2013. — 16 p.
15. ONET2804T – 28 Gbps 4-Channel Limiting TIA / Texas Instruments // 2018. — 33 p.
16. MAX3970 – 10Gbps, 3.3V Low-Power Transimpedance Amplifier with RSSI / Analog Devices // 1970. — 10 p.
17. APD-10 – Avalanche Photodiode, 10 Gb/s with TIA / Optilab// 2018. — 2 p.
18. LSIAAPDT-10G – 10Gbps InGaAs APD with pre-amplifier /Beijing Lightsensing Technologies Ltd // 2018. — 2 p.
19. A10T-TO – 10G InGaAs APD Photodiode W/ TIA / NuPhotonics // 01.08.2025. — 6 p.
20. KPDXA10G-H34S/ Dexerials Corporation // 4 p.
21. ADL8122– 10 kHz to 10 GHz, Wideband, Low Noise Amplifier / Analog Devices // 2024. — 28 p.
22. ADL8120– 30 kHz to 20 GHz, Ultra-Wideband, Low Noise Amplifier / Analog Devices // 2024. — 30 p.

**Шляхтин Константин Алексеевич** –  
м.н.с. Удм ФИЦ УрО РАН, тел: 8 9127415250,  
e-mail: shlyahinsk@udman.ru.

УДК 004.89

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

В. Н. Гусятников<sup>1</sup>, Т. Н. Соколова<sup>2</sup>

1 Поволжский институт управления им. П. А. Столыпина

2 Саратовская государственная юридическая академия

г. Саратов

В статье исследуется проблема автоматизации разработки педагогических измерительных материалов. Цель работы — сравнительный анализ возможностей шести общедоступных нейросетевых моделей (DeepSeek, GigaChat и др.) для генерации тестовых заданий. Методология включала оценку ответов моделей на единый промпт с использованием текстов разного объема по критериям: точность, разнообразие, методическая корректность и работа с контекстом. Результаты показали, что модели Qwen3-Max и DeepSeek демонстрируют наилучшее сочетание аналитических и функциональных возможностей, в то время как другие модели имеют существенные ограничения, требующие тщательного контроля со стороны преподавателя.

**Ключевые слова** генерация тестовых заданий, искусственный интеллект в образовании, нейросетевые модели, автоматизированная оценка знаний, промпт-инжиниринг.

### Введение

Современные информационные технологии, в частности, искусственный интеллект предоставляют широкие возможности автоматизации многих рутинных задач. В сфере образования одной из таких задач является разработка банков тестовых заданий — обязательного компонента фонда оценочных средств по каждой дисциплине с выделением заданий для оценки каждой компетенции, которая формируется в рамках изучаемой дисциплины [1]. Использование искусственного интеллекта в системах компьютерного тестирования повышает достоверность и информативность оценки компетенций обучаемых [2, 3]. Рост числа студентов и разнообразие образовательных программ делают ручное создание качественных оценочных средств ресурсоемкой задачей, лимитирующей весь процесс оценки. Такая работа требует от преподавателя значительных временных и интеллектуальных затрат. В этой связи нейросетевые модели представляют собой перспективный ресурс для автоматической и оперативной генерации тестовых заданий (ТЗ) различного типа и уровня сложности [4 – 6]. Однако их практическое применение сдерживается отсутствием систематизированных данных о сравнительной эффективности, надежности и ограничениях различных моделей. Проводимый в данной работе сравнительный анализ призван восполнить этот пробел, предоставляя педагогам и методи-

стам объективные критерии для выбора и использования искусственного интеллекта в учебном процессе. Это позволит получить обоснованные ответы на вопросы: какую модель выбрать и насколько можно доверять качеству генерированных материалов?

**Цель** работы — сравнить качество и функциональные возможности нейросетевых моделей при генерации тестовых заданий на основе заданного учебного материала.

### Материалы и методы

Для достижения поставленной цели в работе сравниваются результаты, генерированные разными, доступными без VPN, бесплатными нейросетями: Deep Seek, Giga Chat, GPT-4.1 nano, Kimi, Qwen3-Max, YandexGPT. Для обеспечения сопоставимости результатов для всех моделей использовался единый базовый промпт: «Придумай тестовые задания к тексту». В случае необходимости модели запрашивали дополнительную информацию с помощью уточняющих промптов. В качестве материала использованы 2 текста разного объема (1357 знаков и 37130 знаков) из одного учебного пособия [7] на тему «Автоматизированные информационные системы». Для систематизации анализа использованы следующие критерии:

– полнота ответа: общее количество генерированных заданий;

– разнообразие: количество представленных типов заданий (закрытые, открытые, на соответствие и т.д.);

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

- фактологическая точность: отсутствие ошибок и «галлюцинаций» в содержании заданий и ключах;
- методическая корректность: соответствие формы задания заявленному типу и его дидактическим целям;
- гибкость и отзывчивость: способность модели учитывать уточняющие промпты и адаптировать вывод;
- функциональность вывода: дополнительные возможности (генерация ключей, интерактивных форм, критериев оценки).

## Результаты

В первом эксперименте использовался текст небольшого объема (чуть больше 1300 знаков). Текст – определение понятия «авто-

матизированная информационная система», перечень компонентов, назначение, цель внедрения, область применения, указание на термин, который использовался раньше. Иными словами, в тексте только конкретика, нет никаких рассуждений, подводящих к формулировке определения, обоснованию состава изучаемого объекта, преимуществам и области использования.

Важно подчеркнуть, что промпт был составлен в общем виде без указания на требуемое количество тестовых заданий, типы заданий, необходимость вывода правильного ответа, количество дистракторов в заданиях с множественным выбором. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента 1 (малый объем текста ~1357 знаков)

Модель	Количество ТЗ	Количество типов ТЗ	Точность	Ключ	Примечания
Deep Seek	9	5	Есть ошибка (1 ТЗ)	Предоставлен	Наибольшее разнообразие, но требует проверки
Qwen3-Max	8	4	Точно	По запросу	Высокая гибкость, предлагает адаптацию, критерии
YandexGPT	9	4	Есть ошибка (1 ТЗ)	Предоставлен	Сопоставимое с другими разнообразие, но требует проверки
Giga Chat	8	2	Точно	Предоставлен	Низкое разнообразие, задания упрощены
GPT-4.1 nano	6	4	Есть ошибка (1 ТЗ)	Предоставлен	Наименьшая полнота, ошибки в логике
Kimi	10	1	Точно	В UI	Интерактивный веб-тест, но один тип заданий

На тексте небольшого объема выявлены следующие особенности моделей. Все модели, кроме Qwen3-Max, выводят ключ. По разнообразию типов тестовых заданий три модели показали сопоставимые результаты. По этому критерию Kimi – явный аутсайдер (1 тип тестовых заданий на выбор одного правильного ответа из 4 вариантов). Но эту модель отличает формат выдачи ответа: веб-приложение с интерактивными тестами. Реализована мгновенная проверка выбранного ответа с визуальной обратной связью. После выбора ответа показывается объяснение правильности, визуализируется прогресс прохождения теста. Итоговая оценка в виде процента правильных ответов. Возможен показ правильных/неправильных ответов с объ-

яснениями, а также повторное прохождение теста.

Qwen3-Max предоставляет возможность адаптации заданий под формат онлайн-тестирования (например, для Moodle, Google Forms и т. д.) или добавить задания более высокого уровня сложности. Предложены критерии оценки результатов тестирования по сформированному набору заданий.

При вводе дополнительного промпта «*добавь задания более высокого уровня сложности*» сформировано по 1 заданию на оценку навыков анализа и интерпретации, сравнительного анализа, критического мышления, синтеза и проектирования, а также кейс-задача. Качественное сегментирование заданий является несомненным преимуществом.

вом модели. Задания требуют развернутый ответ, при этом в вопросе есть указание, какие именно аспекты надо отразить, что также можно отнести к преимуществам модели. Например, задание на сравнительный анализ: «*Сравните понятия «система обработки данных» и «автоматизированная информационная система»*. В ответе укажите:

- исторический контекст появления каждого понятия,
- различия в целях и функциях,
- эволюционную связь между ними».

Предложенные GigaChat формулировки заданий открытой формы с развернутым ответом больше подходят для заданий с мно-

жественным выбором, т.к. требуют перечисления некоторых элементов или свойств объекта, а не формулировки самостоятельных выводов обучающегося на основе анализа изученного материала, как в случае DeepSeek и Qwen.

Для выявления возможностей моделей по обработке текстов большого объема (способность к анализу и обработке контекста, устойчивость к «галлюцинациям») был проведен второй эксперимент. Использовался тот же промпт, но текст из того же учебного пособия содержал чуть больше 37000 знаков. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента 2 (объем исходного текста 37130 знаков)

Модель	Обработан весь текст?	Количество ТЗ	Количество типов ТЗ	Реакция на большой объем
Deep Seek	Да	15	3	Качественно сегментировала задания по типам
Qwen3-Max	Да	18 (база) + 30 (продвинут.)	5	Глубокая аналитическая работа, уточненные ключи
YandexGPT	Нет (~25%)	10+10 на дополнительный промпт	2	"Галлюцинации" и задания, не привязанные к тексту
Giga Chat	Нет (~65%)	10	1	"Тихая" обработка части текста без уведомления
GPT-4.1 nano	Нет (ограничение)	2 части (7+9)	4	Запрос на уточнение, игнорирование указаний в промпте
Kimi	Да	15	1	Ввела уровни сложности и балльную систему

Во втором эксперименте у некоторых нейросетей выявились проблемы работы с большим текстом. Если GPT-4.1 nano проинформировала, что будет обработано 15 тысяч знаков, остальное отброшено, то Giga Chat и YandexGPT обработали только часть текста, не информируя пользователя.

YandexGPT и Kimi представили набор ТЗ с разбивкой на уровни сложности (базовый, средний, продвинутый и «Базовые знания», «Понимание и применение», «Анализ и синтез» соответственно), что является прогрессивной стратегией. Но Kimi предлагает только один тип ТЗ, а YandexGPT продемонстрировала склонность к «галлюцинациям», генерируя задания в рамках предложенной тематики, но не имеющие прямой опоры на предоставленный текст.

Deep Seek и Qwen3-Max показали лучшую способность к анализу большого объема, структурируя вывод. Qwen3-Max, в частности, продемонстрировала «понимание»

нюансов, давая примечания и уточненные ключи. Например, на вопрос «*Какие из перечисленных систем относятся к специализированным автоматизированным информационным системам?*» приводится ключ в соответствии с текстом и добавлено примечание «*ERP — это интегрированная корпоративная система, а не «специализированная» в узком смысле; в тексте они выделены отдельно от специализированных*». В зависимости от сложности ТЗ Qwen3-Max предлагает максимальное количество баллов за правильный ответ и шкалу перевода набранных баллов в традиционную оценку.

#### Обсуждение и выводы

По точности и надежности ни одна модель не оказалась полностью свободна от ошибок или ограничений. Deep Seek и Qwen3-Max — лидеры, но требуют проверки. GPT-4.1 nano и YandexGPT показали низкую надежность.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

По разнообразию и методической корректности Deep Seek и Qwen3-Max — безусловные лидеры. Qwen3-Max также лидер в гибкости и отзывчивости на сложные промпты.

По функциональности вывода: Kimi предлагает уникальное готовое решение «под ключ», а Qwen3-Max — наиболее глубокую интеграцию в учебный процесс (адаптация, критерии).

По работе с объемом модели демонстрируют разные стратегии: от полного игнорирования ограничения (GigaChat, YandexGPT) до глубокого структурированного анализа (Qwen3-Max, Deep Seek).

Таким образом, для генерации разнообразных и сложных заданий с последующей доработкой преподавателем оптимальны Deep Seek и Qwen3-Max. Для быстрого создания простых интерактивных тестов подходит Kimi. Модели Giga Chat, GPT-4.1 nano и YandexGPT в их текущем состоянии показали результаты, недостаточные для уверенного применения в педагогической практике без тщательного и трудоемкого контроля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Избранные вопросы цифровой трансформации образования: Монография. – Москва: ООО "Научно-издательский центр Инфра-М", 2025. – 242 с. – EDN AHFCBS.

2. Гусятников, В.Н. Использование методов искусственного интеллекта для оценки компетенций в ходе тестирования / В.Н. Гусятников, Т.Н. Соколова, А.И. Безруков, И.В. Каюкова // Информатика и образование. – 2023. – Т. 38, № 6. – С. 75-85. – DOI 10.32517/0234-0453-2023-38-6-75-85. – EDN ABPXYT.

3. Гусятников, В.Н. Методика оценки набора компетенций на основе результатов тестирования / В.Н. Гусятников, Т.Н. Соколова, А.И. Безруков,

И.В. Каюкова // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 12. – С. 209-215. – DOI 10.17513/fr.42935. – EDN IHYEON.

4. Искусственный интеллект в образовании: направления применения и ограничения / В.И. Абрамов, А.В. Гриншун, А.В. Елисеев [и др.] // Современная {цифровая} дидактика. – Москва: ООО «А-Приор», 2023. – С. 89-98. – EDN DRHIEQ.

5. Паскова, А.А. Возможности интеграции технологий генеративного искусственного интеллекта в процессы формирующего оценивания в высшем образовании // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 98-109. – DOI 10.47370/2078-1024-2024-16-2-98-109. – EDN PNMTVF.

6. Ортина, Н.А. Использование нейронных сетей в образовании: вызовы и тренды / Н.А. Ортина, В.В. Гриншун // Фундаментальные проблемы обучения математике, информатике и информатизации образования: Сборник тезисов докладов XI международной научно-практической конференции в рамках Международного научно-образовательного форума «Математика. Информатика. Образование», Елец-Владикавказ, 29 июня – 05 2025 года. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2025. – С. 102-105. – EDN OUUDHB.

7. Прикладная информатика: справочник: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и В.Н. Юрьева. – Эл. Изд. – 1 файл pdf: 767 с. М.: Финансы и статистика, 2021. – Текст: электронный.

**Гусятников Виктор Николаевич** – д.ф.-м.н, профессор кафедры Прикладной информатики и моделирования Поволжского института управления – филиала РАНХиГС, тел 88452653692, e-mail: victorgsar@rambler.ru;

**Соколова Татьяна Николаевна** – к.э.н., доцент кафедры Информационного права и цифровых технологий СГЮА, тел 88452299245, e-mail:tnsokol@yandex.ru.

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ RED OC

И. А. Бобров, А. А. Чепуштанов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Приведены указания по использованию операционной системы RED OC для решения задач проектирования и моделирования с использованием различных САПР.

**Ключевые слова:** система автоматизированного проектирования, RED OC, операционная система, КОМПАС-3D, Blender, SprutCAM.

## Введение

Уход иностранных разработчиков программного обеспечения создал для российских пользователей и организаций острую потребность в поиске альтернатив, включая операционные системы. В условиях сокращения доступа к зарубежному ПО отечественные ОС стали востребованы как в частном, так и в государственном секторе. Одним из ключевых критериев для внедрения операционной системы в коммерческих и бюджетных учреждениях является её наличие в Едином реестре российского программного обеспечения. Отечественная операционная система РЕД OC соответствует данному требованию и представляет собой готовое решение для использования в корпоративной и государственной среде.

Целью настоящей работы является проведение аналитического обзора процессов установки и эксплуатации выбранных систем автоматизированного проектирования (САПР) для решения задач проектирования и моделирования в операционной системе RED OC, а также разработка кратких методических рекомендаций для пользователей, не обладающих опытом работы в данной среде.

Для достижения поставленной цели необходимо в рамках работы решить следующие задачи:

- выбрать известные системы автоматизированного проектирования для дальнейшей работы;
- продемонстрировать процесс установки и работоспособность выбранных программ в операционной системе RED OC;
- отметить особенности, выявленные в ходе использования.

## Выбор САПР

В качестве объектов исследования отобраны наиболее востребованные на практике системы автоматизированного проектирования – КОМПАС-3D, Blender и SprutCAM.

Первой в рассматриваемом перечне систем автоматизированного проектирования выступает отечественная разработка – КОМПАС-3D. Она используется для проектирования в широком спектре отраслей: машиностроении (транспортное, сельскохозяйственное, энергетическое, нефтегазовое, химическое и т.д.), приборостроении, авиастроении, судостроении, станкостроении и вагоностроении, в металлургии, строительстве (промышленное и гражданское), в товарах народного потребления и так далее [1].

Blender – это бесплатное приложение с открытым исходным кодом, предназначенное для создания 3D-моделей. Blender поддерживает полный процесс создания 3D-моделей: моделирование, монтаж, анимацию, симуляцию, рендеринг, отслеживание движения и редактирования видео. Программа доступна для работы в операционных системах семейства Linux, macOS и Windows с помощью OpenGL [2].

SprutCAM представляет собой современную полнофункциональную САМ-систему, которая используется для разработки управляющих программ для обработки деталей различной сложности на фрезерных, токарных, резущих станках, роботах, токарно-фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ с количеством непрерывных осей до 5 и электроэрозионных станках с 2-х и 4-х координатной обработкой. SprutCAM используется при изготовлении штампов, пресс-форм, литейных форм, прототипов изделий, мастер-моделей, деталей машин и конструкций, ори-

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ RED ОС

гинальных изделий, шаблонов; при гравировке и вырезке надписей и изображений [3].

## Особенности установки и использования КОМПАС-3Д

На текущий день эксплуатация системы КОМПАС-3Д в операционной системе RED ОС возможна исключительно посредством приложения WINE@Etersoft. Данное решение обеспечивает запуск программ, изначально разработанных для операционных систем семейства Windows, в среде Linux-дистрибутивов [2].

Перед инсталляцией КОМПАС-3Д следует установить программу Wine. Руководство по установке Wine находится на официальном сайте программного обеспечения RED ОС. Процесс установки описан полностью, каких-либо проблем при установке обнаружено не было. Приложения, работающие через Wine, не требуют отдельного запуска данной программы, так как её запуск происходит автоматически при включении приложений.

Инструкция по установке программы КОМПАС-3Д представлена в Базе знаний RED ОС, которая находится на официальном сайте операционной системы. Процесс установки описан подробно, но при реальной инсталляции было выявлено одно отличие: в Базе знаний сказано о том, что дистрибутив программы должен находиться внутри ZIP-архива и для того, чтобы его распаковать, нужно использовать команду unzip, после чего можно будет начать установку. В реальности же, пользователь скачивает с официального сайта не архив, а ISO-образ, для извлечения данных, из которого требуется команда mount, а не unzip. Не считая способа извлечения файлов для установки, информация из Базы знаний соответствует действительности и установка производится с помощью программы Wine.

После установки программа будет доступна для запуска из двух мест: из «Главного меню» (аналог меню «Пуск» в Windows) – «Wine» – «КОМПАС-3Д», а также, на рабочем столе появится соответствующий ярлык. В рамках обзора использовалась актуальная на данный момент учебная версия КОМПАС-3Д v24.

Весь функционал, представленный в приложении, является рабочим, ограничений по работоспособности, связанных с операционной системой не обнаружено. Чертежи, 3D-модели деталей, а также остальные файлы доступны для создания, редактирования и удаления. Также, присутствует возможность

создания и редактирования файлов формата .DWG.

## Особенности установки и использования приложения Blender

Операционная система RED ОС официально поддерживает установку Blender. Информация по её установке также есть в Базе знаний RED ОС.

Blender можно установить тремя различными способами: через терминал, через графический менеджер пакетов dnfdragora (данные способы описаны в Базе знаний), а также с помощью модуля «ПО для образовательного процесса».

Установка Blender с помощью терминала представляет собой последовательный ввод команд в терминал операционной системы. Данный способ полностью соответствует руководству, представленному в Базе знаний, а установка не занимает много времени.

Инсталляция программы с помощью менеджера пакетов dnfdragora происходит следующим образом. Для начала нужно открыть графический менеджер, найти его можно перейдя в «Главное меню» - «Администрирование» - «Управление программами dnfdragora». В менеджере необходимо выполнить поиск нужного пакета по ключевому слову «blender», после чего отметить флагом пакет последней доступной версии и нажать кнопку «Применить». Установка начнется автоматически, останется лишь дождаться её завершения.

Также, есть другой способ установки Blender – с помощью модуля «ПО для образовательного процесса». Данный модуль устанавливается автоматически при инсталляции операционной системы и представляет собой магазин бесплатных приложений. Для установки Blender этим способом нужно открыть «Главное меню», перейти в раздел «Образовательные» и выбрать в нем пункт «ПО для образовательного процесса». Внутри модуля «ПО для образовательного процесса» нужно зайти в раздел с программой Blender и нажать кнопку «Установить».

Независимо от выбранного метода установки, по завершении процесса инсталляции приложение становится доступным для запуска через раздел «Главное меню» → «Графика».

После первого запуска Blender появится стандартное окно настройки, где можно изменить язык, цветовую тему, назначить горячие клавиши, а также ряд других функций. По завершении настройки пользователю будут доступны все функции приложения. В Базе

знаний RED ОС, помимо информации об установке, содержится достаточно обучающего материала по работе в Blender. Стоит упомянуть, что данные сведения могут быть полезны для новых пользователей, которые не пользовались этим приложением ранее.

Пользователи RED ОС могут воспользоваться предложенным инструментарием в полной мере, программа работает стабильно. Если конфигурация ПК будет соответствовать рекомендованным системным требованиям (8-ядерный процессор, 32 ГБ оперативной памяти, 8 ГБ видеопамяти), пользователю RED ОС будет обеспечена стабильная и удобная работа в Blender [2].

#### **Особенности установки и использования SprutCAM**

На официальном сайте разработчика СПРУТ-Технология, программа SprutCAM доступна для установки только на операционных системах Windows, отдельной версии для ОС семейства Linux не представлено. В связи с этим, для установки данной программы, нужно использовать приложение Wine, как и в случае с САПР КОМПАС-3D.

Так как в Базе знаний RED ОС нет руководства по установке SprutCAM, нужно следовать общим правилам установки приложений с использованием дистрибутивов с расширением .exe. Сначала нужно скачать дистрибутив приложения с официального сайта СПРУТ-Технология и запустить его через терминал с помощью программы Wine.

Интерфейс установки идентичен интерфейсу для Windows, процесс инсталляции содержит в себе стандартные шаги с выбором директории для установки и подбором модулей, которые нужно загрузить. После завершения установки на экране появляется информационное окно, а также на рабочем столе создается ярлык приложения SprutCAM.

При обзоре использовалась ознакомительная лицензия, последняя версия программы SprutCAM 19. При запуске программы, сначала открывается менеджер лицензий SprutCAM, в котором нужно активировать лицензию, после чего она будет доступна на

протяжении 30 дней. При попытке активации лицензии возникала ошибка, из-за которой активировать лицензию не получалось, в связи с этим, запустить SprutCAM не удалось.

После неудачной попытки запуска, был сделан запрос в техническую поддержку SprutCAM, от которой поступила информация о том, что для использования на операционных системах семейства Linux, нужно использовать сетевую лицензию программы, дистрибутив которой выдается только для организаций. Для личного пользования и учебных целей нужно использовать ОС Windows, альтернатив нет.

#### **Заключение и выводы**

RED ОС представляет собой работоспособную альтернативу иностранным операционным системам в сфере проектирования и моделирования приборов. Проведенный анализ подтверждает совместимость с данной ОС выбранных САПР, хоть и с некоторыми допущениями. Следует подчеркнуть, что RED ОС является официально поддерживаемой платформой, которая регулярно получает обновления и совершенствуется, благодаря чему составляет достойную конкуренцию зарубежным продуктам.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. КОМПАС-3D: Официальный сайт программного обеспечения КОМПАС: сайт: URL: <https://kompas.ru> (дата обращения: 13.11.2025).
2. Blender – это бесплатное программное обеспечение: сайт: URL: <https://www.blender.org/> (дата обращения: 13.11.2025).
3. Официальный сайт разработчика СПРУТ-Технология: сайт: URL: <https://sprut.ru/> (дата обращения: 13.11.2025).

**Чепуштанов Александр Александрович** – к.т.н, доцент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(3852)290913, e-mail: a.a.che2017@mail.ru;

**Бобров Илья Антонович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(9833)916044, e-mail: ibobrov1109@gmail.com.

УДК 681.5.08:004.42

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ЗЕРНОВОГО ПОТОКА

**В. С. Афонин, А. Н. Чубов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

*В процессе работы проводились разработка и сравнение архитектур нейронных сетей (MLP и Conv1D) для анализа спектрограмм сигналов. В результате был разработан алгоритм комбинирования спектров, интегрирующий математические методы и нейросетевую модель Conv1D, показавшую точность 95%.*

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, машинное обучение, емкостный преобразователь, анализ измерительного сигнала, состав зернового потока.

### Введение

Использование возможностей анализа массивов данных с помощью искусственных нейронных сетей позволяет достичь высоких результатов в самых различных областях жизни человека. В частности, обнаружение определенных паттернов в измерительных сигналах позволяет проектировать адаптивные измерительные приборы, работающие в условиях влияния на точность результатов большого числа факторов [1]. Примером задачи, где нужно учитывать совокупность многих параметров измерительного сигнала, является определение концентрации засорителя в зерновом потоке [2]. В результате на сегодняшний день для определения сорности пшеницы применяют традиционные методы определения сорности, регламентированные ГОСТ [3, 4], такие как визуальное и ручное сортирование, обладающих низкой скоростью определения и невозможностью интеграции в системы автоматизированного контроля технологических процессов.

Перспективным направлением является использование бесконтактных методов контроля, в частности, емкостных методов [2,5]. Большим недостатком использования емкостных преобразователей (ЕП) является влияния на измерительный сигнал множества факторов, таких как влажность контролируемых материалов, температура, распределение материала в чувствительной зоне ЕП, скорость движения и др.

Целью работы является исследование возможностей применения искусственных нейронных сетей для анализа измерительного сигнала ёмкостного преобразователя.

В основе задачи лежит информация о том, что при расположении электродов преобразователя в плоскости направляющей, по

которой самотеком просыпается контролируемый материал (зерновой поток), каждая частица потока, попадая в чувствительную зону, приводит к изменению электрической емкости датчика и генерации соответствующего сигнала [2]. Характеристики такого сигнала (амплитуды частотных составляющих) тесно связаны с размером частиц, их скоростью, диэлектрической проницаемостью (влажностью), размером чувствительной зоны, взаимным расположением. Поток разнородных частиц формирует сложный, шумоподобный сигнал, содержащий информацию о его составе.

В данной работе будет использоваться двухкомпонентная смесь с различным размером частиц. Размер частицы засорителя больше зерна пшеницы в 2 раза.

Измерительный сигнал после преобразования в цифровой код с помощью АЦП представляет собой числовой массив с мгновенными значениями сигналов с трех датчиков. Частота дискретизации существенно превышала самые быстрые информативные процессы, происходящие в измерительной системе. Прежде чем числовой массив будет передан искусственной нейронной сети, он проходит несколько этапов предобработки:

1. Сигнал разделяется на фреймы.

2. К каждому фрейму применяется Быстрое Преобразование Фурье (FFT) для перехода в частотную область.

3. Сглаживание спектра. Для подавления шума применялось сглаживание спектра методом скользящего среднего с заданным размером окна.

Важным вопросом является выбор длины фрейма. Длина фрейма определяет, как данные будут представлены нейросети. Слишком короткие фреймы могут упустить

важные динамические характеристики сигнала, в то время как слишком длинные фреймы могут содержать избыточную информацию, что может затруднить обучение модели и сделать ее менее эффективной. Длина фрейма должна быть достаточной, чтобы захватить необходимый контекст для принятия решений. Вопрос выбора длины фрейма был решен экспериментальным путем. Данные экспериментов отображены в таблице 1. Дальнейшее увеличение фрейма не позволяет увеличить точность, но повышает объем вычислений.

Таблица 1 – Точность нейросети при разной длине фрейма

Длина фрейма	Точность
100	38%
500	47%
1000	56%
1500	60%
2000	77%
2500	84%
3000	92%

На этапе сглаживания спектра устраняются шумы, присутствующие в аппаратной части системы, а также вызванные случайными процессами. Для сглаживания используются различные методы, включающие в себя скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание, фильтры низких частот, wavelet-сглаживание и фильтр Калмана. Воспользуемся методом скользящего среднего, который является одним из наиболее простых и понятных. Применение скользящего среднего к спектрам может помочь уменьшить шум и сделать частотные компоненты более различимыми. Однако при выборе размера окна для скользящего среднего важно учитывать баланс между сглаживанием шума и сохранением важных частотных особенностей сигнала. На рисунке 1 изображены результаты сглаживания с разными размерами окон.

Для определения концентрации засорителя зернового потока будет достаточно, если нейросеть будет выполнять классификацию фрейма сигнала. В данной работе использовалось 6 классов (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%) и было реализовано 2 модели нейронной сети:

- многослойный персепtron (MLP) – полносвязная сеть с одним скрытым слоем;
- одномерная сверточная сеть (Conv1D).



Рисунок 1 – Сглаживание спектра с различными размерами окон

Таблица 2 – Сравнительная точность моделей MLP и Conv1D

Архитектура	Длина фрейма	Сглаживание	Точность
MLP (классификация)	3000	5	93
Conv1D	3000	5	95
MLP (Регрессия)	3000	5	85

MLP представляет собой нейронную сеть, состоящую из нескольких слоев нейронов, каждый из которых связан с нейронами предыдущего и последующего слоев. Conv1D (одномерная сверточная нейронная сеть) – это тип нейронной сети, который обычно используется для обработки последовательных данных, таких как временные ряды, тексты или сигналы. В отличие от многослойного персептрана (MLP), который был описан ранее, Conv1D использует операцию свертки

пользуется для обработки последовательных данных, таких как временные ряды, тексты или сигналы. В отличие от многослойного персептрана (MLP), который был описан ранее, Conv1D использует операцию свертки

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ЗЕРНОВОГО ПОТОКА

для извлечения признаков из входных данных.

Обучение и тестирование проводилось на датасете, собранном в лабораторных условиях. Смесь зерна с известной концентрацией засорителя просыпалась через датчик, и записывались сигналы.

## Обсуждение и выводы

Наилучшие результаты показала модель Conv1D, что объясняется ее способностью эффективно выявлять локальные пространственные зависимости в спектрограммах. Результаты тестирования представлены в Таблице 2.

Модель Conv1D показала высокий F1-Score (> 92 %) для всех классов, что свидетельствует о сбалансированности точности и полноты её предсказаний. Модели на основе деревьев решений и регрессионная Conv1D показали неудовлетворительные результаты (точность ~65% и ~63% соответственно).

Результаты исследования показали, что использование нейронных сетей и методов машинного обучения для анализа данных о гранулометрическом составе позволяет выполнять контроль за показателем сорности зерна. Применение ёмкостных преобразователей и последующий анализ данных с помощью машинного обучения открывает новые возможности для автоматизации и улучшения качества производственных процессов в агропромышленном секторе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисовский, В.С. Адаптивный алгоритм коррекции погрешности динамических измерений / В.С. Лисовский, А.С. Волосников // Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации, Уфа, 19–20 сентября 2019 года /

Материалы II Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГАТ, 2019. – С. 370-375.

2. Исследование геометрических параметров ёмкостного преобразователя для контроля сыпучих материалов / В.С. Афонин, А.Н. Чубов, Н.А. Пушкин, Е.С. Кранин // Ползуновский альманах. – 2024. – № 4. – С. 39-43.

3. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия: межгосударственный стандарт: введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2018 г.: разработан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки». – Москва: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

4. ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей: межгосударственный стандарт: введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 июля 1998 г.: разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом зерна и продуктов его переработки (ВНИИЗ), Межгосударственным техническим комитетом МТК № 2. – Москва: Стандартинформ, 2009. –19 с.– URL: [https://www.testprom.ru/img\\_user/gosts/65/120/gost\\_30483-97.pdf?ysclid=1ontxn68fw752986923](https://www.testprom.ru/img_user/gosts/65/120/gost_30483-97.pdf?ysclid=1ontxn68fw752986923) (дата обращения: 07.11.2023). –Текст: электронный.

5. Джежора, А.А. Электроемкостные методы и средства контроля в современных технологиях / А.А. Джежора, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко // Перспективные материалы и технологии : Монография. В 2-х томах / Под редакцией В.В. Клубовича. Том 1. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2017. – С. 17-40.

**Афонин Вячеслав Сергеевич** – к.т.н, доцент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова», тел 8-913-225-57-70, e-mail: afonin\_vs@mail.ru;

**Чубов Александр Николаевич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова», тел.:8-962-795-00-86, e-mail:chubov\_an@mail.ru.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОЗДНЕГО СЛИЯНИЯ ПРИЗНАКОВ В СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ

А. А. Пилецкий, С. П. Пронин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

*В статье рассмотрено усовершенствование архитектуры сверточной нейронной сети для прогнозирования урожайности семян пшеницы путем использования метода позднего введения признаков. Он позволяет добавлять признаки любого вида в любое место архитектуры. В существующей нейронной сети изменен входной слой и признаки, обозначающие концентрации калия и натрия в растворе зерна, перенесены в конечные полносвязанные слои, сосредоточив сверточные слои на выделении общих признаков.*

**Ключевые слова:** зерно пшеницы, сверточная нейронная сеть, метод позднего введения признаков, keras, tensorflow, python.

В статье [1] рассматривалось создание сверточной нейронной сети для прогнозирования урожайности семян пшеницы. Данная архитектура включала в себя множество сверточных ResNet блоков и конечные полносвязанные слои. Однако существовала особенность, осложнявшая корректное распознавание и обработку признаков: во входном слое присутствовали дополнительные измерения — концентрации калия и натрия в растворе для проращивания семян пшеницы.

Так как сверточный слой представляет собой матрицу, необходимо было выполнить передачу признаков о концентрации через этот слой. Результат достигался путем заполнения двух слоев матрицы константными значениями — концентрацией калия и натрия. Таким образом, каждый из двух слоев матрицы представлял собой набор одинаковых значений. Такая конфигурация сообщала внутренним слоям о наличии двух дополнительных параметров во входном сигнале.

Нейронная сеть принимала три параметра:

- результат Вейвлет-преобразования от исходного сигнала;
- численное значение концентрации калия;

– численное значение концентрации натрия.

Поскольку два последних параметра являются константами для каждого сигнала, их было решено исключить из входного слоя и перенести в полносвязанные слои. Такая процедура позволяет сверточной части сконцентрироваться на выделении признаков из сигнала, а полносвязной — на объединении этих признаков с параметрами концентраций. Данный подход известен как метод позднего слияния признаков.

Для реализации метода, в существующей версии нейронной сети были произведены следующие изменения:

- входной слой сделан двухмерным, в который осуществляется ввод только результат вейвлет преобразования;
- увеличено количество фильтров в сверточных слоях для более глубокого распознавания признаков;
- увеличены размерности полносвязанного слоя;
- на выход сверточной части добавлено объединение результатов с внешними параметрами, представляющими концентрацию калия и натрия в растворе проращивания.

Остальные параметры сети не менялись. Схематическая архитектура сверточной нейронной сети представлена на рисунке 1.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОЗДНЕГО СЛИЯНИЯ ПРИЗНАКОВ  
В СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
УРОЖАЙНОСТИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ**

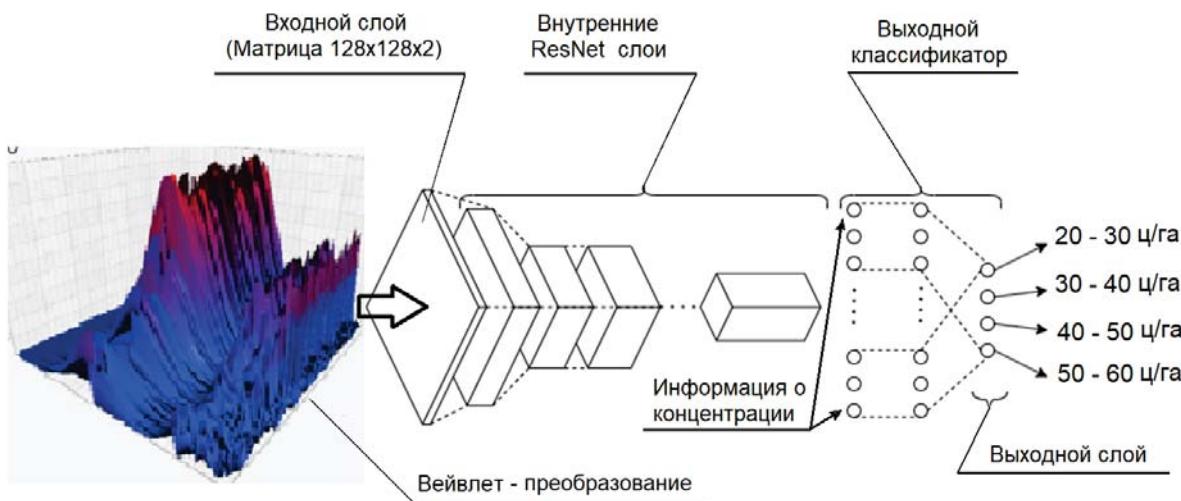


Рисунок 1 – Схематическая архитектура сверточной нейронной сети после изменений

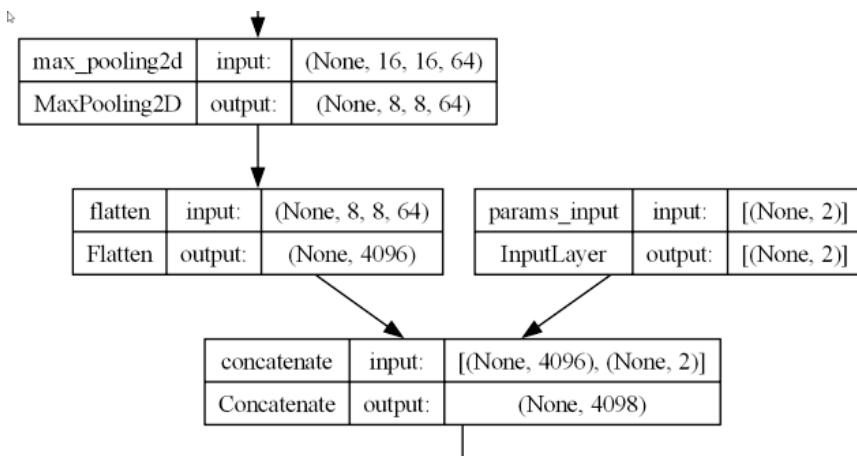


Рисунок 2 – Фрагмент архитектуры с вводом параметров в полно связные слои

Архитектура нейронной сети собрана программно с помощью библиотеки keras на языке python [2]. Ввод новых параметров выполнен через функцию Concatenate со слоем ParamsInput. Функция сборки архитектуры представлена на листинге 1.

Листинг 1 – Фрагмент функции сборки архитектуры сверточной нейронной сети

```
@staticmethod
def build(
    blocks_configuration: list,
    input_shape=(256, 256, 2),
    input_filters=64,
    dense_configuration=(4, ),
    params_input_shape=None
) -> 'ResNetModel':
```

```
inputs = Input(shape=input_shape)
if params_input_shape is not None:
    params_input = Input(shape=params_input_shape,
                         name='params_input')
else:
    params_input = None
...
t = MaxPooling2D(2)(t)
t = Flatten()(t)
if params_input is not None:
    t = Concatenate()([t, params_input])
for num in dense_configuration:
    t = Dense(num, activation='softmax')(t)
outputs = t
if params_input is not None:
    model = Model(inputs=[inputs, params_input], outputs=outputs)
```

```

else:
    model = Model(inputs=inputs, outputs=outputs)
model.compile(
    optimizer='adam',
    loss='categorical_crossentropy',
    metrics=['mae']
)
return ResNetModel(model)

```

Фрагмент реальной архитектуры с введенными параметрами показан на рисунке 2.

Для обучения новой архитектуры использовались те же данные, как и в статье [1]. Примененный подход позволяет сравнить две архитектуры между собой. Аналогично выполнялась подготовка данных:

- размножение сигналов путем введения случайного шума;
- Вейвлет-преобразование всех массивов полученных экспериментальных данных.

При обучении был выделен набор данных для обучения и тестирования с помощью библиотеки keras. Это позволяет более точно контролировать процесс и стабильность обучения сети. График обучения представлен на рисунке 3.

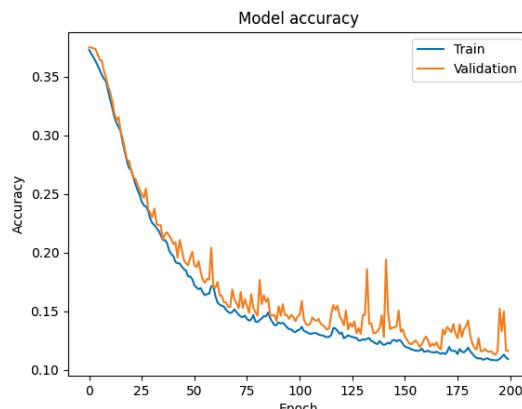


Рисунок 3 – График изменения ошибки при обучении нейронной сети

На графике отображены два графика изменения ошибки при обучении нейронной сети: синий – для данных обучения, оранжевый – для данных тестирования. По графикам видно, что сеть стабильно и быстро обучается на представленных сигналах. Таким образом, можно сделать вывод, что новая архитектура подходит для выделения признаков из исходных сигналов.

При определении процентного соотношения верного прогнозирования урожайности получены следующие результаты (Таблица 1).

Таблица 1 – Точность прогнозирования урожайности на экспериментальных сигналах

Сорт	Площадь поля (Га)	Урожайность (Ц/Га)	Верных предсказаний
Омская28	105	25.7	98.65%
Омская28	263	39.1	96.76%
Буран	117	41	98.12%
Буран	384	50.5	99.66%

Из таблицы видно, что нейронная сеть способна успешно прогнозировать урожайность представленных сортов пшеницы после обучения.

#### Вывод

Для повышения качества прогнозирования урожайности семян пшеницы была модифицирована архитектура сверточной нейронной сети путем использования метода позднего слияния признаков. Модификация дала положительный эффект. Новая архитектура показала очень высокие результаты в прогнозировании. Получено подтверждение гипотезы о том, что в биоэлектрическом сигнале содержится большое количество признаков, которые могут выделяться сверточными слоями без привязки к конкретной концентрации раствора. Это позволило перенести параметры концентрации к полносвязному слою с увеличением точности сети.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронин, С.П. Интеллектуальная оценка урожайности пшеницы по вариабельному потенциалу семян / С.П. Пронин, А.Г. Зрюмова, А.А. Пилецкий, В.И. Беляев // Инженерные технологии и системы. – 2025. – Т. 35. – №3. – С. 443-464. doi: 10.15507/2658-4123.035.202503.443-464

2. Keras: Deep Learning for humans // Keras URL: <https://keras.io> (дата обращения: 02.11.2025).

**Пилецкий Александр Андреевич** – аспирант кафедры ИТ АлтГТУ, e-mail: ap10111997.alex@yandex.ru;

**Пронин Сергей Петрович** – профессор кафедры ИТ АлтГТУ, e-mail: sppronin@mail.ru.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Д. Д. Машкин, С. П. Пронин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Приведен систематический обзор современных методов измерения мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе. Рассмотрены физические принципы работы, аналитические возможности и рабочие диапазоны измерения размеров частиц для различных методов и средств. Проанализированы преимущества и ограничения различных подходов, включая методы бета-поглощения, лазерной дифрактометрии, фотоакустической спектроскопии и аэрозольной спектрометрии времени полета. Особое внимание уделено перспективным гибридным методам, сочетающим различные принципы измерений для повышения точности и селективности анализа. Обсуждаются тенденции развития методов контроля загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами.

**Ключевые слова:** взвешенные частицы, измерение, концентрация, гравиметрический метод, лазерная дифрактометрия, бета-поглощение, фотоакустическая спектроскопия, аэрозольный спектрометр, гибридные методы, мониторинг атмосферного воздуха.

### Введение

Контроль содержания взвешенных частиц в атмосферном воздухе регламентируется метрологическими стандартами, такими как ГОСТ 8.606-2012, который устанавливает государственную поверочную схему для средств измерений дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов [1]. Согласно этому документу, средства измерения можно классифицировать по методам, среди которых наибольшее распространение получили методы на основе дифракции лазерного излучения, дифференциальной электрической подвижности и диффузионной спектрометрии.

В последние годы наблюдается стремительное развитие оптических, в частности лазерных, методов, позволяющих проводить измерения в реальном времени с высоким временным разрешением [2]. Широкий ценовой диапазон приборов — от недорогих бытовых сенсоров до сложных исследовательских спектрометров обуславливает их применение как в распределенных сетях мониторинга, так и в научных исследованиях для решения задач экологического контроля, оценки рисков для здоровья и изучения климатических эффектов аэрозолей [3].

### Гравиметрический метод

Данный метод признан эталонным для калибровки всех автоматических систем [4]. Принцип действия заключается в отборе пробы воздуха с заданным расходом через

фильтр-носитель с последующим взвешиванием фильтра до и после отбора в контролируемых условиях температуры и влажности. Концентрация частиц рассчитывается по разнице масс, объему пропущенного воздуха и времени отбора.

Метод позволяет определять размеры частиц до 2,5 мкм, обозначаемые как фракция  $PM_{2,5}$ , размеры частиц до 10 мкм, обозначаемые как фракция  $PM_{10}$  и TSP (взвешенные частицы) путем использования селективных входных устройств (импакторов, циклонов). Аналитические возможности включают высокую точность и возможность последующего химического анализа состава частиц (например, методом ИСП-МС, хромато-масс-спектрометрии). Главный недостаток — неоперативность получения результата, трудоемкость и невозможность наблюдения за динамикой процессов в реальном времени. Ярким примером усовершенствованного подхода, сочетающего гравиметрию с последующим анализом, является методика, описанная в Методических указаниях МУ по измерению размеров частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ , где после осаждения на фильтр частицы ресуспенсионируют в жидкой среде (1,4-диоксан и дистиллированная вода) для последующего измерения методом лазерной дифракции, что, однако, остается трудоемким процессом [5].

### Метод бета-поглощения (Beta Attenuation Monitor, BAM)

Широко распространенный метод для сетевого мониторинга  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  представлен на рисунке 1[6]. Принцип действия основан на ослаблении интенсивности бета-излучения при прохождении через фильтровальную ленту с осажденными частицами. Ослабление сигнала пропорционально массе накопленных частиц согласно закону Бугера-Ламберта-Бера.

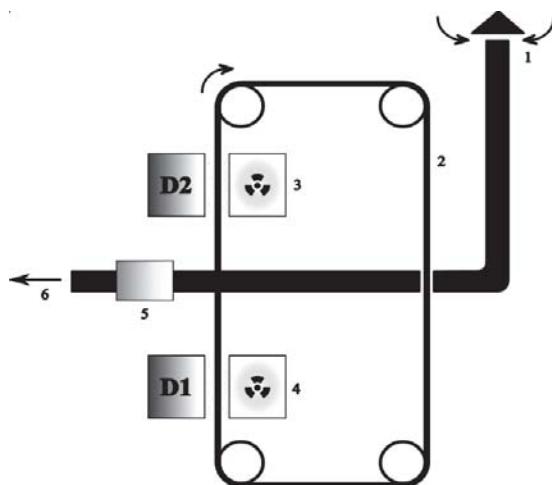


Рисунок 1 – Схема монитора бета-поглощения (BAM). Детектор позволяет оценить совокупную массовую концентрацию взвешенных твердых частиц (ТЧ) в окружающем воздухе. Обозначение: 1 – воздухозаборник; 2 – велосипедная лента; 3 и 4 – источники бета-излучения; D1 и D2 – детекторы бета-излучения; 5 – воздушный насос; 6 – вытяжка воздуха

Типичный диапазон измеряемых концентраций – от 0 до 1000–5000  $\mu\text{г}/\text{м}^3$  для  $PM_{2,5}/PM_{10}$ . Преимуществами приборов являются надежность и минимальное обслуживание, что обуславливает их широкое использование в государственных сетях мониторинга. Однако на точность могут влиять влажность пробы и химический состав частиц [7].

### Метод ослабления излучения (Tapered Element Oscillating Microbalance, TEOM)

Ранее указанный стандарт представлял «золотой стандарт» автоматического мониторинга, теперь он все чаще дополняется другими методами [8]. Принцип действия основан на измерении изменения резонансной частоты колеблющегося консольного элемента, на котором закреплен фильтр с осаждающимися частицами. Изменение частоты находится в

прямой пропорциональной зависимости от массы осажденных частиц. Диапазон работы аналогичен методу бета-поглощения (0–1000  $\mu\text{г}/\text{м}^3$  и выше). Преимущества включают высокую чувствительность и временное разрешение. Недостатком является необходимость нагрева пробы (обычно до 50°C) для удаления влаги, что может приводить к потере летучих компонентов (нитратов, органических соединений) и занижению результатов [9].

### Лазерная дифрактометрия и счетчики на рассеянии света

Данные приборы позволяют измерять не только массовую концентрацию, но и размерное распределение частиц в реальном времени, что является их ключевым преимуществом [10]. Принцип действия основан на теории Ми: частица, проходящая через сфокусированный лазерный луч, рассеивает свет, причем интенсивность и угол рассеяния функционально связаны с размером частицы. Массовая концентрация вычисляется путем пересчета количества частиц в заданных размерных каналах в массу, исходя из предположения о сферической форме и плотности частиц.

Примеры устройств, основанных на этом принципе, широко представлены на рынке. К отечественным разработкам относится анализатор взвешенных частиц «МЕТИДА-PM», принцип действия которого основан на регистрации интенсивности рассеянного частицами лазерного излучения (длина волны 670 нм) [12]. Прибор обеспечивает измерение массовой концентрации в диапазоне от 0,01 до 100  $\text{мг}/\text{м}^3$  и регистрирует частицы размерами от 0,2 до 40 мкм. Другим примером является отечественный прибор «Борей-PM», который по рассеянному излучению определяет количество, размер (в интервале от 0,2 до 40 мкм) и распределение частиц, рассчитывая массовые концентрации TSP,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и  $PM_{1,0}$  с учетом плотности, определяемой гравиметрическим методом [12]. На международной арене широко используются такие приборы, как Grimm 11-D, OPS (Optical Particle Sizer) TSI 3330 и DustTrak DRX TSI 8533EP, которые применяются, в частности, на Станции наблюдения за аэрозолями (AEROS) [13]. Эти приборы работают по принципу одночастичного упругого рассеяния света, обеспечивая измерение концентрации и распределения частиц по размерам в диапазоне от 0,25 до 35,15 мкм (Grimm 11-D) или от 0,3 до 10 мкм (OPS). Калибровка таких устройств часто проводится с использованием монодисперсных частиц полистиролового

латекса (PSL), а расчет массы основан на допущениях о плотности и показателе преломления материала частиц, что может вносить погрешность [14].

Диапазон работы типичных оптических счетчиков частиц составляет от 0.1–0.3 мкм до 10–40 мкм. Преимущества включают высокое временное разрешение (секунды–минуты) и получение детального размерного распределения. Главный недостаток — косвенное определение массы, зависящее от принятых допущений о форме, плотности и оптических свойствах частиц, что может приводить к значительным погрешностям, особенно для несферических или абсорбирующих частиц [15].

#### Аэрозольный спектрометр времени полета (Time-of-Flight Aerosol Spectrometer)

Это более сложная и точная разновидность оптического счетчика [16]. Принцип действия сочетает оптическое детектирование и ускорение частиц в аэродинамическом сопле. Частица проходит через два сфокусированных лазерных луча, расположенных на известном расстоянии друг от друга. По времени полета между лучами определяется аэродинамический диаметр частицы, который является фундаментальной характеристикой, не зависящей от оптических свойств и формы. Интенсивность светового рассеяния используется для дополнительной классификации.

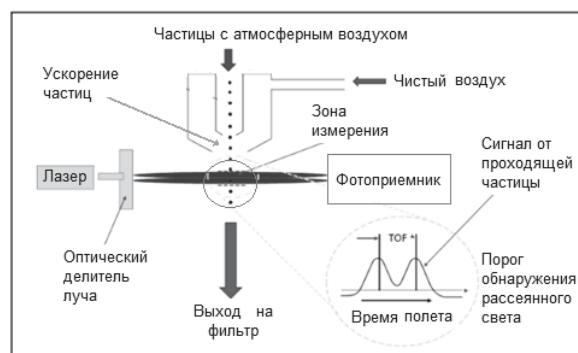


Рисунок 2 – Схема анализатора TOF на основе аэрозольного спектрометра APS

Диапазон измерений охватывает аэродинамический диаметр от ~0.3–0.5 до 20 мкм. Преимущества и недостатки: прямое измерение аэродинамического диаметра делает метод более точным по сравнению со стандартной лазерной дифрактометрией, особенно для несферических частиц. Приборы сложны и дороги, но являются эталонными для исследований размерного распределения [17].

#### Метод фотоакустической спектроскопии

Один из наиболее чувствительных методов, особенно для измерения эквивалента черного углерода (Black Carbon, BC) [18]. Принцип действия заключается в том, что частицы, в основном сажевые, осаждаются на фильтре или в проточной ячейке и облучаются модулированным лазерным светом. Поглощая излучение, частицы нагреваются и передают тепло окружающему газу, вызывая его периодическое расширение и создавая акустическую волну. Амплитуда этой волны, регистрируемая высокочувствительным микрофоном, прямо пропорциональна массе поглощающего вещества. Диапазон работы охватывает чрезвычайно низкие концентрации, до долей мкг/м<sup>3</sup>. Преимущества и недостатки: высокая селективность и чувствительность к светопоглощающим аэрозолям. Минимизированы помехи от несветопоглощающих компонентов. Используется в передовых научных исследованиях [19].

#### Комбинация методов (Гибридные приборы)

Современный тренд – объединение нескольких методов в одном приборе для получения комплексной информации [20]. Перспективным направлением является создание устройств, сочетающих различные принципы для повышения точности и селективности. Примером такого подхода является недорогой монитор AMOD (Aerosol Mass and Optical Depth sampler), описанный в работе Wendt et al. (2019). Этот прибор одновременно измеряет массу PM<sub>2,5</sub> с помощью недорогого датчика рассеяния света в сочетании с гравиметрическим фильтром и определяет оптическую толщину аэрозоля (AOD) с помощью оптически отфильтрованных фотодиодов на четырех дискретных длинах волн. Подобные гибридные системы позволяют проводить взаимную верификацию данных и получать более полную информацию о свойствах аэрозолей. Другим примером являются приборы, сочетающие оптическое детектирование для подсчета и сортировки по размеру, нагревательные элементы для ступенчатой термодесорбции (для разделения нелетучего ядра и летучего покрытия) и фотоакустический детектор для измерения поглощения. Такие системы позволяют различать "чистый" черный углерод и частицы, покрытые прозрачными оболочками (сульфаты, нитраты, органические вещества).

### Заключение

Арсенал методов измерения мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе непрерывно развивается, смещаая фокус с простого определения массовой концентрации в сторону детального анализа размерного распределения, химического состава и физико-химических свойств в реальном времени [21]. Если гравиметрия остается законодателем в области точных калибровочных измерений, а методы бета-поглощения и ТЕОМ – основой оперативных сетей мониторинга, то будущее за гибридными приборами и высокоселективными методами, такими как аэрозольная спектрометрия на лету и фотоакустическая спектроскопия. Интеграция данных, полученных различными методами, от недорогих сенсоров, подобных датчику Honeywell или бытовым мониторам, до сложных стационарных анализаторов, таких как «МЕТИДА-PM» или Grimm 11-D, позволяет строить более точные модели распространения и трансформации аэрозолей, а также адекватно оценивать риски для здоровья населения и окружающей среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.606-2012. Государственная поверочная схема для средств измерений дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов.
2. Завалин И. Лазерный датчик наличия взвешенных частиц в воздухе / И. Завалин. – Текст: электронный // Control Engineering Россия. – 2018. – №2(74). - С.22 - 23.
3. Ardon-Dryer, K., Kelley, M. C., Xueting, X., and Dryer, Y.: The Aerosol Research Observation Station (AEROS), Atmos. Meas. Tech., 15, 2345-2360, 2022.
4. Brauer, M. et al. Ambient Air Pollution Exposure Estimation for the Global Burden of Disease 2013. Environ. Sci. Technol. 50, 79-88 (2016).
5. Измерение массовой концентрации мелкодисперсных частиц PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> в атмосферном воздухе с использованием метода лазерной дифракции: Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. – 14 с.
6. Van Donkelaar, A. et al. Global Estimates of Ambient Fine Particulate Matter Concentrations from Satellite-Based Aerosol Optical Depth: Development and Application. Environ. Health Perspect. 118, 847-855 (2010).
7. Snider, G. et al. SPARTAN: a global network to evaluate and enhance satellite-based estimates of ground-level particulate matter for global health applications. Atmos. Meas. Tech. 8, 505-521 (2015).
8. Pope, C. A. & Dockery, D. W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. J. Air Waste Manag. Assoc. 56, 709-742 (2006).
9. Nel, A. Air pollution-related illness: effects of particles. Science 308, 804-806 (2005).
10. Masic, A. et al. Evaluation of optical particulate matter sensors under realistic conditions of strong and mild urban pollution. Atmos. Meas. Tech. 13, 6427-6443 (2020).
11. Описание типа средств измерений. Анализаторы взвешенных частиц в атмосферном воздухе автоматические «МЕТИДА-PM». Приложение к приказу Росстандарта от 07.10.2020 № 1681.
12. Анализатор взвешенных частиц в атмосферном воздухе автоматический "Борей РМ". Руководство по эксплуатации СНМК.413316.001 РЭ.
13. Ardon-Dryer, K. et al. Measurements from the Aerosol Research Observation Station (AEROS). Atmos. Meas. Tech. 15, 2345-2360 (2022).
14. Vasilatou, K. et al. Calibration of optical particle size spectrometers against a reference instrument: A data analysis approach. Atmos. Meas. Tech. 14, 5593-5607 (2021).
15. Viana, M. et al. Field comparison of portable and stationary instruments for outdoor urban air exposure assessments. Atmos. Environ. 123, 220-230 (2015).
16. Peters, T.M. et al. The specific definition of fine particulate matter: an historical perspective. Aerosol Sci. Technol. 40, 1-7 (2006).
17. Tsai, C.J. et al. A review of aerosol measurement methods. J. Air Waste Manag. Assoc. 70, 1287-1310 (2020).
18. Moosmüller, H. et al. Photoacoustic and photothermal aerosol absorption spectroscopy. Aerosol Sci. Technol. 53, 1-16 (2019).
19. Bond, T.C. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. J. Geophys. Res. Atmos. 118, 5380-5552 (2013).
20. Volckens, J. et al. The future of aerosol measurement: perspectives from the aerosol measurement science community. Aerosol Sci. Technol. 55, 1-8 (2021).
21. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.

**Машкин Данил Дмитриевич** – магистрант кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: +79619791035; e-mail: mashdan76@gmail.com;

**Пронин Сергей Петрович** – профессор кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: sppronin@mail.ru.

УДК 556.5.072

## ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Г. В. Медведев, Ю. А. Осокин

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет  
г. Санкт-Петербург

Приведено описание метода дистанционного мониторинга электроэнергетических процессов на основе средств дистанционного измерения и контроля, в частности, с применением видео и тепловизионных приборов, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах. Объектом исследования выступают электроэнергетические системы с высокой степенью интеграции в ограниченном пространстве. Проведён теплофизический анализ, направленный на выявление и устранение нештатных ситуаций. Рассмотрены теоретические основы приборов дистанционного контроля, включая средства теплофизических измерений, что позволяет разрабатывать ускоренные алгоритмы распознавания электроэнергетических явлений.

**Ключевые слова:** электроэнергетические процессы и объекты, дистанционные измерения и контроль, распознавание, сканирование, видеоконтроль, изображения, таблицы данных.

### Введение

Современные электрические аппараты и электронные средства в электроэнергетике, релейно-защитная аппаратура, как правило, смонтированы с высокой степенью компактности [1]. При этом, контактные соединения и энергетически активные электронные элементы представляют собой множество источников тепловой энергии. Интегральная величина тепловой энергии, накапливаемая в контактных соединениях, устройствах и линиях связи при штатной работе электронной аппаратуры, создаёт угрозу снижения надёжности системы.

На практике во многих случаях применяются устаревшие и ненадежные конструктивные схемы, в том числе, при контроле важных теплообменных процессов в электронных устройствах. Если не рассеивать и не удалять тепловую энергию при нагреве работающих устройств, то возможны нарушения режима работы, преждевременный выход из строя особо важных элементов, в том числе, микропроцессорных устройств.

Проблема создания заданных режимов работы электронных устройств под нагрузкой при сохранении высокого качества является актуальной и в то же время наиболее сложной проблемой в электроэнергетике.

Достаточно сложным является контроль скрытых, герметично упакованных конструктивных узлов, например, сосредоточенных в корпусах электронных устройств, в контактных и коммутируемых соединениях [2].

Актуальность разработки систем мониторинга электроэнергетических параметров неоспорима; однако для достижения высокой эффективности необходимы инновационные методы и средства, повышающие быстродействие и качество распознавания.

**Целью работы** является создание мониторинга электроэнергетических параметров и исследование тепловых экстремальных режимов, а также выявление нештатных ситуаций в работе электроэнергетических средств и электронной аппаратуры.

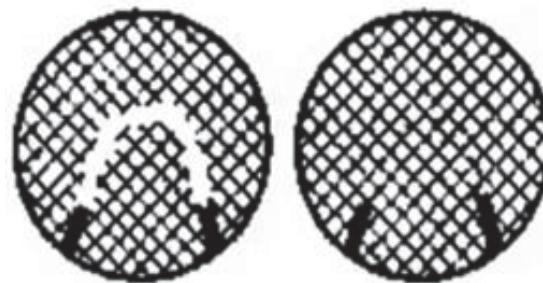


Рисунок 1 – Вариант дистанционного измерения теплового объекта (слева – текущий объект, справа – оригинал)

Преимущества этих систем существенно зависят от скорости алгоритмов выявления признаков исследуемого объекта и принятия требуемых решений [1, 2]. При распознавании нештатных ситуаций часто применяют системы в сочетании с другими средствами.

Дистанционные методы распознавания применяют в случаях, когда типовые контактные технологии не обеспечивают доступа к объекту. В работе предложена методика выявления нештатных ситуаций на базе логических схем и корреляционной системы, дополненная методами дистанционного видеомониторинга, включая инфракрасное сканирование объекта [5, 6]. Корреляционные связи считаются сильными при коэффициенте корреляции  $|r_{xy}| > 0,70$ . Величина коэффициента корреляции вычисляется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)},$$

где  $x_i$  – значения, принадлежащие выборке  $X$ ,  $y_i$  – значения, принадлежащие выборке  $Y$ ;  $\bar{x}$  – среднее значение по  $X$ ,  $\bar{y}$  – среднее значение по  $Y$ .

Алгоритмы корреляционного сканирования базируются на оптимальных выборках [8, 9], формируемых с помощью специализированной программы статистического анализа объектов. Разработанная система превосходит человеческие возможности по скорости обработки данных. Идентификация ситуаций осуществляется путём сопоставления результатов вычислений с оперативной базой данных [3, 4].

В цветовых пирометрах принцип действия основан на соотношении интенсивностей излучения на разных длинах волн. Структурная схема цветового пирометра показана на рисунке 2

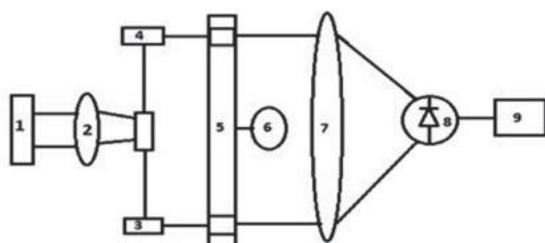


Рисунок 2 – Вариант схемы цветового пирометра: 1 - объект измерения, 2 – объектив, 3, 4 – зеркала, 5 – светофильтры, 6 – электропривод, 7 – обтюратор, 8 – фотоприемник, 9 – измерительный прибор

При проведении измерений следует учитывать особенности теплоэнергетической передачи в реальной среде. Передача тепла от более теплого тела к менее нагретому телу (или к окружающей среде) происходит на

основе различных форм, в частности: за счет теплопроводности, конвекции или теплового излучения.

Теплопроводность – мера способности материала передавать тепловую энергию через структуру материала при разнице температур слоев материала.

Передаваемая тепловая энергия  $\Phi$  зависит от площади поверхности  $S$ , разности температур  $\Delta\theta$  и коэффициента теплообмена  $\alpha$ .

$$\Phi = \alpha S \Delta\theta$$

где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплообмена,  $\text{Вт}/(\text{M}^2\text{K})$  (для теплопроводности  $\alpha_T$ , для конвекции  $\alpha_K$ , для излучения  $\alpha_{\text{л}}$ );  $S$  – площадь поверхности теплообмена,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta\theta$  – перепад температур между двумя изотермическими поверхностями в теле или между двумя телами: в том случае, когда рассматривается перепад температур между телом и средой, этот параметр называют перегревом  $\theta$ .

Вариант термограммы сборки электронных элементов в схеме представлен на рисунке 3.

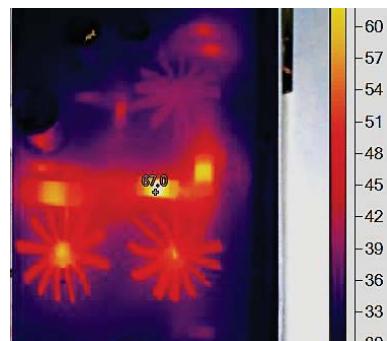


Рисунок 3 – Вариант термограммы электрической схемы

Согласно термограмме, изображенной на рисунке 3, в схеме не отмечено критических перегревов, температура достаточно равномерно распределена по лепестковым радиаторам.

Для расширенного анализа термографической картины генератора строится объемная диаграмма электрической схемы (рисунок 4).

На рисунке видно, что тепло рассеивается по лепесткам радиатора. Это не дает транзистору перегреваться. Транзистор работает в нормальном тепловом режиме, что положительно сказывается на надежности работы всего прибора [7, 8].

## ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Расчет коэффициента вариации температурных значений.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100\%,$$

где :  
V – вариация,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\sigma$  – СКО,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\bar{x}$  – мат. ожидание,  $^{\circ}\text{C}$ .

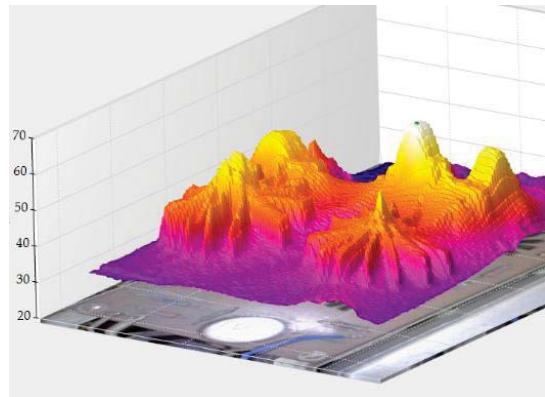


Рисунок 4 – Объемная термограмма электрической схемы с естественным охлаждением и применением конвективных радиаторов

По полученным значениям, строится линейный график, который отображает температуру точек для маркера линии. Это позволяет определить значения температуры на линии, а также компонент температур  $X$  линии.

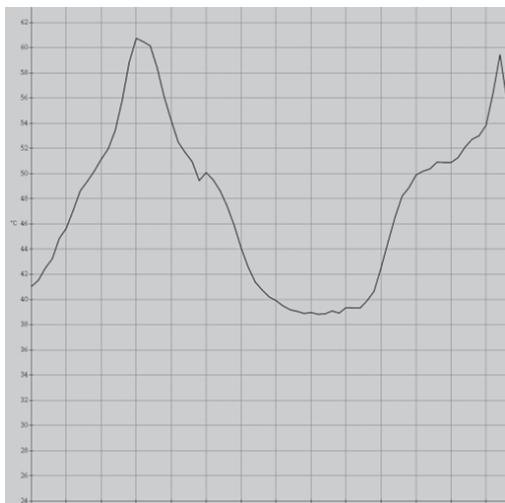


Рисунок 5 – График температурных значений по оси  $X$  с конвективным охлаждением

Анализ данного графика с конвективным охлаждением показывает, что максимальное значение температуры составляет  $60.7^{\circ}\text{C}$ , минимальное значение  $34.5^{\circ}\text{C}$ , среднее зна-

чение равно  $45.9^{\circ}\text{C}$ . При этом среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  имеет величину:  $7^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, вариация температуры  $V$  имеет величину:  $\sigma = 15.2^{\circ}\text{C}$ . Пиковый фактор КПК =  $T_{\text{max}} / T_{\text{ср}} = 1.25$ .

Теперь рассмотрим эту же печатную плату с неполным охлаждением (рисунок 5). Для этого снимем лепестковый радиатор на одном транзисторе.



Рисунок 6 – Типовая схема с неполным радиаторным охлаждением

Для того чтобы исследовать характеристики схемы в экстремальных тепловых условиях, необходимо произвести повторную термограмму с учетом изменения конструкции устройства теплоотвода при его работе. Результат этой съемки – это термограмма электрической схемы генератора с неполным охлаждением, которая отображена на рисунке 7.

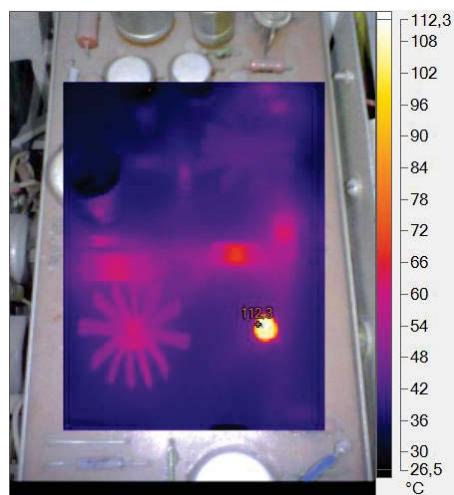


Рисунок 7 – Термограмма электрической схемы с неполным охлаждением

При анализе повторной термограммы (рисунок 7) с учетом изменений было выявлено, что при удалении одного радиатора температура транзистора увеличилась на 85%. Такое значение температуры является экстремальным и приводит к критическим перегревам и, как следствие, выходу из строя элементов, а значит и всего оборудования.

Для углубленного анализа термографической картины генератора с неполным охлаждением построена объемная диаграмма электрической схемы (рисунок 8).

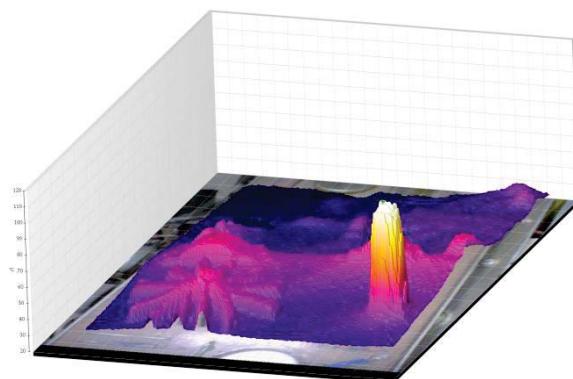


Рисунок 8 – Объемная термограмма электрической схемы с неполным охлаждением

В результате проведённых исследований установлено, что отношение минимально распознаваемого температурного отклоне-

ния  $\Delta T$  к среднему значению температуры  $T_{ср}$  остаётся постоянным в широком диапазоне температур (до 650°C).

$$k_{\Delta T} = \Delta T / T_{ср} = Const.$$

Величина  $k_{\Delta T}$  зависит от спектральных свойств объекта в видимом спектральном диапазоне.

#### Заключение

Проведённые исследования подтвердили выдвинутую гипотезу: отношение минимально распознаваемого температурного отклонения  $\Delta T$  к среднему значению температуры  $T_{ср}$  действительно остаётся постоянным. Это утверждение справедливо для диапазона температур до 650°C.

Результаты исследования, полученные с использованием корреляционного метода сканирования изображений, показывают схожесть анализируемого объекта с оригиналом до 99,8%.

Данная методика энергетического мониторинга положительно оценена специалистами по электроэнергетическому производству в ПАО «РоссетиЛенэнерго» Ленинградской области и «Росэнерго»

Рекомендовано проведение дальнейших исследований по данному направлению и создании научно-исследовательской лаборатории на базе Электроэнергетического института СПБГАУ.

программа для статистического исследования распознавания объектов

— □

Ведите количество пар  $x$  и  $y$  объектов распознавания (щелкните на таблицу)

16							
<input type="button" value="Загрузить X"/>	<input type="button" value="Загрузить Y"/>						
1	2	3	4	5	6	7	
$x$	100	100	101	102	108	110	111
$y$	70	70	65	61	73	65	65

Укажите диапазон корреляции

от  до

коэффициент корреляции: 0,576556660197043

Рисунок 9 – Программная возможность поиска наиболее информативных зон при сканировании исследуемого объекта в координатных зонах (корреляция 0,577)

### Выводы

Результаты исследования, полученные с использованием корреляционного метода сканирования изображений, показывают схожесть анализируемого объекта с оригиналом до 99,8%.

Разработанная программа работает в режиме offline и обеспечивает более высокий уровень информационной безопасности.

Новая программа дает возможность поиска наиболее информативных зон при сканировании исследуемого объекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Osokin,Yu.A. High-speed algorithms for automatic manipulators control systems/ Yu.A.Osokin // Journal of Physics: Conference Series. –2020. – Vol. 1615. ArticleID 012026. – Текст: электронный <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1615/1/012026/pdf> (дата обращения 09.10.2023).

2. Осокин, Ю.А. Интерактивно прогнозируемая динамика контроля пороговой дестабилизации / Ю.А Осокин // Измерение, контроль, информатизация: материалы IV Международной научно-технической конференции. – Барнаул: АГТУ, 2003. – С. 3-4.

3. Антонов, А.С. Введение в параллельные вычисления / А.С Антонов. - Москва, Изд-во Физ-фака МГУ, 2002. – 70 с. –Текст: электронный [http://parallel.ru/news/antonov\\_intro.html](http://parallel.ru/news/antonov_intro.html) (дата обращения 09.10.2023).

4. Букина, Е.О. Особенности контроля и коррекции движения манипулятора/ Е.О. Букина, Ю.А Осокин // Измерение, контроль, информатизация: материалы XII Международной научно-технической конференции.– Барнаул: АГТУ, 2011. – С. 6-7.

5.Осокин, Ю.А. О контроле в экстремальных фазах движения. / Ю.А Осокин // Измерение, контроль, информатизация: материалы XIII Международной научно-технической конференции.– Барнаул: АГТУ, 2012. – С. 51–55. –Текст: непосредственный.

6. Ожиганов, А.А. Теория автоматов: учебное пособие / А.А. Ожиганов. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. – 84 с. – Текст: непосредственный.

7. Барский, А.Б. Параллельные информационные технологии: учебное пособие/А.Б. Барский. – 3-е изд. – Москва: ИНТУИТ, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 502 с. –Текст: непосредственный.

8. Цилькер, Б.Я. Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов/ Б.Я. Цилькер, С.А. Орлов. – СПб.: Питер, 2007. – 668 с. – Текст: непосредственный.

9. Богаченко, Н.Ф.Синтез дискретных автоматов. Учебно-методическое пособие/Н.Ф.Богаченко, Н.Ф.Файзуллин. – Омск: Издательство Наследие. Диалог-Сибирь, 2006. – 150 с. – Текст: непосредственный.

**Осокин Юрий Анатольевич** – к.т.н., доцент кафедры Электроэнергетики СПбГАУ, e-mail: y-osokin@mail.ru;

**Медведев Геннадий Валериевич** – д.т.н., директор Энергетического института СПбГАУ.

# МЕТОД КОМПЕНСАЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

Д. Е. Кривобоков, Н. А. Пушкин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Приведено описание компенсационной схемы измерения проводимости кондуктометрической ячейки. Предложенный метод позволяет раздельно измерять активную и реактивную составляющие за счёт известных коэффициентов цепи компенсации или быть использованным в составе стандартной схемы кондуктометра.

**Ключевые слова:** кондуктометрия, преобразование измерительного сигнала, схема измерения, преобразователь ток-напряжение.

## Введение

К современным контактным кондуктометрам предъявляются требования работать в широком диапазоне электрической проводимости (УЭП), к примеру, от значений, соответствующих чистым спиртам или деионизованной воде, до концентрированных растворов сильных электролитов, таких как кислоты и соли. То есть изменения УЭП могут составлять от  $10^{-8}$  См/м до  $10^2$  См/м.

## Описание объекта

Для работы в широком диапазоне кондуктометрические приборы должны динамически регулировать параметры воздействия на первичный измерительный преобразователь (ПИП): изменять частоту, амплитуду и форму сигнала. Дополнительно требуется масштабирование выходного сигнала ПИП и его разложение на составляющие для расчета полного импеданса. В качестве выходного сигнала ПИП, как правило, используется ток, протекающий через него и обусловленный УЭП жидкости, конструкцией системы электродов и сканирующим воздействием.

Современные цифровые кондуктометры используют схему преобразователя ток-напряжение с нулевым входным сопротивлением (рисунок 1). Данный подход обеспечивает точное измерение тока кондуктометрической ячейки. На основании измеренного тока и известного напряжения генератора измерительного сигнала становится возможным расчет сопротивления раствора в идеальной кондуктометрической ячейке согласно формуле:

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Для схемы с преобразователем ток-напряжение будет равен:

$$Z = \frac{U_{\text{ген}} R_{\text{oc}}}{U_{I/U}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{ген}}$  – напряжение сигнала, создаваемое генератором;

$R_{\text{oc}}$  – сопротивление обратной связи преобразователя ток-напряжение;

$U_{I/U}$  – напряжение, снимаемое с выхода преобразователя ток-напряжение.

## Метод компенсационного измерения

Традиционно резистор  $R_{\text{oc}}$  представлен дискретным набором переключаемых элементов сопротивления, поскольку диапазон тока для преобразователя ток-напряжение ограничен выходным напряжением. Поскольку выходное напряжение операционного усилителя (ОУ) ограничено, единственным решением становится переключение резистора в цепи обратной связи. Это ведёт к удорожанию схемы и увеличению её габаритов — как из-за несовершенства цифровых коммутационных решений, так и вследствие применения электромеханических реле.

Для устранения эффекта резкого переключения диапазонов в процессе измерений в настоящей работе предлагается применение метода компенсации. Структурная схема предлагаемого технического решения приведена на рисунке 2.

В данной схеме используется один генератор и два регулируемых усилителя с изменяемым коэффициентом усиления. Один из усилителей используется для выставления «рабочего» измерительного сигнала. На данном усилителе должна быть учтена возможность смещения сигнала относительно нуля для компенсации эффекта гальванической

# МЕТОД КОМПЕНСАЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

ячейки в электролите. Второй усилитель является генератором тока компенсации, напряжение в котором развернуто на 180 градус-

сов относительно генератора для обеспечения компенсации.

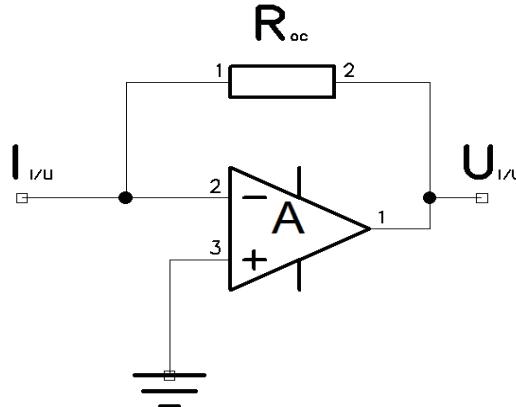


Рисунок 1 – Схема преобразователя ток-напряжение

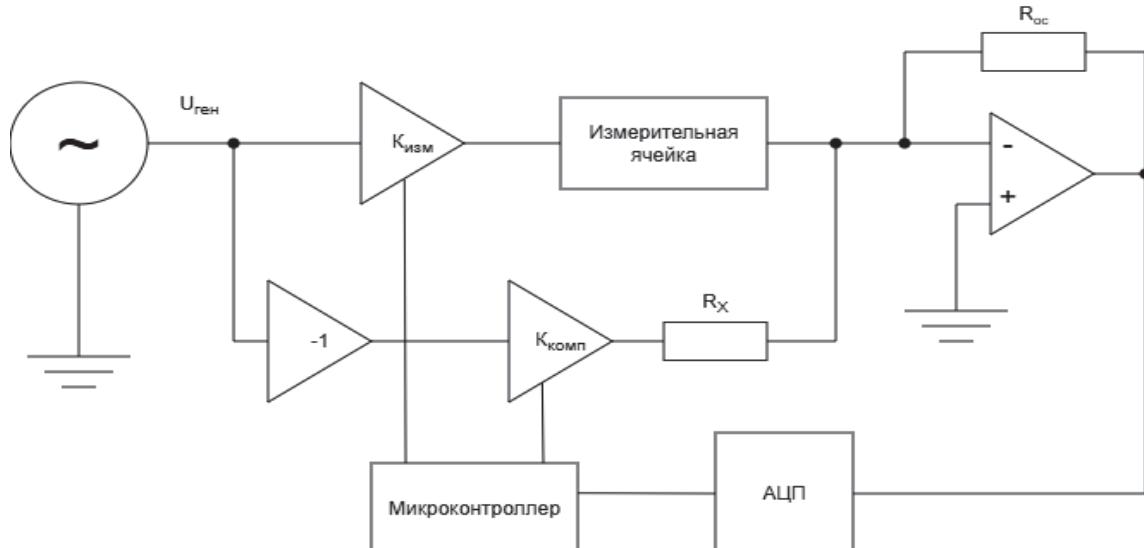


Рисунок 2 – Структурная схема системы компенсации

Рассмотрим механизм действия данной схемы. При подаче переменного напряжения на измерительную ячейку на вход преобразователя ток-напряжение подаётся ток, который частично компенсируется самим преобразователем за счёт нарастания напряжения на его выходе. Таким образом, напряжение будет расти до тех пор, пока ток ячейки полностью не компенсируется или ОУ не войдёт в насыщение. При выходе ОУ из диапазона измерений производится подстройка второго усилителя до компенсации тока измерительной ячейки до середины диапазона выходного значения.

Зная коэффициент усиления обоих усилителей, показания, а также сопротивление резистора  $X$ , можно найти эквивалентное со-

противление измерительной ячейки, погружённой в раствор.

$$\frac{U_{ген} \cdot K_{изм}}{Z} = \frac{U_{ген} \cdot K_{комп}}{X} + I_{I/u} \quad (3)$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X} + \frac{I_{I/u}}{U_{ген} \cdot K_{изм}}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{X \cdot I_{I/u} + U_{ген} \cdot K_{изм}}{X \cdot U_{ген} \cdot K_{изм}}$$

$$Z = \frac{X \cdot U_{ген} \cdot K_{изм}}{X \cdot \frac{U_{I/u}}{R_{oc}} + U_{ген} \cdot K_{изм}} \quad (4)$$

Благодаря низкой скорости изменения измеряемой величины допускается исключить из схемы измерение напряжения преоб-

разователя «ток-напряжение». Вместо этого можно реализовать детектирование тока (положительного или отрицательного) с полной компенсацией тока в цепи. Однако, ввиду наличия в измеряемой кондуктометрической ячейке реактивной составляющей, необходимо учитывать смещение фазы тока, которое невозможно компенсировать без активной фазовращающей цепи, что усложнило бы схему.

$$\varphi = -\arctan\left(\frac{\omega CR}{1+\omega^2 R^2 C^2}\right) \quad (5)$$

Согласно формуле (5) для угла фазы параллельно включённых ёмкости и сопротивления, угол фазы уменьшается с ростом частоты. При этом стоит учитывать возникающие диэлектрические слои на границе сред раствора и электрода кондуктометрической ячейки, обусловленные конечной скоростью передачи электронов в раствор.

#### Обсуждение и выводы

Проведённый анализ показывает: данная топология измерительной схемы позволяет полностью компенсировать действительную составляющую сигнала и регистрировать исключительно мнимую. На основании этих данных можно рассчитать как полезный сигнал (проводимость), так и паразитные параметры — ёмкость и сопротивление электродов, а также иные сопутствующие величины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефедкин, С.И. Физико-химические методы исследований в технологиях электрохимической энергетики: учебник / С.И. Нефедкин. – Москва: НИУ МЭИ, 2024. – ISBN 978-5-7046-2965-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/461048> (дата обращения: 27.09.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – С. 359.).

2. Харитонов, Ю.Я. Аналитическая химия (аналитика). Книга 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. – Москва: Высшая школа, 2003. – 559с.

3. Худякова, Т.А. Кондуктометрический метод анализа: учебное пособие для вузов / Т.А. Худяко-

ва, А.П. Крещков. – Москва: Высшая школа, 1975. – 207с.

4. ГОСТ 16851-71. Аналитаторы жидкости. Термины и определения. – Москва: Изд-во стандартов, 2007. – 10 с.

5. Сироткина, Л.В. Электрохимия. Теория и задачи: учебное пособие / Л.В. Сироткина. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. – 72 с.

6. Худякова, Т.А. Теория и практика кондуктометрического и хронокондуктометрического анализа [Текст] / Т.А. Худякова, А. П. Крещков; под общ. ред. А.П. Крещкова. – Москва: Химия, 1976. – 304 с.

7. Попова, Л.Ф. Инструментальные методы анализа: практикум по аналитической химии: учебное пособие / Л.Ф. Попова; Северный (Арктический) федеральный институт им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2014. – 263 с.

8. Патент на полезную модель № 201075 U1 Российская Федерация, МПК G01N 27/02. Датчик кондуктометрический двухэлектродный: № 2020123210: заявл. 07.07.2020: опубл. 26.11.2020 / А.М. Смирнов, И.Г. Черников, Д.Е. Кривобоков, В.А. Круглянский.

9. Лопатин, Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа: учебное пособие для университетов / Б.А. Лопатин – Москва: Высшая школа, 1975. – 295с.

10. Лопатин, Б.А. Кондуктометрия: Измерение электропроводности электролитов / Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние. - Новосибирск: 1964. – 280 с.

11. Латышенко, К.П. Метрология и измерительная техника. Микропроцессорные анализаторы жидкости: учебное пособие для вузов / К.П. Латышенко, Б.С. Первухин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 203 с.

12. Борисов, А.Г. Химические сенсоры: учебное пособие: в 2 частях / А.Г. Борисов, Е.В. Ильяшева, Н.Г. Осипенкова. – Москва: МИЭТ, 2023 – Часть 2: Типы химических сенсоров – 2023. – 148 с. – ISBN 978-5-7256-1015-4. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/461567> (дата обращения: 27.09.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Кривобоков Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: +7 961-976-75-63, e-mail: [dmitriikrivotobokov@mail.ru](mailto:dmitriikrivotobokov@mail.ru);

**Пушкин Никита Алексеевич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(9833)824449, e-mail: [push.pushnike@yandex.ru](mailto:push.pushnike@yandex.ru).

УДК 004.056

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВЫХ ДАННЫХ

Д. Ю. Козлов, З. В. Тихомирова, Г. Е. Казаков

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Важно отметить возросшую значимость задачи обнаружения аномалий в вычислительных и измерительных системах, особенно в контексте сетевого трафика, подвергающегося кибератакам и техническим сбоям. В работе проведён сравнительный анализ моделей машинного обучения — *IsolationForest*, *One-Class SVM*, *RandomForest* и простого автокодировщика — с использованием открытого датасета *Network Traffic Anomaly Detection Dataset*. Реализация моделей выполнена с применением библиотек *scikit-learn* и *PyTorch*. Проведённые эксперименты с учётом дисбаланса классов показали, что оптимизация порога классификации существенно повышает качество обнаружения аномалий, а ансамблирование моделей обеспечивает устойчивость результатов. Выводы подтверждают практическую ценность объединения современных алгоритмов с тщательной настройкой параметров для совершенствования систем безопасности.

**Ключевые слова:** аномалии, машинное обучение, обнаружение аномалий, *IsolationForest*, *One-Class SVM*, *RandomForest*, автокодировщик, сетевой трафик, дисбаланс классов, оптимизация порога, ансамблирование моделей, *scikit-learn*, *PyTorch*.

### Введение

В последние годы задача обнаружения аномалий в вычислительных и измерительных системах приобретает все большую значимость [1]. Сетевой трафик, являясь важной частью информационных систем, часто подвергается атакам, сбоям и другим неожиданным событиям, которые могут привести к нарушению работы или потере данных. Эффективное выявление подобных отклонений позволяет предотвратить последствия и повысить безопасность и надежность систем.

Актуальность работы обусловлена тем, что сетевой трафик является критически важным элементом современных информационных инфраструктур, при этом аномальные события в нем могут свидетельствовать о кибератаках, технических неполадках или ошибках конфигурации оборудования [2]. Развитие вычислительных мощностей и машинного обучения открывает новые возможности для создания интеллектуальных средств анализа больших объемов данных и своевременного выявления таких событий. Однако выбор подходящих алгоритмов с учётом особенностей сетевого трафика остается актуальной задачей.

Целью работы является исследование и сравнительный анализ моделей машинного

обучения — *IsolationForest*, *One-Class SVM*, *RandomForest*, а также простого автокодировщика — с целью оценки их эффективности при выявлении аномалий в сетевом трафике на основе открытого датасета *Network Traffic Anomaly Detection Dataset* [3].

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить обзор и выбрать перспективные алгоритмы для детекции аномалий в сетевых данных;
- подготовить и обработать данные из *Network Traffic Anomaly Detection Dataset*;
- реализовать и обучить модели *IsolationForest*, *One-Class SVM*, *RandomForest* и автокодировщик с использованием библиотек *scikit-learn* и *PyTorch*;
- провести сравнительный анализ моделей по метрикам: точность, полнота, F1-мера, ROC-AUC;
- обсудить результаты и сформулировать рекомендации по применению выбранных методов в вычислительных и измерительных системах.

### Обзор методов детекции аномалий

Существует достаточно много различных методов детекции аномалий, среди них — методы машинного обучения. Основное внимание уделено *Isolation Forest*, *One-Class*

SVM и Random Forest, а также автокодировщику.

IsolationForest – это алгоритм, который выявляет аномалии путем построения множества случайных деревьев. Он основывается на предположении, что аномальные объекты проще и быстрее изолировать от основной массы данных, потому что их признаки отличаются от нормы. Чем меньше шагов (разбиений) требуется для отделения объекта в дереве, тем выше вероятность, что этот объект – аномалия [4]. Этот метод хорошо масштабируется и часто используется для анализа сетевого трафика, например, для обнаружения DDoS-атак и других резких изменений в поведении сети [5].

One-Class Support Vector Machine (One-Class SVM) – это метод, строящий границу вокруг нормальных данных в многомерном пространстве признаков. Новые объекты, которые попадают за пределы этой границы, считаются аномалиями. Этот способ отлично работает тогда, когда известны только нормальные примеры, а аномальные либо отсутствуют, либо мало представлены [6, 7]. Ключевая сложность – корректно подобрать параметры модели, что критично для точности обнаружения. Применяется для выявления новых или редких видов аномалий, например, в сетевом трафике [8].

Также нередко для обнаружения аномалий используются автокодировщики. Автокодировщик – это нейронная сеть, обученная восстанавливать исходные данные. Проходя данные через узкое «бутылочное горлышко» внутри сети, автокодировщик учится эффективно сжимать и распаковывать нормальные данные. Когда подается аномальное или сильно отличающееся от нормы изображение или набор признаков, ошибка восстановления значительно возрастает. Это позволяет выявлять сложные и тонкие аномалии, скрытые в потоках сетевого трафика. Метод требует больше вычислительных ресурсов и большого объема нормальных обучающих данных по сравнению с классическими статистическими методами и методами на основе правил [9]. Из-за последней особенности, в данной статье рассмотрен только самый простой автокодировщик.

Все модели, кроме автокодировщика, будут реализованы с помощью библиотеки scikit-learn, которая предоставляет удобный API для обучения и предсказаний. Модели обучаются на нормальных данных из набора сетевого трафика, после чего применяются для выявления аномалий при проверке новых

наблюдений. Scikit-learn позволяет легко контролировать параметры моделей и получать метрики качества. Автокодировщик будет реализован на базе PyTorch. На рисунке 1 содержится реализация его архитектуры.

```
class Autoencoder(nn.Module):
    def __init__(self, input_dim):
        super(Autoencoder, self).__init__()
        self.encoder = nn.Sequential(
            nn.Linear(input_dim, 32),
            nn.ReLU(),
            nn.Linear(32, 16),
            nn.ReLU(),
            nn.Linear(16, 8)
        )
        self.decoder = nn.Sequential(
            nn.Linear(8, 16),
            nn.ReLU(),
            nn.Linear(16, 32),
            nn.ReLU(),
            nn.Linear(32, input_dim)
        )

    def forward(self, x):
        encoded = self.encoder(x)
        decoded = self.decoder(encoded)
        return decoded
```

Рисунок 1 – Архитектура автокодировщика

### Описание наборов данных

Данные представлены в виде таблицы, содержащей 1000 записей, каждая из которых содержит описание 18 признаков. Ключевые признаки:

1. Размер пакета: размер сетевого пакета в байтах.
2. Время между пакетами: разница во времени между последовательными пакетами.
3. Тип протокола: используемый протокол (TCP, UDP).
4. IP-адреса источника и назначения: IP-адреса исходящей и целевой системы.
5. TCP-флаги: флаги в заголовке TCP, указывающие состояние соединения.
6. Количество пакетов (за 5 секунд): число переданных пакетов за 5-секундный интервал.
7. Спектральная энтропия: характеристика в частотной области, выделенная с помощью преобразования вейвлетов.
8. Энергия в полосах частот: энергия, рассчитанная для различных частотных диапазонов после вейвлет-преобразования.
9. Целевая переменная: метка – 0 для нормального трафика, 1 для аномального (вредоносного) трафика.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВЫХ ДАННЫХ

Набор смоделирован под реальные условия работы встроенных устройств в сетевых окружениях, включая Интернет вещей (IoT), промышленные управляющие системы и критически важные инфраструктуры.

Данные имеют сильный дисбаланс классов, что является типичным сценарием для задач детекции аномалий (рисунок 2).

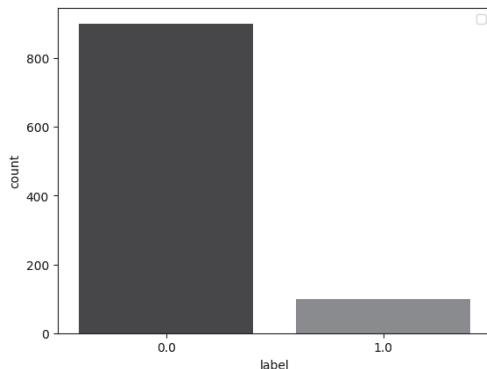


Рисунок 2 – Дисбаланс классов в датасете Network Traffic Anomaly Detection Dataset

## Эксперимент и результаты

Для оценки эффективности выбранных методов был проведён эксперимент на открытом датасете Network Traffic Anomaly Detection Dataset, содержащем примеры нормального и аномального поведения сетевого трафика. Данные были предварительно очищены, нормализованы и преобразованы для использования в моделях. После подготовки данных были обучены четыре модели: IsolationForest, One-Class SVM, RandomForest и автокодировщик на базе полносвязной нейронной сети.

На начальном этапе каждая модель была обучена и протестирована в базовой конфигурации, без дополнительной оптимизации порогов принятия решений. При таком подходе все модели продемонстрировали умеренные показатели F1-меры, что обусловлено выраженным дисбалансом классов в датасете и сложной структурой аномалий, характерных для сетевого трафика. Значения Precision и F1-меры остаются низкими при относительно повышенных значениях Recall. Метрики для моделей со всеми признаками представлены в таблице 1.

Для улучшения качества классификации был проведён подбор порога предсказания для каждой модели:

1. для RandomForest подбирался порог вероятности принадлежности к аномальному классу;

2. для IsolationForest и One-Class SVM – порог уровня «аномальности», рассчитанного моделями (аномальность как –score);

3. для автокодировщика – порог ошибки реконструкции, разделяющий нормальные и аномальные наблюдения.

Таблица 1 – Метрики для моделей со всеми признаками

Модель	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC
Isolation Forest (все признаки)	0.11	0.73	0.19	0.49
One-Class SVM (все признаки)	0.12	0.63	0.20	0.53
Random Forest (все признаки)	0.18	0.37	0.24	0.58
Autoencoder (все признаки)	0.16	0.37	0.23	0.55

Оптимальный порог определялся по максимальному значению F1-меры на тестовой выборке. В результате для всех четырёх моделей было зафиксировано улучшение F1-метрики по сравнению с исходными результатами, что подтверждает важность настройки порога при работе с задачами одноклассовой классификации и обнаружения аномалий. Для иллюстрации были построены графики зависимости F1-меры от порога, отражающие характер влияния порога на итоговую точность модели. Графики зависимости F1-меры от порога представлены на рисунках 3-6.

Дополнительно были выполнены:

1. кросс-валидация для оценки устойчивости моделей к вариациям в данных;

2. пермутационный тест для подтверждения статистической значимости различий между результатами моделей;

3. отбор признаков на основе важности (для RandomForest) и на основе оценки вклада признаков в изоляцию объектов (для IsolationForest).

Однако использование уменьшенных наборов признаков не привело к улучшению качества классификации, что свидетельствует о необходимости сохранения многомерной структуры признаков при обработке сетевых данных. Метрики моделей с отобранными признаками представлены в таблице 2.



Рисунок 3 – Подбор порога для IsolationForest

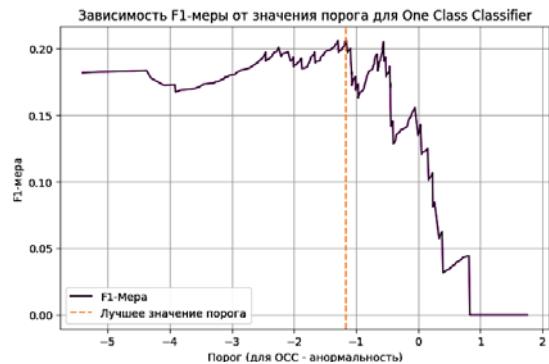


Рисунок 4 – Подбор порога для One Class Classifier

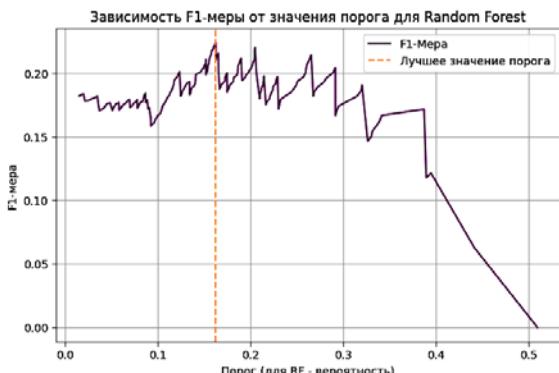


Рисунок 5 – Подбор порога для RandomForest

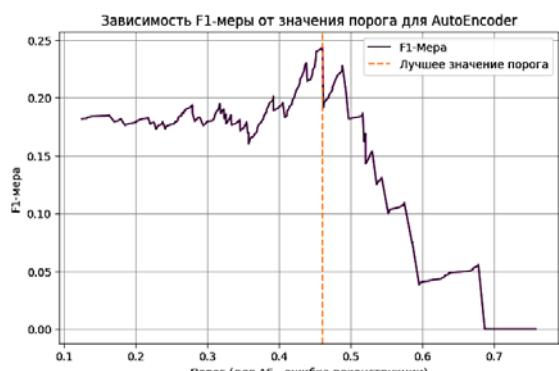


Рисунок 6 – Подбор порога для автокодировщика

Таблица 2 – Метрики для моделей с отобранными признаками

Модель	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC
Isolation Forest (отбор)	0.11	0.53	0.18	0.48
Random Forest (отбор)	0.14	0.47	0.21	0.55

В совокупности результаты эксперимента показывают, что:

- все модели обладают способностью выявлять аномалии, но их эффективность зависит от правильного выбора порога;
- RandomForest остаётся наиболее сбалансированной моделью, обеспечивая лучшие F1 и ROC-AUC;
- Autoencoder демонстрирует потенциал в ситуациях, где аномалии трудно выражены, но требует больше вычислительных ресурсов;
- IsolationForest и One-Class SVM удобны и просты, но склонны к завышенному количеству ложных тревог.

#### Обсуждение и выводы

Проведённый эксперимент показал, что задача обнаружения аномалий в сетевом трафике остаётся сложной из-за выраженного дисбаланса классов и неоднородности наблюдавшихся аномальных паттернов. Несмотря на существенные различия в принципах работы рассмотренных моделей, их базовые результаты оказались близкими и характеризовались низкими значениями F1-меры при относительно высокой полноте предсказаний

Наиболее высокий результат продемонстрировала модель RandomForest, что объясняется её способностью учитывать сложные нелинейные зависимости за счёт ансамблирования деревьев решений. Однако даже в этом случае точность классификации оставалась невысокой, что приводило к значительному числу ложных срабатываний. Модели IsolationForest и One-Class SVM оказались склонны к избыточной маркировке объектов как аномальных, что типично для методов одноклассового обучения на данных, содержащих широкий спектр нормальных вариаций поведения.

Использование автокодировщика позволило выявлять более тонкие отклонения за счёт анализа ошибки реконструкции. Тем не менее, качество классификации оказалось

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВЫХ ДАННЫХ

сопоставимым с традиционными моделями, а вычислительные затраты – выше.

Отдельного внимания заслуживает влияние подбора порога принятия решения. Для всех моделей изменение порога позволило повысить F1-меру, что указывает на недостаточность использования порогов «по умолчанию» при детекции аномалий. Это подтверждает, что ключевым этапом практического применения данных методов является не только выбор алгоритма, но и последующая настройка порога классификации с учётом характеристик данных и требуемого соотношения между полнотой и точностью.

Попытки уменьшить размерность признакового пространства путём отбора призна-

ков не привели к улучшению качества, что свидетельствует о многомерной природе паттернов сетевого трафика: значимая информация может быть распределена между большим числом признаков, и их исключение ведёт к потере контекстуальных взаимосвязей.

Таким образом, при проектировании систем обнаружения аномалий в сетевом трафике целесообразно сочетать использование современных алгоритмов машинного обучения с тщательной настройкой порога и возможным применением ансамблирования для повышения устойчивости результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baddar S. W. A. H. et al. Anomaly detection in computer networks: A state-of-the-art review //J. Wi-rel. Mob. Networks Ubiquitous Comput. Dependable Appl. – 2014. – Т. 5. – №. 4. – С. 29-64.

2. Будько М. Б. и др. Обнаружение аномалий сетевого трафика: основные аспекты, проблемы и методы //Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – №. 8. – С. 46.

3. Network Traffic Anomaly Detection Dataset [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/ziya07/network-traffic-anomaly-detection-dataset> (дата обращения: 10.10.2025).

4. Liu F. T., Ting K. M., Zhou Z. H. Isolation forest //2008 eighth ieee international conference on data mining. – IEEE, 2008. – С. 413-422.

5. Tao X. et al. A parallel algorithm for network traffic anomaly detection based on Isolation Forest //International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2018. – Т. 14. – №. 11. – С. 1550147718814471.

6. Schölkopf B. et al. Support vector method for novelty detection //Advances in neural information processing systems. – 1999. – Т. 12.

7. Khan S. S., Madden M. G. A survey of recent trends in one class classification //Irish conference on artificial intelligence and cognitive science. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2009. – С. 188-197.

8. Lamrini B. et al. Anomaly Detection using Similarity-based One-Class SVM for Network Traffic Characterization //DX. – 2018.

9. Mahmood N. H. et al. Machine Learning for Network Anomaly Detection A Review //The Indonesian Journal of Computer Science. – 2025. – Т. 14. – №. 1.

**Козлов Денис Юрьевич** – к.ф.-м.н, доцент кафедры информатики ИМИТ АлтГУ, тел.: +7 (3852)296-547, e-mail: dyk.barnaul@gmail.com;

**Тихомирова Злата Вячеславовна** – студент кафедры информатики ИМИТ АлтГУ, тел.: +7 (923) 717-47-95, e-mail: zlatatikhomirova21@mail.ru;

**Казаков Геннадий Евгеньевич** – студент кафедры информатики ИМИТ АлтГУ, тел.: +7 (999) 400-29-36, e-mail: tr.gond@gmail.com.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

И. А. Бобров, А. Г. Зрюмова, П. А. Зрюмов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

*Приведены исследование и анализ существующих методов обработки изображений для решения задач выделения различных объектов.*

**Ключевые слова:** сегментация, машинное обучение, пиксели, компьютерное зрение, нейросетевая модель, анализ изображения.

### Введение

В настоящее время визуальная информация является одним из главных источников данных для различных отраслей – от автономного транспорта и медицинской диагностики до дистанционного зондирования Земли. Важной задачей компьютерного зрения, которая лежит в основе решения большой части прикладных проблем, является точное и эффективное выделение объектов на изображениях. Эта процедура, известная как сегментация, проводится для разделения исходного изображения на значимые составные части – фон и объекты интереса, что является критически важным этапом для дальнейшего анализа изображения.

Несмотря на значительный прогресс компьютерного зрения, задача выделения объектов остается сложной. При исследовании изображения следует учитывать различные факторы, такие как неоднородный фон, наличие шумов на изображении, изменчивость формы и масштаба объектов, частичные перекрытия объектов и т.п. Существующий на сегодняшний день спектр методов, от классических алгоритмов, основанных на пороговой обработке, кластеризации и выделении границ, до современных подходов с использованием свёрточных нейронных сетей, демонстрирует различную эффективность в зависимости от содержимого изображений и конкретных объектов, которые нужно распознать.

Целью данного обзора является проведение анализа и сравнительной оценки существующих методов обработки изображений, предназначенных для решения задач выделения объектов.

Для достижения поставленной выше цели, необходимо в рамках работы решить следующие задачи:

– провести обзор и классификацию основных подходов к сегментации изображений;

– проанализировать их возможность использования для различных типов объектов и областей применения.

### Классификация методов сегментации

#### 1. Классические методы:

1.1. Пороговая сегментация – метод разделения, основанный на выборе предельного значения для цвета или интенсивности пикселей, чтобы разбить изображение на несколько областей.

1.2. Разделение, основанное на регионах – сюда входят методы, сегментирующие изображение путем объединения соседних пикселей со схожими свойствами в один регион.

1.3. Сегментация на основе границ – это методы, использующие границы объектов, представленных на изображении, для разделения изображения на области.

1.4. Методы, использующие кластеризацию – сегментация на основе алгоритмов кластеризации для группировки пикселей в кластеры со схожими свойствами [1].

#### 2. Методы на основе машинного обучения:

2.1. Сегментация экземпляра – это метод, при котором изображение делится на отдельные области (классы), которые соответствуют конкретному объекту.

2.2. Семантическая сегментация – метод разделения изображения на группы пикселей, соответствующие одному объекту, а также классификации выделенного объекта [2].

### Обзор классических методов

Для обзора были выбраны 4 классических, наиболее распространенных метода.

Первый метод – пороговая сегментация, примером которой является пороговая (глобальная) бинаризация. Пороговая бинариза-

## ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

ция заключается в преобразовании цветного изображения, либо изображения в оттенках серого в черно-белое. Пиксели, яркость которых была ниже установленного порога, принимают черный цвет, а пиксели с яркостью выше порога - принимают белый цвет [1].

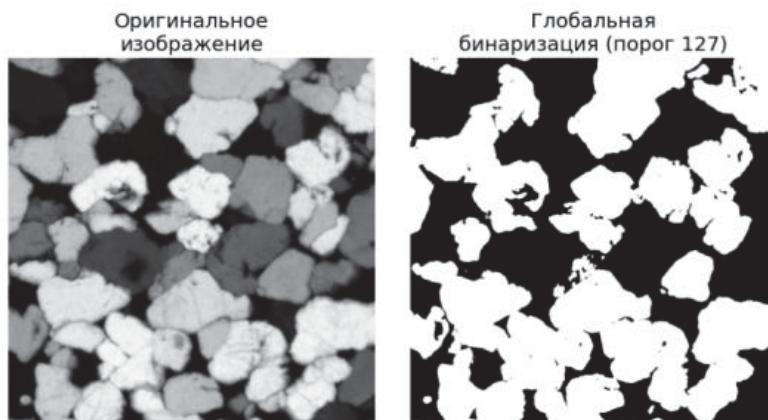


Рисунок 1 – Пример работы пороговой бинаризации

Следующим рассматриваемым методом является сегментация на основе регионов. Представителем метода на основе регионов является Region Growing. Данный прием основан на объединении схожих пикселей в однородные области. Метод состоит из следующих этапов:

1. Выбор начального пикселя (зерна), который является первым элементом для создания области.
2. Выбор критерия, по которому новые пиксели будут добавляться в регион. Например,

Данный метод используется для выделения черного текста на белом фоне, например при сканировании документов, а также для выделения объектов от монотонного фона. Пример использования пороговой бинаризации представлен на рисунке 1.



если разница между яркостью пикселя и средней яркостью региона меньше определенного порога.

3. Процесс повторяется до тех пор, пока все подходящие пиксели на изображении не будут принадлежать региону [1].

Примерами практического использования Region Growing являются выделение опухолей на МРТ/КТ, выделение кровеносных сосудов на снимках, а также сегментация однородных участков леса, полей и водных поверхностей на спутниковых снимках.

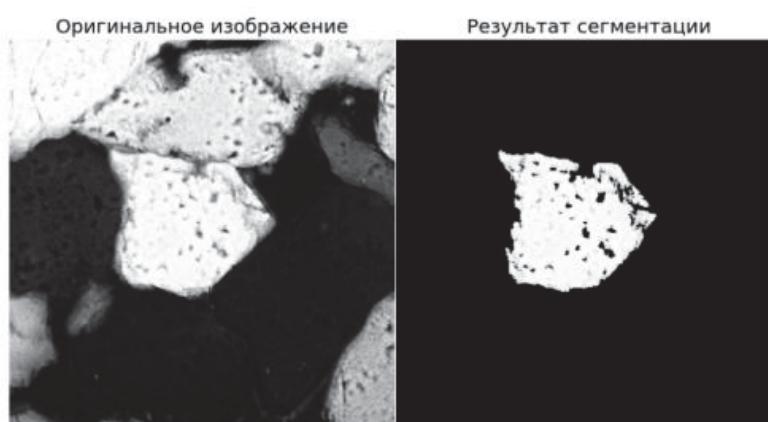


Рисунок 2 – Пример сегментации с помощью Region Growing

Одним из распространенных операторов для выделения границ объектов на изображении и дальнейшей сегментации является оператор Собеля. Данный оператор использует два ядра (две матрицы) размером 3x3

пикселя, которые применяются к каждому пикселя изображения. Ядра содержат значения яркости, определяющие вклад каждого пикселя матрицы в конечный результат. Ядро  $G_x$  используется для выделения границ по

горизонтали, а ядро  $G_y$  - по вертикали. Для каждого пикселя в изображении рассчитываются свертки  $G_x$  и  $G_y$ . После этого для каждого пикселя вычисляется величина градиента  $G$  как квадратный корень суммы квадратов значений  $G_x$  и  $G_y$ . После нахождения градиента  $G$ , можно определить, является ли пиксель границей или нет. Если градиент пиксе-

ля превышает пороговое значение, значит он является границей, в противном случае пиксель будет считаться неграничным элементом. Данный метод хорошо сочетается с последующей пороговой бинаризацией для повышения контрастности финального изображения.

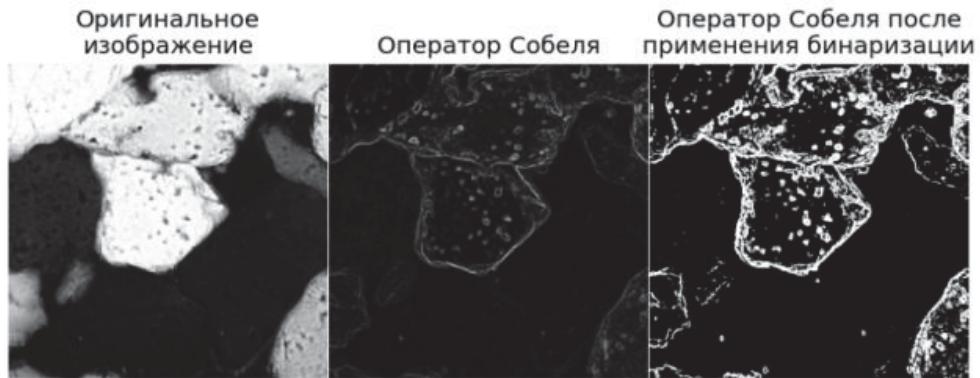


Рисунок 3 – Выделение границ элементов изображения с помощью оператора Собеля

Для рассмотрения сегментации изображения на основе кластеризации был выбран метод k-средних (k-means) из-за своей распространенности. Метод k-средних применяется для разделения изображения на заданное количество кластеров по цветовому признаку. Алгоритм применения метода k-средних следующий:

1. Выбор количества кластеров ( $k$ ) – числа цветов, которое нужно получить на выходе.
2. Выбор центроидов – средних значений для каждого кластера случайным образом.
3. Вычисление Евклидова расстояния от каждого пикселя до каждого из  $k$  центроидов, после чего происходит присваивание каждого

пикселя к кластеру, чей центроид находится ближе всего.

4. После того, как все пиксели распределены по кластерам, находятся новые центроиды, путем вычисления среднего арифметического значения цвета для всех пикселей в каждом кластере.

5. Повтор шагов 3 и 4 осуществляется до тех пор, пока центроиды не перестанут значительно изменяться, либо до достижения заданного количества итераций.

После завершения алгоритма каждый пиксель изображения будет принадлежать одному из кластеров, а кластеры будут представлять собой набор пикселей со схожим цветом [1].

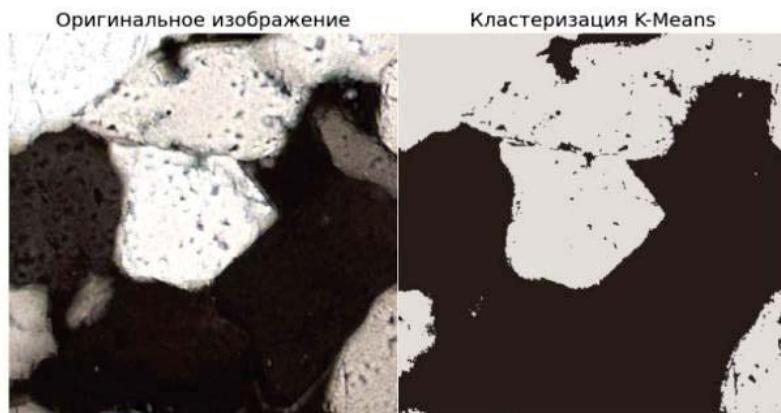


Рисунок 4 – Сегментация методом k-средних с двумя кластерами

### Обзор методов на основе машинного обучения

Сегментация экземпляра используется не только для обнаружения всех объектов на изображении, но и для присваивания каждому объекту своего уникального идентификатора. В упрощенном виде данный метод использует следующий алгоритм:

1. Модель обнаруживает все объекты определенного класса, например, выделяет всех собак на фотографии.
2. Для каждого найденного объекта проводится точная граница, то есть он выделяется с точностью до пикселя.
3. Модель должна различать отдельные экземпляры одного класса объектов. Так, три собаки на изображении будут выделены как три разных объекта с метками «Собака 1», «Собака 2», «Собака 3».

На сегодняшний день самыми известными нейросетевыми моделями, использующими сегментацию экземпляра для выделения объектов на изображениях являются более точная Mask R-CNN, а также YOLACT, отличающаяся более высокой скоростью [3].

В свою очередь, семантическая сегментация присваивает каждому объекту только

метку класса, без уникального идентификатора. В отличие от сегментации экземпляра, отдельные объекты внутри одного класса не различаются. Так, на изображении с тремя собаками, все они будут выделены одним цветом, а при сегментации экземпляра каждая из собак будет иметь свой цвет.

Сегментация экземпляра и семантическая сегментация используется в автономных транспортных средствах для обнаружения дороги и других участников дорожного движения, в медицинской диагностике, в робототехнике а также в фото- и видеоредакторах.

Стоит отметить, что каждый из методов имеет свои преимущества, зависящие от обстоятельств использования. Сегментация экземпляра требует больше вычислительных ресурсов, занимает больше времени, но является незаменимой для задач выделения конкретных объектов и анализа их взаимного расположения на изображении. Семантическая сегментация же проще и быстрее справляется с вопросами сегментации, когда нужно выделить большой однородный объект, например, лес или воду на спутниковом снимке Земли.



Рисунок 5 – Сравнение сегментации экземпляра и семантической сегментации

### Заключение и выводы

Сегментация изображений в компьютерном зрении не имеет одного универсального решения. Существующие методы демонстрируют различную эффективность в зависимости от специфики решаемой проблемы.

Классические подходы остаются актуальными благодаря своей простоте и эффективности в условиях использования небольших вычислительных ресурсов. Главным недостатком классических методов является сильная зависимость от ручной настройки параметров для каждого конкретного случая, что делает их непродуктивными при наличии неоднородного фона, шума и т.д.

Методы выделения объектов, в основе которых лежит машинное обучение, в частности сегментация экземпляров и семантическая сегментация, открывают большие возможности для работы с изображениями, обладающими сложной структурой. Их ключе-

вым преимуществом является способность обучаться и выделять объекты на фоне различных помех и витиеватого фона.

Оптимальный метод сегментации изображения выбирается в зависимости от требований к точности, скорости исполнения задачи и доступных вычислительных ресурсов. В то время как классические алгоритмы могут использоваться в специализированных задачах с ограниченными ресурсами, будущее развития компьютерного зрения связано с дальнейшим совершенствованием нейросетевых моделей, которые предлагают большую точность для решения задач выделения различных объектов на изображении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмические методы сегментации изображений [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.Н. Тумаков, З.Д. Каюмов, А.А. Егорчев и др.

– Электронные текстовые данные. – Казань: Издательство Казанского университета, 2023. – 40 с.

2. Ненашев, В.А. Компьютерное зрение. Анализ, обработка и моделирование: учеб. пособие / В. А. Ненашев. – СПб.: ГУАП, 2022. – 78 с.

3. Ярушкина, Н.Г. Исследование и разработка моделей, методов, алгоритмов оценки качества наборов данных для задач предиктивной аналитики динамики показателей: монография / Н.Г. Ярушкина, В.С. Мошкин, Г.Ю. Гуськов. – Ульяновск: УлГТУ, 2024.

**Бобров Илья Антонович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(9833)916044, e-mail: ibobrov1109@gmail.com;

**Зрюмова Анастасия Геннадьевна** – к.т.н., доцент, зав. кафедрой ИТ АлтГТУ, тел.: 8(3852)290913, e-mail: a.zryumova@mail.ru;

**Зрюмов Павел Александрович** – к.т.н., доцент кафедры ИТ, тел.: 8(385-2)29-09-13.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОРТИРОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MICROSOFT VISUAL STUDIO

Т. В. Котлубовская, А. И. Агарин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Статья посвящена моделированию работы системы автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений в программной среде Microsoft Visual Studio.

**Ключевые слова:** система автоматизированного контроля, алгоритм, моделирование, программная среда Microsoft Visual Studio, датчик цвета, сортировка, лекарственные растения.

Алтайский край является кладезем лекарственных растений и важным источником лекарственного сырья для российской фармацевтической промышленности. Однако на предприятиях, занимающихся сбором и заготовкой сырья, до сих пор может использоваться ручной труд, что влечет за собой ошибки, связанные с человеческим фактором. Очень часто ошибки возникают на этапе сортировки упакованной продукции. Для решения этой проблемы ранее была разработана система автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений [1].

Разработанная система включает четыре участка: фасовки, выравнивания, идентификации и сортировки, и осуществляет контроль массы пакетов с лекарственными растениями разных видов и их сортировку в укрупненную тару по цвету упаковки [1].

Компактность сортировочной линии достигается тем, что фасовка, упаковка, дальнейшая отбраковка по массе, нанесение штрих- и QR-кодов, а также сортировка в укрупнённую тару проходят на одном ленточном конвейере. При этом, на нём могут находиться лекарственные травы разных видов, которые упакованы в пакеты разного цвета или с разными цветовыми метками. Для нанесения штрих-кодов и сортировки автоматика конвейерной линии должна получать информацию о цвете упаковки.

В настоящее время для построения систем промышленной автоматики широко применяются программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они обладают такими преимуществами как относительная простота программирования и возможность подключения разнообразных внешних устройств и мо-

дулей. Последнее достигается путем применения унифицированных сигналов и протоколов: токовый сигнал 4 – 20 мА (0 – 20 мА), сигнал напряжения 0 – 10 В (1 – 10 В), интерфейсы RS-232(485) и Ethernet. Последние широко применяются для сопряжения с ПЛК устройств, выходная информация которых не может быть кодирована потенциальным или токовым сигналом. Примером таких устройств могут быть внешние модули обработки сигналов датчиков, считыватели штрих- и QR-кодов, а также RFID-меток и другие смарт-датчики. Датчики распознавания цвета относятся именно к данной категории [2].

Выходным сигналом датчиков, которые производят данную детекцию, является информация о цветах на пакете.

Чтобы представить, как будет функционировать разработанная система, нужно написать программу, достаточно точно характеризующую ее работу. То есть, произвести моделирование работы системы.

В качестве программной среды была выбрана Microsoft Visual Studio, обладающая широким функционалом возможностей. Язык программирования – С#. При создании программы использовался объектно-ориентированный подход. UML-диаграммы представлены на рисунках 1-3 [3].

Стандартная библиотека для работы с изображениями использует для их описания объект, который называется Bitmap. Данный объект представляет собой область памяти, в которой содержатся данные о размере изображения и цветовые данные пикселей.

BITMAPFILEHEADER – блок Bitmap, который кратко описывает изображение. Этот блок содержит в себе сигнатуру файла, ин-  
ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №4 2025

формацию о размере файла в байтах и положение данных о цвете пикселей относительно начала данной структуры. Последний параметр является свойством, которое называется Scan0. Оно указывает на первый байт цветовых данных.

BITMAPINFO – это блок, который содержит цветовые данные пикселей. Компоненты цвета пикселей располагаются в порядке BGR [5].

Разрабатываемая программа будет работать с данными, которые находятся в системной оперативной памяти. Такой формат

называется DIB или аппаратно-независимым растром. В таком формате существует возможность получить доступ к любому элементу с помощью указателя.

Кроме того, использование указательной арифметики позволяет ускорить работу программы по сравнению с использованием методов GetPixel и PutPixel [2], т.к. исключается операция создания объекта Pixel.

Диаграмма Use-case (рисунок 1) определяет требования к разрабатываемой программе, а диаграмма компонентов (рисунок 2) – ее структуру.

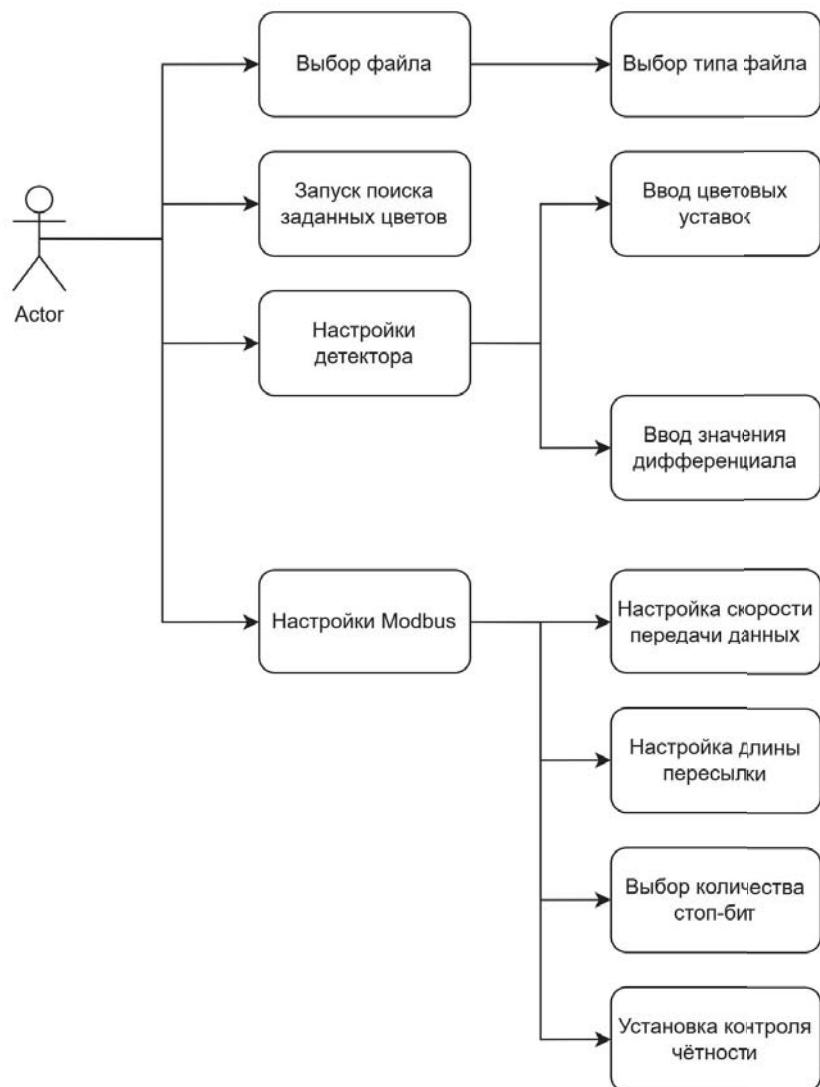


Рисунок 1 – Диаграмма Use-case

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОРТИРОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ  
В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MICROSOFT VISUAL STUDIO**

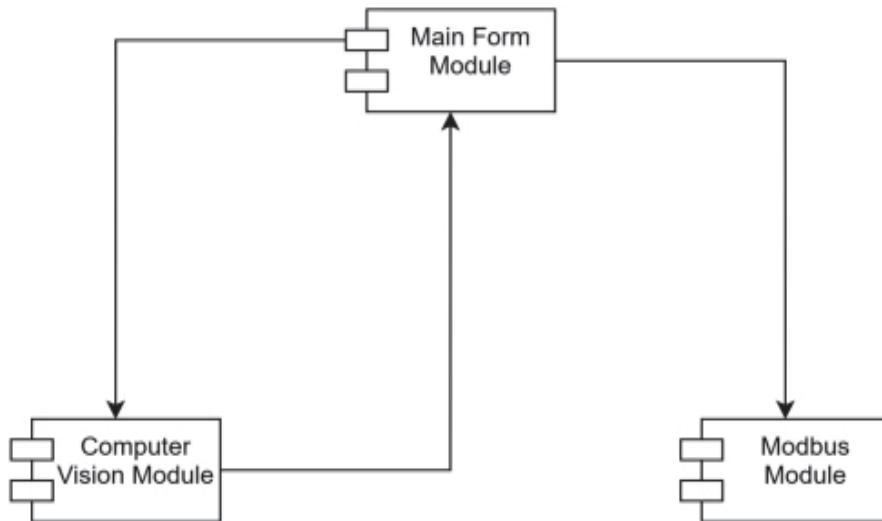


Рисунок 2 – Диаграмма компонентов

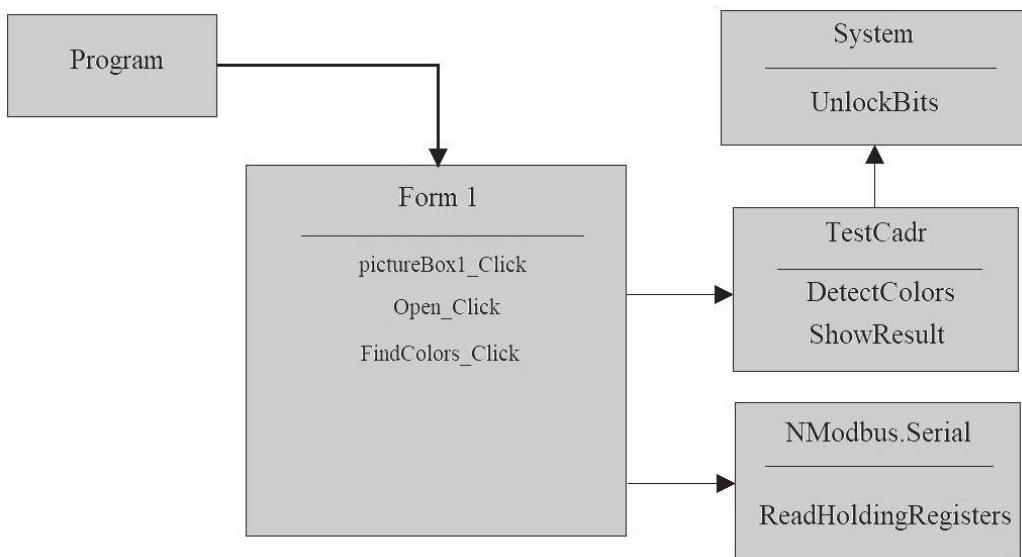


Рисунок 3 – Диаграмма классов разработанной программы

Диаграмма классов (рисунок 3) отражает методы, использующиеся в каждом из классов, предназначенные для выполнения поставленной задачи.

Самыми распространёнными вариантами кодирования цвета в вычислительной технике являются цветовые пространства RGB и HSV.

При кодировании цвета в пространстве RGB, он представляется в виде суммы трёх основных цветов с различной степенью яркости — красного, зелёного и синего (голубого). Яркость каждой из компонент варьируется в диапазоне от 0 до 255. Данный вариант кодировки цвета является самым распространён-

ным на данный момент. Несмотря на преимущество системы кодировки HSV, в которой оттенок является самостоятельным параметром и отделён от яркости, именно этот вариант и будет использован в программе, т.к. формат RGB является естественным форматом для устройств графического ввода/вывода.

Поскольку современные ПЛК могут оперировать целыми числами типа long (uint), формат выходной информации от датчика может иметь вид:  $B_{\text{дет}}G_{\text{дет}}R_{\text{дет}}$  (например, код телесного цвета для обнаружения кожи в таком формате передачи данных будет выглядеть следующим образом: 0xBBD5F4h или

0x187213244dec). Последняя запись должна применяться для сопряжения видеодатчика с программируемыми логическими контроллерами [2].

Для получения информации о цвете объекта используется цифровая камера. Применение многоэлементного фотоприёмника для этих целей позволяет снизить погрешность определения цвета за счёт разбиения фиксируемой области на более мелкие фрагменты, что снижает случайную погрешность вследствие уменьшения влияния на фотоэлемент излучения от соседних областей изображения. При этом, при выборе разрешения камеры, учитывался и тот факт, что при росте числа пикселей происходит замедление работы программы, увеличивается нагрузка на оперативную память и процессор.

Полученное изображение загружается в оперативную память вычислительного блока, и начинается обработка изображения. Суть алгоритма данной обработки заключается в проходе по массиву точек изображения и в сравнении значений их красной, зелёной и синей компонент со значениями-уставками, которые задаются при настройке системы. При этом, затенение или засвечивание определённых участков приводит к некорректному распознаванию отдельных пикселей. Т.е., реальные значения яркостей компонент будут отличаться от уставок, что подразумевает выпадание некоторых точек. Для минимизации этого явления следует сравнивать значения компонент яркостей пикселей не с самими уставками, а с диапазоном значений в границах:  $(R_y - \text{Diff}_R \dots R_y + \text{Diff}_R)$ ,  $(G_y - \text{Diff}_G \dots G_y + \text{Diff}_G)$  и  $(B_y - \text{Diff}_B \dots B_y + \text{Diff}_B)$ , где  $\text{Diff}_R$ ,  $\text{Diff}_G$  и  $\text{Diff}_B$  – дифференциалы для красной, зелёной и синей компонент. Данные величины подбираются при настройке таким обра-

зом, чтобы захватить наиболее близкие по цвету к уставке пиксели [4].

В случае, если текущий пиксель попадает в диапазон допустимых значений для каждой из компонент, он считается соответствующим искомому цвету. Если какой-то из цветов-уставок будет обнаружен, его код должен быть помещён в Holding – регистры, откуда он может быть прочитан внешним устройством.

Скриншоты работы программы представлены на рисунках (4-6).

При запуске открывается главное окно программы (рисунок 4), которое содержит пункты меню для выбора тестового изображения, таблицу компонент цвета и пикчёрбоксы для исходного и обработанного изображений.

Для выбора тестового изображения необходимо выбрать пункт «Открыть файл» во вкладке «Файл» (рисунок 5).

При нажатии кнопки «Найти цвета» будет вызвана функция для поиска цветов, и во втором битмапе будут отображены участки изображения, которые окрашены в искомые цвета (рисунок 6).

Из рисунка 6 видно, что разработанный алгоритм допускает некоторую ошибку при распознавании цвета пикселей. Часть пикселей области с заданным оттенком не была пропущена в выходной Bitmap, при этом в него попала часть пикселей, которые не относятся к данной области. Это обусловлено тем, что фотографируемая область была неравномерно освещена. Данную проблему можно решить путём создания равномерного освещения, и более точной настройкой дифференциала, подбирая его отдельно для каждого оттенка.

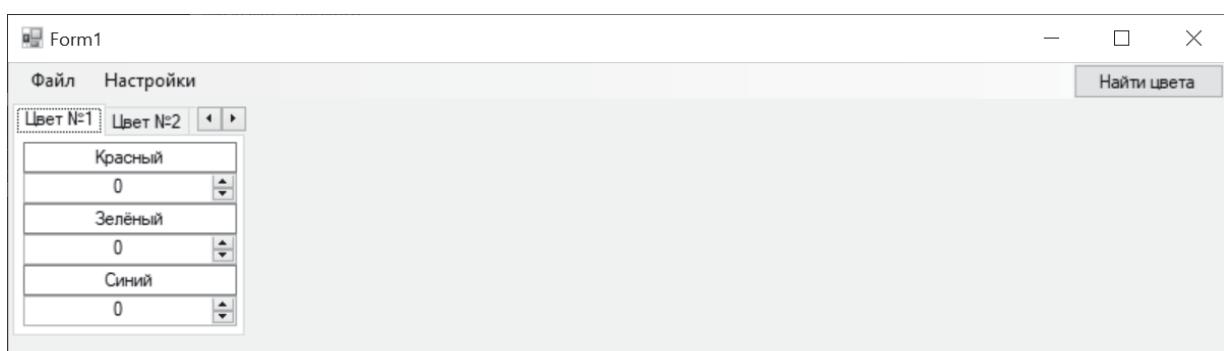


Рисунок 4 – Скриншот главного окна программы

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОРТИРОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ  
В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MICROSOFT VISUAL STUDIO

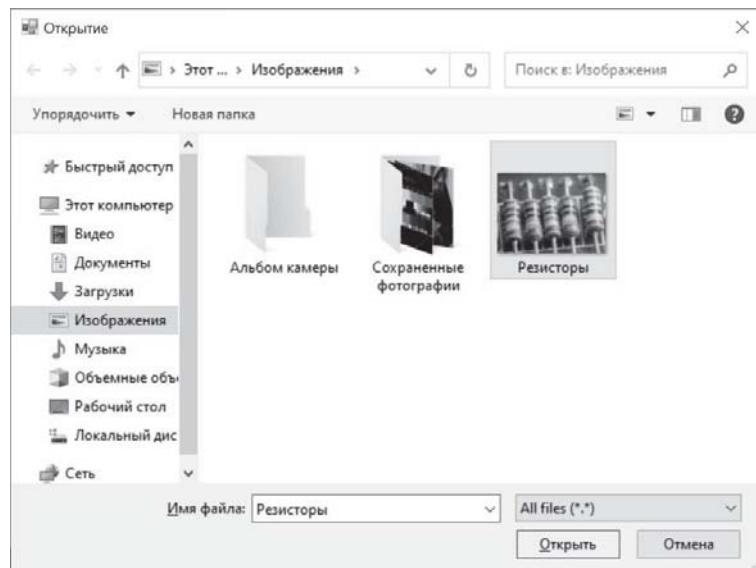


Рисунок 5 – Выбор тестового изображения

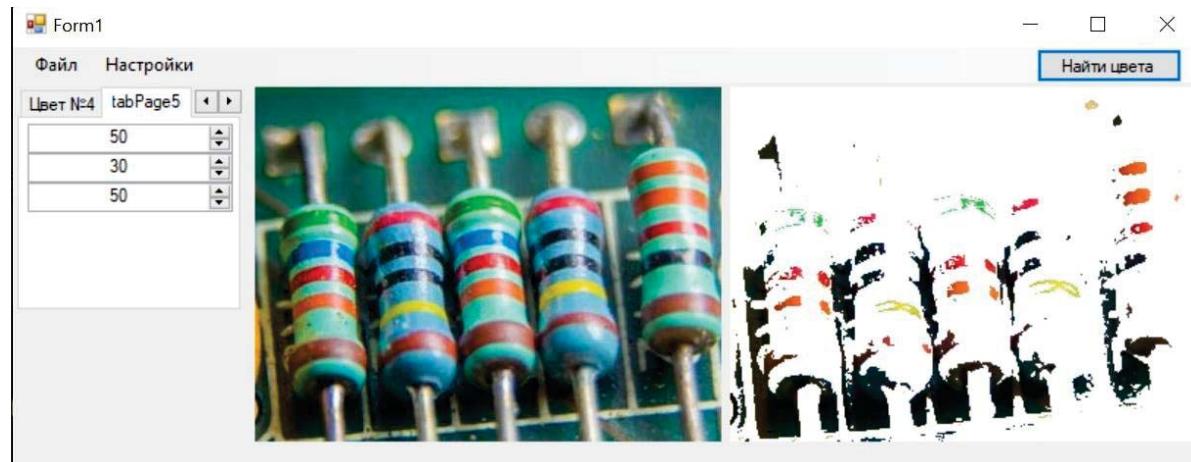


Рисунок 6 – Скриншот окна с результатом поиска заданных оттенков

### Выводы

В ходе проведения исследований выполнено моделирование работы системы автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений в программной среде Microsoft Visual Studio 2015.

Разработанная программа предназначена для поиска заданных цветов на изображении и использует для поиска цветов-уставок метод пороговой бинаризации.

При тестировании программное обеспечение продемонстрировало возможность выделять большинство точек, принадлежащих кластеру заданного цвета. Обнаружено, что области с сильной зашумленностью выпадают из зоны видимости. Минимизировать влияние помех возможно путем организации равномерного освещения.

В дальнейшем планируется усовершенствование разработанной программы и её адаптация к условиям реальной работы. Наиболее оптимальным вариантом может быть написание программы на языке C++ с применением ассемблерных вставок. Такой подход позволит ускорить работу и даст возможность применять фильтры для устранения излишне пересвеченных или затенённых областей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котлубовская, Т.В. Разработка проекта системы автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений / Т.В. Котлубовская, А.И. Агарин // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2024. – Выпуск №4. – С.100-102. – Текст непосредственный.

2. Сергеев, А.И. Программирование контроллеров систем автоматизации: учебное пособие / А.И. Сергеев, А.М. Черноусова, А.С. Русяев; Оренбургский гос.ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2016. – 125 с. – ISBN 978-5-7410-1649-7. – Текст непосредственный.

3. Тюкачев, Н.А. С#. Основы программирования: учебное пособие для СПО / Н.А. Тюкачев, В.Г. Хлебостроев. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 272 с. – ISBN 978-5-507-50654-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/452021> (дата обращения: 27.10.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р. Вудс. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Техносфера, 2024. – 1104 с.

5. Малахов, С.В. – Операционные системы и оболочки: учебное пособие для вузов / С.В Малахов. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 120 с.: ил. – ISBN: 978-5-507-45325-2. – Текст непосредственный.

**Котлубовская Татьяна Викторовна**  
– к. т. н., доцент кафедры ИТ АлтГТУ, тел.: (3852) 290913, e-mail: [tavikot2010@mail.ru](mailto:tavikot2010@mail.ru);

**Агарин Артем Иванович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ, тел.: (3852) 290913.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Д. Е. Пузик, Н. П. Пустовойтов, В. И. Биянов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Рассматривается системный подход к проектированию сложных элементов графического интерфейса пользователя (виджетов) в условиях отсутствия готовых реализаций в стандартных инструментах разработки. Предложена структура виджета, включающая графическое представление, входные и выходные порты, а также управляющие скрипты. Описан пошаговый алгоритм проектирования, состоящий из этапов постановки задачи, декомпозиции, реализации и тестирования.

**Ключевые слова:** Графический интерфейс пользователя (GUI), виджет, системный подход, входные порты, выходные порты, управляющие скрипты, алгоритм проектирования, декомпозиция интерфейса.

### Введение

Современный графический интерфейс пользователя представляет собой композицию сложных элементов взаимодействия и предоставления информации – виджетов. Многие из виджетов, используемых в интерфейсах являются сложными объектами, уникальными для конкретного приложения и не имеют готовой реализации средствами используемых инструментов. Их проектирование и реализация – это отдельная творческая задача.

Цель данной работы – предложить системный подход к проектированию сложных элементов графического интерфейса пользователя.

### Структура виджета

Современный виджет представляет собой сложный элемент, состоящий из: непосредственно графического представления, составленного из примитивных элементов, набора входных и выходных портов, контролирующих скриптов. Структурная схема виджета представлена на рисунке 1.

Графическое представление виджета формирует его внешний облик, который непосредственно воспринимает конечный пользователь. Допускается вариативность и зависимость от контекста для графического представления, например, при смене темы интерфейса или исходя из состояния программы.

Входные порты представляют собой набор сигналов, задающих внешний вид и поведение виджета. Это может быть: текущее состояние программы, переданные в момент создания виджета, параметры, события сис-

темы или внешних устройств, действия пользователя.

Выходные порты – это сигналы, которые исходят от виджета в приложение или к другим программам, исполняя «волю» пользователя. К примеру, передача значений из поля ввода формы или запуск передачи данных по нажатию на клавишу.

Управляющие скрипты являются набором функций, задающих поведение виджета и реализующих его активные действия: транзакции данных, обновление представления данных в виджете, запуск внешних для виджета скриптов и т.п.

### Алгоритм проектирования виджета

Для снижения времени и стоимости разработки новых виджетов, предлагается использовать системный подход в их проектировании и реализации. Ниже приведён алгоритм действий.

1. Постановка задачи – формирование представления о виджете, его назначения и требований к нему.

2. Декомпозиция – разбиение виджета на функциональные блоки: входные и выходные сигналы, графическое представление и управляющие скрипты. Определение связи между элементами. Разработка макета графического представления.

3. Реализация. Процесс реализации состоит из нескольких этапов:

– вёрстка согласно предоставленному макету;

– разработка управляющих скриптов, включая описание поведения виджета и создание программных интерфейсов для обмена данными через виджет.

4. Тестирование и отладка – этап, отвечающий за проверку соответствия итогового продукта с поставленной технической задачей. Основная задача данного этапа – выявить и устранить возможные проблемы и недоработки.

#### Пример использования предложенного подхода

Рассмотрим работу выше описанного алгоритма создания сложного виджета на примере системы настроек положения виджета:

**Постановка задачи:** необходим виджет для настройки положения других виджетов. Вызов виджета происходит из контекстного меню, пункта «свойства». В виджет настройки передаётся указатель на настраиваемый виджет, откуда берутся параметры для настройки. Необходимо предусмотреть возможность ввода координат и установка привязки по углам, центру и сторонам. Должна быть возможность отмены введённых значений.

#### Декомпозиция

1. Входные сигналы: в качестве входного сигнала принимается указатель на настраиваемый виджет, через который получают данные о его текущем положении и размерах.

2. Выходные сигналы: положение передаётся в настраиваемый виджет. В случае отмены ввода, передаётся начальное положение.

3. Графическое представление: виджет представляет собой окно, состоящее из полей для ввода координат и его подписей; кнопок для ручного перемещения; группы виджетов типа «radiobutton» для выбора точки привязки; кнопок «Сохранить» и «Отмена»; имени редактируемого виджета. Макет представлен на рисунке 3.

4. Связи между элементами: изменение координат посредством нажатий на кнопки ручного перемещения должно изменять координаты в соответствующих полях.

5. Управляющие скрипты: при изменении значений положения, новые координаты должны передаваться в настраиваемый виджет и происходить отрисовка нового положения виджета. При изменении точки привязки, происходит смещение координат, передаваемых в настраиваемый виджет. Например, при привязке от центра, необходимо вычесть из координаты  $x$  половину ширины, а из координаты  $y$  половину высоты. При нажатии на кнопку «Отмена» необходимо передать в виджет начальные координаты, которые следует сохранить в момент вызова окна. При

нажатии кнопки «Сохранить» необходимо закрыть виджет и освободить память.

#### Вёрстка

Создание сложного виджета является нетривиальной задачей, следовательно, его вёрстка будет состоять из нескольких этапов:

1. В верхнем левом углу закрепляется элемент типа Label, содержащий имя редактируемого виджета.

2. Создаются 2 строчных элемента отображающих положение виджета на координатных осях  $X$  и  $Y$  в целочисленных значениях.

3. Для тонкой настройки положения рядом со строчными элементами располагаются по две кнопки для каждой оси, отвечающие за увеличение и уменьшение значений координат.

4. Для подтверждения или отмены выполненных действий создаются две кнопки «Отмена» и «Принять».

5. Отображение привязок для виджета реализована путём размещения девяти элементов типа «radiobutton» отвечающих за положения: центр, левый верхний край, правый верхний край, левый нижний край, правый нижний край, север, юг, запад, восток соответственно.

#### Реализация управляющих скриптов

Первый важный скриптик отвечает за перерасчёт координат виджета на основе установленной точки привязки. Данный скриптик реализуется путём выполнения двух функций и одного макроса:

1. Функция для расчёта позиции якоря виджета, реализуемая путём изменения точки отчёта с помощью взаимодействия с высотой и шириной объекта.

2. Функция для перемещения виджета по заданным координатам  $X$  и  $Y$  с учётом установленного якоря.

3. Макрос передачи сигнала о перемещении виджета, который передаёт значения его координат на считывание и обработку внутренним функциям, отвечающим за числовое отображение положения объекта.

Второй важный скриптик отвечает за отслеживание ввода и его трансляцию в первый скриптик. Он представляет собой связующую функцию для взаимодействия сигнала об изменении значений в полях с функцией его положения на осях  $X$  и  $Y$ . Аргументами данной функции являются координаты, в которые пользователь желает переместить объект.

Наконец, третий скриптик отвечает за возврат начального положения виджета при на-

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД  
К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

жатии кнопки «Отмена». Скрипт состоит из двух частей. Первая часть реализует сохранение начального положения настраиваемого виджета в момент вызова виджета настройки.

Вторая часть вызывается в случае нажатии кнопки «Отмена» и передаёт в качестве положения настраиваемого виджета ранее сохранённые значения.

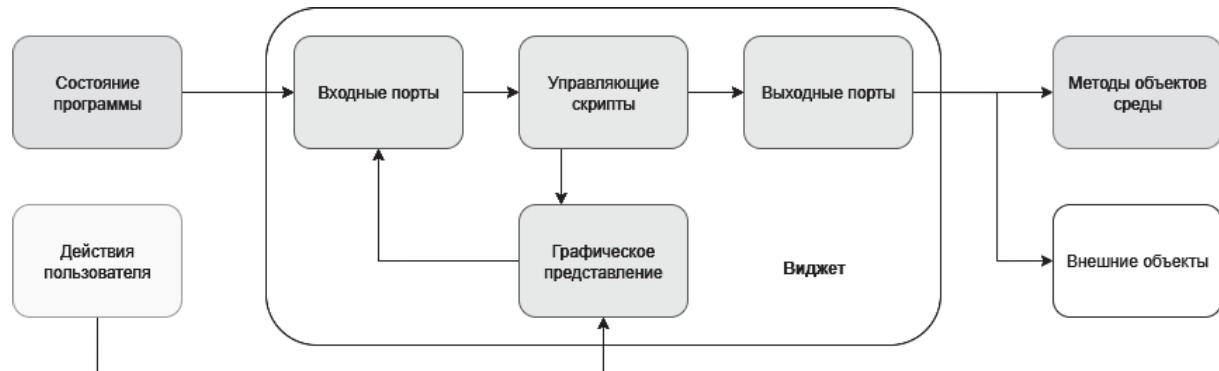


Рисунок 1 – Структурная схема виджета

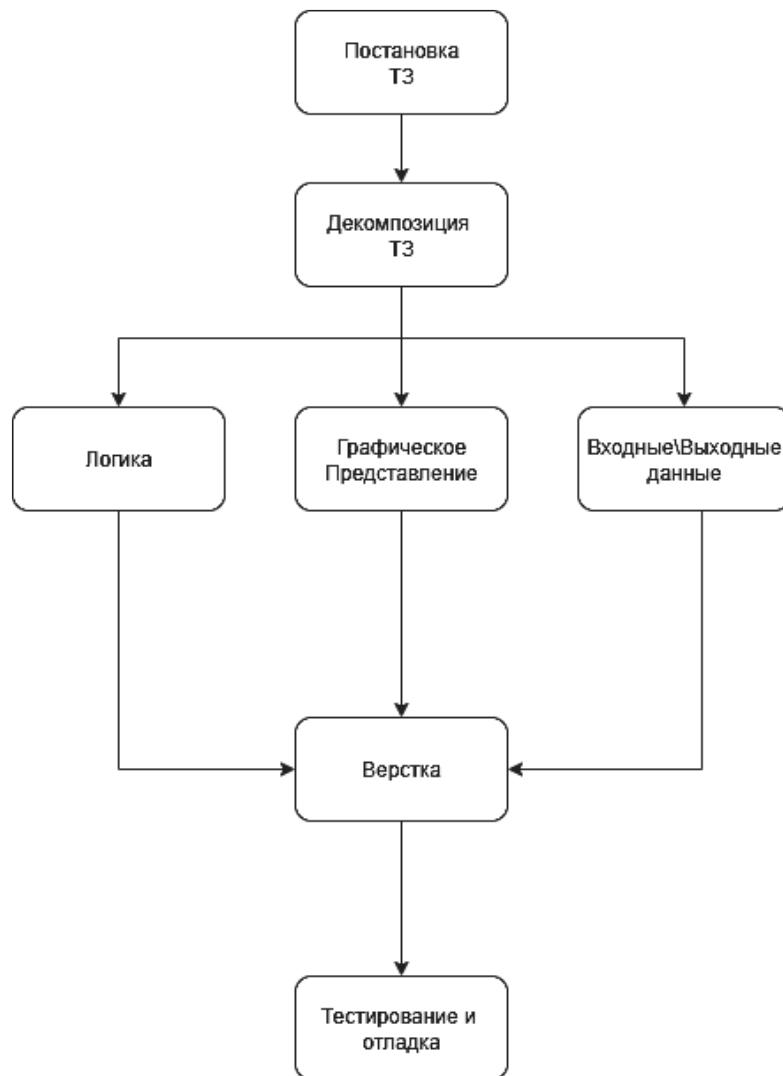


Рисунок 2 – Схема алгоритма построения виджета графического интерфейс

**Редактирование КП-46**



Рисунок 3 – Макет виджета



Рисунок 4 – Реализация сложного виджета

**Тестирование и отладка**

Тестирование происходит от лица конечного пользователя и включает в себя проверку работы всех функций и выявление ошибок. Проверка проводилась в несколько этапов:

1. Проверка изменения положения виджета от ввода в реальном времени.
2. Проверка работы привязок.
3. Проверка работы кнопки «Отмена».
4. Проверка работы кнопок для точного перемещения.

По результатам тестирования выявлено, что, несмотря на корректную работу всех функций, виджет может быть перемещён за пределы видимой области. Данный факт следует расценивать как недоработку. Для устранения проблемы необходимо:

- получать данные о размерах и положении родительского виджета;
- в режиме реального времени контролировать, не выходит ли настраиваемый элемент за границы родителя. Указанные действия относятся к этапу отладки.

# СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

## Выводы

Разработка сложных элементов графического интерфейса пользователя представляет собой задачу, с которой регулярно сталкиваются программисты. Систематизация и стандартизация подходов к их проектированию может позволить снизить время, а значит и затраты на их реализацию.

Предложенный подход относится к числу подобных решений и охватывает как конструкцию проектируемого элемента, так и алгоритм его реализации. Кроме того, он позволяет формализовать описание таких элементов на этапе проектирования, что существенно упрощает разработку технической документации для программных продуктов.

Дальнейшие работы могут быть направлены на поиск и выработку шаблонов проектирования элементов, их систематизацию и развитие типовых подходов и алгоритмов реализации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейчук, Н.В. Эргономика пользовательского интерфейса: современные подходы к проектированию [Электронный ресурс] / Н.В. Андрейчук, Д.Р. Смирнов // Программная инженерия. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 178–185. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/315099>.

2. Басманов, П.С. Модели и методы проектирования человека-машинного взаимодействия: учеб. пособие [Электронный ресурс] / П. С. Басманов. – СПб.: Лань, 2022. – 254 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/198765>.

3. Коробейников, А.Г. Методология разработки адаптивных графических интерфейсов для информационных систем [Электронный ресурс] / А.Г. Коробейников, М.С. Семенова // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – 2019. – № 2 (34). – С. 45–52. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/298765>.

4. Тихонов, В.А. Системный анализ и проектирование интерфейсов: учебник для вузов [Электронный ресурс] / В.А. Тихонов. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 320 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/175643>.

**Пузик Данила Евгеньевич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(909)8086620, e-mail: [danilapuzik16@mail.ru](mailto:danilapuzik16@mail.ru);

**Пустовойтov Никита Павлович** – студент гр. ПС-32 кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, [nikitaworkinggg@mail.ru](mailto:nikitaworkinggg@mail.ru);

**Биянов Владислав Игоревич** – студент гр. ПС-32 кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова», [vladislav\\_biyanov\\_01@mail.ru](mailto:vladislav_biyanov_01@mail.ru).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА CH32V003

**М. С. Гонохов, Д. Е. Косихин, В. С. Падалко**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

*В статье представлен сравнительный анализ средств программирования для микроконтроллеров серии CH32V003. Рассмотрены подходы к разработке приложений на языке C/C++ в двух средах: MounRiver Studio 2 и Visual Studio Code (с использованием проекта ch32fun и компилятора GCC 14). Результатом исследования стал перечень инструментов программирования, позволяющих достичь наилучшего опыта при работе с микроконтроллерами данной серии.*

**Ключевые слова:** программирование микроконтроллеров, средства программирования, компилятор, среда программирования.

### Введение

Современный этап технологического развития ознаменован повсеместным распространением интеллектуальных электронных систем, пронизывающих все сферы человеческой деятельности — от бытовой техники до критически важной инфраструктуры. Фундаментальным элементом, обеспечившим эту цифровую трансформацию, стал микроконтроллер. Интегрируя на одном кристалле вычислительное ядро, память и разнообразную периферию, они используются для решения множества задач автоматизации. Наиболее востребованными сейчас являются микроконтроллеры «stm32» европейской компании «STMicroelectronics» и «ch32» китайской компании «WCH». На сегодняшний день «ch32» являются наиболее востребованы на российском рынке по следующим причинам:

- стоимость чипов с одинаковыми характеристиками значительно ниже;
- официальные средства программирования stm32 недоступны на территории РФ.

При работе с любым микроконтроллером встаёт проблема выбора средств программирования, которые включают в себя: текстовый редактор, компилятор кода, утилиту для сборки проекта из нескольких файлов, утилиту для загрузки скомпилированного файла в память микроконтроллера.

**Цель** работы — решение указанной проблемы.

### Исследовательская часть

Микроконтроллеры CH32 основаны на архитектуре RISC-V, и для их программирования производитель предоставляет готовую среду разработки — MounRiverStudio 2 [1].

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №4 2025

Она включает текстовый редактор, примеры проектов, набор компиляторов кода GCC 8 и GCC 12, утилиту GNUmake для сборки проектов, доработанную для работы с программатором WCH-Link-E утилиту OpenOCD v0.11 (используется для отладки и загрузки прошивки в память), а также другие полезные в разработке утилиты.

Для начала написания прошивки требуется создать проект следующей структуры:

```
Project
+---.mrs
+---.settings
+---Core
+---Debug
+---Ld
+---obj
|   +---Core
|   +---Debug
|   +---Peripheral
|   |   L---src
|   +---Startup
|   L---User
+---Peripheral
+---inc
|   L---src
+---Startup
L---User
```

Рисунок 1 – Структура проекта

В поддиректориях Core, Debug, Peripheral хранятся файлы с расширениями .hi .c, содержащие готовый набор структур — аналогично библиотеке HAL для STM32. Такой подход упрощает программирование и на-

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ  
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА CH32V003**

стройку периферийных устройств, делая их интуитивно понятными. Сборка проекта выполняется с использованием GNU Make 4.2.1. Среди недостатков IDE следует отметить: ошибки в работе среды (оперативно устраняются разработчиками) и отсутствие поддержки актуальных версий компилятора GCC.

Другим вариантом является организация собственной среды разработки: можно использовать готовые утилиты из директории IDE, которые применяет производитель, либо собственные инструменты. В качестве текстового редактора подойдёт Visual Studio Code — он обеспечивает быстрый доступ к консоли прямо из редактора, удобное отображение дерева проекта и возможность создания макросов для компиляции и загрузки прошивки. На GitHub опубликован проект, основанный на популярной утилите сборки проектов CMake, при этом структура проекта остаётся неизменной [2].

Очень популярной является сборка ch32fun [3]. Разработчик минимизировал код проекта, отказавшись от готовых структур для программирования. При написании программ пользователь самостоятельно настраивает работу через программирование регистров. Это позволяет объединить код модулей Core, Debug и Peripheral в единый файл, что значительно сокращает объём памяти, занимаемый приложением. На рисунках 2 и 3 показано сравнение объёма памяти микроконтроллера, занимаемого приложением для разгона вентильного двигателя. Для реализации использовался компилятор RISC-V Embedded GCC12, который поставляется вместе с IDE MounRiver Studio 2.

Memory region	Used Size	Region Size	%age Used
FLASH:	1352 B	16 KB	8.25%
RAM:	16 B	2 KB	0.78%

Рисунок 2 – Объём памяти, необходимый алгоритму, разработанному в среде ch32fun

Memory region	Used Size	Region Size	%age Used
FLASH:	1816 B	16 KB	11.08%
RAM:	300 B	2 KB	14.65%

Рисунок 3 – Объём памяти, необходимый алгоритму, разработанному в среде IDE MounRiver Studio 2

Стоит отметить, что при компиляции проекта в среде MounRiver Studio 2 использовалось сжатие итоговой программы. Несмотря на это, разница составила

464 байта в пользу проектирования с помощью ch32fun.

Кроме того, проект ch32fun позволяет применять сторонние компиляторы. Например, можно использовать компилятор из дистрибутива xPack — распространённого дистрибутива с открытым исходным кодом для программирования микроконтроллеров на архитектурах ARM и RISC-V [4]. В MounRiver Studio применяются компиляторы из того же пакета.

Проект xPack активно поддерживается и развивается. Актуальная версия компилятора поддерживает GCC 14. Ниже приведены результаты компиляции того же алгоритма разгона вентильного двигателя.

Memory region	Used Size	Region Size	%age Used
FLASH:	1316 B	16 KB	8.03%
RAM:	16 B	2 KB	0.78%

Рисунок 4 – Объём памяти алгоритма, скомпилированного в ch32fun с GCC 14

Можно заметить, что размер приложения уменьшился на 36 байт в сравнении с результатом компилятора от WCH и на ~0,5 КБайт в сравнении с результатом в среде MounRiver Studio 2. Но стоит отметить, что не каждая новая версия компилятора является стабильной, поэтому не лишним будет организовать возможность быстрого выбора компилятора в среде VSCode.

### Выводы

В ходе исследования средств программирования микроконтроллеров серии CH32V003 было выявлено, что среда MounRiver Studio 2, предоставляемая производителем, достаточна для начального изучения программирования и разработки небольших программ.

Для создания крупных приложений рекомендуется использовать проект ch32fun совместно с актуальной версией компилятора GCC для архитектуры RISC-V. Однако это требует организации собственной среды разработки — например, на базе Visual Studio Code.

При этом можно задействовать утилиты из пакета MounRiver Studio 2:

- OpenOCD – для загрузки прошивки в память микроконтроллера;
- GNUMake – для сборки проектов.

Для отладки подойдёт расширение Cortex-Debug для Visual Studio Code.

Таким образом, работа в такой среде предоставляет больше возможностей для кастомизации. Например, можно настроить

быстрый доступ к данным из Serial-порта, или использовать CMake для сборки проектов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MounRiverStudio –[Download](#) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mounriver.com/download> (дата обращения: 22.10.2025).
2. CH32V003-CMake [Электронный ресурс] : репозиторий GitHub / автор dreamcmi. – URL: <https://github.com/dreamcmi/CH32V003-CMake.git> (дата обращения: 22.10.2025).
3. ch32fun [Электронный ресурс]: репозиторий GitHub / автор cnlohr (CharlesLohr). – URL: <https://github.com/cnlohr/ch32fun.git> (дата обращения: 02.10.2025).
4. xpack-dev-tools/riscv-none-elf-gcc-xpack [Электронный ресурс] : репозиторий GitHub /

автор xpack-dev-tools. – URL: <https://github.com/xpack-dev-tools/riscv-none-elf-gcc-xpack.git> (дата обращения: 22.10.2025).

**Гонохов Максим Сергеевич** – студент кафедры Информационные технологии АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8-909-507-12-34;

**Косихин Данил Евгениевич** – студент кафедры Информационные технологии АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8-960-953-95-02;

**Падалко Владимир Сергеевич** – ст. преп. кафедры Информационные технологии АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8-909-500-00-03.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ЮРИДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

**В. В. Сидоров, А. А. Сухоруков, В. Р. Абдрашитов, Е. В. Грива**

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
г. Томск

*В статье рассматривается проектирование и разработка интеллектуальной системы анализа юридических документов на основе микросервисной архитектуры. Обосновывается выбор данного подхода взамен монолитной архитектуры. Представлена декомпозиция системы на ключевые сервисы. Описываются функциональные возможности каждого сервиса и их роль в общем процессе анализа документов.*

**Ключевые слова:** микросервисы, RESTAPI, взаимодействие микросервисов, передача данных.

### Введение

В настоящее время при разработке программных систем можно выделить два основных подхода. Первым является монолитная архитектура, где весь основной функционал сосредоточен в одном большом приложении. Второй подход заключается в использовании микросервисной архитектуры. Данный подход представляет собой декомпозицию приложения на небольшие независимые компоненты, называемые микросервисами, каждый из которых занимается решением определенной задачи или функционала.

Микросервисы стали неотъемлемой частью инструментария современных разработчиков. Они позволяют разрабатывать высокоагруженные приложения, учитывая современные требования к производительности, надежности и масштабируемости. В 2022 году O'Reilly провёл исследование, согласно которому 77 % компаний применяют микросервисы. Примечательно, что 61 % из них используют эту технологию как минимум год, а 22 % — уже более трёх лет [1].

### Описание микросервисной архитектуры

При проектировании интеллектуальной системы анализа юридических документов был выбран микросервисный подход. Хотя монолитная архитектура обеспечивает более быструю разработку на начальном этапе, в

долгосрочной перспективе она создаёт сложности с поддержкой и масштабированием. Микросервисная архитектура устраняет эти ограничения за счёт декомпозиции приложения на независимые взаимодействующие сервисы. Это даёт возможность подбирать оптимальные технологические стеки для каждого компонента, обеспечивая высокую гибкость и масштабируемость системы [2].

Для взаимодействия между микросервисами был использован подход RESTAPI. Данный архитектурный подход устанавливает требования для API, то есть описывает, как они должны быть устроены и какие функции поддерживать. При таком подходе взаимодействия сервисов происходит через HTTP протокол с использованием операций CRUD (Create, Read, Update, Delete). Обмен данными происходит через стандартные HTTP-методы в формате JSON [3].

### Проектирование микросервисов

При проектировании интеллектуальной системы анализа юридических документов были выделены следующие микросервисы: сервис регистрации и авторизации, сервис загрузки и редактирования документов, сервис для распознавания текста, сервис по поиску релевантной информации, сервис по анализу документов, сервис по формированию отчетов. API Endpoints представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – APIEndpoints в панели Swagger

Сервис регистрации и авторизации пользователей осуществляет управления доступом к системе. Сервис позволяет выполнять регистрацию новых пользователей с указанием персональных данных, авторизацию существующих пользователей по email и паролю, восстановление доступа к учетной записи через email. Также сервис управляет сессиями пользователей и обеспечивает безопасный выход из системы.

Сервис загрузки и редактирования документов обеспечивает функционал для работы с документами в системе. Сервис поддерживает загрузку и обработку файлов форматов PDF, DOCX и TXT. Функционал включает возможность загрузки документов, просмотра каталога загруженных материалов, доступа к отдельным документам по идентификатору и удаления файлов. Помимо этого, сервис позволяет направить запрос на распознавание текста с изображений и корректировать распознанное содержимое документа.

Сервис распознавания текста обеспечивает конвертацию загруженных документов в машиночитаемый формат. Он должен быть

реализован по принципу адаптера с двумя взаимозаменяемыми реализациями: Tesseract OCR для локальной обработки и Yandex Vision OCR для высокоточного распознавания [4,5].

Сервис поиска релевантной информации отвечает за обработку и извлечение данных с применением алгоритмов векторного поиска. Релевантность характеризуется степенью соответствия найденного документа информационной потребности пользователя с учетом не только лексического совпадения, но и смысловой близости к запросу. Функционал сервиса включает механизмы индексации нормативно-правовой документации с помощью векторной базы данных.

Сервис анализа документов осуществляет автоматизированный анализ юридических документов на предмет выявления потенциально опасных условий. Он обеспечивает интеграцию с различными большими языковыми моделями с возможностью гибкого переключения между коммерческими и локально развернутыми решениями. Сервис выполняет классификацию документов, вы-

явление рисков в тексте и формирование рекомендаций с указанием соответствующих законодательных норм.

Сервис формирования отчетов осуществляет составление отчетов по завершению анализа документа. Он сохраняет документ, а также потенциально опасные условия, найденные в документе для дальнейшего просмотра в будущем.

Операции в системе выстраиваются в сквозные бизнес-процессы через взаимодействие микросервисов. Например, авторизованный в одном сервисе пользователь имеет возможность загружать документ с помощью другого сервиса. После пользователь инициирует его конвертацию в текст через сервис распознавания. Полученный текст обрабатывается сервисом анализа документов для выявления рисков. Затем сервис поиска релевантной информации подкрепляет выводы нормативной базой. По окончанию анализа итоговый отчет фиксируется сервисом формирования отчетов. Таким образом, каждый сервис, выполняет только свою задачу, обмениваясь данными через API.

### Заключение и выводы

В ходе работы был проведен анализ современных подходов к разработке программных систем, по результатам которого для создания интеллектуальной системы анализа юридических документов была выбрана микросервисная архитектура. Данный подход, в отличие от монолитного, позволяет поддерживать и масштабировать приложение на поздних этапах разработки. Декомпозиция системы на независимые, слабосвязанные компоненты обеспечивает высокую гибкость и отказоустойчивость. Также она обеспечивает возможность использования оптимального технологического стека для реализации специфических задач каждого сервиса.

В рамках проектирования системы были выделены и детализированы шесть основных микросервисов, охватывающих весь функционал от аутентификации пользователя до формирования итогового отчета. Каждый сервис отвечает за строго определенную бизнес-логику: управление доступом, работу с файлами, преобразование документов в текст, семантический поиск, интеллектуальный анализ содержания и генерацию отчетности. Для интеграции этих компонентов был применен протокол взаимодействия – REST API, что обеспечивает обмен данными по HTTP-

запросам. В качестве направлений дальнейшего развития системы рассматривается углубление интеграции искусственного интеллекта. Планируется внедрение более специализированных языковых моделей, обученных на юридических текстах, а также усиление функционала текущих микросервисов по безопасности и оптимизации воздействия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микросервисная архитектура: что это, кому подойдёт, с чего начать. – Текст: электронный // YandexCloud – URL: [https://yandex.cloud/ru/blog/microservice-architecture-guide?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F](https://yandex.cloud/ru/blog/microservice-architecture-guide?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F) (дата обращения: 05.11.2025). – Режим доступа: для всех пользователей.
2. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение – Текст: электронный // Habr – URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 05.11.2025). – Режим доступа: для всех пользователей.
3. RESTAPI в микросервисной архитектуре – Текст: электронный // Habr – URL: <https://habr.com/ru/companies/piter/articles/698798/> (дата обращения: 05.11.2025). – Режим доступа: для всех пользователей.
4. Распознавание текста с использованием OCR Tesseract – Текст: электронный // Infostart – URL: <https://infostart.ru/1c/tools/1535600/> (дата обращения: 06.11.2025). – Режим доступа: для всех пользователей.
5. О сервисе Yandex Vision OCR. – Текст: электронный // Yandex Cloud – URL: <https://yandex.cloud/ru/docs/vision/concepts/ocr/> (дата обращения: 06.11.2025). – Режим доступа: для всех пользователей.

**Сухоруков Арсений Александрович** – студент кафедры Автоматизации обработки информации ТУСУР. тел 8 913 271 7030, e-mail: [ars.suhorukov@gmail.com](mailto:ars.suhorukov@gmail.com);

**Сидоров Владислав Владимирович** – студент кафедры Автоматизации обработки информации ТУСУР тел: 8 999 224 6751, e-mail: [sidlaf@yandex.ru](mailto:sidlaf@yandex.ru);

**Абдрашитов Вадим Русланович** – студент кафедры Автоматизации о информации ТУСУР 8 962 785 9840, e-mail: [abdrashitov.v.422-1@e.tusur.ru](mailto:abdrashitov.v.422-1@e.tusur.ru);

**Грива Егор Владимирович** – старший преподаватель кафедры Автоматизации обработки информации ТУСУР тел: 8 996 205 5262, e-mail: [egor.v.griva@tusur.ru](mailto:egor.v.griva@tusur.ru).

## ДЕТАЛИЗАЦИЯ ОКРУЖЕНИЯ В ПРИЛОЖЕНИЯХ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Д. Е. Пузик, Н. В. Пивоваров, Д. И. Ердаков, Д. А. Ласкин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Представлены измерения производительности автономных гарнитур виртуальной реальности и зависимость нагрузки системы от количества вершин на сцене. Перечислены основные методы оптимизации геометрии трёхмерных объектов с примерами их использования.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, геометрия, окружение, методы упрощения геометрии, детализация, виртуальная сцена, производительность, оптимизация, LOD, карта нормалей, instancing, шейдеры.

### Введение

Виртуальное пространство состоит из трёхмерных моделей, содержащих вершины, образующие полигоны. Увеличение количества вершин и полигонов ведёт к увеличению детализации и, как правило, реалистичности объекта. Однако, с этим возрастает нагрузка на оборудование.

В контексте разработки приложений для автономных гарнитур виртуальной реальности, перед 3D художником возникает задача нахождения баланса между детализацией и снижением числа вершин модели, что является противоречием. Для борьбы с этим противоречием, применяются различные методы оптимизации.

### Требование к детализации

Аппаратные ограничения гарнитуры и физиологические ограничения человека на-кладывают диаметрально противоположные требования к детализации объектов: человеку важна высокая детализация, в то время как аппаратура имеет ограничение в производительности. По этой причине необходимо активно прибегать к методам оптимизации.

Для установки предельного количества вершин в кадре, при которых оборудование продолжало бы нормально функционировать, была построена сцена с кубом, число вершин которого увеличивалось посредством модификатора подразделения поверхности (рисунок 1). В результате, были получены зависимости FPS и нагрузки на ЦП от количества вершин на сцене (рисунок 2).

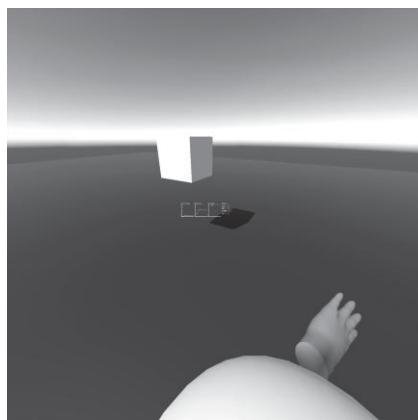


Рисунок 1 – Сцена для определения производительности оборудования

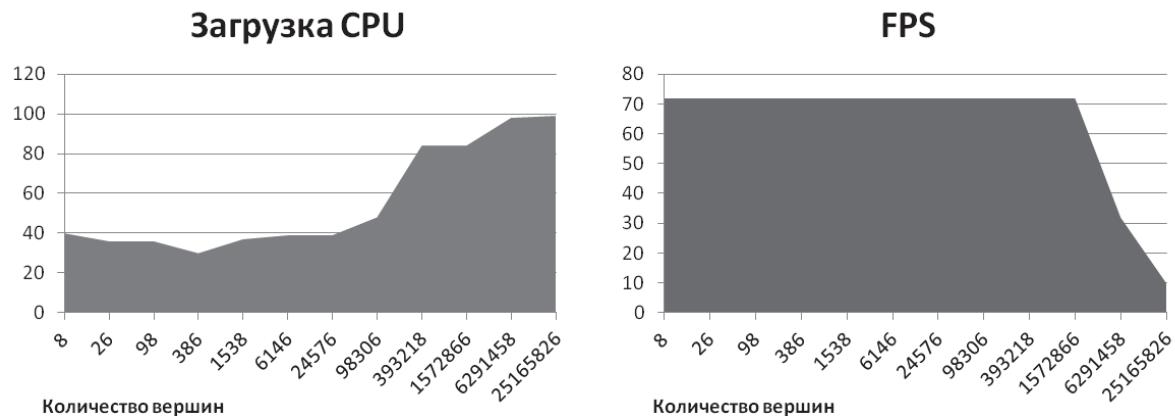


Рисунок 2 – Тест производительности Pico 4 при различном количестве вершин на сцене

Нагрузка на CPU возрастает, когда число вершин достигает примерно 100 000. Это можно объяснить перегрузкой GPU и перераспределением вычислений между CPU и GPU. Благодаря этому, удается поддерживать FPS, однако после 1.5 миллионов вершин начинается резкий спад FPS.

Таким образом, при разработке приложений для автономных гарнитур виртуальной реальности, рекомендуется избегать сцен с более чем 100,000 вершин для поддержания производительности. Для сохранения визуальной детализации, следует применять различные методы оптимизации.

#### Иерархия слоёв

В первую очередь необходимо построить иерархию важности детализации объектов. Для этого, стоит разбить все объекты на несколько групп:

- Объекты первого плана – это те объекты, которые находятся в непосредственной близости от пользователя и с которыми он может взаимодействовать. Здесь необходима максимальная детализация для комфорта восприятия. Например: интерфейс, предметы для взаимодействия и так далее.

- Объекты среднего плана - разного рода окружения, расположенные на небольшой дистанции до пользователя (3-10 метров). Здесь необходимо отойти от чрезмерной детализации и делать упор на карты

нормалей для формирования объёмности. Например, мебель, статичные объекты.

Объекты дальнего плана. К ним относятся те объекты, к которым нельзя приблизиться. Здесь рекомендуется заменить их примитивными формами с текстурой, это значительно снизит нагрузку на аппаратуру. Например: дальний фон, деревья, здания. Стоит отметить, что в иерархию заложена психологическая составляющая: мозг фокусируется в первую очередь на ближних объектах.

Основным инструментом является метод LOD (Level of Detail). Метод разделяет сцену на слои в зависимости от расстояния до камеры (пользователя) и подставляет соответствующие модели для каждой дистанции. Например, несколько моделей деревьев с различным количеством полигонов (1200, 400, 40, 2). Важно учесть, что из-за высокого разрешения и стереоскопического зрения в гарнитуре, пользователю проще заметить изменения в детализации. По этой причине, нужно делать больше уровней LOD или переключать их на большей дистанции.

На рисунке 3 показано, как детализация объектов сглаживается с увеличением расстояния до них. Низкополигональные модели визуально не уступают высокополигональным на удалении, тогда как избыточная детализация последних лишь повышает нагрузку на оборудование без заметного улучшения качества изображения.

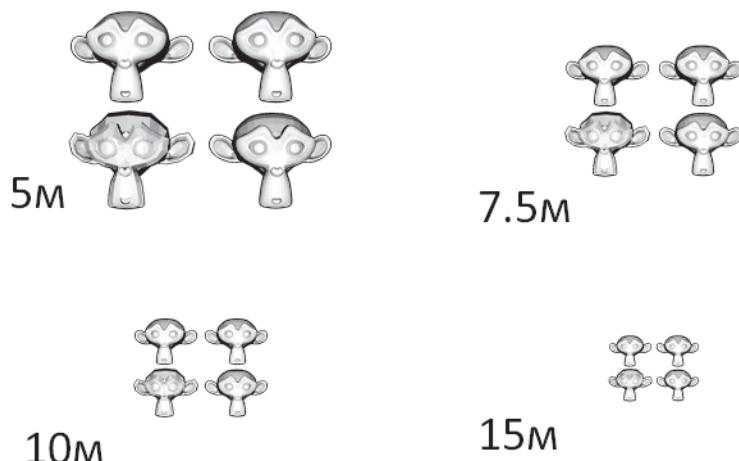


Рисунок 3 – Визуальная детализация для объектов с количеством вершин 500, 2000, 8000 и 32000 на различных дистанциях

#### Карты нормалей

Вторым важным инструментом в детализации является использование карт нормалей (Normal Maps). Они позволяют придать объёмный вид плоским формам. Данный метод необходимо использовать на всех объектах среднего и дальнего плана. Карта норма-

лей неэффективна при просмотре силуэта объекта, поэтому контуры следует формировать на уровне геометрии. В то же время мелкие детали (царапины, перепады, шероховатости) целесообразно реализовывать через карту нормалей. На рисунке 4 показан эффект от применения карты нормалей.



Рисунок 4 – Кирпичная стена, собранная из геометрических блоков (слева), плоскость с текстурой кирпичной кладки (по центру), плоскость с текстурой кирпичной кладки и картой нормалей (справа)

Первая модель кирпичной стены содержит около 1000 вершин, тогда как плоская поверхность — всего 4. При масштабировании: в первом случае потребуется добавлять вершины, во втором — лишь увеличивать расстояние между существующими. Хотя карты нормалей создают дополнительную нагрузку на GPU, она значительно меньше, чем обработка тысяч вершин.

Также, можно провести оптимизацию карт нормалей, уменьшив её разрешение и используя атласы текстур, что уменьшит объём требуемой памяти и количество вызовов CPU.

#### Процедурная генерация

Для большого количества мелких повторяющихся объектов рекомендуется исполь-

зовать процедурное генерирование и Instancing.

Instancing позволяет отрисовывать множество экземпляров одного меша, применяя к каждому индивидуальное масштабирование, поворот и другие преобразования. В результате создаётся впечатление разнообразия объектов при минимальной нагрузке на систему. Это значительно экономит ресурсы оборудования. Применяется для различных природных объектов (растительность, камни), архитектурных элементов (забор, железная дорога), частиц ( капли дождя, снаряды). На рисунке 5 показаны различные варианты использования этого метода.



Рисунок 5 – Применение Instancing (справа)

Стоит понимать, что GPU всё ещё отрисовывает множество вершин. Оптимизация заключается в экономии памяти устройства, а самое главное – в уменьшении числа вызовов CPU, освобождая его ресурс для других задач.

Процедурное генерирование с помощью шейдеров позволяет на лету создавать деформации объектов, «оживляя» картинку без нагрузки на CPU и необходимости в хранении анимация и множества моделей в памяти. Например, колебание растительности, волны на поверхности воды. Однако, следует быть избирательным в использовании шейдеров, так как они могут значительно нагружать устройство.

#### Выводы

Детализация объектов критически важна для создания достоверного окружения, однако её высокая степень существенно нагружает аппаратные ресурсы. Разработчикам необходимо контролировать число вершин в сцене, чтобы избежать перегрузки оборудования.

Для оптимизации применяют инструменты, снижающие количество вершин без потери визуальной детализации. Ключевыми методами являются: LOD, карты нормалей, instancing и шейдеры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чувиков, Д.А. Исследование 3D форматов хранения данных в интеллектуальных системах виртуальной реальности / Д.А. Чувиков, В.П. Феоктистов, А.В. Остроух // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3-3. – С. 416-420. – EDN TNBXSZ.

2. Мальцев, А.В. Визуализация виртуального окружения с использованием VR-гарнитуры / А.В. Мальцев, М.А. Торгашев // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 22-25. – DOI 10.25682/NIISI.2020.1.0003. – EDN NZWFBL.

3. Жабицкий, М.Г. Проблема разработки VR тренажеров сборки/разборки, и вариант высокопроизводительного решения на базе технологии VR Concept / М.Г. Жабицкий, С.А. Кулак, А.С. Новикова // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 8. – С. 18-29. – EDN XHJBEN.

4. Мальцев, А.В. Визуализация виртуального окружения с использованием VR-гарнитуры / А.В. Мальцев, М.А. Торгашев // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 22-25. – DOI 10.25682/NIISI.2020.1.0003. – EDN NZWFBL.

**Пузик Данила Евгеньевич** – магистрант кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(909) 808-66-20, e-mail: danilapuzik16@mail.ru;

**Пивоваров Никита Владимирович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(903) 998-13-14, e-mail: nikitap4166@mail.ru;

**Ердаков Денис Игоревич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(983) 549-10-82, e-mail: erufo-xrack@gmail.com;

**Ласкин Дмитрий Александрович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(962) 791-35-11, e-mail: dima-laskin05@gmail.com.

УДК 543.559

## ВОЗМОЖНОСТЬ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ КОНДУКТОМЕТРОВ ЗА СЧЁТ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЬНО- ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА ЭЛЕКТРОДАХ

**Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков, М. Ю. Ташкин**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Рассмотрены процессы, обуславливающие как статические, так и динамические характеристики электрического тока, протекающего через первичный преобразователь контактного кондуктометра под действием сканирующего напряжения. Показана возможность использования физических эффектов, связанных с окислительно-восстановительными реакциями на электродах для построения системы уравнений с целью определения компонентного состава электролитов раствора.

**Ключевые слова:** контактная кондуктометрия, электрохимия, окислительно-восстановительная реакция, электрофоретический эффект, релаксационный эффект, эффект Вина, эффект Дебая – Фалькенгагена.

### **Введение**

Измерение удельной электрической проводимости в основном используются для контроля концентрации бинарных растворов (растворов содержащих одно растворенное вещество в растворителе). Однако в технологических процессах и лабораторных исследованиях работают с более сложными растворами, состоящими из нескольких электролитов и растворителя, при этом существует потребность определять концентрацию каждого иона.

Для обоснования возможности расширения контроля более сложных растворов с помощью контактных кондуктометров в данной статье рассматриваются процессы, влияющие на импеданс контактного первичного преобразователя с анализируемым раствором.

Проведенные ранее экспериментальные исследования зависимости протекания электрического тока через кондуктометрическую ячейку с электродами разной площади показали наличие хорошо заметных искажений его формы относительно сигнала питающего генератора (рисунок 1) [1]. Кроме того, характер искажений зависит от материала электрода, ионного состава электролита и плотности тока через электрод малой площади.

### **Анализ объекта**

Способность растворов проводить ток зависит от природы растворенного вещества, растворителя, концентрации растворенного вещества и температуры [2]. При приложении

электрического поля в растворе возникает направленное движение гидратированных ионов. Положительно заряженные ионы мигрируют к катоду, а отрицательные к аноду. Движение ионов происходит с ускорением, однако с возрастанием скорости увеличивается сопротивление их движению. В результате скорость их движения через некоторое время стабилизируется.

Движение гидратированного иона подобно движению шара в вязкой среде, которым является растворитель. Для оценки величины установившейся скорости иона и обусловленной параметрами растворителя можно применить формулу Стокса

$$u = \frac{f}{6\pi\eta r}, \quad (1)$$

где  $f$  – сила, действующая на ион;

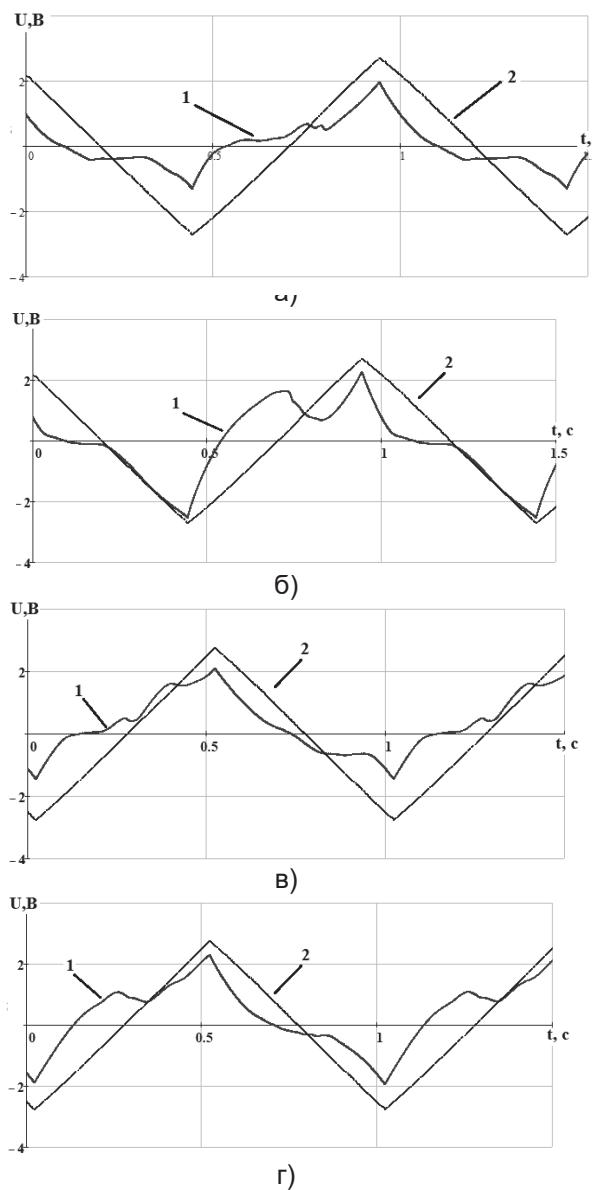
$\eta$  – вязкость среды;

$r$  – радиус гидратированного иона.

Кроме вязкости растворителя на скорость миграции иона влияют следующие эффекты:

- электрофоретический эффект торможения;
- релаксационный эффект торможения.

**ВОЗМОЖНОСТЬ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОНТАКТНЫХ КОНДУКТОМЕТРОВ ЗА СЧЁТ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ТОКА  
ПОД ВЛИЯНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА ЭЛЕКТРОДАХ**



а) – вариант с платиновым электродом малой площади в растворе  $\text{KCl}$ ; б) – вариант с позолоченным электродом малой площади в растворе  $\text{KCl}$ ; в) – вариант с платиновым электродом малой площади в растворе  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ; г) – вариант с позолоченным электродом малой площади в растворе  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .  
 1 – график, соответствующий току через электроды, преобразованный в напряжение с множителем 1200 (Ом); 2 – график напряжения питающего генератора.

Рисунок 1 – Графики зависимости тока контактной ячейки с электродами разной площади от напряжения

**Релаксационное торможение**

Согласно электростатической теории растворов сильных электролитов ионная атмосфера обладает центральной симметрией. При движении иона симметрия нарушается, а затем вновь формируется в другом положении. Этот процесс протекает с конечной скоростью, называемой временем *релаксации*. Вследствие этого ионная атмосфера теряет центральную симметрию, а позади движущегося иона всегда будет некоторый избыток заряда противоположного знака. Возникающие при этом силы электростатического притяжения будут тормозить движение иона.

**Электрофоретическое торможение**

В водной среде ионы гидратированы. Центральный ион и его ионная атмосфера имеют разные по знаку заряды и двигаются в противоположных направлениях. Поэтому движение центрального иона происходит в среде, перемещающейся ему навстречу, что снижает скорость его движения.

**Эффект Вина**

Это явление связано с тем, что при высоких напряженностях электрического поля скорость движения ионов очень высока и ионная атмосфера вокруг иона не образуется. В этих условиях и электрофоретический и релаксационный эффекты отсутствуют. С ростом напряженности электрического поля электрическая проводимость увеличивается до предельного значения.

**Эффект Дебая – Фалькенгагена**

Данный эффект заключается в том что асимметрия ионной атмосферы исчезает в полях высокой частоты, если период колебания электрического поля сопоставим со временем релаксации ионной атмосферы. Исчезновение релаксационного эффекта должно привести к повышению электрической проводимости.

Из рассмотренного можно сделать вывод, что электрическая проводимость жидкости в первичном преобразователе не зависит от процессов происходящих на его электродах.

При прохождении тока через контактный первичный преобразователь на границе раздела происходят окислительно-восстановительные электрохимические реакции.

Фрумкин предложил рассматривать электрохимические реакции, протекающие при различных значениях электродного потенциала, как однотипные химические реакции и использовать для них соотношение Бренстеда-Поляни-Семенова. Это соотноше-

ние гласит: в ряду однотипных химических реакций изменение энергии активации Гиббса  $\Delta G^\bullet$  составляет некоторую долю от изменения энергии Гиббса  $\Delta G$  реакции:

$$\Delta G^\bullet = \alpha \Delta G, \quad (2)$$

где  $\alpha$  получил название коэффициента переноса. Коэффициент переноса может изменяться от 0 до 1.

Скорость электрохимической реакции можно выразить через силу тока для катодной  $i_k$  и анодной реакции  $i_a$

$$i_k = zFk_1 C_{Ox} e^{\frac{\alpha zFu}{RT}} \quad (3)$$

$$i_a = zFk_2 C_{Red} e^{\frac{(1-\alpha)zFu}{RT}}, \quad (4)$$

где:  $z$  – число электронов участвующих в реакции;

$F$  – число Фарадея;

$k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, зависящие от строения двойного электрического слоя в катодных и анодных процессах;

$C_{Ox}$  и  $C_{Red}$  – концентрация окисляющихся и восстанавливающихся частиц;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – абсолютная температура;

$u$  – сумма равновесного потенциала и электродной поляризации.

Как видно из (3) и (4) катодный и анодный токи различаются между собой. Следует ожидать, что поляризационное сопротивление так же имеет разную величину и нелинейную зависимость от суммы равновесного потенциала и электродной поляризации.

### Обсуждение и выводы

Таким образом, можно отметить, что миграция ионов в анализируемом растворе и электрохимические реакции на электродах обеспечиваются разными, не связанными процессами. Единственное что их связывает между собой – это концентрация растворенных веществ. Измеряя отдельно активную проводимость раствора и величины поляризационного сопротивления, можно получить системы уравнений, связывающие концентрации растворенных веществ с общей электропроводностью и компонентным составом электролитов. Такой процесс позволяет контролировать концентрацию компонентов в более сложных растворах, чем бинарные.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кровобоков, Д.Е. Разработка макета интеллектуального многоэлектродного иономера / Д.Е. Кривобоков, Б.С. Первухин, В.А. Соловьев, В.М. Лихацкий, К.Д. Кривобоков / Ползуновский альманах. – 2023. - №3, – С. 45-49.

2. Дамаскин, Б.Б. Электрохимия / Б.Б.Дамаскин, О.А.Петрий, Г.А.Цирли на. — 2 изд., испр. и перераб. — М.: Химия, Колос С, 2006. — 672 с.: ил.

**Первухин Борис Семенович** – д.т.н, профессор кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова;

**Кривобоков Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н. доцент кафедры ИТ АлтГТУ им И.И. Ползунова, тел +7 961-976-75-63, e-mail: dmitriikrивобоков@mail.ru;

**Ташкин Михаил Юрьевич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им И.И. Ползунова, тел +7 962-796-26-79, mail: mihail.tashcin@gmail.ru.

## ТЕКСТУРИРОВАНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ В ПРИЛОЖЕНИЯХ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

**Д. Е. Пузик, Н. В. Пивоваров, Д. И. Ердаков, Д. А. Ласкин**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Приведены основные принципы текстурирования и освещения сцен в приложениях для автономных VR гарнитур. Описаны методики повышения производительности приложений и приведены примеры их использования.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, окружение, текстурирование, текстура, освещение, виртуальная сцена, дизайн сцены, LOD, ASTC, FPS, сжатие текстур, атлас текстур, запекание текстур.

### Введение

Художественная настройка освещения и материалов сцены – является одной из ключевых работ в разработке приложений. Именно подбор материалов и освещения создаёт комфортную для пользователя среду.

Особенное значение эта работа имеет в контексте разработки приложения для автономных гарнитур виртуальной реальности, так как здесь важную роль играют аппаратные и физиологические ограничения. Неверный подбор материалов и света грозит перегрузкой системы и дискомфортом пользователя, в том числе вполне конкретным симптомам: головокружение, головная и зрительная боль, тошнота, дезориентация и потеря равновесия.

### Текстурирование

Текстуры составляют важную часть в формировании восприятия окружающего пространства. Неправильное текстурирова-

ние приводит не только к эстетическим проблемам, но и к дискомфорту пользователя из-за физиологических особенностей, а также снижения FPS при высокой нагрузке на оборудование.

В приложениях для гарнитур виртуальной реальности важно избегать использования визуального шума и паттернов, так как при движении это создаёт различные артефакты и иллюзии, а также дрожание, вызывающие дискомфорт пользователя. Например, мелкая шахматная доска, мелкий хаотичный мусор на текстуре, частые полоски. Рекомендуется использовать LOD текстур, чтобы мелкие детали прорисовывались только вблизи или не отрисовывать их вообще.

На рисунке 1 наглядно показано, как работает LOD для текстур. При этом, удаётся не только упростить текстуру (на упрощённом изображении используется сплошной цвет), но и избежать шума, вызванного мелким паттерном.



Рисунок 1 – Шахматный паттерн и применение LOD для текстуры

Важными являются цветовые решения, так как сильный контраст и слишком насыщенные цвета создают высокую нагрузку на глаза. Общая рекомендация – использовать приглушенные и пастельные цвета.

Следует избегать кислотных оттенков, чистого чёрного и белого цвета, близкого

расположения контрастных цветов (рисунок 2).

Особенно важно избегать резкого изменения яркости. Например, при выходе из тёмного помещения на свет, так как это может дать эффект временной слепоты и в целом дискомфортно для пользователя.

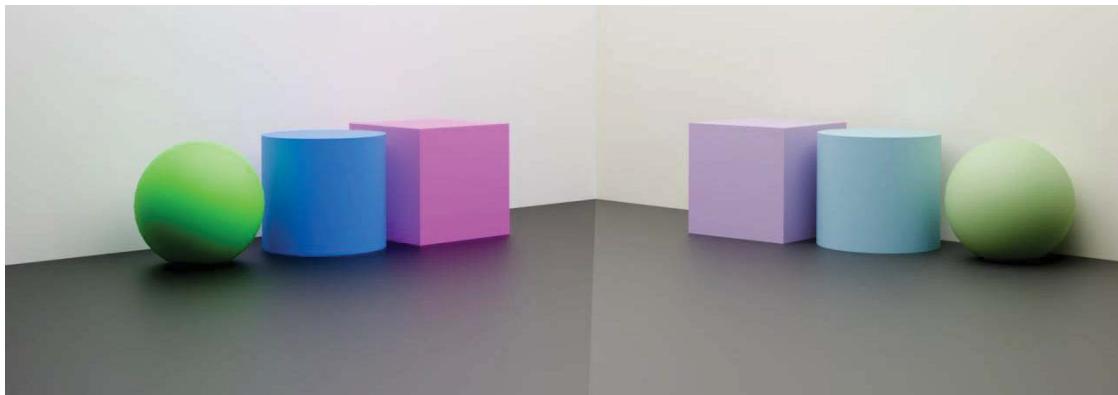


Рисунок 2 – Цветовая композиция окружения

Важно делать текстуры чёткими и читаемыми, особенно текст. В первую очередь это касается объектов первого плана, когда пользователь подходит к ним вплотную. Размытые текстуры вызывают дискомфорт и снижают иммерсивность всего окружения.

Как и в случае детализации, текстурирование требует активного использования LOD. Объекты в руках должны иметь текстуры высокого разрешения (2K), средний план до 1K, объекты дальнего плана до 512x512, а бесконечно удалённые объекты до 128x128.

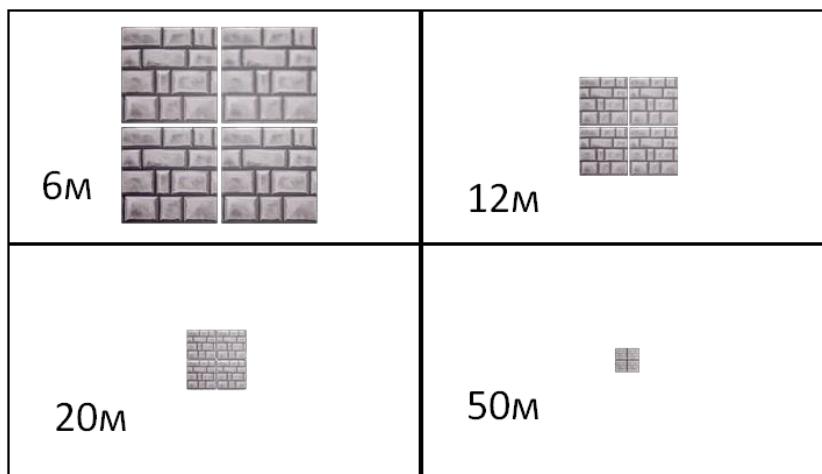


Рисунок 3 – Отображение текстур с разрешением 1024, 256, 128 и 64 на разном расстоянии

На рисунке 3 наглядно показано, что «мыльные» вблизи изображения выглядят аналогично с исходными. С определённых дистанций имеет смысл заменять текстуры сплошным цветом.

Критически важно использовать аппаратное сжатие текстур, для экономии пропускной способности. Стандартом мобильных VR-гарнитур является ASTC. Его применение позволяет использовать более высокое разрешение текстур в сценах без просадки FPS.

1. Однако множество мелких текстур требует множества вызовов и нагружает процессор. Для снижения решения этой проблемы рекомендуется упаковывать множество небольших текстур в атласы – одну большую текстуру (рисунок 4). Применимо для текстур до 512x512. Например, для текстур, изображающих камни, листву, посуду, книги и тому подобное.

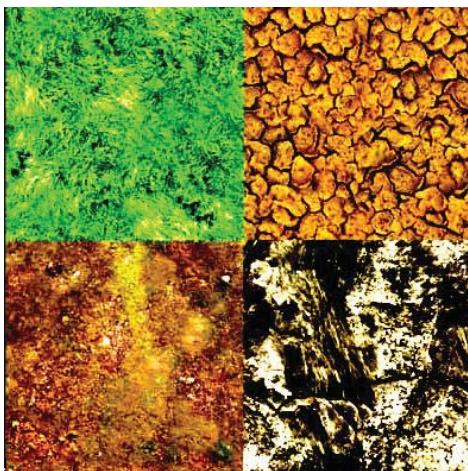


Рисунок 4 – Использование атласа текстур

Для снижения нагрузки на пропускную способность следует оптимизировать карты текстур. Наибольшей детализацией должны обладать карты Albedo и Diffuse, так как именно они в большей степени влияют на внешний вид объектов. Далее следует карта нормалей, которая может быть в 1.2-1.5 раза меньше и Roughness/Metallic – в 2 раза меньше.

Следует избегать использования зеркальных и прозрачных поверхностей, поскольку они требуют нескольких проходов при отрисовке, что увеличивает время на кадр. Вместо этого, по возможности, можно использовать запекание текстур.

#### Освещение

Освещение формирует атмосферу сцен и напрямую влияет на ориентацию в пространстве, комфорт пользователя и производительность приложения.

Как уже отмечалось, следует избегать резких контрастов. В VR-гарнитуре глаза на-

ходятся в затемнённом пространстве, а дисплей фактически выступает источником света в непосредственной близости от глаз. Поэтому не рекомендуется использовать абсолютно чёрные цвета: они провоцируют сильное расширение зрачка, из-за чего яркие элементы изображения становятся чрезмерно раздражающими для зрения. Особенно опасны резкие переходы из темноты на свет и белые объекты на чёрном фоне, заполняющие всё визуальное пространство. Рекомендуется избегать подобных окружений и использовать плавные переходы. Также, рекомендуется использовать приглушённые источники света в сценах.

Важный элемент усиления иммерсивности – объёмный свет. Плоский свет затрудняет восприятие глубины и делает сцену неестественной. Рекомендуется использовать сочетание ключевого света – одного главного источника, задающего главные тени и заполняющий свет для их сглаживания (рисунок 5).

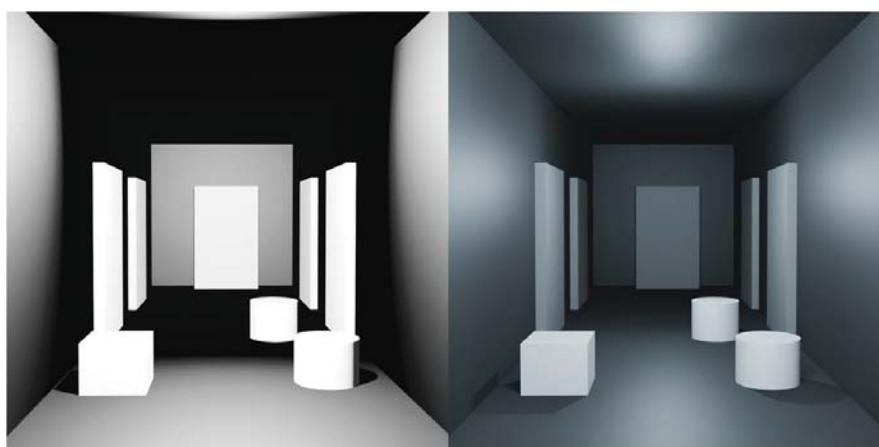


Рисунок 5 – Применение объёмного света в сцене

Динамическое освещение существенно нагружает производительность, поэтому в автономных VR-гарнитурах его следует минимизировать или исключить. Предпочтение отдаётся запечённому освещению и теням – везде, где это допустимо. Для баланса между иммерсивностью и производительностью необходимо чётко разграничивать зоны применения запечённых текстур и динамического освещения.

Все неподвижные объекты и источники освещения должны использовать запекание (рисунок 6). Если свет должен менять свою интенсивность, например, при включении и отключении лампы, можно использовать разные карты освещения, а на светящиеся объекты наложить эффект свечения. Это создаёт реалистичный эффект, при этом, не тратя ресурсов. Однако следует учесть, что светящиеся объекты не освещают окружающие их предметы.



Рисунок 6 – Применение динамического (слева) и замечённого света (справа)

К динамическим объектам относятся подвижные объекты и те, что должны включаться и выключаться. Например, фонарь в руках игрока. Не рекомендуется использовать более 1-2 источников света в одной сцене.

Тени крайне важны для формирования объёма сцены, но они очень дороги по производительности. По этой причине, рекомендуется запекать все тени на сцене. Вместо теней подвижных объектов, можно использовать затемняющие подложки, не связанные с источниками света. Также, для снижения нагрузки, можно использовать карты теней с низким разрешением – всё равно на них не видно мелких деталей.

#### Выводы

Создание высококачественного VR-продукта — сложный многоаспектный процесс, требующий учёта технических ограничений оборудования, особенностей человеческого восприятия и эффективных методов оптимизации. Предложенные подходы не только способствуют заметному улучшению качества приложений и повышению комфорта пользователей, но и демонстрируют универсальность применения в смежных областях разработки, включая компьютерные игры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чувиков, Д.А. Исследование 3D форматов хранения данных в интеллектуальных системах виртуальной реальности / Д.А. Чувиков, В.П. Феоктистов, А.В. Остроух // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3-3. – С. 416-420. – EDN TNBXSZ.

**Пузик Данила Евгеньевич** – магистрант кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(909) 808-66-20, e-mail: danilapuzik16@mail.ru;

**Пивоваров Никита Владимирович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(903) 998-13-14, e-mail: nikitap4166@mail.ru;

**Ердаков Денис Игоревич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(983) 549-10-82, e-mail: erufotrack@gmail.com;

**Ласкин Дмитрий Александрович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(962) 791-35-11, e-mail: dima-laskin05@gmail.com.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИМУЛЯТОРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

**М. С. Королёв, А. С. Анисимов, В. А. Логинов, В. А. Щеколдина**

Институт прикладных информационных технологий и коммуникаций  
Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина  
г. Саратов

*В статье рассматриваются принципы и этапы разработки программного симулятора для обучения операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Подчёркивается важность симуляторов как эффективного инструмента подготовки, позволяющего безопасно отрабатывать навыки управления и действия в нештатных ситуациях. Описаны цели и задачи проекта, включая моделирование физики полёта, создание пользовательского интерфейса, реалистичной визуальной среды и системы сценариев обучения. Приведена структура программного комплекса, основанная на модульной архитектуре, а также этапы проектирования, реализации и тестирования. Отдельное внимание уделено применению симулятора в образовательных и корпоративных целях, а также перспективам развития технологий с использованием искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности. Разработка подобных систем способствует повышению качества подготовки операторов и снижению рисков при эксплуатации БПЛА.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, симулятор, обучение операторов, моделирование полёта, физическая модель, пользовательский интерфейс, визуализация, виртуальная среда, искусственный интеллект, виртуальная реальность, дополненная реальность, системы обучения.

### Введение

Современное развитие технологий в области беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) обусловило потребность в эффективных системах обучения операторов. Управление дронами, особенно в сложных метеоусловиях или при выполнении ответственных миссий, требует высокой концентрации, точности и знания специфики работы оборудования. В связи с этим возрастают требования к системам подготовки операторов, среди которых особое место занимают программные симуляторы [1].

Симуляторы позволяют моделировать реальные сценарии полётов без риска повреждения техники или угрозы безопасности окружающих. Они предоставляют возможность обучающимся осваивать принципы управления, отрабатывать стандартные и нештатные ситуации, а также повышать уровень автоматизма действий. Разработка качественного программного обеспечения (ПО) симулятора — сложная инженерная задача, включающая в себя вопросы моделирования физики полёта, интерфейса, визуализации и интеграции с аппаратными средствами [2].

### Цели и задачи разработки симулятора

Основной целью разработки является создание программного комплекса, который обеспечивает реалистичную имитацию полёта беспилотного аппарата и позволяет пользователю тренироваться в управлении различными типами дронов.

Ключевые задачи реализуются через следующие этапы:

Разработка физической модели полёта. Необходимо обеспечить корректное моделирование аэродинамических сил, поведения аппарата при изменении углов атаки, скорости, ветровых воздействий и других факторов.

Реализация пользовательского интерфейса. Интерфейс должен быть интуитивно понятным, обеспечивать доступ к настройкам аппарата, камере наблюдения, телеметрическим данным и инструментам анализа полёта.

Создание визуальной среды. Для повышения реалистичности обучения требуется трёхмерная графическая сцена, имитирующая реальные условия местности, погодные явления и препятствия.

Интеграция с внешними устройствами. Симулятор может взаимодействовать с пультами управления, шлемами виртуальной реальности, системами обратной связи и контроллерами.

Разработка системы сценариев обучения. Важно реализовать возможность задания учебных миссий различной сложности: взлёт и посадка, полёт по маршруту, выполнение обследования объекта, аварийные ситуации и т.п.

### **Этапы разработки программного обеспечения**

Процесс разработки симулятора включает несколько этапов, каждый из которых требует специализированных знаний и инструментов.

Анализ требований и проектирование.

На этом этапе проводится исследование потребностей целевой аудитории — операторов дронов, учебных центров и компаний, занимающихся аэросъёмкой или мониторингом. Определяются требования к функциональности, интерфейсу, точности моделирования и производительности.

Результатом становится техническое задание (ТЗ), где описываются архитектура системы, перечень функций, требования к оборудованию и программной платформе.

### **Разработка архитектуры**

Архитектура симулятора обычно модульная. Основные модули включают:

- Модуль физического моделирования (аэродинамика, динамика движения);
- Модуль визуализации (графический движок, 3D-сцены);
- Модуль пользовательского интерфейса (панели инструментов, датчики, карта местности);
- Модуль управления (интерпретация сигналов от контроллеров);
- Система сценариев и обучения;
- Модуль записи и анализа данных.

Взаимосвязь модулей предполагается выстраивать по принципу чистой архитектуры [3].

Модули приложения предполагается разделить по архитектурным слоям, взаимосвязь между которыми будет представлена интерфейсами, при этом модули на более низких слоях не будут содержать никаких подробностей о работе модулей на более высоких слоях.

Такой подход будет полезен при расширении функциональных возможностей симулятора. Использование такого вида архитектуры также позволит легко менять подсистемы

мы симулятора. Так как модули являются независимыми (в том числе от конкретной среды реализации мультимедийных приложений), доменные и прикладные слои можно тестировать отдельно, от чего снижается время и ресурсы, необходимые для тестирования отдельных частей.

Для разработки могут использоваться средства создания мультимедийных приложений Unity [5] или Unreal Engine, которые предоставляют инструменты 3D-визуализации и физического моделирования. В качестве языков программирования часто применяются C++, C#, Python или их комбинация.

### **Реализация физической модели**

Одним из ключевых компонентов симулятора является модель полёта. Она должна учитывать массу аппарата, силу тяги, сопротивление воздуха, влияние ветра, углы атаки, центровку и инерционные свойства. Для обеспечения реалистичности применяются численные методы интегрирования дифференциальных уравнений движения, такие как метод Рунге–Кутты.

Кроме того, важно учитывать задержки в передаче управляющих сигналов, что позволяет имитировать реальную работу каналов связи и реакции дрона на команды оператора.

Движение БПЛА можно разбить на:

- угловое движение;
- движение центра масс;
- продольное движение;
- боковое движение.

–Для реализации реалистичной модели управления БПЛА необходимо реализовать четыре канала управления:

- канал управления двигателем;
- канал управления тангажом;
- канал управления креном;
- канал управления рысканием.

При реализации физической модели БПЛА с помощью средства создания мультимедийных приложений необходимо корректно разместить модель аппарата относительно мировых координат средства создания мультимедийных приложений. Такую систему координат можно считать инерциальной. Для корректной симуляции также необходимо выстроить систему координат летательного аппарата относительно его центра тяжести. Для моделирования движения БПЛА (с учётом аэродинамических сил) необходимо ввести скоростную систему летательного аппарата [4].

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИМУЛЯТОРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

## Разработка интерфейса пользователя

Интерфейс должен быть адаптирован для начинающих и опытных пользователей. В нём реализуются:

- панель приборов с основными параметрами (высота, скорость, координаты, заряд аккумулятора);
- камера наблюдения от первого лица (FPV) и третьего лица;
- карта маршрута и контрольные точки;
- система подсказок и оценка качества управления.

–элемент, отображающий положение БПЛА в пространстве

Особое внимание уделяется эргономике интерфейса, минимизации избыточных элементов и обеспечению понятной визуализации данных.

## Визуализация и моделирование среды

Для повышения реализма разрабатывается виртуальная среда — трёхмерная модель ландшафта, объектов инфраструктуры и погодных эффектов. Использование фотографических текстур и процедурной генерации позволяет создавать разнообразные сценарии: городской ландшафт, сельскую местность, горную зону, морское побережье и т.д. Динамическое освещение, реалистичные техники и физика взаимодействия с объектами усиливают эффект присутствия.

В качестве дополнительного модуля разрабатываются функциональные возможности для генерации карт местности на основании спутниковых снимков.

Для определения контуров территорий (например, водоём, лесополоса, здания) можно использовать библиотеку с исходным кодом OpenCV [6, 7].

## Тестирование и оптимизация

После реализации основных модулей проводится тестирование симулятора. Проверяется корректность физической модели, стабильность работы, точность отображения параметров, реакция на управляющие сигналы.

Также выполняется оптимизация производительности — снижение нагрузки на процессор и видеокарту, устранение ошибок и задержек. На этом этапе важно получить обратную связь от пользователей и внести улучшения в интерфейс и функционал.

## Применение симулятора в обучении операторов БПЛА

Программный симулятор является важным элементом системы подготовки операторов. Он позволяет:

–снизить затраты на обучение и ремонт техники;

–повысить безопасность учебного процесса;

–отрабатывать нештатные ситуации без риска;

–оценивать прогресс обучаемых с помощью встроенной системы статистики и анализа ошибок.

Симулятор может быть использован как в образовательных учреждениях, так и в корпоративных центрах подготовки. Дополнительно он способен выполнять функции исследовательского инструмента для анализа поведения БПЛА в различных условиях.

## Перспективы развития

Современные тенденции в области разработки симуляторов связаны с интеграцией технологий искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности. Использование VR/AR-устройств обеспечивает более глубокое погружение в процесс управления, а нейросетевые модели позволяют адаптировать уровень сложности и сценарии обучения под конкретного пользователя.

Кроме того, всё большее внимание уделяется сетевым симуляторам, которые дают возможность коллективного обучения и моделирования групповых полётов.

## Заключение

Разработка программного обеспечения симулятора для отработки навыков управления беспилотными аппаратами представляет собой многокомпонентную задачу, объединяющую элементы программной инженерии, физического моделирования и педагогического проектирования.

Создание такого инструмента позволяет значительно повысить эффективность обучения операторов, снизить затраты и риски, а также обеспечить высокий уровень подготовки специалистов в области беспилотных технологий.

С учётом быстрого роста рынка БПЛА и постоянного расширения сфер их применения, значение качественных симуляторов будет только возрастать, стимулируя дальнейшие исследования и инновационные решения в данной области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончарова, Н.П. Беспилотные летательные аппараты в современном мире. Краткий обзор и перспективы развития / Н.П. Гончарова, В.С. Примачук // Символ науки. – 2023. – №. 6-2. – С. 12-14.

2. Струков, Д.Д. Анализ актуальности и преимуществ тренажеров беспилотных летательных

аппаратов в современное время // Вестник науки. – 2024. – Т. 4. – №. 6 (75). – С. 1384-1387.

3. Мартин, Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. – Питер, 2022.

4. Белов, Н. В., Репинский В. Н. Моделирование полета беспилотного летательного аппарата в MatlabSimulink // T Comm. – 2023. – Т. 17. – №. 6.

5. Unity Technologies. Unity Manual: Flight Simulation and Physics Modeling. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.unity3d.com/> (дата обращения: 27.10.2025).

6. Лопатина, Е.В. Использование библиотеки OpenCv для распознавания контуров визуальных данных из публичной кадастровой карты росреестра в рамках разработки модуля для автоматизации рисовки плана земельного участка / Е.В. Лопатина, С.С. Мазель // СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. – 2022. – С. 79-81.

7. Home OpenCV: official site / OpenCV team. – [Электронный источник], 2022. – URL: <https://opencv.org/> (Дата обращения: 01.11.2025)

**Королёв Михаил Сергеевич** – к.т.н., доцент кафедры ПИТ СГТУ им. Гагарина Ю.А., тел. 8(962)6171715, e-mail: koroliow.mikhail@yandex.ru;

**Анисимов Александр Сергеевич** – студент кафедры ПИТ СГТУ им. Гагарина Ю.А., тел.: 8(987)3708122, e-mail: anisimov-bloody@mail.ru;

**Логинов Владислав Алексеевич** – студент кафедры ПИТ СГТУ им. Гагарина Ю.А., тел.: 8(987)3514884, e-mail: loginov.vladislav-sstu@yandex.ru;

**Щеколдина Виктория Александровна** – студент кафедры ПИТ СГТУ им. Гагарина Ю.А., тел.: 7 8(987)3266540, e-mail: schekoldina28@mail.ru.

## РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ В ШОУ-БОКСЫ

Т. В. Котлубовская, Д. Е. Романенко, Т. Ю. Федорова

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

*Статья посвящена разработке проекта системы автоматизированного контроля укладки продукции в шоу-боксы на кондитерской фабрике.*

**Ключевые слова:** система автоматизированного контроля, индексный конвейер, ленточный конвейер, оптический датчик, микроконтроллер, укладка продукции, шоколадный батончик, шоу-боксы.

В настоящее время на пищевых производствах происходит внедрение передовых технологий и систем в производственный процесс. При этом важное место отводится вопросам организации автоматизации производства, охватывающей все его этапы: от обработки сырья до упаковки готовой продукции [1].

Автоматизированные системы разрабатываются таким образом, чтобы можно было их легко перенастроить для производства различных видов продукции, реагируя тем самым, на изменения спроса [1].

На кондитерской фабрике "Алтай" при производстве шоколадных батончиков (типа Твикс) на этапе упаковки продукции реализован роботизированный вид укладки в шоу-боксы. Шоу-бокс представляет собой небольшую быстросборную картонную коробку вмещающую 12 батончиков.

При упаковке шоколадных батончиков в шоу-боксы на роботизированном участке производства иногда возникает проблема подачи некорректного количества продукции в зону загрузки робота. С линии на индексный конвейер должно подаваться 16 батончиков за один цикл работы робота-манипулятора. Это количество соответствует количеству подаваемой пустой тары (шоу-боксов) и темпу работы всего комплекса. В случае изменения количества подаваемой продукции в зону загрузки, шоу-боксы будут уходить в зону маркировки неполными (подано менее 16 штук), либо с повреждённым продуктом (подано более 16 штук). Для решения этой проблемы необходимо разработать систему автоматизированного контроля укладки продукции в шоу-боксы и интегрировать ее в существующий роботизированный участок упаковки. То есть, контролируя количество батончи-

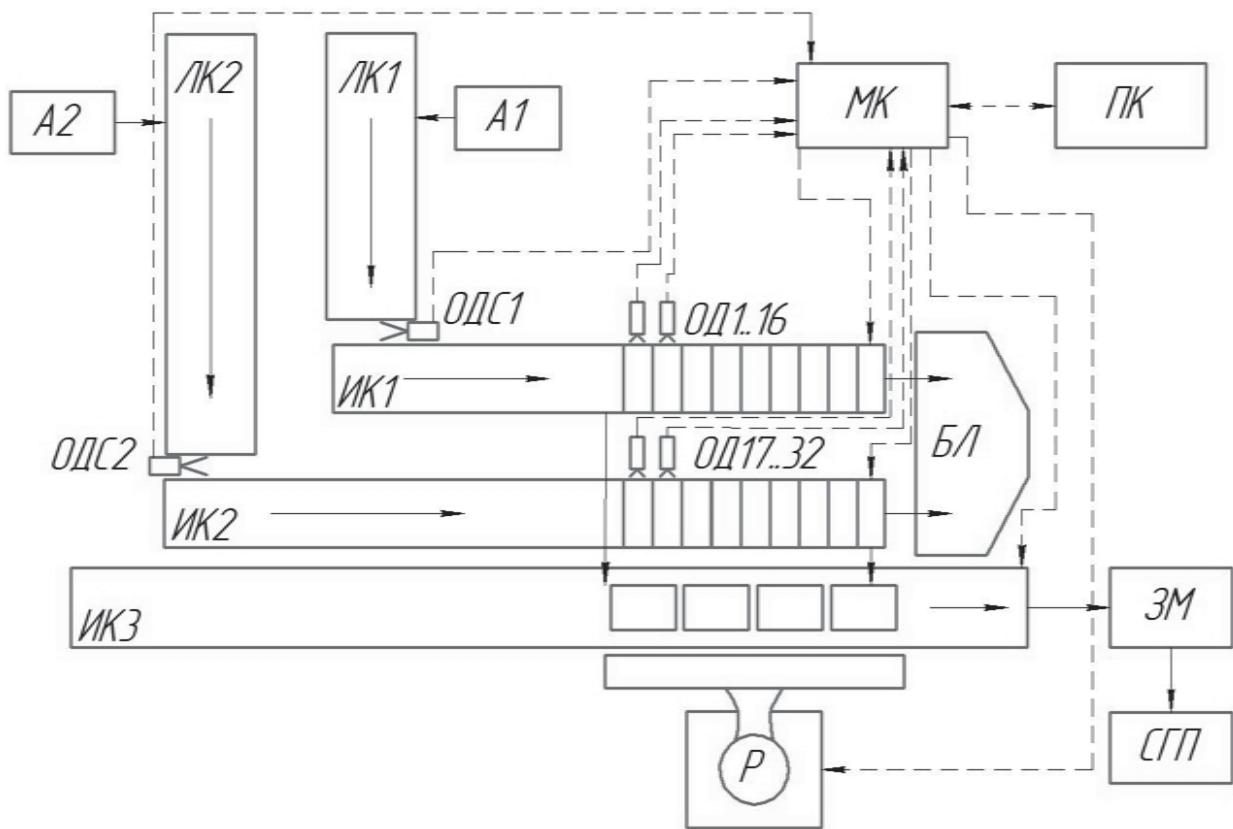
ков на индексных конвейерах в зоне загрузки, можно решить проблему некорректной укладки продукции в шоу-боксы, сокращая при этом количество дополнительных трудовых затрат при переупаковке шоу-боксов, а также возвратов и претензий от покупателей.

Вышеизложенное послужило основанием для постановки цели работы: "Разработать систему автоматизированного контроля укладки продукции в шоу-боксы".

Функциональная схема разрабатываемой системы представлена на рисунке 1. Сплошной линией обозначено движение продукции, а пунктирной – управляющие сигналы.

Разрабатываемая система должна контролировать автоматизированную укладку батончиков в шоу-боксы и загружать чётко определённое количество батончиков за один цикл (по 16 штук).

На роботизированный участок укладки продукции поступает с основной линии производства в виде шоколадных батончиков попарно упакованных в герметичную плёнку. Процесс упаковки батончиков происходит на основной линии производства и осуществляется на двух автоматах А1 и А2, работающих параллельно (то есть одновременно). Упакованные батончики движутся по двум ниткам ленточных конвейеров ЛК1 и ЛК2 раздельно после каждого автомата. С ленточных конвейеров батончики попадают на индексные конвейеры ИК1 и ИК2. При этом, в точке перехода с ленточных конвейеров на индексные происходит смена направления движения и подсчёт батончиков. Подсчёт осуществляется с помощью оптических датчиков ОДС1 и ОДС2 [2].



Условные обозначения:

А1, А2 – упаковочные автоматы;

Р – робот-манипулятор;

ОДС1, ОДС2 – оптические датчики-счетчики;

ЗМ – зона маркировки;

БЛ – бункер-ловушка;

ИК1, ИК2, ИК3 – индексные конвейеры;

ЛК1, ЛК2 – ленточные конвейеры;

СГП – склад готовой продукции;

МК – микроконтроллер;

ОД1-ОД32 – система оптических датчиков;

ПК – персональный компьютер.

Рисунок 1 – Функциональная схема системы автоматизированного контроля укладки продукции шоу-боксы

На индексных конвейерах батончики попадают в специальные лотки (по одному батончику в каждый лоток), собираются в группы по 16 штук с четко заданным интервалом между ними и перемещаются в зону загрузки. Далее группа батончиков останавливается на индексных конвейерах и ждёт захвата роботом Р. Робот перемещает группу батончиков на ИК3 попаременно с ИК1 и с ИК2. Один цикл укладки представляет собой вакуумный захват группы батончиков из 16 штук и укладку этой группы в 4 шоу-бокса по 4 штуки в каждый. Шоу-боксы,

находящиеся на ИК3 загружаются роботом Р за 3 цикла, перемещаются в зону маркировки ЗМ и, затем, на склад готовой продукции СГП. В момент перехода с ленточных конвейеров на индексные иногда возникают ошибки с подсчётом батончиков датчиками ОДС. Датчик может посчитать два батончика или ноль батончиков за один, что влечёт за собой недогруз в шоу-бокс (если лоток пуст на загрузке), либо повреждение батончика (в случае двух штук в лотке). Происходят данные ошибки в подсчёте в связи с особенностями упаковки в автоматах А1 и А2.

# РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УКЛАДКИ ПРОДУКЦИИ В ШОУ-БОКСЫ

В случае изменения этикета (фантика) или изменения рецептуры батончика, может происходить раздувание или сплющивание упакованного батончика. Учитывая, что движение группы батончиков в зону загрузки происходит с максимально возможной для индексного конвейера скоростью, случается выпадение батончика из лотка. Либо при переходе с ленточного конвейера на индексный в лоток попадает сразу два сплющенных батончика, один на другом. Вследствие чего, робот либо несёт в шоубокс "пустоту" вместо батончика, либо ломает/повреждает верхний батончик. Датчики ОДС1 и ОДС2 отследить этот процесс не могут. Устранение данных ошибок осуществляется перенастройкой автоматов А1 и А2. Скорости на линии очень высокие (максимум 400 батончиков в минуту) и оператор комплекса не всегда в состоянии отследить данные ошибки. Они обнаруживаются позже, при выявлении недовеса в шоубоксах, либо при обнаружении повреждения батончика конечным потребителем. В первом случае увеличиваются трудозатраты рабочих при переупаковке шоубоксов, во втором случае - предприятие несёт репутационные потери.

Разрабатываемая система контроля предполагает установку оптических датчиков ОД1...ОД32 над каждым лотком в зоне загрузки на ИК1 и ИК2. С помощью датчиков будет определяться количество батончиков в лотке. Допустимое количество - один, недопустимое - ноль и два. Это достигается настройкой датчика ОД на определённое расстояние, дальше и ближе которого датчик не будет "видеть". Датчик устанавливается под углом к направлению движения. Этим увеличивается "зона допустимого расстояния" и сам датчик уводится с траектории движения вакуумного захвата.

Разработан специальный бункер-ловушка БЛ с мягким амортизатором для предотвращения повреждений продукции.

Логика работы системы контроля следующая. При обнаружении ненадлежащего количества батончиков в зоне загрузки, робот отменяет захват и пропускает цикл загрузки, а "ненадлежащая" группа сбрасывается в бункер-ловушку. Такое действие даёт лишь незначительную

задержку цикла, но исключает негативные последствия, описанные выше.

Также планируется ввести счётчик ошибок: при достижении определённого количества (например 5 случаев в час), на пульте оператора загорится сигнальная лампа, призывающая заняться перенастройкой автоматов А1 и А2.

В системе будут использоваться: робот Fanuc M-20iD, оптические датчики WTB12-3P2431 Sick 10414111, серводвигатели и сервоприводы Schneider Electric (расположены на ИК1, ИК2, ИК3), плата Arduino UNO Rev 3 с микроконтроллером ATmega328P-AU, автоматы FLOW PACKING MACHINE JY-ZB400 (A1 и A2) и бункер-ловушка индивидуального проектирования.

## Выводы

На данном этапе работы определён состав программно-аппаратных средств, необходимых для разработки системы автоматизированного контроля укладки продукции в шоубоксы, разработана функциональная схема системы и описан принцип ее работы.

Разрабатываемая система автоматизированного контроля позволит контролировать машинную укладку батончиков в шоубоксы и загружать чётко определённое количество батончиков за один цикл.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безъязычный, В.Ф. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие / В.Ф. Безъязычный, Е.В. Шилков. – Рыбинск: РГАТА, 2002. – 78 с. – Текст: непосредственный.
2. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищук. – Москва: Техносфера, 2012. – 624 с. – ISBN 978-5-94836-316-5. Текст: непосредственный.

**Котлубовская Татьяна Викторовна** – к. т. н., доцент кафедры Информационные технологии, тел.: (3852) 290913, e-mail: tavikot2010@mail.ru;

**Романенко Денис Евгеньевич** – студент кафедры Информационные технологии, e-mail: denisrom38-80@mail.ru;

**Федорова Татьяна Юрьевна** – студент кафедры Информационные технологии, e-mail: fyodorovataniuscha@yandex.ru.

## АППАРАТНЫЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Д. Е. Пузик, Н. В. Пивоваров, Д. И. Ердаков, Д. А. Ласкин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Приведены основные аппаратные и физиологические ограничения, накладываемые при разработке приложения для автономных гарнитур виртуальной реальности. Описаны их причины и следствия, а также ключевые методы разрешения.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, вычислительная мощность, физиология человека, производительность.

### Введение

В последнее время, активное развитие и распространение получают автономные гарнитуры виртуальной и дополненной реальности, что стимулирует разработку приложений для них, начиная от игр и заканчивая профессиональными учебными симуляторами. Однако, данный тип гарнитуры обладает рядом специфичных свойств, среди которых выделяются технические особенности: относительно невысокая производительность, высокое разрешение дисплеев, необходимость в отрисовке двух изображений. Кроме того, на восприятие виртуальной реальности существенно влияют индивидуальные физиологические особенности человека, обусловленные близким расположением дисплеев к органам зрения.

Это накладывает определённые требования к окружению разрабатываемого приложения для комфортного его использования пользователем.

### Аппаратные ограничения

Несмотря на усилия ведущих производителей и использование современных высокопроизводительных чипов в гарнитурах виртуальной реальности, их компактные размеры и требования к автономности неизбежно ограничивают общую производительность. В результате автономные гарнитуры по-прежнему существенно уступают стационарным решениям. Сравнительные показатели производительности представлены в таблице 1.

Это неизбежно ограничивает детализацию объектов, разрешение текстур и слож-

ность моделей освещения. Для поддержания стабильного качества визуализации требуется упрощения и специализированные методы оптимизации.

### Физиологические ограничения

Близкое к глазам расположение дисплеев создаёт высокую нагрузку на них: высокая яркость, её резкое изменение, фокусировка на очень коротком расстоянии. Несмотря на высокое разрешение и используемые технологии для снижения нагрузки, проблема остаётся актуальной и накладывает ограничения на приложение: ограничение яркости и цветовой гаммы, ограничение на детализацию и разрешение.

Особенно остро стоит проблема текста, так как его чтение вынуждает в значительной мере напрягать глаза для точной фокусировки. Это приводит к скорому утомлению глаз и возникновению болезненных ощущений.

Также ограничения касаются работы вестибулярного аппарата. Когда зрение сообщает о движении, а тело неподвижно, мозг не может согласовать эти противоречивые сигналы. Эта дезориентация и перегрузка сенсорных систем приводит к неприятным последствиям: головной боли, тошноте, потере равновесия.

Для снижения негативного влияния на здоровье человека и повышения комфорта при нахождении в виртуальной реальности следует применять ряд методов, направленных на снижения нагрузки на сенсорную систему человека. В первую очередь этого можно добиться созданием правдоподобного окружения.

**АППАРАТНЫЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР  
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Таблица 1 – Сравнительная таблица производительности мобильного чипа, используемого в VR-гарнитурах с видеокартами, используемыми в стационарных компьютерах

Название	Вычислительная мощность, TFLOPS	Энергопотребление, Вт	Энергоэффективность, TFLOPS/Вт
Snapdragon XR2 Gen 2	2	10	0,2
NVIDIA GeForce RTX 3060	13	170	0,076
RTX 4090	83	450	0,18

### **Выводы**

Озвученные выше ограничения противоречат друг другу, так как реалистичный мир требует большой производительности, которая ограничена у мобильных гарнитур виртуальной реальности. По этой причине, при разработке приложений следует прибегать к компромиссам – оптимизации.

Большинство из методов оптимизации давно известны, но оказываются особенно важными при разработке приложений для автономных гарнитур виртуальной реальности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Чувиков, Д.А. Исследование 3D форматов хранения данных в интеллектуальных системах виртуальной реальности / Д.А. Чувиков, В.П. Феоктистов, А.В. Остроух // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3-3. – С. 416-420. – EDN TNBXSZ.

2. Спирионова, И.А. Технология построения виртуальной сцены в системах виртуальной реальности / И.А. Спирионова // Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем: материалы V Международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 25 мая 2007 года. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2007. – С. 84-87. – EDN JGIRJM.

3. Жабицкий, М.Г. Проблема разработки VR тренажеров сборки/разборки, и вариант высокопроизводительного решения на базе технологии VR Concept / М.Г. Жабицкий, С.А. Кулак, А.С. Новикова // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 8. – С. 18-29. – EDN XHJBEN.

4. Анализ параметров визуальной среды и зрительного утомления при применении инструментов виртуальной реальности / А.В. Кудряшов, К.А. Андреев, А.Р. Мустафина, Д.В. Якунин // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 7(271). – С. 8-13. – EDN RJTIWF.

5. Обухов, А.Д. Исследование негативного влияния виртуальной реальности на состояние человека в процессе обучения / А.Д. Обухов, А.Е. Архипов, А.О. Назарова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2021. – Т. 18, № 9(207). – С. 35-42. – DOI 10.14489/vkit.2021.09.pp.035-042. – EDN TEYWYU.

6. Мазур, С.В. Автоматизированный контроль физиологических параметров человека во время нахождения в виртуальной реальности / С.В. Мазур, А.И. Головатый // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2023. – Т. 21, № 5. – С. 104-111. – DOI 10.35596/1729-7648-2023-21-5-104-111. – EDN BPPARJ.

**Пузик Данила Евгеньевич** – магистрант кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(909) 808-66-20, e-mail: danilapuzik16@mail.ru;

**Пивоваров Никита Владимирович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(903) 998-13-14, e-mail: nikitar4166@mail.ru;

**Ердаков Денис Игоревич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(983) 549-10-82, e-mail: erufo-xrack@gmail.com;

**Ласкин Дмитрий Александрович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(962) 791-35-11, e-mail: dima-laskin05@gmail.com.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОКРУЖЕНИЮ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Д. Е. Пузик, Н. П. Пустовойтов, В. И. Биянов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Приведены основополагающие принципы проектирования пространства для VR приложений, основываясь на человеческой физиологии и психологии, а также на аппаратных возможностях автономных гарнитур виртуальной реальности.

**Ключевые слова:** VR, виртуальная реальность, дизайн, дизайн окружения, проектирования пространства, человек как мера, пространство как проводник, предсказуемость ожиданиям, производительность через дизайн, контроль личного пространства, оптимизация пространства.

### Введение

В последнее время активное развитие и распространение получают автономные гарнитуры виртуальной и дополненной реальности, что стимулирует разработку приложений для них, начиная от игр и заканчивая профессиональными учебными симуляторами. Однако нахождение человека в таком пространстве требует особого внимания к проектированию пространства, обеспечивающего комфортное нахождение человека, и иммерсивность.

### Общие принципы

Для создания полноценного пространства, где пользователю будет комфортно находится, необходимо уделить большое внимание его дизайну. Дизайн пространства включает в себя такие аспекты как:

- человек - мера всех вещей;
- пространство как проводник;
- предсказуемость ожиданиям;
- производительность через дизайн;
- контроль «личного» пространства.

Обо всех этих принципах далее подробнее.

### Человек – мера всех вещей

Человек является мерой всех вещей, то есть размеры и положение объектов должны соответствовать человеческому восприятию. Неверный масштаб мгновенно рушит иммерсивность пространства. Для достижения корректного ощущения пространства, необходимо опираться на реальные размеры объектов и прежде всего – человека. Например, если приложение предназначено для России, то можно выставить камеру на высоте 1.7 м от уровня пола, чтобы большинство людей чувствовали себя естественно. А лучше дать возможность пользователю самому прописы-

102

вать эту настройку. Далее, размеры вещей должны быть пропорциональные размеру тела человека: мебель, интерактивные предметы и так далее.

Важным является зона комфорта взаимодействия. Интерактивные объекты должны располагаться в зонах естественной досягаемости человека. Конечно, можно заставить пользователя присесть или нагнуться, но по умолчанию – это плохая практика.

### Пространство как проводник

Окружающее пространство, находящееся в VR человека, должно подсказывать ему направление движения и требуемые действия. Такой же принцип применяется и в проектировании реальных пространств.

Не стоит заставлять пользователя постоянно оглядываться в поисках предметов или путей, если только это не является частью геймплей. Оптимально будет группировать интерактивные элементы в группы таким образом, чтобы пользователь мог охватывать их взглядом. Это угол в 120-160 градусов.

Само пространство должно подсказывать, куда нужно двигаться пользователю и на что нажимать. Недопустимо блуждание пользователя в пустынных коридорах и поиск рабочей клавиши среди десятков однообразных. В пространстве должны присутствовать чёткие ориентиры для навигации. Например, уникальное дерево, линия на полу, знаки и указатели и тому подобное.

Интерактивные объекты можно выделять подсветкой или прочими эффектами. Например, использовать более насыщенные цвета. Это касается всевозможных переключателей, рычагов, кнопок, дверей, переносимых объектов и тому подобное. Если объект временно не интерактивен, то он не должен

выделяться. В противном случае это приведёт к диссонансу и попыткам пользователя взаимодействовать с объектом.

Само пространство должно быть построено так, чтобы взгляд цеплялся за ключевые точки и пользователь перемещался по «хлебным крошкам».

#### Предсказуемость ожиданиям

Сам мир должен адекватно восприниматься пользователем. Для этого, хотя бы визуально объекты должны вести себя так, как мы от них этого ожидаем: соблюдались законы физики, отсутствовали парящие предметы и так далее. Нарушение этого правила резко ломает иммерсивность. Здесь также стоит поработать над окружающими звуками, в том числе шагами: хлюпающие на воде, глухие на дереве, звонкие на металле и так далее. Брошенный предмет должен двигаться по предсказуемой траектории.

#### Контроль личного пространства

Камера игрока должна быть стабильна. Крайне нежелательно, чтобы внешние проявления двигали её без участия пользователя. В противном случае велик риск возникновения тошноты.

Необходимо беречь личное пространство пользователя. Нельзя допускать неожи-

данное появление объектов вблизи его поля зрения, так как это вызывает дискомфорт и потерю ориентации. Также не стоит заставлять пользователя быстро передвигаться по сцене. Следует оставлять карманы безопасности, в которых он может оглядеться и перевести дух.

Также не стоит использовать прозрачные стены. Это рушит ощущение иммерсивности. Вместо этого стоит использовать непроходимые препятствия, а для выхода из приложения – специальные двери-порталы.

#### Производительность через дизайн

Уже на этапе проектирования дизайна сцены необходимо заложить оптимизацию. Ограничивать пространства небольшими зонами, чтобы использовать Occlusion Culling. Можно зонировать детализацию объектов: создавать «оазисы», наполненные высокодетализированными объектами и разделять их простыми обширными коридорами и пространствами.

Также можно использовать однотипные объекты и Instancing для формирования пространства: стены, двери, платформы, природные объекты.



Рисунок 1 – Повышение производительности через дизайн пространства

#### Выводы

Разработка качественного VR-продукта – это долгий и кропотливый труд, сопряжённый с пониманием аппаратных возможностей устройства, физиологии и психологии человека, а также механик и методов для оптимизации. Приведённые в работе методы и рекоменда-

ции позволяют значительно повысить качество приложений и сделать их более комфортными для нахождения в них человека. Кроме того, предложенные методы оптимизации справедливы и для компьютерных игр, что делает их универсальными.

# ТРЕБОВАНИЯ К ОКРУЖЕНИЮ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ АВТОНОМНЫХ ГАРНИТУР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чувиков, Д.А. Исследование 3D форматов хранения данных в интеллектуальных системах виртуальной реальности / Д.А. Чувиков, В.П. Феоктистов, А.В. Остроух // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3-3. – С. 416-420. – EDN TNBXSZ.
2. Спирионова, И.А. Технология построения виртуальной сцены в системах виртуальной реальности / И.А. Спирионова // Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем : материалы V Международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 25 мая 2007 года. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2007. – С. 84-87. – EDN JGIRJM.
3. Овдин, А.Е. Особенности разработки приложений для гарнитур виртуальной реальности на примере создания видеоигр / А.Е. Овдин, В.М. Саклаков, В.В. Видман // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2024. – № 1-2. – С. 191-193. – EDN HUEJGR.

**Пузик Данила Евгеньевич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(909)8086620, e-mail: [danilapuzik16@mail.ru](mailto:danilapuzik16@mail.ru);

**Пустовойтов Никита Павлович** – студент гр. ПС-32 кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: [nikitaworkinggg@mail.ru](mailto:nikitaworkinggg@mail.ru);

**Биянов Владислав Игоревич** – студент гр. ПС-32 кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: [vladislav\\_biyanov\\_01@mail.ru](mailto:vladislav_biyanov_01@mail.ru).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ СЦЕНЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ MIDAS И ТЕХНОЛОГИИ MICROSOFT KINECT

П. А. Зрюков, И. А. Курников

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

*В статье представлен сравнительный анализ точности определения глубины сцены с использованием нейросетевой модели MiDaS и технологии Microsoft Kinect. Проведены экспериментальные исследования, в ходе которых измерялись расстояния до объектов в контролируемых условиях.*

**Ключевые слова:** карта глубины, структурированный свет, монокулярное зрение.

Компьютерное зрение, как одна из ключевых областей искусственного интеллекта, стремительно развивается в направлении анализа и интерпретации трехмерного пространства на основе двумерных изображений. Одной из центральных задач в этой сфере является оценка глубины сцены, то есть определение расстояний от наблюдателя до различных объектов в поле зрения. Достижение высокой точности в решении этой задачи открывает широкие перспективы для различных приложений, включая дополненную реальность, автономную навигацию роботов, анализ видеоданных и создание интерактивных систем.

В основе методов определения глубины можно выделить два подхода. Первый основывается на использовании специализированного аппаратного обеспечения, такого как датчики глубины. Примером может служить Microsoft Kinect от Xbox 360, который произвел настоящую революцию, предложив доступный и точный инструмент для получения карт глубины в режиме реального времени благодаря технологии структурированного инфракрасного света. Второй подход, который получил значительное развитие с появлением глубокого обучения, заключается в программной оценке глубины на основе одного изображения (Monocular Depth Estimation). Модели, такие как MiDaS (Monocular Depth Estimation), демонстрируют впечатляющую способность нейронных сетей предсказывать относительную глубину, используя визуальные признаки, такие как перспектива, текстуры, размеры и расположение объектов.

Основная концепция MiDaS заключается в обучении модели не на одном наборе дан-

ных с согласованными значениями абсолютной глубины, а на множестве различных датасетов посредством специальной функции потерь [1]. Эта функция выполняет масштабируемое преобразование признаков, что позволяет модели предсказывать не точное расстояние в метрах, а относительную глубину (или disparity). Такой подход учит модель выделять инвариантные признаки, такие как текстуры, перспективу и загораживание объектов, не учитывая особенности конкретного датасета.

Для преобразования относительных значений глубины, полученных с помощью модели MiDaS, в абсолютные расстояния в метрах использовалась следующая формула:

$$Z = \frac{1}{(A \cdot D + B)}, \quad (1)$$

где  $Z$  – расстояние до объекта,  
 $D$  – глубина полученная в MiDaS,  
 $A$  и  $B$  – калибровочные коэффициенты, которые необходимо подобрать.

В рамках данного исследования была использована мобильная версия архитектуры MiDaS под названием MiDaS\_small, которая базируется на архитектуре EfficientNet-Lite3 с входным разрешением 256×256 пикселей. Модель была обучена на комплексном наборе данных, состоящем из RedWeb, MegaDepth, WSVD, 3D Movies, DIML indoor, HRWSI, TartanAir, BlendedMVS и ApolloScape. Это позволило охватить широкий спектр сцен и условий съемки. Обучение на разнообразных данных способствовало развитию у модели способности к обобщению (zero-shot transfer) [2].

Microsoft Kinect от Xbox 360 представляет собой систему компьютерного зрения, осно-

ванную на технологии структурированного света. Устройство оснащено инфракрасным проектором для создания случайного точечного узора на сцене. Инфракрасная камера фиксирует отраженный узор и осуществляет его анализ относительно калибровочного шаблона [3].

Принцип структурированного света заключается в проекции заранее известного шаблона (сетка из инфракрасных точек или полос). После чего инфракрасная камера фиксирует искажения этого шаблона. Расстояние рассчитывается на основе сравнения начального шаблона и его искажений. Основой метода служит оптическая триангуляция: проектор и камера расположены под углом друг к другу, формируя треугольник, вершина которого соответствует точке на объекте. Таким образом, структурированный свет преобразует сложную задачу непосредственного измерения глубины в более простую задачу анализа двумерного изображения:

$$Z = \frac{k \cdot (f \cdot b)}{d}, \quad (2)$$

где  $Z$  – расстояние до объекта,  
 $f$  – фокусное расстояние камеры,  
 $b$  – расстояние между проектором и камерой,  
 $d$  – диспаритет,  
 $k$  – калибровочный коэффициент [4].

Таблица 1 – Расстояния, измеренные с помощью Kinect

Действительное расстояние, мм	Измеренное расстояние, мм
700	713, 711, 712
600	613, 612, 614
500	516, 510, 509

Таблица 2 – Расстояния, измеренные с помощью MiDAS

Действительное расстояние, мм	Измеренное расстояние, мм
350	399, 331, 493, 374
250	288, 265, 291, 312

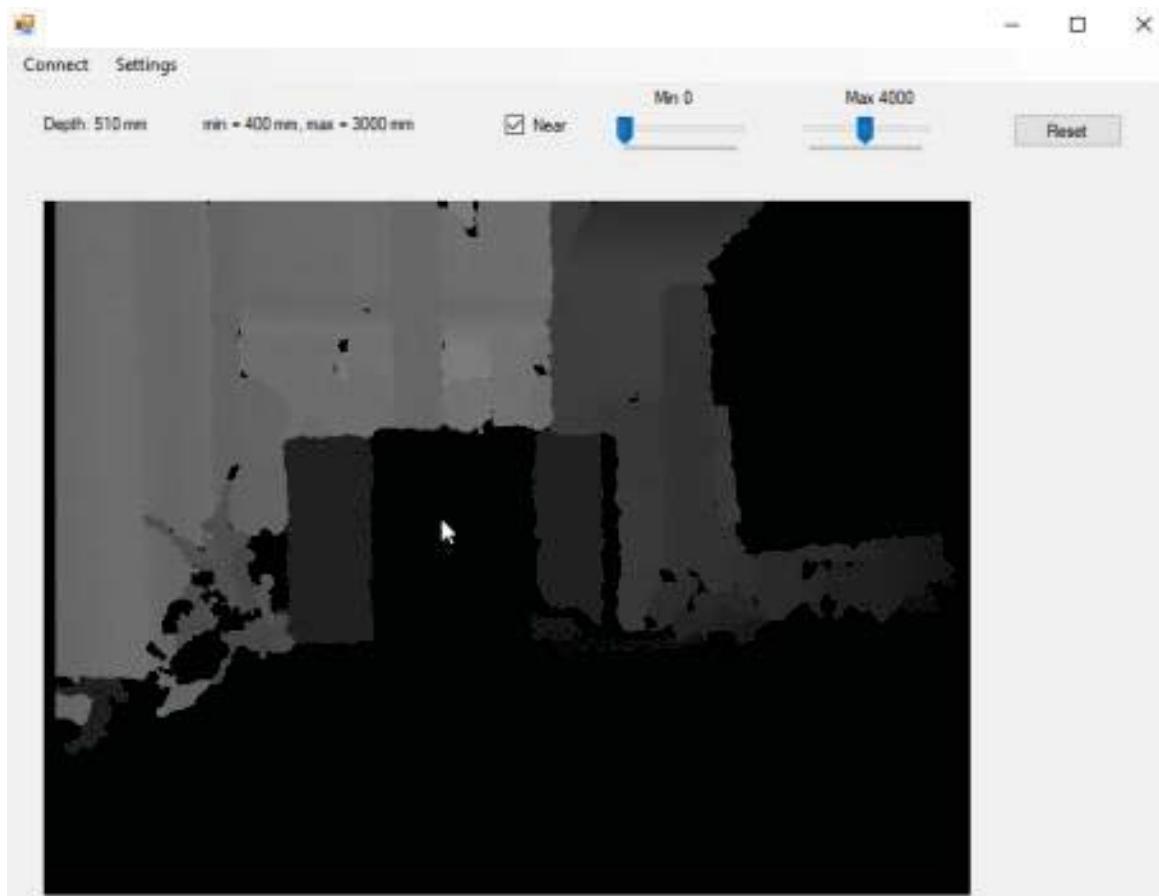


Рисунок 1 – Карта глубины, полученная Kinect

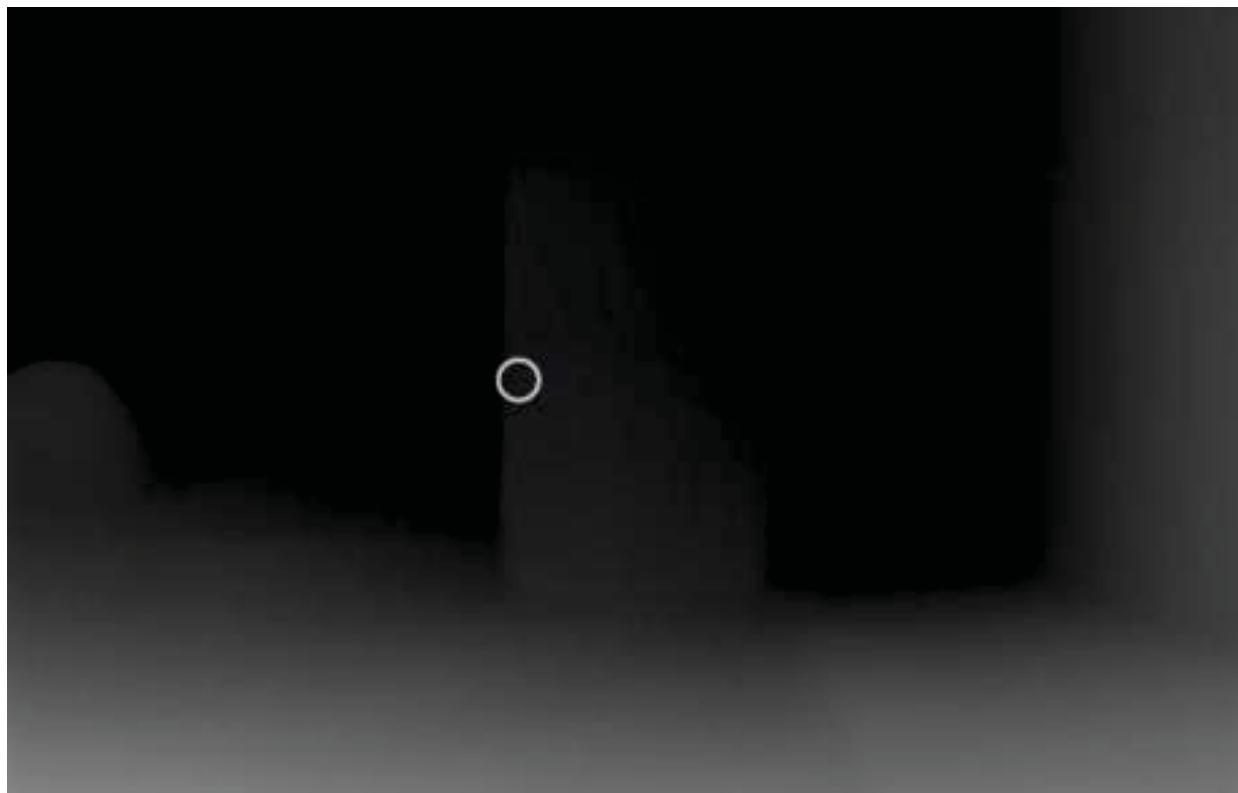


Рисунок 2 – Карта глубины, полученная MiDas

### Выводы

Технология Kinect демонстрирует значительно более высокую точность с абсолютной погрешностью 12.3 мм по сравнению с моделью MiDaS с погрешностью 48.4 мм. Однако MiDaS имеет преимущество в мобильности и может работать на стандартных камерах без специализированного оборудования. Ключевым ограничением MiDaS является необходимость предварительной калибровки для определения максимального и минимального расстояния в кадре.

Эти результаты важны для выбора технологии в приложениях, требующих точных измерений расстояний в реальном времени. Для задач с высокой критичностью точности предпочтительнее использовать аппаратные решения, такие как Kinect. В мобильных приложениях с допустимой погрешностью измерений можно эффективно использовать MiDaS после соответствующей калибровки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ranftl R., Lasinger K., et al. Towards Robust Monocular Depth Estimation: Mixing Datasets for Zero-shot Cross-dataset Transfer // IEEE Transactions

on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022. Vol. 44. No. 3. P. 1623-1637. [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9178977> (дата обращения: 15.10.2025).

2. Birkl R., Wofk D., et al. MiDaS v3.1 -- A Model Zoo for Robust Monocular Relative Depth Estimation. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/2307.14460> (дата обращения: 15.10.2025).

3. Zhang Z. Microsoft Kinect Sensor and Its Effect // IEEE Multimedia. 2012. Vol. 19. No. 2. P. 4-10. [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6190806> (дата обращения: 15.10.2025).

4. Maykol Pinto A., Costa P., et al. Evaluation of Depth Sensors for Robotic Applications // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2011. P. 1297-1304. [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7101623> (дата обращения: 15.10.2025).

**Зрюмов Павел Александрович** – доцент, к.т.н. кафедры ИТ, e-mail: [pzrutmov@yandex.ru](mailto:pzrutmov@yandex.ru);

**Курников Иван Андреевич** – студент кафедры ИТ, e-mail: [ivkr1337@mail.ru](mailto:ivkr1337@mail.ru).

## МЕТОД НЕЙРОСЕТЕВОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛОВ ПО ВИЗУАЛЬНЫМ ДАННЫМ

И. С. Кладов, Д. Е. Кривобоков

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Разработан метод бесконтактного измерения температуры металлических деталей в диапазоне 450-950°C, основанный на объединении физических принципов теплового излучения и современных подходов глубокого обучения. Метод демонстрирует среднюю относительную погрешность 7% и обладает устойчивостью к изменяющимся условиям освещенности. Решение исключает характерные проблемы контактных датчиков и может быть интегрировано в системы автоматического контроля технологических линий. Определены перспективные направления дальнейшего совершенствования точности измерений.

**Ключевые слова:** бесконтактная термометрия, тепловое излучение, закон Планка, глубокое обучение, сверточные нейронные сети, компьютерное зрение.

### Введение

Современные промышленные предприятия металлургического и машиностроительного профиля сталкиваются со значительными технологическими трудностями в области точного температурного контроля при осуществлении процессов термообработки металлических заготовок. Особую актуальность эта проблема приобретает для высокотемпературных технологических процессов, где традиционные контактные методы измерения температуры демонстрируют систематически низкую эффективность.

В рамках настоящего исследования была выдвинута и экспериментально проверена научная гипотеза о возможности создания комбинированного метода, сочетающего физические принципы теплового излучения и современные возможности глубокого обучения для решения задачи высокоточного бесконтактного определения температуры по данным оптических изображений. Основой предлагаемого решения является объединение параметрической модели Планка с архитектурой сверточных нейронных сетей, что позволяет преодолеть ограничения традиционных подходов.

Разработанная методика базируется на комбинированном подходе, объединяющем параметрическую модель Планка и совре-

менные архитектуры сверточных нейронных сетей. Особенностью подхода является интеграция системы обнаружения объектов для автоматического определения области интереса на изображении, что обеспечивает повышенную устойчивость к изменяющимся условиям освещенности в производственной среде.

Для проверки метода был создан репрезентативный набор данных, содержащий 2500 изображений металлических деталей различной геометрической конфигурации, полученных в условиях, максимально приближенных к реальным производственным. Существенной особенностью methodology являлось использование переменного температурного шага между последовательными измерениями, что обеспечивало приближение условий эксперимента к реальным эксплуатационным сценариям.

Архитектура решения включает систему обнаружения объектов, обеспечивающую автоматическую локализацию нагретой детали, и специализированную сверточную сеть для регрессионного определения температурных параметров. Физически обоснованная функция потерь интегрирует параметрическую модель Планка непосредственно в процесс оптимизации сети.

# МЕТОД НЕЙРОСЕТЕВОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛОВ ПО ВИЗУАЛЬНЫМ ДАННЫМ

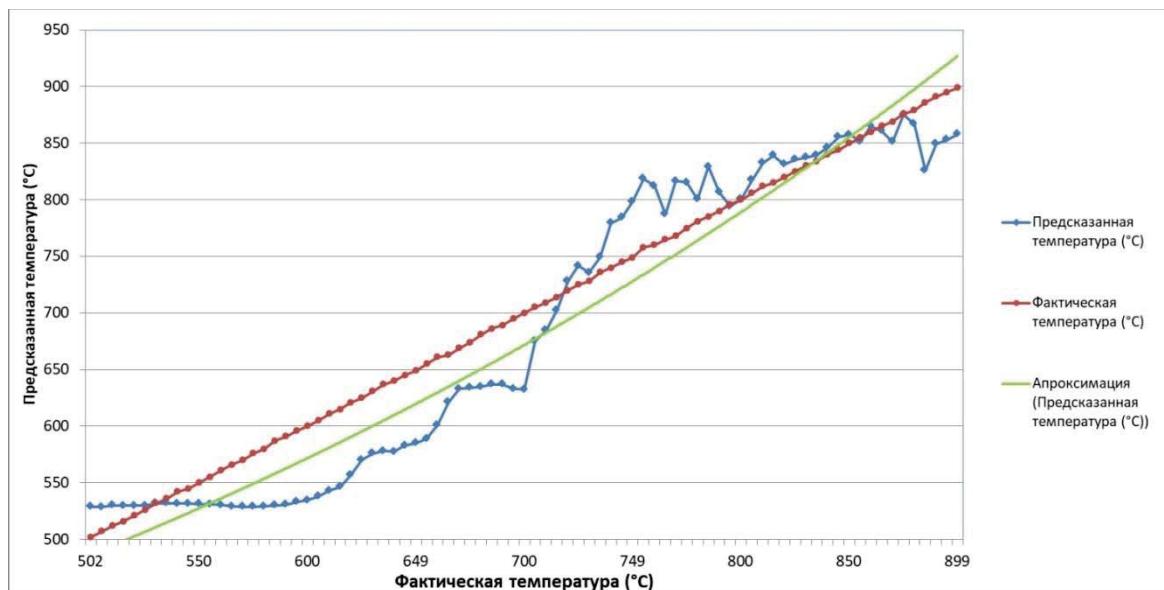


Рисунок 1 – Сравнение предсказанной и фактической температуры

Разработанная методика основана на комплексном подходе, сочетающем фундаментальные принципы физики теплового излучения с современными возможностями анализа изображений. Алгоритмическая последовательность обработки информации включает несколько взаимосвязанных этапов, обеспечивающих высокую точность температурных измерений.

Первоначальный этап предполагает преобразование исходных цифровых изображений в специальный формат данных, обеспечивающий математическую обработку информации. В процессе преобразования выполняется нормирование значений яркости пикселей к стандартизированному диапазону, что создает единообразие входных данных для последующего анализа и обеспечивает сопоставимость результатов, полученных при различных условиях съемки. Особое внимание уделяется автоматическому определению границ исследуемого объекта на изображении, что позволяет исключить влияние посторонних элементов на конечный результат измерений.

Основу вычислительной системы составляет физическая модель, основанная на фундаментальном законе Планка, адаптированном для описания реальных материалов. Математическая формулировка модели включает уравнение спектральной плотности энергии теплового излучения:

$$B(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1} \cdot \varepsilon(\lambda, T),$$

где  $B(\lambda, T)$  – спектральная плотность энергии излучения,

106

$h$  – постоянная Планка,  
 $c$  – скорость света,  
 $\lambda$  – длина волны,  
 $k$  – постоянная Больцмана,  
 $T$  – абсолютная температура,  
 $\varepsilon(\lambda, T) = \alpha + \beta\lambda + \gamma\lambda^2$  – параметризованная функция коэффициента излучения.

Параметризованная функция характеризует коэффициент излучения материала, учитывающий зависимость от длины волны и температуры. Численные параметры  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  определяются в процессе обучения системы на экспериментальных данных.

Система анализа изображений построена по принципу многоуровневой обработки визуальной информации. На первом уровне происходит выделение базовых признаков изображения с использованием специализированных фильтров. По мере углубления обработки увеличивается количество анализируемых характеристик изображения, что позволяет выявлять сложные закономерности, связанные с температурным распределением. Каждый уровень анализа включает процедуру нормализации данных и применение нелинейных преобразований, обеспечивающих устойчивость работы алгоритма. Специальная процедура уплотнения информации позволяет последовательно уменьшать объем обрабатываемых данных при сохранении наиболее значимых характеристик.

Заключительный этап обработки заключается в преобразовании полученных характеристик изображения в численную оценку температуры. Этот процесс реализуется через систему взаимосвязанных вычислитель-

ных блоков, использующих методы предотвращения избыточного усложнения модели. Физическая обоснованность получаемых результатов обеспечивается комбинированной системой оценки точности, которая объединяет оценку среднеквадратичного отклонения предсказанных значений и оценку соответствия распределения яркости по цветовым каналам теоретической модели Планка, с учетом специального коэффициента, регулирующего влияние физической составляющей на общий результат.

Процесс обучения системы осуществляется методом последовательного уточнения параметров на основе анализа ошибок предсказания. Используется алгоритм адаптивной настройки с контролируемой скоростью обучения и механизмом ограничения роста параметров. Техническая реализация метода поддерживает работу с различными форматами изображений, включая форматы без потери информации, что обеспечивает сохранение точности исходных данных и достоверность фотометрических измерений.

Экспериментальная проверка метода проводилась на специально сформированной тестовой выборке. Обучение системы осуществлялось на репрезентативной выборке, содержащей 2500 образцов изображений, что обеспечило высокую достоверность получаемых результатов. Полученные данные не только подтвердили возможность достижения средней относительной погрешности измерений на уровне 7%, но и продемонстрировали значительный потенциал разработанного подхода.

Анализ результатов свидетельствует о наличии существенного запаса для повышения точности измерений. Наблюдаемая динамика расхождений между предсказанными и фактическими значениями температуры указывает на возможность реализации дополнительных механизмов коррекции, что может вывести метод на качественно новый уровень точности.

На рисунке 1 представлено сравнение предсказанных и фактических значений температуры. Характер полученных зависимостей подтверждает перспективность выбранного направления исследований и указывает на возможность существенного расширения функциональных возможностей метода.

Важным преимуществом разработанного метода является его открытая архитектура, предоставляющая широкие возможности для модернизации и адаптации к различным производственным условиям. Полученные ре-

зультаты создают прочную основу для построения более сложных и многофункциональных систем температурного контроля.

Проведенное исследование выявило значительный потенциал для развития предложенного метода в различных направлениях. Гибкая архитектура решения и его адаптивность открывают возможности для существенного расширения функциональности системы. Модульная структура алгоритма предусматривает возможность интеграции дополнительных компонентов обработки данных, что может значительно повысить точность и надежность измерений.

Существенные перспективы связаны с возможностью развития методов предобработки изображений и совершенствования алгоритмов выделения полезного сигнала. Это направление представляется особенно важным для повышения устойчивости метода к изменяющимся условиям эксплуатации.

### Обсуждение и выводы

Проведенные комплексные эксперименты, включавшие обучение на 2500 образцах изображений, подтвердили высокую эффективность разработанного метода. Достигнутая средняя относительная погрешность измерений составила 7%, что свидетельствует о конкурентоспособности предложенного подхода.

Полученные результаты демонстрируют не только принципиальную работоспособность метода, но и его значительные потенциальные возможности для дальнейшего совершенствования. Установленные закономерности и выявленные резервы повышения точности создают основу для последующего развития методики в различных прикладных направлениях, включая системы промышленного мониторинга и автоматизированного контроля технологических процессов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хауэлл, Дж. Р. Теплообмен излучением : [пер. с англ.] / Дж. Р. Хауэлл, М.П. Менюк, Р. Сигель ; под общ.ред. А. И. Леонтьева. – 6-е изд. – Москва : Энергоатомиздат, 2016. – 904 с.: ил. – (Теплофизика и теплоэнергетика). – ISBN 978-5-283-04218-8.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений: [пер. с англ.] / Р. Гонсалес, Р. Вудс; под ред. П.А. Чочиа. – 4-е изд. – Москва: Техносфера, 2020. – 1168 с.: ил. – (Мир цифровой обработки). – ISBN 978-5-94836-542-3.
3. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р.С. Гонсалес, Р.Е. Вудс; ; пер. с англ. Л.И. Рубанова, П.А. Чочиа, науч. ред. перевода П.А. Чочиа. – Изд. 3-е, испр. и доп. – Москва: Техносфера,

## МЕТОД НЕЙРОСЕТЕВОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛОВ ПО ВИЗУАЛЬНЫМ ДАННЫМ

2012 (М. : Типография "Наука" РАН). – 1103 с. : ил., табл.; 25 см. – (Мир цифровой обработки); ISBN 978-5-94836-331-8

4. Планк, Макс. Теория теплового излучения [Текст] / Макс Планк ; Пер. с 5 нем. изд. М.Г. Черниховского, С. В. Вонсовского ; Под ред. М.А. Ельяшевича. – Ленинград; Москва: Онти. Глав.ред. общетехн. лит-ры, 1935. – Обл., тит. л., 204 с. : черт.: 23x15 см.

5. Средства измерения температуры / А. В. Бахтин, М. О. Слюта. – СПб: СПбГУПТД, 2020. – 70 с.

6. Методы и средства измерений пищевых и химических производств: учебное пособие / Н.Н. Рахимова, И.А. Бочкарева. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т., 2019. – 213 с.

7. Измерение температуры и давления: учебное пособие / И.Х. Исраэлов, А.Т. Галиакбаров. – Набережные Челны: Изд-во КамГИЭА, 2012. – 49 с.

8. Основы пирометрии / А.Н. Гордов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва: Металлургия, 1971. – 446 с.

9. Приборы для измерения температуры / Ю.Е. Крамарухин. – Москва: Машиностроение, 1990. – 202 с.

10. Теплотехнические измерения и приборы: учебное пособие / В.И. Назаров. – Минск: Высшая школа, 2017. – 280 с.

11. Приборы и методы температурных измерений: учебное пособие / Б.М. Олейник, С.И. Лаздина, В.П. Лаздин. – Москва: Издательство Стандартов, 1987. – 296 с.

**Кривобоков Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел +79619767563, e-mail: Dmitrii.krivoobokov@mail.ru;

**Кладов Игорь Сергеевич** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел +79230030073, e-mail: kladovig@yandex.ru.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО КОНДУКТОМЕТРА

**Д. Е. Кривобоков, Н. В. Марков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Рассматривается разработка алгоритма программного обеспечения для микроконтроллера, предназначенного для управления контактным кондуктометром. Описаны принципы синхронного детектирования, применяемые для подавления шумов и выделения слабого полезного сигнала. Представлен алгоритм, обеспечивающий синхронную генерацию опорного сигнала, управление аналоговым ключом детектора и обработка данных с АЦП с учетом переходных процессов. Особое внимание уделено методам цифровой фильтрации и компенсации систематических погрешностей для достижения высокой точности и стабильности измерений удельной электрической проводимости жидкостей.

**Ключевые слова:** контактный кондуктометр, синхронное детектирование, микроконтроллер, программное обеспечение, алгоритм управления, АЦП, точность измерений, удельная проводимость, цифровая фильтрация, компенсация погрешностей.

### Введение

Контактный кондуктометр представляет собой прибор, предназначенный для измерения удельной проводимости жидкостей с использованием пары электродов. В простых приборах измерение осуществляется по схеме: генератор синусоидального напряжения, две пластины-электрода, измерение тока и вычисление проводимости по закону Ома [3].

Высокоточный контактный кондуктометр применяется для измерения электропроводности в лабораторных и промышленных условиях, где требуется высокая точность. В таких приборах используется переменное возбуждение и синхронная детектирование сигнала, что позволяет отфильтровать шумы и выделить только ту составляющую сигнала, которая синхронна опорному возбуждению. Такой подход особенно важен при измерении слабых сигналов: синхронный детектор способен выделять крайне малую полезную составляющую на фоне значительных шумов низких частот [2].

Целью работы является разработка алгоритма управления для микроконтроллера, обеспечивающего генерацию стабильного возбуждающего сигнала, синхронное управление детектором и обработку сигнала измерительной ячейки с учётом помех, переходных процессов и временных характеристик.

### Принцип синхронного детектирования

Принцип работы синхронного детектора основан на умножении измеряемого сигнала

на опорный сигнал постоянной частоты. После умножения и фильтрации остаётся постоянная составляющая (DC), пропорциональная амплитуде входного сигнала и косинусу разности фаз между измеряемым и опорным сигналами [2, 4].

Другими словами, при совпадении частот входного и опорного сигналов на выходе низкочастотного фильтра остаётся постоянное напряжение, которое соответствует амплитуде полезной компоненты.

Таким образом, синхронный детектор действует как узкополосный фильтр, настроенный на частоту опорного сигнала: он выделяет только полезный сигнал, совпадающий по частоте и фазе с опорным, а все остальные составляющие шумы, наводки, переходные процессы подавляются [2].

В данной аппаратной реализации опорный сигнал является прямоугольным. Такой сигнал подаётся одновременно на измерительную ячейку и на аналоговый ключ синхронного детектора. При переключении ключа в противофазе с опорным происходит инвертирование входного сигнала, что эквивалентно его умножению на +1 или -1. После этого сигнал поступает на RC-фильтр, который выделяет постоянную составляющую, эквивалентную усреднению за период [4]. Благодаря этому удаётся точно измерять даже очень малую проводимость на фоне помех. Пример используемого синхронного детектора приведен на рисунке 1.

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО КОНТАКТНОГО КОНДУКТОМЕТРА

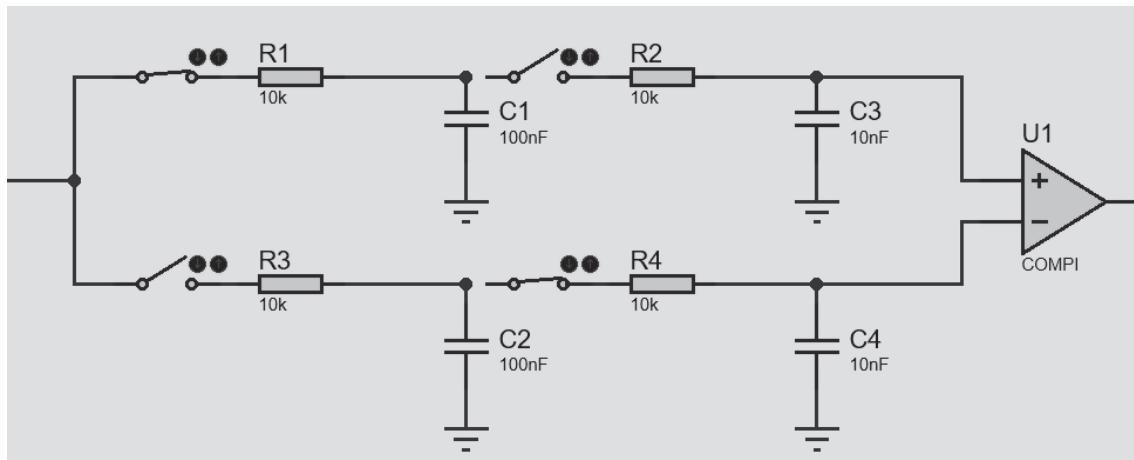


Рисунок – 1 Синхронный детектор

## Алгоритм и программная реализация

Микроконтроллер выполняет не только управление генератором и сбор данных, но и синхронную обработку сигналов с высокой временной точностью.

Генерация опорного сигнала: с помощью таймера микроконтроллера формируется прямоугольный сигнал требуемой частоты, который используется как возбуждающий и как опорный для синхронного детектора.

Управление синхронным детектором: одновременно с генерацией сигнала микроконтроллер управляет аналоговыми ключами синхронного детектора, подключёнными к прямому и инвертирующему входам операционного усилителя. Для компенсации переходных процессов при переключении фаз ключи открываются с задержкой 1–2 мкс (заданных в микроконтроллере, выполняемых путем прерывания по таймеру) после начала каждого полупериода и закрываются за 1–2 мкс до его окончания.

Захват сигнала и выбор момента измерения: АЦП запускается синхронно с опорным сигналом, но с задержкой, чтобы не захватить переходный процесс. Для разных диапазонов проводимостей задержка выбирается отдельно — по расчёту или экспериментально.

Аналогово-цифровая обработка: сигнал после RC-фильтра синхронного детектора имеет форму постоянного напряжения, пропорционального проводимости. АЦП считывает его значение, после чего данные проходят цифровую фильтрацию (усреднение нескольких измерений за промежуток времени) [1].

Для обеспечения стабильности и повторяемости используется точная система на основе аппаратных таймеров и прерываний,

которые синхронизируют запуск генератора, управление ключом детектора и запуск АЦП. Это позволяет исключить дрейф по времени и обеспечивает воспроизводимость измерений и точную привязку всех операций к одной временной базе.

## Компенсация ошибок и повышение точности

Для уменьшения систематических погрешностей в программном обеспечении реализованы методы цифровой компенсации: усреднение нескольких отсчётов для снижения влияния шумов, компенсация температурных дрейфов по данным встроенного датчика, цифровая калибровка по эталонным растворам для устранения нелинейности усилителя и смещения АЦП [1].

Такая комбинация аппаратных и программных решений позволяет достичь лабораторной точности измерений.

В результате данный алгоритм позволит реализовать полный цикл управления измерительным процессом в высокоточном контактном кондуктометре, обеспечивая стабильность генерации, корректную работу синхронного детектора, минимизацию влияния переходных процессов и помех, а также точную цифровую обработку сигнала. Такое решение позволит снизить погрешность измерений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, В.А. Электромагнитные переходные процессы: учебное пособие / В.А. Булат, А.Г. Губанович, С.М. Силюк. – Минск: БНТУ, 2020. – 214 с.

2. Люлина, М.А. Автоматизация формирования уравнений переходных процессов в электроэнергетических системах : учебное пособие / М.А. Люлина, Н.Н. Меньшиков, Е.Н. Попков, А.О. Фе-

шин. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2022. – 133 с.

3. Афанасьев, А.Ю. Теоретические основы электротехники: учебное пособие / А.Ю. Афанасьев. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2020. – 276 с.

4. Каратаева, Н.А. Радиотехнические цепи и сигналы. Дискретная обработка сигналов и цифровая фильтрация: учебное пособие / Н.А. Каратаева. – Москва: ТУСУР, 2012. – 257 с.

**Кривобоков Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(9619)767563, e-mail: dmitriikrivotockov@mail.ru;

**Марков Никита Вячеславович** – студент кафедры ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(9132)469919, e-mail: markov25764@gmail.com.

УДК 378.147.53+372.853

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАБОТЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ

Н. Н. Лопаткин, А. И. Чередниченко

Алтайский государственный педагогический университет, Бийский филиал им. В.М. Шукшина,  
г. Бийск

Инженерные классы общеобразовательных учреждений позволяют подготовить будущих студентов к обучению в вузах инженерного профиля, создавая тем самым базу для будущего кадрового потенциала технологического развития России. В статье описаны вопросы, возникающие при разработке содержания обучения профильных инженерных классов и представлены разработанные методические материалы, предназначенные для подготовки учителей физики к работе в инженерных классах, а именно, учебно-методический комплекс для проведения факультатива «Методика преподавания электротехники и силовой электроники для инженерных классов» для студентов педвузов, учитывающий, в частности, высокую потребность в инженерных кадрах направления подготовки бакалавров «Электротехника и энергетика». Показан пример применения компьютерного моделирования в среде PSIM на лабораторно-практических занятиях факультатива. Кратко описано, в каких условиях проведена частичная апробация разработанных методических материалов.

**Ключевые слова:** инженерные классы, физика, подготовка учителей, педвузы, бакалавриат, содержание обучения, электротехника и силовая электроника в школе, учебно-методический комплекс, компьютерное моделирование, PSIM.

**Благодарности.** Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства просвещения России в рамках реализации государственного задания № 073-00044-25-02 от 23.09.2025 г.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных трендов в подготовке высококвалифицированных специалистов для обеспечения технологического развития России является создание профильных инженерных классов, в которых учащиеся общеобразовательных школ, лицеев и гимназий могут пройти необходимую подготовку для дальнейшего обучения инженерным специальностям.

Инженерный класс – это специализированная модель профильного образования в общеобразовательных организациях, представляющая собой интегрированную систему углубленного изучения естественнонаучных дисциплин в сочетании с практико-ориентированной подготовкой к будущей инженерной деятельности. Инженерные классы создаются при поддержке Министерства просвещения, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а реа-

лизуются прежде всего при поддержке ведущих технических университетов и высокотехнологичных предприятий [1, 2].

Данная инициатива входит в целую систему мероприятий, направленных на развитие в России образования, науки и современного производства, продолжая тенденции завершенного по основным мероприятиям национального проекта «Образование» и соответствующему Указу Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий», в том числе его направлению 6 «Укрепление социокультурной идентичности российского общества и повышение уровня его образования» [3].

Насущная потребность в инженерных классах как базовом уровне для подготовки будущих кадров диктуется и продлением до 2030 года программы для вузов федерального проекта «Передовые инженерные школы»

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАБОТЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ

(«ПИШ») [4], который был разработан Минобрнауки России в 2021 году в качестве стратегической инициативы и являлся частью государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации». В рамках исполнения Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» с 2025 года была обеспечена преемственность мероприятий проекта «ПИШ» путем их включения в федеральный проект «Университеты для поколения лидеров» национального проекта «Молодежь и дети». Сейчас в стране действует 50 ПИШ, а к 2030 году их количество должно увеличиться до сотни [5, 6].

Таким образом, как и остальные перечисленные выше мероприятия, создание инженерных классов как их базовое звено должно способствовать преодолению дефицита высококлассных инженерных кадров. Однако здесь возникает еще одна проблема: для возможности обучения школьников в профильных инженерных классах педагоги, как уже работающие в общеобразовательных учреждениях, так и будущие, обучаемые в педагогических вузах, должны обладать соответствующими компетенциями, т.е. должны сами пройти необходимую подготовку.

Министерством просвещения Российской Федерации поддержан проект тематики научных исследований в рамках прикладной НИР «Предметная подготовка учителей физики в области электротехники и силовой электроники для работы в специализированных инженерных классах общеобразовательных школ, лицеев и гимназий» (государственное задание Минпросвещения РФ № 073-00044-25-02 от 23.09.2025 г., № ПТНИ 1024032900015-9-5.3.1). В рамках данного проекта руководителем и исполнителями проекта - коллективом на базе кафедры математики, физики, информатики (МФИ) Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ - выполнены следующие основные задачи:

1) проведен анализ современных тенденций развития электротехники и силовой электроники, рассмотрены тенденции современных стандартов и требований к электрическому питанию для улучшения предметного содержания обучения физике в инженерных классах;

2) проведен поиск подходов к совершенствованию организации обучения техническим дисциплинам в инженерных классах школ, выявлено, что для достижения такой цели наиболее эффективными будут разра-

ботка и использование цифровых образовательных ресурсов и цифровых средств обучения и привлечение к сотрудничеству преподавателей педагогических и инженерных университетов);

3) разработаны программа обучения, тематические планы и содержание занятий по электротехнике и силовой электронике для подготовки учителей физики к работе в инженерных классах общеобразовательных школ, лицеев и гимназий, а также разработаны компьютерные модели для лабораторно-практических работ;

3) разработаны схема и наиболее общий алгоритм работы программно-аппаратного комплекса для мобильного обучения учителей физики в вузе педагогического профиля по основам электротехники и силовой электроники для предметной подготовки учителей физики в области электротехники и силовой электроники для работы в специализированных инженерных классах общеобразовательных школ, лицеев и гимназий;

4) проведена апробация разработанных методических материалов в учреждениях образования, подготовлены и представлены в текстах научных публикаций рекомендации для внедрения учебно-методического комплекса в учебный процесс вузов педагогического профиля.

Ниже описаны некоторые важные аспекты, касающиеся разработки содержания обучения учебного предмета «Физика» в инженерных классах и представлены методические материалы разработанного учебно-методического комплекса (УМК) для проведения факультатива «Методика преподавания электротехники и силовой электроники для инженерных классов» при обучении студентов педвузов.

## СОДЕРЖАНИЕ ОБУЧЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ

Несмотря на значительную широту охвата различных инженерных направлений, наиболее развитой системе инженерных классов можно считать в двух основных профилях: судостроительном и авиастроительном, разработанных флагманскими вузами – Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом (СПбГМТУ) и Московским авиационным институтом (МАИ) соответственно [1].

При этом структура образовательных программ развита, а содержание разнообразно. Для основных направлений обучения образовательная программа инженерных

классов включает или может включать перечисленные ниже базовые компоненты (сопровождаются примерами наиболее востребованных предметов и компетенций).

1) Углубленное изучение профильных предметов:

«Математика» (алгебра, геометрия, вероятность и статистика);

«Физика» (механика, электродинамика, термодинамика, оптика);

«Информатика» (программирование, базы данных, алгоритмизация).

2) Дополнительные общеразвивающие программы:

«3D-моделирование и 3D-печать»;

«Авиамоделирование»;

«Морская робототехника и судомоделизм»;

«Оптика лазеров»;

«Основы проектирования и конструирования»;

«Робототехника и электроника»;

«Дизайн и CAD-системы».

3) Внеклассовая деятельность:

экскурсии на производственные площадки и в лаборатории;

мастер-классы от специалистов вузов и предприятий;

инженерные соревнования и научные конференции;

практические занятия и лабораторные работы;

проектная деятельность.

Программы реализуются для различных возрастных групп и на различных уровнях образования. Так, например, авиастроительные классы открываются с 5-7 класса, судостроительные классы – с 10-го класса, а углубленное обучение профильным дисциплинам производится в 10-11 классах.

Интересна статистика развития инженерных классов с точки зрения их численности и географического распределения, доступная по состоянию на 2024-2025 учебный год [1, 2]:

1) если к 2022-2023 году было создано 126 инженерных классов, то в 2023-2024 учебном году функционировал уже 131 инженерный класс;

2) данный проект охватывает 23 российских региона, и в нём участвуют 96 общеобразовательных школ.

Динамика развития проекта в регионах показывает значительный рост, что видно на конкретных примерах. Так, в Новосибирской области функционирует 301 специализированный класс по 6 различным направлениям, включая 181 инженерный класс. Последние, в

свою очередь, разделены на 11 агротехнологических, 14 биотехнологических, 106 инженерно-технологических, 46 информационно-технологических и ряд других классов [7].

В г. Бийске инженерные классы уже открыты на базе школы № 3 и гимназии № 11, а в 2024-2025 учебном году планируется их открытие также в школах № 1, 12 и 17. Преподавание ведется совместно с Бийским технологическим институтом Алтайского государственного технического университета [8].

Как можно видеть из изложенного выше, программы обучения ориентированы, главным образом, на инновационные направления, а такое более традиционное, но абсолютно необходимое направление, как электроэнергетика, явным образом проектом не поддерживается. При этом по направлению «Электроэнергетика и электротехника» в технических университетах идет обучение бакалавров по 89 профилям подготовки [9], т.е. для такого количества профилей электротехника является базовой дисциплиной.

Авторы работы [10] считают, что процесс обучения и воспитания школьников в профильных инженерно-технологических классах будет более продуктивным при использовании целей Национальной технологической инициативы (НТИ), которая реализуется как обозначенное Президентом РФ приоритетное направление, а не при ориентировании на специальности и направления подготовки высшего образования. Сложно не согласиться с данной идеей, правильность которой подтверждается как теоретическим анализом, так и практикой реализации инженерных классов по всей России. Однако одним из направлений НТИ как раз является электроэнергетическое направление EnergyNet (Энерджинет) [11, 12].

Хотя традиционно электроэнергетика и считается, и является одной из наиболее развитых отраслей в России, назревает необходимость ее глубокой модернизации. От успешности данного процесса зависит качество энергообеспечения всех видов производств, социальных и культурных объектов, информационных и управлеченческих структур и систем. Несмотря на то, что традиционной электроэнергетике наметилась некая альтернатива в рамках концепции водородной энергетики, а одним из быстро развивающихся способов обработки и передачи информации является оптический, XXI век остается веком электричества, судя по процентным долям электрической энергии и электрических сигналов от общего потока используемой энер-

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАБОТЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ

гии и информационных сигналов, соответственно.

Таким образом, оснащение производства эффективными и экологичными средствами генерации, передачи, хранения, преобразования и потребления энергии, средствами обработки информационных потоков невозможны сегодня без электроэнергетики, эффективность и гибкость которой зависят от современных и разрабатываемых систем силовой электроники, активно вовлекаемых в развитие систем возобновляемой энергетики, таких как солнечные фотоэлектрические станции и ветроэнергетические установки. Развитие в этом направлении требует подготовки большого количества высококвалифицированных инженерных кадров, что возможно лишь при привлечении в инженерные вузы лучших, мотивированных, должным образом подготовленных выпускников школ.

И здесь остро встает вопрос о квалификации и компетенциях учителей физики, которые будут вести занятия в инженерных классах. Одним из путей совершенствования подготовки учителей физики в области электротехники и силовой электроники для работы в специализированных инженерных классах общеобразовательных школ, лицеев и гимназий состоит в разработке обновленного предметного содержания обучения.

Анализ тенденций развития электротехники и силовой электроники в России и в мире, с точки зрения их обновления и применения, показывает, что современными трендами являются:

- 1) переход от централизованного энергоснабжения к распределенной генерации;
- 2) переход от традиционных к возобновляемым источникам энергии [13];
- 3) «умная» или «интеллектуальная» энергетика [14], в т.ч. внедрение упомянутой выше концепции Энерджинет;
- 4) развитие электрических и гибридных транспортных средств [15];
- 5) использование технологий искусственного интеллекта при генерации, передаче, преобразовании и потреблении электрической энергии [16].

Являясь своеобразной внутренней кухней электротехники и силовой электроники, но оказывая непосредственное влияние на работу этой отрасли, современные стандарты и требования к электрическому питанию показывают уже не на возможность и потребность, а на необходимость

1) повышения энергоэффективности, т.е. повышения КПД систем, движения в направлении идеальности систем, т.е. улучшения их

массогабаритных показателей, снижения себестоимости систем и т.д. [17, 18];

2) повышения качества генерируемой энергии и электромагнитной совместимости устройств силовой электроники как с питающими сетями, так и с нагрузками, что предусматривает снижение доли высших гармоник в выходных напряжениях и токах силовых преобразователей (вплоть до достижения ими синусоидальных временных зависимостей), нахождение потребляемых из сети токов в фазе с питающими напряжениями, симметрирование трехфазного питания и потребления энергии, т.е. коррекцию и устранение из электромагнитных процессов циркуляции реактивной мощности различных типов [19, 20].

Конечно же, не все указанные выше тенденции можно и нужно учитывать и выдвигать в качестве приоритетов при коррекции содержания школьного естественнонаучного и политехнического предметного обучения. Но следует чётко представлять себе, что одной из причин нынешнего технологического отставания России от лидеров является явно недостаточная глубина рассмотрения понастоящему важных разделов физики в школьных учебных программах начала XXI века. К сожалению, концепции квалифицированного потребителя А.А. Фурсенко полностью соответствовало репродуцирование у школьников понятия о транзисторе как о некоем сложном приборе, изучение принципов работы которого для них не является необходимым.

Если же обратиться к традициям СССР – государства, граждане которого первыми запустили искусственный спутник Земли и отправили человека в космос, – то можно обнаружить, что ещё с 1950-х годов выпускались и использовались школьные учебники «Электротехника» различных авторов. Предмет этот не был самостоятельным, как отмечают авторы статьи «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА в школе» «Педагогической энциклопедии» [21] (см. с. 771), данный учебный предмет входил в 1957-1964 гг. в состав комплексного курса «Основы производства» в 9-10 классах, а после отмены в общеобразовательной школе производственного обучения был заменён практикумом в системе трудового обучения в этих же классах. В процессе практикума по электротехнике учащиеся не только изучали основы электротехники, но и получали первоначальные сведения по энергетике и электрификации, электронике и автоматике, материаловедению, технологии выполнения монтажа, сборке и ремонту электрических

устройств, технике безопасности, овладевали навыками чтения и составления электротехнических схем и чертежей; измерения электрических величин, сборки и исследования различных электрических цепей и установок, выполнения технических расчётов и т.д. Теоретические и практические занятия с учащимися школы проводились в специально оборудованных помещениях кабинета физики и электротехники. Поэтому совершенно не удивителен подъём в те годы массового технического творчества школьников, студентов, молодых рабочих и инженеров.

А сейчас для подъёма электротехнической отрасли и отраслей, использующих её достижения, необходимо обновление предметного содержания школьных программ по физике, с учетом ключевой роли силовой электроники в развитии современной электротехники и электрического питания. И в первую очередь это касается, конечно же, инженерных классов общеобразовательных учреждений.

#### **ФАКУЛЬТАТИВ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССОВ»**

Подготовкой большей части учителей, которые смогут максимально эффективно трудиться в инженерных классах, обучая будущих студентов технических университетов, должны заниматься университеты педагогические.

Авторами [22] установлено, что одна из приоритетных задач профессиональной подготовки учителя физики состоит в формировании у него готовности организовывать деятельность учащихся по решению прикладных, практически значимых задач, в том числе связанных с разработкой технических устройств, и предложен соответствующий обобщенный метод.

С точки зрения электротехники и силовой электроники, как уже сложившихся технических областей, в первую очередь необходимо изучение элементной базы и функционального назначения основных классов устройств, принципов их функционирования и учащимися инженерных классов, и теми учителями, которые будут их обучать. Здесь на первый план выходит оснащённость лабораторий необходимым оборудованием. Казалось бы, широкие возможности для проведения лабораторных занятий должны представлять педагогические технопарки «Кванториум» - площадки, формируемые на базе

образовательных организаций высшего образования, подведомственных Министерству просвещения Российской Федерации, для подготовки студентов и педагогических работников в целях обеспечения системы образования высококвалифицированными кадрами. Однако данные технопарки ориентированы в большей степени на робототехнику, 3D-моделирование и 3D-печать, беспилотные летательные аппараты и т.п. Большая же часть оборудования, связанного с электротехникой, пригодна лишь для ограниченного числа базовых опытов школьного курса физики (закон Ома, законы Кирхгоффа и т.д.) и для демонстрационных экспериментов. Этого явно недостаточно для проведения лабораторных занятий при заявленных нами целях обучения.

Существует широкий ассортимент высококачественного учебного оборудования, ориентированного на программы обучения технических университетов, см., например, [23]. Однако стоимость стендов, особенно при приобретении их в нескольких экземплярах и в варианте с компьютерным интерфейсом, намного превышает разумный бюджет, который может себе позволить региональный педагогический вуз на дополнительное обучение студентов единственного профиля, связанного с физикой.

Исходя из изложенного выше, в нашей работе [24] предложено использовать возможности компьютерного моделирования и проводить лабораторные занятия в программной среде PSIM (Франция), предназначеннной для моделирования схем силовой электроники и широко используемой специалистами данного направления как в учебной, так и в научной деятельности [25, 26]. Данная среда, благодаря сочетанию простоты интерфейса и достаточно широкого функционала, почти идеально подходит для обучения электротехнике и силовой электронике школьников и студентов.

Факультатив «Методика преподавания электротехники и силовой электроники для инженерных классов» разработан коллективом проекта для студентов бакалавриата физических профилей направления подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)», в частности, профилей подготовки «Физика и Информатика» и «Физика и Дополнительное образование (робототехника)».

Факультатив рассчитан на 72 академических часа, из которых 24 ч. аудиторных, а 48 ч. предусмотрено на самостоятельную работу студентов (СРС). Аудиторные часы раз-

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАБОТЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ

биты на 8 ч. лекционных и 16 ч. лабораторных занятий, а половина часов СРС (24 ч.) отведена на выполнение проектов.

Далее представлены перечни лекционных и лабораторных занятий, каждое из которых имеет продолжительность 2 академических часа.

Лекции:

1. Модели современной элементной базы силовой электроники.

2. Программы компьютерного моделирования и цифровые образовательные ресурсы для изучения схем электротехники и силовой электроники.

3. Классификация схем силовой электроники по функциональному назначению.

4. Классификация методов управления и регулирования выходных напряжений схем силовой электроники.

Лабораторные работы:

1. Знакомство со средой моделирования. Модели элементов электротехники и силовой электроники.

2. Оценивание качества выходных постоянного и переменного напряжений.

3. Неуправляемые (диодные) выпрямители.

4. Управляемые выпрямители.

5. Автономные инверторы напряжения.

6. Широтно-импульсная модуляция выходного напряжения инвертора.

7. Амплитудно-импульсная модуляция. Многоуровневые инверторы напряжения.

8. Преобразователи постоянного напряжения.

При этом календарно-тематическое планирование предполагает, что выполнение лабораторных работ 1 и 2 опирается на изученный материал лекций 1 и 2, лабораторной работы 3 – лекции 3, а лабораторных работ 4...8 – лекции 4.

Ниже представлены некоторые возможные темы проектов, которые выполняются также при помощи компьютерного моделирования в PSIM:

«Диодные выпрямители с повышенной пульсностью выходного напряжения»;

«Регулятор переменного напряжения на базе тиристора»;

«Резонансный инвертор»;

«Двунаправленные полностью управляемые ключи»;

«Активный выпрямитель»;

«Несимметрия трехфазной нагрузки»;

«Синфазное напряжение трехфазного инвертора напряжения».

Разработаны диагностические материалы по предметному содержанию факультатива и составлен опросник по вопросам применения компьютерного инструментария рассмотренных предметных областей, выявляющий сформированность операций вычислительного мышления, связанных с формализацией, алгоритмами, моделированием и оценкой вычислительного результата. Как и разработанные учебные материалы, данная диагностика подходит и для студентов – будущих учителей физики, и для обучающихся инженерных классов, то есть может рассматриваться как часть методической подготовки учителей.

Основная аprobация разработанного учебно-методического обеспечения факультатива проведена на базе педагогического технопарка «Кванториум им. К.Д. Ушинского» Бийского филиала им. В.М. Шукшина Алтайского государственного педагогического университета, на занятиях по дисциплине «Методика обучения физике» бакалавров профилей подготовки «Физика и Дополнительное образование (робототехника)» в осеннем семестре 2025-2026 учебного года. На рис. 1 показано фото, на котором лабораторное занятие по программе факультатива проводит зав. кафедрой МФИ, кандидат физико-математических наук Шилинг Г.С.

На рис. 2-4 показано применение компьютерного моделирования в среде PSIM на лабораторных занятиях факультатива на примере лабораторной работы 3, посвященной изучению неуправляемых выпрямителей.

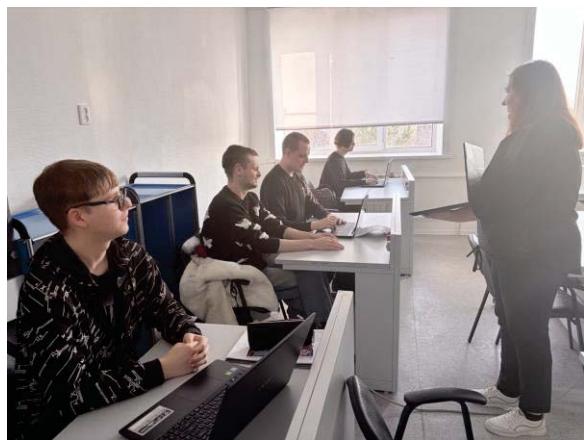


Рисунок 1 – Объяснение назначения настроек управления моделированием в программе PSIM

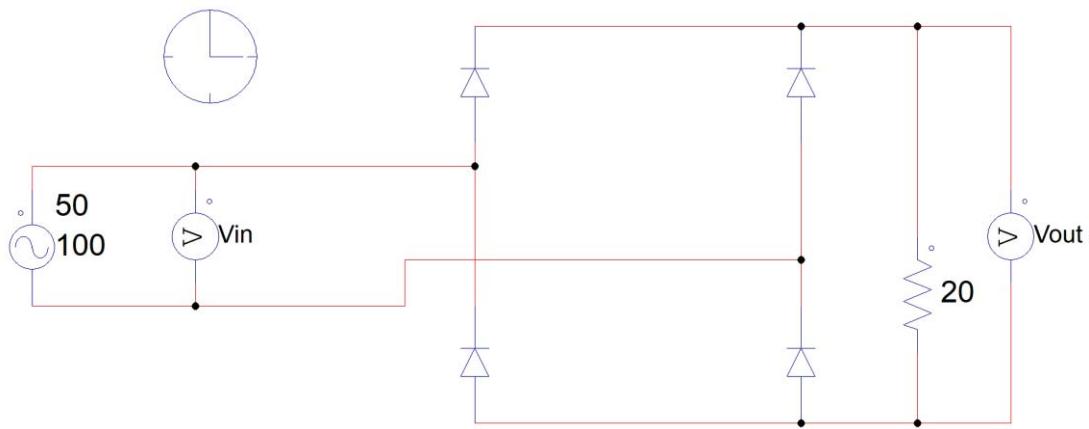


Рисунок 2 – Модель схемы неуправляемого (диодного) однофазного двухполупериодного (мостового) выпрямителя с активной нагрузкой без выходного фильтра; установлена частота входного напряжения 50 Гц

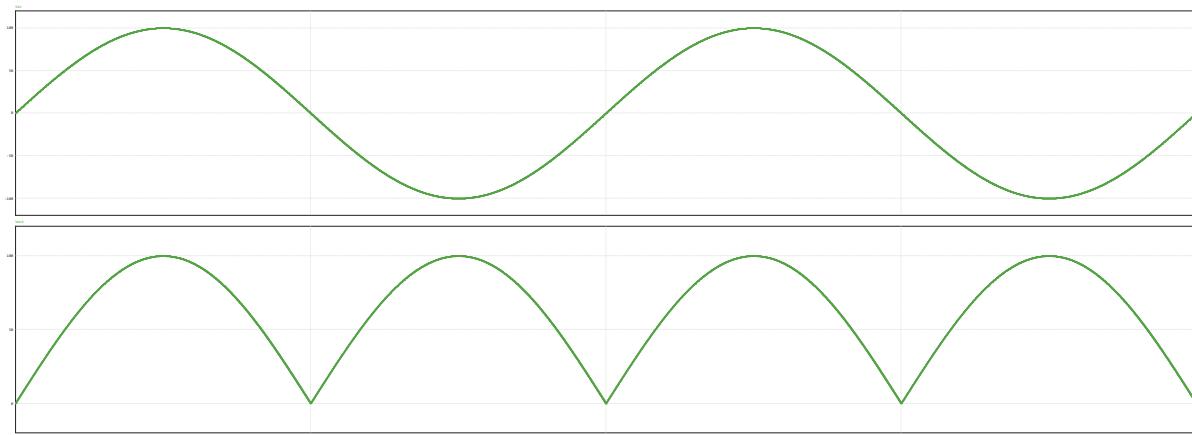


Рисунок 3 – Временные диаграммы входного переменного напряжения (верхний рисунок) и выходного выпрямленного напряжения (нижний рисунок); период выходного напряжения вдвое меньше периода входного напряжения

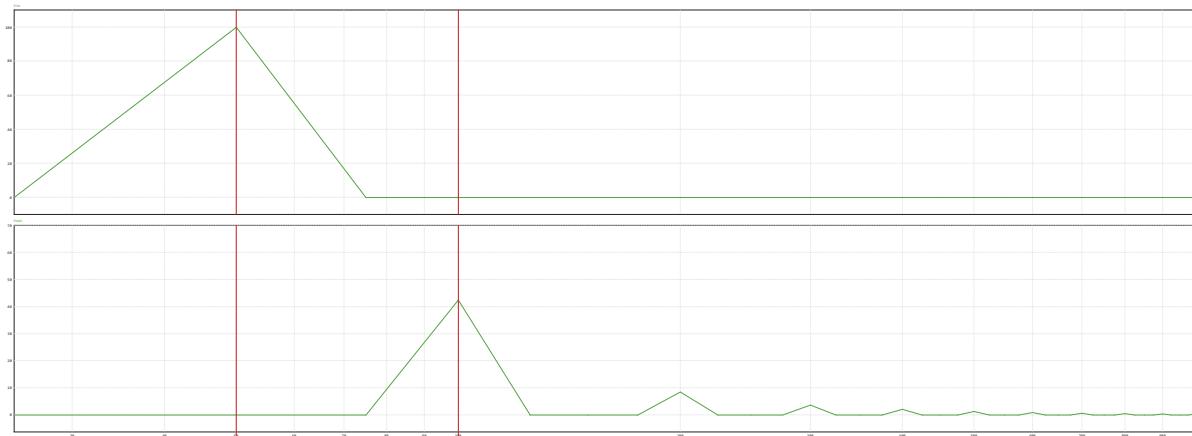


Рисунок 4 – Спектрограммы входного переменного синусоидального напряжения (верхний рисунок) и переменной составляющей выходного выпрямленного напряжения (нижний рисунок); спектр входного напряжения содержит единственную гармонику частотой 50 Гц, тогда как в спектре выходного напряжения присутствуют гармоники с частотами, кратными 100 Гц

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАБОТЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ

На временных диаграммах (рис. 3) можно видеть отличия в характере изменения во времени выходного и входного сигналов. В пределах заданного временного окна нажатием на соответствующие кнопки можно оценивать средние значения, действующие значения (RMS) сигналов, их глобальные и локальные максимумы и минимумы. Для оценки гармонического состава сигналов следует перейти к частотному окну (рис. 4), где показывается результат их обработки по алгоритму быстрого преобразования Фурье (FFT). Нажатиями на кнопку локального максимума можно переходить от максимума к максимуму и получить числовые значения амплитуд всех интересующих гармоник.

Также командой проекта была проведена апробация материалов в этой же группе бакалавров путем выполнения проектов, примеры тем которых представлены выше.

Дополнительно апробация компонентов УМК «Методика преподавания электротехники и силовой электроники для инженерных классов» проведена в образовательном процессе российско-таджикского государственного бюджетного общеобразовательного учреждения «Средняя школа с углублённым изучением отдельных предметов в г. Худжанд имени А.П. Чехова» (Республика Таджикистан, город Худжанд) при проведении внеурочных занятий по физике 10 и 11 классов и в проектной работе школьников по направлению «Робоквантум» (робототехника).

Руководитель проекта, доцент кафедры МФИ Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ, кандидат технических наук Лопаткин Н.Н. находился непосредственно в российско-таджикской школе имени А. П. Чехова (РТ СОШ им. А.П. Чехова) с 27.10.2025 по 01.11.2025 в составе группы преподавателей АлтГПУ, проводивших мероприятия организованной АлтГПУ Недели точных и естественных наук на русском языке (см. рис. 5).

По разработанным методическим материалам для лабораторных работ описанного выше факультатива в данной школе Лопаткиным Н.Н. в рамках программы «Нескучные каникулы» (одно из мероприятий Недели) 29-30.10.2025 проведено несколько занятий со школьниками средних и старших классов «Компьютерное моделирование устройств силовой электроники», см. рис. 6-7.

Также был проведен опрос старшеклассников (рис. 8) и учителей математики, физики и информатики школ Согдийской области Республики Таджикистан (на организованных для них в рамках Недели курсах повышения квалификации «Применение ИКТ и искус-

ственного интеллекта в обучении дисциплин естественно-научного направления) о компьютерном моделировании в проектной деятельности. Результаты опроса будут представлены в будущих публикациях.

31.10.2025 Лопаткину Н.Н. директором РТ СОШ им. А.П. Чехова Ходжаевой М.Д. в торжественной обстановке был вручен акт об апробации результатов научно-исследовательской работы в образовательном процессе школы (рис. 9).



Рисунок 5 – Представитель Управления образования Согдийской области, группа преподавателей АлтГПУ, директор и учителя школы имени А.П. Чехова на открытии Недели точных и естественных наук [27]



Рисунок 6 – Объяснение результата моделирования [28]

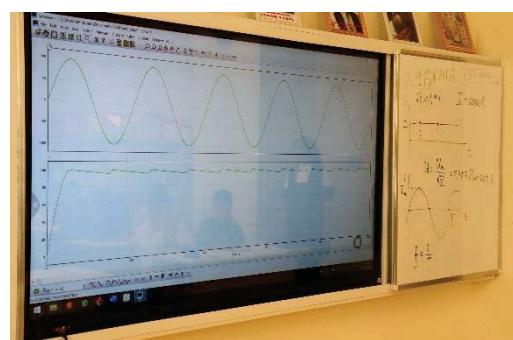


Рисунок 7 – Результат моделирования в программе PSIM выходного напряжения выпрямителя с ёмкостным фильтром [28]



Рисунок 8 – Опрос старшеклассников о компьютерном моделировании в проектной деятельности [29]

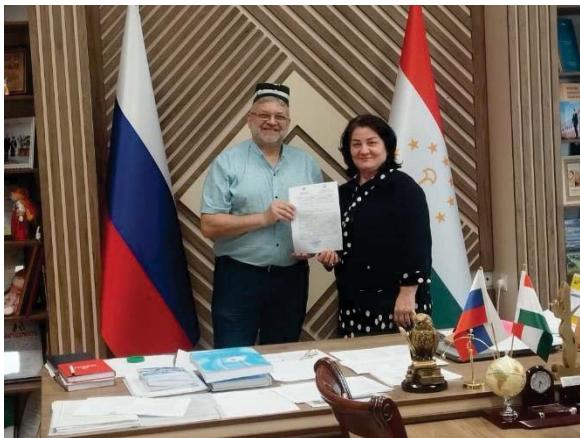


Рисунок 9 – Вручение акта об апробации результатов научно-исследовательской работы в образовательном процессе РТ СОШ им. А.П. Чехова

Следует отметить, что из школьников средних классов активно работали на занятиях «Компьютерное моделирование устройств силовой электроники» - а именно следили за этапами построения модели и ее настройки, выдвигали предположения о возможных изменениях параметров выходного напряжения после изменения параметров выходного фильтра, задавали вопросы и т.п. - лишь те учащиеся, которые изначально интересовались физикой и ориентированы на поступление для дальнейшего обучения на специальности, связанные с физикой и инженерией в российские университеты. Таким образом, они практически полностью соответствуют контингенту обучающихся в инженерных классах.

Кроме обучения бакалавров физических специальностей педвузов, разработанные методические материалы также могут быть использованы для программ дополнительного образования школьных учителей физики.

120

Для максимально эффективного обучения по программе факультатива в дальнейшем предусмотрена реализация программно-аппаратного комплекса для мобильного обучения учителей физики [24].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование предметного содержания обучения физике в общеобразовательных учреждениях может служить мощным драйвером подготовки будущих инженеров. Особенно это касается инженерных классов, прямо поставляющих хорошо подготовленных и мотивированных абитуриентов в технические университеты. На основе анализа современных тенденций развития электротехники и силовой электроники, а также стандартов и требований к электрическому питанию, разработано предметное содержание обучения физике в инженерных классах общеобразовательных учреждений.

Для подготовки учителей физики к работе в профильных инженерных классах разработаны методические материалы по электротехнике и силовой электронике, оформленные в виде УМК для проведения факультатива «Методика преподавания электротехники и силовой электроники для инженерных классов» при обучении студентов педвузов. Аудиторные часы факультатива включают лекции и лабораторные работы, выполняемые на компьютерных моделях программной среды для моделирования устройств и систем силовой электроники. Половина времени внеаудиторной работы отведена на выполнение проектов в той же программной среде, для чего разработана тематика проектов по электротехнике и силовой электронике, задания и критерии оценивания проектов. Проведенная апробация показала эффективность использования при обучении студентов компьютерных моделей электротехнических и силовых электронных устройств, в том числе для организации проектной деятельности, и готовность разработанных материалов к внедрению в образовательный процесс как в педагогических вузах, так и в профильных инженерных классах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С нового учебного года в России откроются 126 инженерных классов по профилю судо- и авиастроения / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации: [сайт]. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka-i-obrazovanie/57287/> (дата обращения: 04.11.2025).

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К РАБОТЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ

2. Что такое инженерный класс и как в него попасть – рассказали в Минпросвещения / Учительская газета. Независимое педагогическое издание: [сайт]. – URL: <https://ug.ru/cto-takoe-inzhenernyj-klass-i-kak-v-nego-popast-rasskazali-v-minprosveshheniya/> (дата обращения: 04.11.2025).

3. Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» / Официальный интернет-портал правовой информации: [сайт]. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=607138457> (дата обращения: 04.11.2025).

4. Передовые инженерные школы: [сайт]. – URL: <https://engineers2030.ru/> (дата обращения: 04.11.2025).

5. Передовые инженерные школы участвуют во внедрении инноваций / Российская газета: [сайт]. – URL: <https://rg.ru/2025/08/29/uskorenietechty.html?ysclid=mi178shr4n220427293> (дата обращения: 04.11.2025).

6. Опыт новосибирской ПИШ рекомендован для других регионов России / Российская газета: [сайт]. – URL: <https://rg.ru/2025/08/28/reg-sibfo/oryut-novosibirskoj-pish-rekomendovan-dlia-drugiich-regionov-rossii.html> (дата обращения: 04.11.2025).

7 Решетникова Н. В Новосибирской области создано 300 инженерных классов / Российская газета: [сайт]. – URL: <https://rg.ru/2024/04/18/reg-sibfo/v-novosibirskoj-oblasti-sozdano-300-inzhenernyh-klassov.html> (дата обращения: 04.11.2025).

8. В новом учебном году в Бийске на базе трех школ откроют инженерные классы / Бийский рабочий: [сайт]. – URL: <https://biwork.ru/obrazovanie/83504-v-novom-uchebnom-godu-v-bijske-na-baze-treh-skol-otkrout-inzenernye-klassy> (дата обращения: 04.11.2025).

9. Программы обучения специальности бакалавриата «Электроэнергетика и электротехника» / Поступи Онлайн: выбор профессии: [сайт]. – URL: <https://postupi.online/specialhost/13.03.02/programmy-obucheniya/> (дата обращения: 04.11.2025).

10. Мерзлякова Д.Р., Мирошниченко А.А. Разработка методики обучения школьников в профильных инженерно-технологических классах // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – С. 211-215. – URL: <https://s.top-technologies.ru/pdf/2018/10/37222.pdf> (дата обращения: 04.11.2025).

11. Энерджинет [Электронный ресурс]. – URL: <https://energynet.ru/> (дата обращения: 04.11.2025).

12. Энерджинет / Национальная технологическая инициатива: [сайт]. – URL: <https://nti2035.ru/markets/energynet> (дата обращения: 04.11.2025).

13. Солнечные фотоэлектрические станции: монография / Р.А. Амерханов, О.В. Григораш, И.Б. Самородов, Б.К. Цыганков, Е.С. Воробьев. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 206 с.

14. Lu Q., Chen Y., Zhang X. Smart Power Systems and Smart Grids: Toward Multi-objective Optimization in Dispatching Hardcover - Import. – De Gruyter, 2022. – 239 p.

15. Конструирование и расчет автомобилей и тракторов. Электромобили: учеб. пособие / Н.Н. Демидов, А.А. Красильников, А.Д. Элизов. – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 96 с.

16. Haque A., Mekhilef S., Malik A. Artificial Intelligence for Power Electronics. – Wiley-IEEE Press, 2025. – 400 p.

17. Зиновьев Г.С. Силовая электроника / Г.С. Зиновьев. – М.: Юрайт, 2012. – 667 с.

18. Справочник по силовой электронике / Ю.К. Розанов, П.А. Воронин, С.Е. Рывкин, Е.Е. Чаплыгин; под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 472 с.

19. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

20. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники. Трехфазные выпрямители с улучшенной ЭМС: учебно-методическое пособие / Г.С. Зиновьев, И.А. Александров, С.В. Заводина, Д.В. Кочнев, Д.А. Курочкин, Н.Н. Лопаткин, Н.В. Севастьянов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 70 с.

21. Педагогическая энциклопедия / Глав. ред. И.А. Каиров и Ф.Н. Петров. т. 4. – М.: Советская энциклопедия, 1968. – 912 с.

22. Крутова И.А., Дергунова О.Ю. Методическая система подготовки будущих учителей физики к обучению школьников обобщенному методу решения прикладных задач, связанных с разработкой технических устройств // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2012/4/351.pdf> (дата обращения: 04.11.2025).

23. Каталог учебных стендов и программного обеспечения / ГалСен®: [сайт]. – URL: <https://galsen.ru/catalog> (дата обращения: 04.11.2025).

24. Шилинг Г.С. Методическая и предметная подготовка учителей физики в области электротехники и силовой электроники для работы в специализированных инженерных классах общеобразовательных школ [Электронный ресурс] / Г.С. Шилинг, А.И. Чередниченко, Н.Н. Лопаткин. – Синтез науки и образования: актуальные вопросы педагогики – 2025: сборник материалов Международной научно-практической конференции (23 октября 2025 г., г. Краснодар). – Электрон. текст. дан. (7,0 МБ). – Киров: Изд-во МЦИО, 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: PC, Intel 1 ГГц, 512 МБ RAM, 7,0 МБ свобод. диск. пространства; CD-привод; ОС Windows XP и выше, ПО для чтения pdf-файлов. – Загл. с экрана. – 332 с., с. 236-244. – URL: <https://mcito.ru/publishing/epub/collections?view=1082> (дата обращения: 04.11.2025).

25. Asadi F., Eguchi K. Power Electronics Circuit Analysis with PSIM. – Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2021. – 608 p.

26. Карасев А.В. Некоторые особенности моделирования устройств силовой электроники в системе PSIM // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием, Саранск, 15–16 марта 2017 года. Ответственный редактор О.Е. Железникова. – Саранск: Индивидуальный предприниматель Афанасьев Вячеслав Сергеевич. 2017. – С. 573-577. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_30691194\\_49266183.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30691194_49266183.pdf) (дата обращения: 04.11.2025).

27. На базе российско-таджикской школы имени А. П. Чехова стартовала Неделя точных и естественных наук! / Российско-таджикская школа в городе Худжанд: [сайт]. – URL: <https://rtsosh-khujand.tj/about/news/na-baze-rossiysko-tadzhikskoy-shkoly-imeni-a-p-chekhova-startovala-nedelya-tochnykh-i-estestvennykh/> (дата обращения: 04.11.2025).

28. «Нескучные каникулы» стартовали! / Российско-таджикская школа в городе Худжанд: [сайт]. – URL: <https://rtsosh-khujand.tj/about/news/neskuchnye-kanikuly-startovali/> (дата обращения: 04.11.2025).

29. Подготовка к ЕГЭ и ОГЭ продолжается! / Российско-таджикская школа в городе Худжанд: [сайт]. – URL: <https://rtsosh-khujand.tj/about/news/podgotovka-k-ege-i-oge-prodolzhaetsya/> (дата обращения: 04.11.2025).

**Лопаткин Николай Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры математики, физики, информатики Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ (г. Бийск), e-mail: [nikolay\\_lopatkin@mail.ru](mailto:nikolay_lopatkin@mail.ru);

**Чередниченко Антон Иванович** – старший преподаватель кафедры математики, физики, информатики Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ (г. Бийск), e-mail: [anton.chered@mail.ru](mailto:anton.chered@mail.ru).

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

И. Д. Парамонов, А. Н. Сомов, К. Р. Заричный

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
г. Барнаул

Статья посвящена разработке автоматизированного оборудования для изготовления двухсторонних печатных плат в конструкторских бюро путем автоматизации процессов фоторезистового экспонирования и гальванического осаждения металла. Описаны используемые методы и оборудование, рассмотрен процесс выбора компонентов и программирования микроконтроллера STM32 с применением среды разработки STM32CubeIDE. Приведен подробный алгоритм подключения элементов схемы и настройка взаимодействия между ними.

**Ключевые слова:** печатная плата, микроконтроллер, UART, программное обеспечение, порт.

Конструкторские бюро нередко сталкиваются с трудностями при изготовлении односторонних и двухсторонних печатных плат. Основная проблема заключается в длительных сроках производства и в цене при заказе у сторонних подрядчиков, что может серьезно замедлять процесс разработки и тестирования устройств. В таких условиях актуальным решением становится организация собственного производства печатных плат непосредственно на месте.

Для ускорения процесса эффективным решением является организация собственного производства печатных плат прямо на предприятии. Одним из перспективных методов является использование технологии фоторезиста, однако ручное выполнение ключевых этапов, таких как засветка и гальваническое осаждение металла в переходных отверстиях, представляет значительные сложности. Засветка требует точного соблюдения временных интервалов и расстояния до ультрафиолетовой лампы, а процесс гальваники зависит от скорости и угла перемещения платы в электролите. Чтобы оптимизировать эти процессы, возникла необходимость разработать автоматизированный прибор для засвечивания и гальванического осаждения печатных плат.

Главной целью работы было создать прибор для автоматического засвечивания и гальванического осаждения платы. В соответствии с целью были поставлены задачи:

1. Выбрать средства для разработки.
2. Написать ПО для работы.
3. Создать печатную плату для объединения компонентов.
4. Спроектировать и напечатать корпус.
5. Собрать и протестировать прототип.

В данной статье представлены два этапа, это выбор средства для разработки и написание ПО для работы.

### СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

Для разработки устройства были выбраны следующие компоненты:

- HMI-дисплей: Nextion. Этот дисплей обеспечивает разработку интуитивно понятного и простого графического интерфейса для пользователя благодаря широкому функционалу инструментов, предоставляемых разработчику.

- Микроконтроллер: STM32F103C8T6. Микроконтроллер выбран для управления модулями ламп и сервоприводов, обеспечивая необходимую производительность и функциональность. Программирование микроконтроллера осуществлялось с использованием программы STM32CubeIDE. Это интегрированная среда разработки (IDE), предлагаемая компанией STMicroelectronics специально для семейства микроконтроллеров STM32. Она отличается удобным и простым интерфейсом для написания кода, а также включает мощные средства для настройки конфигурации портов микроконтроллера. Таким образом, разработка программного обеспечения становится эффективной и удобной задачей даже для начинающих разработчиков.

### РАЗРАБОТКА ПО ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32

Чтобы создать программное обеспечение для микроконтроллера, сначала был собран прототип, имитирующий работу лампы, сервомотора и динамика (рис.1).

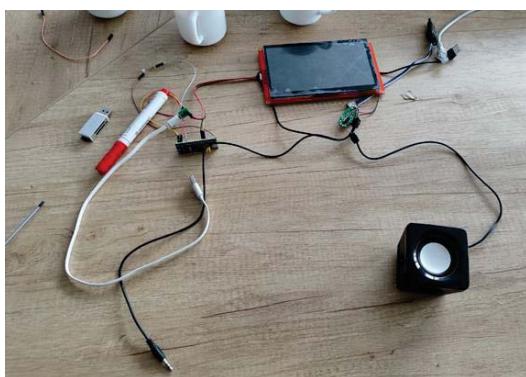


Рисунок 1 – прототип прибора

Связь дисплея с микроконтроллером осуществляется посредством низкоуровневого коммуникационного протокола UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Данный протокол представляет собой аппаратный модуль, обеспечивающий асинхронную передачу данных последовательно между двумя устройствами.

UART организует связь следующим образом:

- Контакт TX служит выходом и передает данные на входной контакт RX второго устройства.

- Контакт RX, наоборот, принимает поступающие данные от контакта TX соседнего компонента.

Обмен информацией возможен лишь при условии общего заземления обоих устройств, то есть наличия общей земли.

При проектировании устройства в среде STM32CubeIDE автоматически создается специальный конфигурационный файл формата .ioc. Здесь разработчик может настроить параметры всех задействованных интерфейсов, включая UART, порты ввода-вывода GPIO, процессор и прочие необходимые параметры системы.

Для настройки UART и другой периферии микропроцессора в CubeIDE при создании проекта формируется отдельный .ioc – файл, в котором можно выбрать параметры для интерфейсов, портов GPIO, конфигурации процессора и множества других настроек (рис.2).

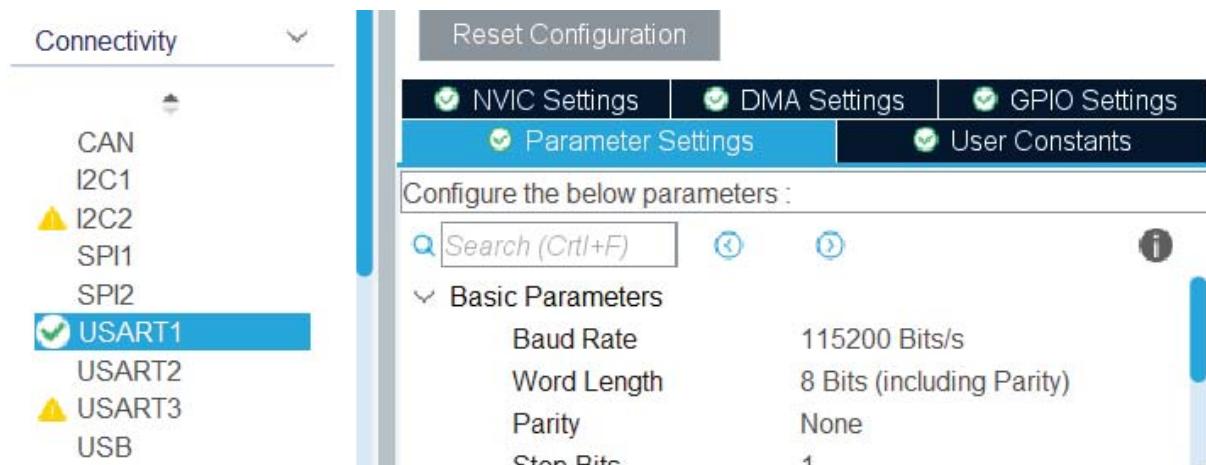


Рисунок 2 – подключение UART

Лампа подключалась к микроконтроллеру по GPIO порту, сконфигурированному под ШИМ сигнал, через транзистор. Сервопривод также, как и лампа, подключались к ШИМ порту.

К контроллеру от дисплея поступает набор команд, имеющих вид шестнадцатеричного числа (для упрощения работы и ускорения передачи).

Помимо этого, необходимо было сконфигурировать аппаратные таймеры, так как в их прерываниях срабатывает основная обработка команд с дисплея и обработка событий,

реализованных на самом микроконтроллере. Преимуществом таймеров в STM является возможность реализации псевдопараллелизма в процессах. Также перенося простые задачи в таймеры, мы освобождаем основной цикл контроллера для выполнения более важных задач.

Первостепенной задачей разработки было: сконфигурировать порт STM для генерации ШИМ сигнала, так как ШИМом управляет яркость светодиодов и угол поворота сервопривода (рис. 3 – 5).

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

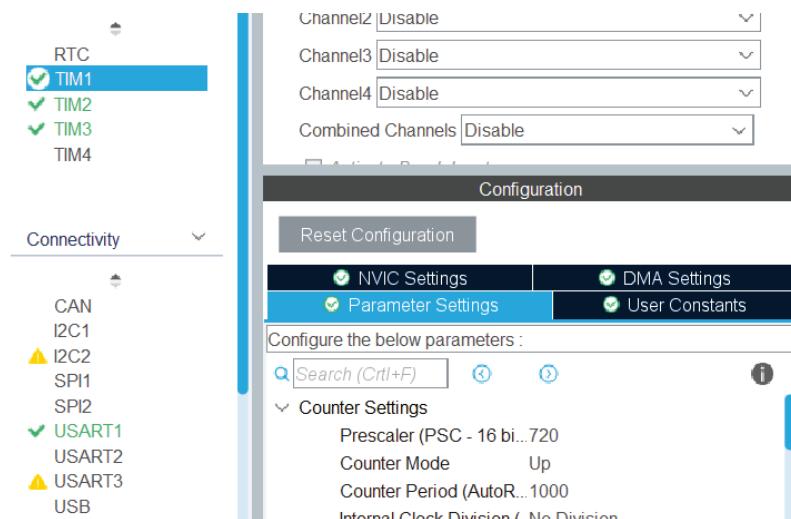


Рисунок 3 – реализация ШИМ – сигнала через таймер

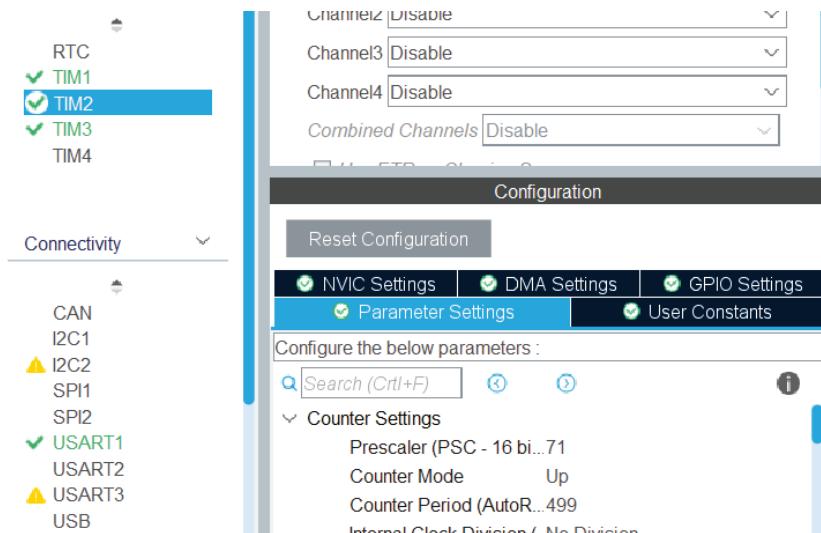


Рисунок 4 – реализация ШИМ для лампы

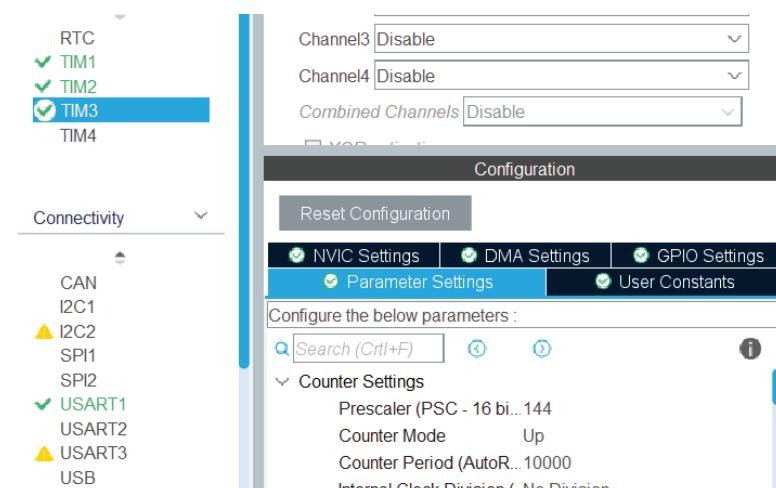


Рисунок 5 – реализация ШИМ для сервопривода

Программа построена на логических переменных(флагах), которые могут принимать значения true и false. Изначальное положение флагов – это выключенные процессы. Также присутствуют переменные, которые имеют определенные значения, каждая из них отвечает за ШИМ (рис. 6). При поступлении команд с экрана мы задавали определённые действия.

```
bool flag1 = false;
bool flags = false;
bool flag_d = true;
bool flagstd = false;
int z=2000; //speed
bool finish = false;
bool pause = false;
int gradpl = 110;
int gradmin = 0;
```

Рисунок 6 – объявление переменных

Чтобы реализовать ШИМ для лампы были использованы переменные: b – для регулировки яркости лампы и логическая переменная flag1 – для включения и выключения лампы. Регулировка яркости была реализована при помощи прибавления к переменной b значения 50 или убавления 50, также в коде есть условия для проверки максимального и минимального значений.

Для реализации ШИМ на сервоприводе нужно было рассчитать длительность импульса, чтобы сервопривод повернулся на определенный градус (рис. 7).

```
gradmin = 180 - gradpl;
if (!finish){

    if (flagstd == true){

        int pulse = 250+(5.55*n);
        __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim3,TIM_CHANNEL_1,pulse

        if(flag_d){
            n+=1;
        }
        else{
            n-=1;
        }
        if(n>gradpl){
            flag_d=false;
        }
        else if (n<=gradmin){
            flag_d=true;
            MX_TIM1_Init_goida(z);
        }
    }
    else if (pause){
        __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim3,TIM_CHANNEL_1,750);
    }

}
else if (finish){
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim3,TIM_CHANNEL_1,750);
```

Рисунок 7 – ШИМ для сервопривода

В нашем случае, длительность импульса рассчитана по формуле:  $250+(5.55*n)$ , где, 250 – это минимальный импульс, а  $(5.55*n)$  – это коэффициент перевода угла в импульс, переменная n обозначает градус угла поворота, у нас он изначально равен 90.

```
if (buff == 0x6D){
    gradpl += 2;
}
else if (buff == 0x6E){
    gradpl -= 2;
```

Рисунок 8 – код управления углом поворота

Для управления углом поворота была задействована переменная gradpl и gradmin (рис. 8). Переменная gradpl прибавляет или убавляет, в зависимости от выбора пользователя, амплитуду(градус) в которой будет работать сервопривод, а переменная gradmin подстраивается под переменную gradpl, чтобы амплитуда была ровная. Для движения сервопривода по заданной амплитуде в коде есть условная конструкция, она гласит, что если переменная n будет больше gradpl, то flag\_d (флаг отвечающий за вращение) переводится в положение false и переменная n начинает убавлять значение, пока не достигнет условие с переменной gradmin и не будет снова прибавлять значение.

Также был реализован ШИМ для скорости укачивания платы (рис. 9).

```
if (buff == 0x2D){
    z+=100;
    MX_TIM1_Init_goida(z);
}
if (buff == 0x2B){
    z-=100;
    MX_TIM1_Init_goida(z);
}
```

Рисунок 9 – ШИМ для скорости укачивания

Он реализован также, как и ШИМ для лампы за исключением того, что данный ШИМ не только прибавляет переменную для скорости, но и передаёт её в функцию для регулировки скорости сервопривода (рис. 10).

```

void MX_TIM1_Init_goida(int x)
{
    /* USER CODE BEGIN TIM1_Init_0 */

    /* USER CODE END TIM1_Init_0 */

    TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig = {0};
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig = {0};

    /* USER CODE BEGIN TIM1_Init_1 */

    /* USER CODE END TIM1_Init_1 */
    htim1.Instance = TIM1;
    htim1.Init.Prescaler = 720;
    htim1.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim1.Init.Period = x;
    htim1.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    htim1.Init.RepetitionCounter = 0;
    htim1.Init.AutoReloadPreload = TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_DISABLE;
    if (HAL_TIM_Base_Init(&htim1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
    if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim1, &sClockSourceConfig) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TTM_TRGO_RESET;
}

```

Рисунок 10 – функция для управления скоростью

В данной функции меняется только значение htim1.Init.Period = x, x – скорость работы сервопривода.

## ВЫВОДЫ

1. Организация собственного производства печатных плат внутри конструкторских бюро позволяет существенно сократить сроки разработки и уменьшить затраты на изготовление опытных образцов.

2. Автоматизация процесса изготовления печатных плат путём введения специализированных приборов для фоторезисторного экспонирования и гальванического осаждения способствует повышению качества изделий и снижению риска ошибок при ручной обработке.

3. Применение современных технологий (таких как использование HMI-дисплеев, микроконтроллеров STM32 и среды разработки STM32CubeIDE) значительно упрощает проектирование и реализацию подобного оборудования.

4. Для реализации последующих этапов исследования будут проведен следующий комплекс работ, направленных на достижение поставленной цели: создание печатной платы для объединения компонентов, проек-

тирование и печатать корпуса, сборка экспериментального образца (прототипа) и проведение комплексного тестирования с целью верификации соответствия техническим требованиям и заявленным характеристикам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поленов Д.Ю. Основы конструирования приборов. Учебно-методическое пособие. / Д. Ю. Поленов Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. 44 с.

2. Лихачева М.С. Проектирование печатных плат : учебно-методическое пособие / М.С. Лихачева. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. 35 с.

3. Соседко В. В., Янишевская А. Г. Технологии беспроводного управления производством печатных плат // ОмГТУ. 2016. Динамика систем, механизмов и машин. №1. 8 с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-besprovodnogo-upravleniya-proizvodstvom-pechatnyh-plat> (дата обращения: 09.11.2025).

**Парамонов Иван Денисович** – студент группы ПС-32, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет И. И. Ползунова», РФ, Алтайский край, г. Барнаул, тел.: 8(961)-990-9068, e-mail: [ivan-paramonovne@mail.ru](mailto:ivan-paramonovne@mail.ru).

**Сомов Алексей Николаевич** – студент группы ПС-32, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический универси-

тет И. И. Ползунова», РФ, Алтайский край, г. Барнаул, тел.: +7 963 507 0977

**Заричный Константин Романович** – студент группы ПС-32, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет И. И. Ползунова», РФ, Алтайский край, г. Барнаул, тел.: +7 903 911 8515, e-mail: [zarkostik@gmail.com](mailto:zarkostik@gmail.com)

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МИКРОСХЕМЫ TPAFE5160 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 0.4 кВ

А. В. Куркин, С. Ф. Нефёдов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
г. Барнаул

В статье описывается микросхема внешнего аналогово-цифрового преобразователя TPAFE5160. Данная микросхема обладает рядом преимуществ такими как 8 биполярных каналов, разрешающая способность каждого 16 бит, одновременное измерение напряжения по всем восьми каналам, что позволяет минимизировать погрешности при измерении параметров электрической сети, встроенная кратковременная защита от перенапряжения до  $\pm 30$  Вольт на каждый канал и возможность выбора диапазона измерений ввода  $\pm 10$  В или  $\pm 5$  В.

**Ключевые слова:** АЦП, TPAFE5160, Электрические сети 0.4 кВ, протокол SPI, Измерения сетевого напряжения, теорема Котельникова.

### Введение

Измерение напряжения в электрических сетях является важной задачей электроснабжения, в частности, измерение сетевого напряжения 0.4 кВ, которое передаётся непосредственно потребителю. Также немаловажным фактором измерения напряжения является возможность передачи и масштабирования показаний цифровой вычислительной техникой. Для решения задач измерения напряжения и представления его в цифровом виде пригодном для анализа и интерпретации электронно-вычислительной техникой существуют аналогово-цифровые преобразователи. Перед рассмотрением непосредственно микросхемы TPAFE5160 [1] в качестве аналогово-цифрового преобразователя рассмотрим методы масштабирования сетевого напряжения. Для измерения сетевого напряжения используется схема пропорционального изменения исследуемого синусоидального сигнала для возможности его преобразования и интерпретации. Этим целям служат такие схемы как: резистивные делители напряжения, схемы, содержащие трансформатор. Последние более предпочтительны так как создают гальваническую развязку с измеряемой сеть. Пример такой схемы, которая при необходимости может содержать фильтры различного назначения (в данном случае рассматривается фильтр высоких частот) представлен на рисунке 1

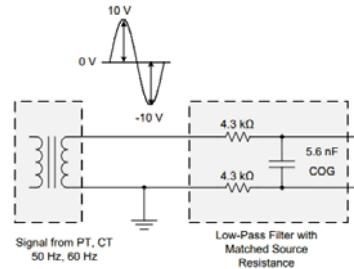


Рисунок 1 - Пример схемы масштабирования сигнала с фильтром высоких частот

### Обзор микросхемы TPAFE5160

Теперь рассмотрим микросхему TPAFE5160 в качестве аналогово-цифрового преобразователя. Микросхема TPAFE5160 поставляется в корпусе и представляет собой комплексное устройство, которое включает в себя как сам АЦП, имеющий 8 биполярных каналов и способный производить измерения по всем каналам одновременно, так и устройство передачи информации с тремя возможными видами связи, а именно параллельное чтение байтовых данных, чтение последовательных данных, параллельное чтение данных. Чтение последовательных данных схоже с протоколом SPI с дополнительными сигналами состояний. На рисунке 2 и рисунке 3 представлены тактовые диаграммы опроса микросхемы в режиме чтения последовательных данных.

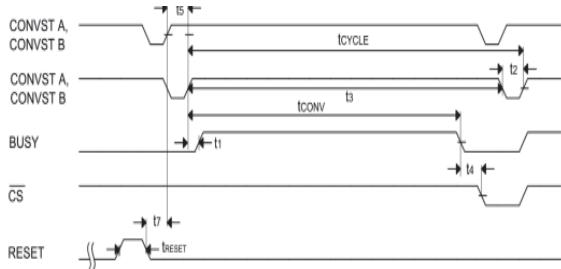


Рисунок 2- Дополнительные сигналы требуемые для опроса микросхемы

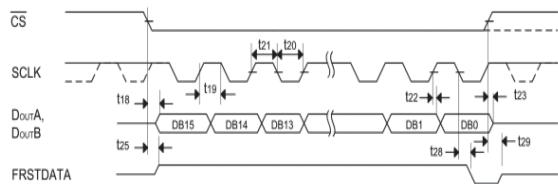


Рисунок 3- Чтение микросхемы по протоколу SPI (для примера взят первый канал)

Для организации связи и настройки работы микросхемы используются следующие выводы микросхемы:

1) RANGE – Многофункциональный логический входной контакт: При низком уровне STBY этот вывод выбирает режим ожидания и выключения. При высоком уровне STBY этот вывод выбирает диапазон ввода  $\pm 10$  В или  $\pm 5$  В.

2) CONVSTA – Активный логический вход для управления началом преобразования для первой половины количества входных каналов устройства (Соединяется с CONVSTB в данном проекте).

3) CONVSTB – Активный логический вход, для управления началом преобразования для второй половины количества входных каналов устройства.

4) RESET – сброс цифровой логики устройства.

5) SCLK – вывод тактового ввода в режиме последовательного интерфейса.

6) CS – выбор данной микросхемы для связи.

7) BUSY – высокий уровень указывает на текущее преобразование.

8) FRSTDATA – цифровой выход, показывающий первые данные.

9) DOUTA, DOUTB – вывода данных в режиме последовательного интерфейса

Подключение микросхемы, выбор режима передачи данных подробно описано в технической документации [1].

### Определение пригодности для измерения сетевого напряжения

Измерения сетевого напряжения должны осуществляться в соответствии с ГОСТ Р 54149 – 2010 [2] который требует учитывать при измерении прибором напряжения гармоники вплоть до 40-ой. Произведём расчёт параметров и убедимся, что микросхема TPAFE5160 пригодна для измерения сетевого напряжения. Проведём расчёт руководствуясь заданными условиями:

Частота исследуемой сети электроснабжения  $f_{\text{сети}} = 50$  Гц.

Максимальная учитываемая гармоника синусоидального сигнала.  $K = 40$ .

Максимальная частота синусоидального сигнала 40-ой гармоники может быть найдена в соответствии с уравнением (1).

$$f_{ax} = f_{\text{сети}} * K = 50 * 40 = 2000 \text{ Гц}, \quad (1)$$

где:  $f_{ax}$  – Максимальная частота исследуемого сигнала [Гц].

$f_{\text{сети}}$  – Частота исследуемой сети электроснабжения [Гц].

$K$  – Максимальная учитываемая гармоника синусоидального сигнала.

В соответствии с теоремой Котельникова [3] (теорема Найквиста – Шеннона) частота дискретизации должна быть больше максимальной частоты в 2 раза. В соответствии с уравнением (2) найдём частоту дискретизации  $f_d$ :

$$f_d = f_{ax} * 2 = 2000 * 2 = 4000 \text{ Гц}, \quad (2)$$

где:  $f_{ax}$  – Максимальная частота исследуемого сигнала [Гц],  $f_d$  – Частота дискретизации [Гц]. Далее за  $T = 1$  синусоида с сетевой частотой совершает число периодов  $L$ , определяемое формулой (3).

$$L = \frac{T}{T_{\text{сигнала}}} = \frac{T}{\frac{1}{f_d}} = T * f_d = 1 * 4000 = 4000 \quad (3)$$

где:  $L$  – Число периодов сигнала,  $T$  – Период измерения [с],  $f_d$  – Частота дискретизации [Гц]. Тогда необходимое количество дискрет-

ных точек измерений  $N$  для Быстрого преобразования Фурье [3] будет определяться формулой (4):

$$N = 2^{\lceil \log_2 L \rceil} = 2^{\lceil \log_2 4000 \rceil} = 2^{12} = 4096 \text{ точек}, \quad (4)$$

где:  $L$  – Число периодов сигнала,  $N$  – Количество дискретных точек измерений.

То есть для достоверности измерений нужно проводить 4096 измерений в секунду, а именно каждые 0.24 мс, что вполне реализуемо при работе с данной микросхемой, так обращаясь к технической документации на микросхему TPAFE5160 [1], мы можем видеть, что время преобразования сигнала  $t_{\text{cycle}} = 2.85 \text{ мкс}$ .

В итоге можно сделать вывод, что микросхема TPAFE5160 пригодна для измерения сетевого напряжения 0.4 кВ в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54149–2010 [2] и будет использована нами с целью контроля напряжения в сети 0.4 кВ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. TPAFE5160 [Электронный ресурс] // Техническая документация – режим доступа: <https://www.3peak.cn/precision-adc/tpafe5160> (дата обращения: 09.10.2025).
2. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст] // ГОСТ Р 54149 – 2010.
3. Цифровая обработка сигналов [Текст] // учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.: ил. – (Учебная литература для вузов).

**Куркин Артём Вячеславович** – студент каф. «Электрификация производства и быта» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет И. И. Ползунова», тел.: 8 (3852) 29-08-82, e-mail: kurkin2002@bk.ru

**Нефёдов Сергей Фёдорович** – к.т.н, доцент каф. «Электрификация производства и быта», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет И. И. Ползунова», тел.: 8 (3852) 29-08-82, e-mail: nfdv@inbox.ru

## МАССОВЫЙ ОТКРЫТЫЙ ОНЛАЙН-КУРС В СИСТЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНЬ

П. Б. Шибаев

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань

Актуальность исследования обусловлена потребностью в эффективных инструментах формирования устойчивости г. Казани к ЧС. Цель работы – Эмпирически оценить сравнительную эффективность массового открытого онлайн-курса (МООК) и традиционных методов обучения в формировании знаний и практической готовности населения к чрезвычайным ситуациям и показать их роль в повышении устойчивости муниципального образования город Казань. Применялись методы анкетирования ( $n=84$ ), интервью и статистического анализа. Эмпирическая оценка знаний 250 слушателей МООК показала средний уровень усвоения 84,75%, что на 33,13% выше результата традиционных методов (51,62%). Опрос выявил значительный рост готовности к действиям при ЧС: после обучения 63,4% респондентов оценили свою готовность на 6-8 баллов из 10, тогда как до обучения 40% давали низкие оценки (0-4 балла). Результаты подтверждают высокую эффективность МООК для формирования знаний и адаптивности населения, обосновывая его внедрение в муниципальные стратегии.

**Ключевые слова:** массовый открытый онлайн-курс, безопасность жизнедеятельности, устойчивость муниципального образования, город Казань, сравнительный анализ, эффективность обучения, традиционные методы обучения, культура безопасности, готовность к чрезвычайным ситуациям, анкетирование населения, усвоение знаний, цели устойчивого развития.

### Введение

Формирование устойчивости муниципальных образований (МО) к чрезвычайным ситуациям (ЧС) природного и техногенного характера является одной из ключевых стратегических задач обеспечения национальной безопасности и устойчивого развития территории в XXI веке [23]. Глобальные тенденции, такие как урбанизация, климатические изменения, усложнение технологических процессов и рост плотности критической инфраструктуры в городах, неизбежно ведут к увеличению частоты и масштабов последствий ЧС [10]. Российская Федерация, обладая обширной территорией и разнообразными природно-климатическими условиями, а также развитой промышленностью, сталкивается с широким спектром угроз, что подтверждается статистическими данными МЧС России, ежегодно фиксирующими десятки тысяч ЧС [18]. В этом контексте город Казань, как столица Республики Татарстан, крупный экономический, научный и культурный центр с населением свыше 1,3 млн человек, высокой кон-

центрацией промышленных предприятий (включая нефтехимический комплекс), развитой транспортной сетью и значительным количеством объектов социальной инфраструктуры, представляет собой территорию с повышенным риском возникновения и каскадного развития как техногенных (пожары, аварии на коммунальных системах, транспорте, ХОО), так и природных (паводки, сильные ветра, гололед) ЧС [19].

Традиционные подходы к управлению рисками ЧС, фокусирующиеся преимущественно на силовых структурах и аварийно-спасательных службах, демонстрируют свою ограниченность в условиях масштабных или комплексных кризисов [21]. Современная парадигма безопасности смещается в сторону повышения устойчивости территории и сообщества, подразумевающей способность системы (МО) предвидеть угрозы, поглощать их воздействие, адаптироваться и восстанавливаться эффективно и своевременно [3]. Ключевым элементом формирования такой устойчивости выступает система образова-

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССОВОГО ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНИ

ния и обучения, направленная на все категории населения, включая органы местного самоуправления (МСУ), специалистов организаций и рядовых граждан [28]. Именно через непрерывное обучение формируется культура безопасности, развиваются компетенции в области предупреждения ЧС, адекватного реагирования и минимизации ущерба, что является основой для осознанных действий как на индивидуальном, так и на муниципальном уровне [13].

Актуальность данного исследования обусловлена следующими факторами применительно к городу Казани:

1. Насущная потребность в адаптации: Существующие образовательные программы в области безопасности жизнедеятельности (БЖД) и защиты населения зачастую носят формальный характер, недостаточно адаптированы к специфическим рискам конкретного МО (Казани) и современным вызовам (киберугрозы, сложные цепочки ЧС) [6].

2. Недостаточная вовлеченность населения и МСУ: Уровень практической готовности населения к действиям в ЧС и эффективность взаимодействия с органами МСУ в кризисных ситуациях требуют значительного повышения, чему может способствовать только целенаправленное и системное обучение, выходящее за рамки разовых инструктажей [20].

3. Правовая и стратегическая база: Требования Федерального закона № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС», Стратегии национальной безопасности РФ, а также документов стратегического планирования г. Казани подчеркивают необходимость совершенствования подготовки всех участников процесса обеспечения безопасности, давая развитие образовательной компоненты в сфере устойчивости МО не просто важным, а императивным [24, 25].

4. Пробел в научно-практических исследованиях: несмотря на признание важности обучения, недостаточно разработаны научно обоснованные модели и методики оценки его непосредственного вклада в формирование комплексной устойчивости конкретного муниципального образования, такого как Казань, с учетом его уникальных характеристик [9].

Таким образом, исследование роли обучения как системообразующего фактора в повышении устойчивости муниципального образования г. Казань к ЧС обладает высокой научной, практической и социальной значимостью, отвечая на вызовы времени и потребности города в создании безопасной и жизнестойкой среды.

## Проблема исследования

Несмотря на осознание важности подготовки населения и органов МСУ к ЧС и наличие определенной нормативно-правовой и организационной базы (включая курсы БЖД, обучение в УМЦ, командно-штабные учения), в практике формирования устойчивости муниципальных образований к бедствиям сохраняется ряд существенных недостатков и противоречий, которые обуславливают проблему данного исследования.

Основные противоречия заключаются в следующем:

1. Между декларируемой важностью обучения и его реальной эффективностью: существует разрыв между масштабами проводимых обучающих мероприятий и их практической отдачей в виде реального повышения уровня готовности МО к ЧС. Обучение зачастую не приводит к формированию устойчивых навыков и компетенций, необходимых для действий в реальных кризисных ситуациях, как у населения, так и у представителей МСУ [4, с. 56-57].

2. Между унифицированными подходами и спецификой территории: Действующие программы и методики обучения (особенно на федеральном и региональном уровнях) часто не учитывают в достаточной мере специфику рисков, инфраструктурных особенностей, социально-демографического состава населения и организационной структуры МСУ конкретного муниципального образования, такого как Казань [6, 16]. Это снижает релевантность и применимость получаемых знаний.

3. Между теоретической подготовкой и практической направленностью: Обучение, особенно для органов МСУ и специалистов, нередко перегружено теоретическими аспектами при недостатке практических тренингов, учений, симуляций и отработки навыков межведомственного взаимодействия и управления в условиях неопределенности и дефицита времени [14].

4. Между потребностью в непрерывности обучения и его эпизодическим характером: Подготовка носит зачастую разовый или периодический характер (например, при вступлении в должность или после крупной ЧС), не будучи встроенной в систему непрерывного профессионального развития и повышения культуры безопасности населения на постоянной основе [5].

5. Между необходимостью комплексной оценки устойчивости и отсутствием методик учета вклада обучения: существует недостаток надежных и валидных методик, позволяющих количественно и качественно оценить,

насколько именно и какие элементы образовательной системы (программы, форматы, охват) вносят вклад в повышение конкретных индикаторов устойчивости МО к ЧС [9, 1].

Недостатки существующих подходов к подготовке в контексте обеспечения устойчивости МО, вытекающие из указанных противоречий, включают:

1. Формализм и шаблонность многих обучающих программ.

2. Низкий уровень мотивации и вовлеченности части целевых аудиторий (особенно населения) в процесс обучения.

3. Недостаточную координацию между различными субъектами, ответственными за обучение (образовательные учреждения, УМЦ МЧС, органы МСУ, организации).

4. Дефицит современных образовательных технологий (симуляторы, VR/AR, онлайн-платформы, геймификация), адаптированных для задач формирования устойчивости [22].

5. Отсутствие системного мониторинга и оценки реального влияния обучения на уровень подготовленности и, как следствие, на общую устойчивость муниципалитета [12].

Разрешение этого комплекса противоречий и устранение выявленных недостатков требует разработки научно обоснованных подходов к построению и оценке эффективности системы обучения, ориентированной именно на повышение устойчивости конкретного МО.

Проблема исследования может быть сформулирована следующим образом: существует противоречие между объективной необходимостью использования потенциала системы обучения, как ключевого инструмента формирования комплексной устойчивости муниципального образования г. Казань к природным и техногенным ЧС и наличием существенных недостатков и нерешенных вопросов в теоретическом обосновании, методическом обеспечении и практической реализации такого обучения, а также в оценке его реальной эффективности.

Несмотря на наличие нормативных документов и образовательных программ в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, сохраняется низкий уровень реальной готовности граждан и специалистов к действиям в условиях угроз. Имеющиеся формы обучения часто не обеспечивают системного повышения устойчивости муниципальных образований, особенно в условиях ограниченного доступа к очному образованию и отсутствии цифровых инструментов.

Проблема заключается в недостаточной интеграции современных форм дистанцион-

ного обучения в систему подготовки населения и специалистов, а также в отсутствии системных исследований, позволяющих оценить эффективность таких форматов, как МООК, в контексте устойчивости к бедствиям.

#### **Объект исследования**

Процесс формирования устойчивости муниципальных образований к чрезвычайным ситуациям.

#### **Предмет исследования**

Роль образовательных программ, включая массовые онлайн-курсы, в формировании компонентов устойчивости муниципальных образований.

#### **Цель исследования**

Эмпирически оценить сравнительную эффективность массового открытого онлайн-курса и традиционных методов обучения в формировании знаний и практической готовности населения к чрезвычайным ситуациям и показать их роль в повышении устойчивости муниципального образования город Казань.

#### **Научная гипотеза**

Использование массовых онлайн-курсов способствует формированию устойчивости муниципальных образований, повышая уровень знаний, готовности к действиям и способность к адаптации в условиях угроз.

#### **Научная новизна**

Впервые рассматривается влияние массовых онлайн-курсов на формирование компонентов устойчивости муниципальных образований в контексте образовательной политики. Предложен подход к оценке эффективности цифрового обучения, как инструмента повышения адаптивности муниципальных структур и населения.

#### **Материалы и методы**

- Анализ нормативных и методических документов.
- Контент-анализ образовательных курсов;
- Эмпирическое исследование: анкетирование, интервью.
- Статистическая обработка данных.

#### **Результаты**

Современное общество все чаще сталкивается с последствиями чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биологического-социального характера, что зачастую приводит к человеческим жертвам, включая детей [29]. Муниципальные образования, являясь базовым уровнем социально-территориального устройства, несут основную нагрузку при реализации мер по защите населения и инфраструктуры от бедствий. В условиях ограниченных ресурсов и высокой плотности населения особенно важным ста-

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССОВОГО ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕНДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНИ

новится формирование устойчивости к бедствиям, основным компонентом которой выступает готовность граждан к действиям в условиях риска.

Одним из важнейших инструментов обеспечения такой готовности является обучение населения и специалистов в сфере безопасности. Особенно актуальным становится использование современных образовательных технологий, включая MOOK [27].

Образовательная деятельность способствует развитию культуры безопасности, повышению компетентности лиц, принимающих решения, а также формированию поведения, ориентированного на снижение уязвимости и укрепление устойчивости муниципальных образований [7]. В условиях цифровизации образования массовые онлайн-курсы предоставляют уникальные возможности для масштабного охвата населения и построения устойчивых моделей управления рисками.

Нами были разработан MOOK по безопасности жизнедеятельности [26]. Курс предназначен для широкой аудитории и направлен на повышение уровня знаний населения в области безопасности техносферы и действиях при чрезвычайных ситуациях (ЧС). Для оценки влияния обучения на устойчивость муниципального образования произведен всесторонний анализ статистики прохождения курса.

Для оценки уровня усвоения материала использовались встроенные в курс контрольные тесты.

По состоянию на май 2025 года в курсе зарегистрировались 250 обучающихся и только два не приступали к обучению. Из табеля успеваемости курса можно оценить успешность освоения того или иного раздела и темы по всем обучающимся курса рис. 1, а также получить данные о проценте освоения курса каждым респондентом рис 2. по категориям успеваемости.

ID Пользователя	Имя, фамилия	Балл	Проверочные ситуации												Тест: Проверка												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1050240846	Тимофеев Себастьян	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
1053231035	Шемяков Евгений	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3075420367	Бекшоев Дастан	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053230805	Алекперов Сагитов	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053231145	Васильев Чарльз	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
302701157	Салаватов Габдулхакен	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
302180467	Сабирова Гульмира	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1055241170	Минкин Илья	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1052210700	Лукас Альберт	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1055241172	Лукас Михаил	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053231172	Ильин Евгений	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1070301013	Минниханов Рустам	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053230916	Борисов Тимур	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
133420055	Азаров Павел	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053231096	Минниханов Рустам...	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1055230203	Ильин Евгений	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1055231171	Гагарин Александр...	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1055231172	Гагарин Александр...	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053231117	Гасимов Гасим	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053230308	Родионова Юлия	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
646224274	Азаров Павел	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053231173	Минниханов Рустам...	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
107117777	Азаров Павел	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1055230706	Азаров Павел	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
430200150	Марина Марина	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1053231123	Александров Михаил	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Рисунок 1 – Таблица успеваемости курса

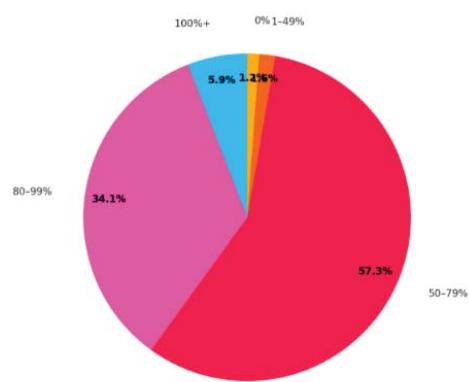


Рисунок 2 – Распределение респондентов по диапазону

Рисунок 2 показывает, какую долю респондентов занимает каждый диапазон. На рисунке 3 мы видим абсолютное число респондентов в каждом диапазоне.

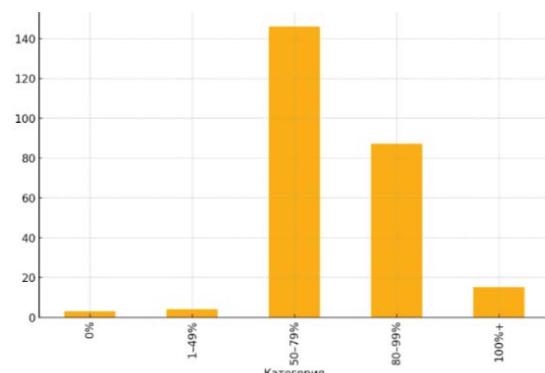


Рисунок 3 – Число респондентов в каждом диапазоне

Уровень знаний по итогам прохождения MOOK, его среднее значение составило 84,75%, что свидетельствует о хорошем понимании основных понятий и рекомендаций, изложенных в учебных модулях. Существенную роль в удержании активности сыграли напоминания и поощрительные сертификаты, которые получили 97,63% участников. Исследования показывают, что такие меры значительно повышают процент завершения курсов MOOC [2].

Анализ ошибок и затруднений показывает, что наибольшие трудности у слушателей вызывают вопросы, связанные с организационно-управленческими аспектами реагирования на ЧС и практическими действиями в условиях техногенных аварий. Это указывает на необходимость усиления практической составляющей курса и более детального рассмотрения кейсов из реальной жизни.

Статистический анализ показывает положительные тенденции:

1. Рост общего уровня осведомленности участников по вопросам безопасности жизнедеятельности, что подтверждается результатами контрольных тестов и отзывами.

2. Активное распространение знаний в социальных группах, что свидетельствует о социальном эффекте обучения и потенциале курса для формирования культуры безопасности на муниципальном уровне.

3. Повышение интереса к дополнительным образовательным ресурсам и специализированным программам ГОЧС, что способствует развитию профессиональных компетенций.

Таким образом, разработанный нами МООК служит эффективным инструментом повышения устойчивости населения Казани к чрезвычайным ситуациям за счет расширения образовательных возможностей и повышения уровня информированности.

Статистический и качественный анализ свидетельствует, что участие в курсе способствует повышению уровня знаний населения о рисках и методах защиты, что является одним из ключевых факторов устойчивости муниципальных образований к ЧС. Наблюдается положительная корреляция между активностью в курсе и готовностью к действиям в экстремальных ситуациях, что подтверждается дальнейшими социологическими опросами.

Рассматриваемый МООК также способствует развитию культуры безопасности в сообществе, повышая осведомленность и мотивацию к профилактическим действиям. Это важный аспект повышения устойчивости, который находит отражение в современных концепциях безопасности [15].

Другие крупные города России, такие как Москва, Санкт-Петербург и Новосибирск, также внедряют дистанционные образовательные инициативы в сфере безопасности, но с разной степенью охвата и успеха [17]. Москва, например, обладает развитой системой поддержки и интеграции курсов с муниципальными службами, что положительно сказывается на показателях успеваемости и активного участия [11].

В менее развитых регионах наблюдается более низкий уровень вовлечённости, что связано с ограниченным доступом к интернету, слабой технической поддержкой и отсутствием локальной информационной кампании [8].

Одним из ключевых этапов исследова-

ния влияния обучения на устойчивость муниципальных образований является проведение социологического опроса населения города Казани. Целью опроса являлась оценка уровня осведомленности граждан о рисках чрезвычайных ситуаций (ЧС), их готовности к действиям в условиях угрозы, а также изучение взаимосвязи между уровнем знаний и участием в образовательных программах, в частности в онлайн-курсе, разработанном нами. Социологический метод позволил собрать репрезентативные данные, охватывающие различные социально-демографические группы, и провести сравнительный анализ между слушателями курса и теми, кто его не проходил.

Анкета была разделена на несколько разделов, которые позволили всесторонне оценить уровень знаний и поведения населения:

- Раздел 1: Общие сведения – демография, образование, профессия.
- Раздел 2: Знания о видах чрезвычайных ситуаций, их признаках и рисках.
- Раздел 3: Навыки и действия при различных типах ЧС (пожар, наводнение, техногенные аварии).
- Раздел 4: Участие в образовательных мероприятиях, в том числе прохождение онлайн-курса.
- Раздел 5: Оценка собственной готовности к действиям в условиях ЧС и самооценка риска.
- Раздел 6: Обратная связь о качестве полученной информации и необходимости дальнейшего обучения.

Опрос проводился в онлайн-формате, что обеспечило широкий охват и удобство для участников. Количество респондентов составило 84 человека. В опросе приняло участие почти равное количество мужского и женского населения рис. 4.

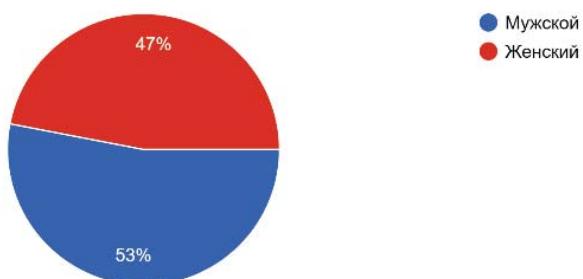


Рисунок 4 – Пол респондентов

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССОВОГО ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНИ

Распределение респондентов по районам проживания свидетельствует, что Наибольшую долю респондентов составляют жители Вахитовского района (33.8%) Значительную представленность также имеют Советский (27.0%) и Ново-Савиновский (18.9%) районы. Совокупная доля этих трех районов составляет 79.7% от общей выборки рис. 5.

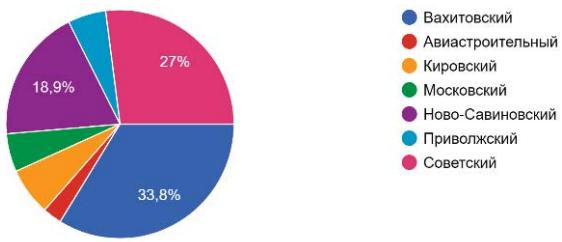


Рисунок 5 – Распределение респондентов по районам проживания

Субъективная оценка уровня угрозы техногенных аварий и ЧС в районе проживания показывает, что более 50% респондентов оценивают ее, как «низкий» рис. 6.

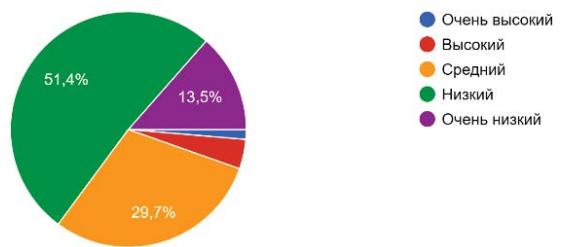


Рисунок 6 – Субъективная оценка уровня угрозы техногенных аварий и ЧС в районе проживания

Однако уже при оценке уровня угрозы техногенных аварий и других ЧС в городе Казань картина меняется и больше всего респондентов, 47.3 уже считает, что уровень угрозы «средний» рис. 7.

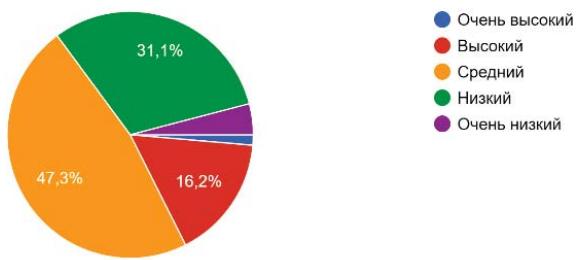


Рисунок 7 – Субъективная оценка уровня угрозы техногенных аварий и ЧС в городе Казань

Самооценка готовности к действиям при ЧС до обучения имеет следующий вид рис. 8.



Рисунок 8 – Самооценка готовности к действиям при ЧС до обучения

Распределение оценок по 10-балльной шкале (0 = «абсолютно не готов», 10 = «полностью готов») демонстрирует выраженную левостороннюю асимметрию, указывающую на преобладание низких самооценок готовности. Модальный ответ: 5 баллов (20.0% респондентов). Значительная доля респондентов оценила свою готовность как низкую: 40.0% (суммарно) дали оценки от 0 до 4 баллов включительно (0 баллов - 0%, 1 - 0%, 2 - 0%, 3 - 4.0%, 4 - 9.3%). Оценки 6-7 баллов составили по 13.3% каждая. Высокие оценки (8-10 баллов) были наименее представлены (суммарно 10.7%: 8 баллов - 6.7%, 9 - 0%, 10 - 4.0%).

На основании этих данных можно сделать вывод, что большинство респондентов (средняя оценка <5.5) ощущали недостаточную готовность к ЧС до прохождения обучения.

Самооценка готовности к действиям при ЧС после обучения представленная на рис. 9 имеет совсем другой вид.

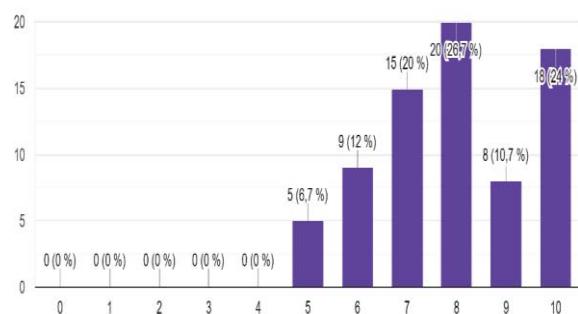


Рисунок 9 – Самооценка готовности к действиям при ЧС после обучения

Распределение оценок резко сместилось вправо по сравнению с оценкой «до обучения», демонстрируя значительный рост воспринимаемой готовности. Модальный ответ: 7 баллов (24.0% респондентов). Подавляющее большинство респондентов (63.4%) дали оценки в диапазоне 6-8 баллов (6 баллов - 20.0%, 7 баллов - 24.0%, 8 баллов - 19.4%). Оценки 5 баллов и ниже стали исключением: 5 баллов - 6.7%, оценки 0-4 баллов отсутствовали полностью (0.0%). Доля высоких оценок (9-10 баллов) составила 10.7% (9 баллов - 0%, 10 баллов - 10.7%).

Из данных можно сделать ключевой вывод о том, что обучение привело к существенному повышению субъективной оценки готовности респондентов к действиям в ЧС, с концентрацией оценок в зоне уверенной готовности (6-8 баллов).

Был оценен уровень знаний респондентов, с помощью тестовых заданий, которые изучали выше названные темы классическими методами используя классно-урочную систему с помощью лекций, книг и семинаров, и их среднее значение составило всего 51.62%, что на 33,13% меньше, чем у тех, кто использовал разработанный нами МООК.

Разработанный МООК продемонстрировал статистически значимую и существенную (на 33.13%) более высокую эффективность в усвоении знаний по темам БЖД по сравнению с традиционной классно-урочной системой (лекции, книги, семинары), что подтверждается результатами тестирования (средний балл 51.62% против ~84.75% для МООК).

#### Авторская модель внедрения МООК в систему обеспечения устойчивости муниципального образования.

В результате проведенных исследований нами была разработана авторская модель, рисунок 10, которая представляет собой непрерывный шестиэтапный цикл, ориентированный на постоянное совершенствование и адаптацию к меняющимся условиям риска. Её структурная основа вытекает непосредственно из проблем, целей и результатов исследования, в частности – из выявленного противоречия между унифицированными подходами и спецификой территории, а также доказанной высокой эффективности МООК.

#### Непрерывный цикл повышения устойчивости МО



Рисунок 10 – Авторская модель внедрения МООК в систему обеспечения устойчивости МО

#### Описание этапов модели:

##### 1. Анализ рисков и потребностей МО.

На этом этапе проводится всесторонняя диагностика специфических рисков ЧС для конкретного МО (на примере г. Казань – паводки, аварии на ХОО, пожары и т.д.). Анализируются статистические данные МЧС [18, 19], результаты социологических опросов населения об оценке угроз и выявляются пробелы в знаниях и готовности различных целевых групп (население, МСУ, специалисты).

Этот этап является фундаментальным, так как обеспечивает релевантность будущего курса. Он напрямую разрешает выявленное в статье противоречие между унифицированными подходами и спецификой территории [6, 16].

##### 2. Целевая разработка и адаптация контента МООК.

На основе полученных данных разрабатывается или адаптируется содержание МООК. Контент фокусируется на практических аспектах действий при ЧС, характерных для МО, и включает кейсы из реальной жизни, что, как показал анализ ошибок, является наиболее сложным для слушателей. Используются дидактические принципы, аналогичные примененным в успешном курсе [26, 27].

Такой подход позволяет устранить формализм и шаблонность, обеспечивая высокую применимость знаний. Усиление практической составляющей напрямую отвечает на

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССОВОГО ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНИ

выявленную проблему разрыва между теорией и практикой [14].

## 3. Техническая реализация и интеграция на образовательной платформе.

Разработанный курс размещается на удобной и доступной онлайн-платформе, например, Stepik, как в [26]. Обеспечивается техническая поддержка и, при возможности, интеграция с официальными порталами МСУ и МЧС для повышения доверия и охвата, по аналогии с успешным опытом Москвы [11].

Это обеспечивает масштабируемость, доступность и преодоление пространственных барьеров, что особенно актуально для крупных городов с высокой плотностью населения, таких как Казань.

## 4. Комплексная программа мотивации и вовлечения целевых аудиторий.

Реализуется система мотивации, доказавшая свою эффективность в исследовании: напоминания, поощрительные сертификаты (97,63% выдачи в эксперименте [2]), а также информационная кампания через МСУ и СМИ. Программа направлена на преодоление низкого уровня мотивации населения.

Активное вовлечение является ключом к преодолению эпизодического характера обучения и формированию постоянной культуры безопасности [5]. Данный этап напрямую влияет на процент завершения курса.

## 5. Оценка эффективности по адаптированной методике (Knowledge & Readiness Score – KRS).

На данном этапе применяется адаптированная методика оценки, апробированная в исследовании. Она включает два ключевых компонента:

Knowledge Score (Когнитивный компонент): объективная оценка усвоения знаний через встроенные тесты (средний балл, как 84,75% для MOOK).

Readiness Score (Аффективно-поведенческий компонент): субъективная оценка готовности к действиям по 10-балльной шкале (как в Рис. 8, 9) до и после прохождения курса.

Комплексная оценка KRS позволяет количественно измерить вклад обучения в устойчивость МО, закрывая пробел в методиках оценки, указанный в проблеме исследования [9, 1]. Она демонстрирует эффективность как в знаниях, так и в росте уверенности.

## 6. Обратная связь, анализ данных и корректировка курса/стратегии.

На основе данных KRS, анализа ошибок в тестах и обратной связи от слушателей, как в Разделе 6 анкеты, осуществляется посто-

янная корректировка контента MOOK, методов подачи и программ мотивации.

Этот этап замыкает цикл, превращая модель в самосовершенствующуюся систему. Он обеспечивает непрерывность обучения и его постоянную адаптацию к новым вызовам и меняющейся риск-среде, что является сутью формирования устойчивости [3].

Таким образом, цикличность трансформирует MOOK из статичного «учебника» в динамичную «нервную систему» обучения в сфере безопасности, которая постоянно подстраивается под нужды муниципалитета и обеспечивает непрерывный рост его устойчивости.

## Актуальность, важность и дальнейшее применение модели

Актуальность и важность данной модели обусловлены тем, что она предлагает конкретный, научно обоснованный и эмпирически проверенный инструмент для разрешения ключевых противоречий, выявленных в исследовании. Она трансформирует MOOK из разового образовательного продукта в неотъемлемый компонент системы управления устойчивостью МО.

Что дает эта модель:

1. Повышение эффективности: систематическое внедрение модели гарантирует, что обучение будет целенаправленным, релевантным и результативным, что подтверждается ростом показателей KRS.

2. Целевое использование ресурсов: модель позволяет направлять ресурсы на разработку и продвижение именно тех тем, которые критически важны для конкретного МО, избегая распыления усилий.

3. Формирование доказательной базы: цикл оценки и обратной связи создает постоянно пополняемую базу данных о уровне готовности населения и эффективности обучавших мер, что необходимо для обоснования управленческих решений.

4. Создание устойчивой системы: модель является не линейной, а циклической, что обеспечивает ее долгосрочность, адаптивность и способность к саморазвитию вместе с муниципалитетом.

Дальнейшее применение модели видится в ее адаптации и внедрении в стратегическое планирование г. Казани и других муниципальных образований РФ. Она может стать основой для муниципальных программ повышения культуры безопасности, интегрироваться в документы стратегического планирования [24] и служить ориентиром для УМЦ МЧС и образовательных учреждений при разработке учебных курсов. Таким образом,

разработанная нами модель является связующим звеном между академическим исследованием и практикой муниципального управления, предлагая дорожную карту для построения более жизнестойких и безопасных городов.

### Заключение

Традиционные методы обучения (лекции, семинары, учебники) в рамках классно-урочной системы показали ограниченную эффективность в достижении удовлетворительного уровня знаний по БЖД (средний результат 51.62%), что указывает на необходимость их модернизации или дополнения.

Результаты исследования предоставляют убедительные эмпирические доказательства того, что МООК может быть высокоэффективным инструментом для обучения темам Безопасности Жизнедеятельности, существенно превосходя по результативности классические подходы.

Исследование выявило критическую зависимость уровня усвоения знаний по БЖД от применяемой педагогической технологии. Данные свидетельствуют, что интерактивные, цифровые и, вероятно, более гибкие форматы обучения (такие как МООК) способны обеспечить более глубокое понимание материала по сравнению с пассивными или менее адаптивными традиционными методами.

Разработанный МООК не только привел к субъективному повышению уверенности респондентов в готовности действовать при ЧС (как показано в предыдущих результатах анкетирования), но и обеспечил объективно более высокий (на 33.13%) уровень фактических знаний по сравнению с традиционным обучением. Это подтверждает комплексную эффективность МООК как в когнитивной (знания), так и в аффективной (уверенность, готовность) сферах обучения БЖД.

Предложенная авторская модель внедрения МООК, представляющая собой замкнутый цикл от анализа рисков до постоянной коррекции на основе данных, является практическим инструментом перехода от разовых обучающих мероприятий к построению целостной, саморазвивающейся системы обеспечения устойчивости муниципального образования. Её внедрение позволяет не только эффективно реагировать на текущие вызовы, но и проактивно формировать культуру безопасности, делая городскую среду более жизнестойкой и подготовленной к кризисам будущего. Эта модель завершает логику данного исследования, предлагая конкретный путь трансформации полученных эмпирических результатов в долгосрочную муниципальную стратегию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cutter S.L., Barnes L., Berry M., et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters // Global Environmental Change. – 2008. – Vol. 18. – № 4. – P. 598–606. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013
2. Lee Y., Choi J. A review of online course dropout research: Implications for practice and future research. Educational Technology Research and Development, 2011, 59(5), 593-618.
3. Manyena S.B. The concept of resilience revisited // Disasters. – 2006. – Vol. 30. – № 4. – P. 434–450. DOI: 10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x
4. Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н. Природные и техногенные угрозы. Безопасность России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2020. – 480 с.
5. Белов П.Г. Системный анализ и управление безопасностью в техносфере: учебник для вузов. – М.: Юрайт, 2021. – 410 с.
6. Гафаров Р.Р., Сабирова Л.М. Анализ системы подготовки населения городского округа к действиям в ЧС (на примере г. Казани) // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 4(52). – С. 28-37.
7. Жуков В.М., Тарасова Е.Н. Устойчивость социально-экономических систем к чрезвычайным ситуациям. – М.: Изд-во РАГС, 2018. – 216 с.
8. Захаров Е.В. Проблемы внедрения онлайн-образования в регионах России // Образовательные инновации. 2023. №5. С. 34-49.
9. Иванова П.К. Методологические подходы к оценке влияния образовательных программ на устойчивость территорий к ЧС // Устойчивое развитие территорий: управление рисками катастроф. – 2024. – № 1(15). – С. 60-72.
10. Измалков В.И., Измалков А.В. Техногенная и природная безопасность: оценка и управление. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. – 320 с.
11. Козлова М.А. Интеграция онлайн-курсов и муниципальных служб: опыт Москвы // Безопасность и образование. 2023. №7. С. 46-63.
12. Козыяков А.Ф., Муравьев А.И. Управление безопасностью муниципальных образований: теория и практика. – М.: Академический проект, 2021. – 288 с.
13. Кузнецов В.Н. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности как фактор устойчивого развития // Техносферная безопасность: сб. науч. тр. – СПб.: Политехника-сервис, 2023. – С. 45-52.
14. Макаров В.В. Практико-ориентированные методы в обучении действиям при ЧС для органов местного самоуправления // Гражданская защита: стратегия развития. – 2023. – № 3(18). – С. 88-95.
15. Международный стандарт ISO 22300:2018 Security and resilience — Vocabulary [Электронный ресурс]. – Geneva: ISO, 2018. – 40 р. – URL: <https://www.iso.org/standard/50080.html> (дата обращения: 18.07.2025).
16. Нургалиев Р.С. Региональные особен-

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССОВОГО ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА И  
ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ  
ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЗАНИ**

ности управления рисками ЧС: учеб. пособие. – Казань: КНИТУ, 2022. – 180 с.

17. Орлов С.Н. Дистанционное обучение в сфере безопасности: опыт российских городов // Журнал цифрового образования. 2023. №3. С. 59-74.

18. Официальный сайт МЧС России: Статистика чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] / МЧС России. – М.: Департамент информационной политики МЧС России, 2025. – URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7807> (дата обращения: 16.06.2025).

19. Паспорт безопасности Республики Татарстан: актуализированная версия / ГУ МЧС России по Республике Татарстан. – Казань: Департамент безопасности МЧС РТ, 2024. – 150 с.

20. Петров С.В., Маstryukov B.C. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Учебник для вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2022. – 432 с.

21. Порфириев Б.Н. Управление в чрезвычайных ситуациях: проблемы становления новой парадигмы // Проблемы анализа риска. – 2021. – Т. 18. – № 1. – С. 6–17.

22. Смирнов А.И., Фалеев М.И. Цифровые технологии в обучении безопасности жизнедеятельности // Информационные технологии в образовании. – 2022. – № 4(32). – С. 112-120.

23. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. Указом Президента РФ от 02.07.2021 № 400. – М.: Официальный интернет-портал правовой информации, 2021. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107030001> (дата обращения: 18.07.2025).

24. Стратегия социально-экономического развития города Казани до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. Решением Казанской городской Думы от 16 августа 2021 г. – Казань, 2021. – URL: <https://kzn.ru/o-kazani/strategiya-kazani-2030/> (дата обращения: 16.06.2025).

25. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ (ред. от 01.07.2024) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/) (дата обращения: 16.06.2025).

26. Шибаев П.Б. и др. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: массовый открытый онлайн-курс // Stepik. URL: <https://stepik.org/a/235303> (дата обращения: 31.05.2025).

27. Шибаев П.Б., Синицын А.А. К вопросу о применении дидактических принципов Я. А. Коменского при разработке массового открытого онлайн курса на международной образовательной онлайн-платформе Udemy // Современное национальное образование: антропологические, дидактические, поликультурные аспекты [Электронный ресурс]: сборник статей и методических материалов Международной научно-практической конференции (Казань, 25 октября 2024 г.) / под ред. И.М. Салпышковой. – Электронные текстовые данные (1 файл: 3,36 Мб). – Казань: Издательство Казанского университета, 2024.– С. 47 –53. – Системные требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/184895>.

28. Шойгу С.К., Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л. и др. Катастрофы и образование. – М.: Деловой экспресс, 2020. – 456 с.

29. Экстренные службы уточнили число пострадавших при атаке БПЛА в Татарстане [Электронный ресурс] // РИА Новости. – 2025. – 16 июня. – URL: <https://ria.ru/20250616/tatarstan-2023054432.html> (дата обращения: 16.06.2025).

**Шибаев Павел Борисович** – к.т.н., доцент кафедры «Промышленная и экологическая безопасность», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Россия, г. Казань, e-mail: [skiv22@ya.ru](mailto:skiv22@ya.ru), тел. 89539999124, <https://orcid.org/0000-0002-1756-4115>

## АВТОМАТИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

О. А. Соколов, А. А. Устинова

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова,  
г. Санкт-Петербург

*В статье исследуется влияние комплексной автоматизации навигационных систем и систем управления воздушным движением на повышение эффективности и пропускной способности воздушного пространства. Проведен анализ эволюции навигации от опорных наземных средств (ОПРС, VOR/DME) к глобальным спутниковым системам (GNSS) и дальнейшей интеграции в концепции Performance-Based Navigation (PBN). Детально исследовано влияние автоматизации на ключевые показатели эффективности воздушного движения: пропускную способность воздушного пространства и аэродромов, регулярность полетов, топливную эффективность и уровень безопасности, а также применение методов машинного обучения для прогнозирования траекторий и конфликтных ситуаций. Выявлены системные риски, связанные с кибербезопасностью, отказом GNSS и необходимостью поддержания высокого уровня человека-машинного взаимодействия. Сделан вывод, что дальнейшая автоматизация навигации должна сопровождаться созданием дублирующих независимых навигационных инфраструктур и совершенствованием нормативно-правовой базы, регламентирующей использование автоматизированных систем поддержки принятия решений в УВД.*

**Ключевые слова:** автоматизация, навигационные системы, управление воздушным движением (УВД), эффективность воздушного движения, PBN (Performance-Based Navigation), CNS/ATM, ADS-B, пропускная способность, безопасность полетов.

### Введение

Экспоненциальный рост объема мировых воздушных перевозок, в последние десятилетия, прерванный лишь пандемийным кризисом и демонстрирующий уверенное восстановление, вступает в противоречие с ограниченной пропускной способностью традиционно организованного воздушного пространства. Традиционная модель, основанная на строгой привязке трасс к наземным радионавигационным точкам (VOR, NDB), исчерпала ресурс своей масштабируемости, методы организации воздушного движения ведут к задержкам рейсов, перерасходу топлива и снижению экологической устойчивости отрасли [6]. Выход из этой ситуации можно увидеть в качественной трансформации технологической набора концепций, ядром которой является глубокая автоматизация навигационных процессов.

Автоматизацию в данной сфере следует трактовать не как простое замещение ручного труда машинным, а как синергетический процесс передачи вычислительным системам функций планирования, исполнения и мони-

торинга пространственно-временной траектории ВС с минимальным вмешательством человека-оператора [2]. Речь идет не только о замене аналоговых устройств цифровыми дисплеями, но и о фундаментальном пересмотре философии навигации: от отслеживания заранее установленных маршрутов до точного и предсказуемого управления траекторией 4D в режиме реального времени.

Целью данной статьи является комплексный анализ влияния автоматизации навигационных систем на операционную, экономическую и экологическую эффективность воздушного движения с выявлением возникающих системных рисков. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Проследить эволюционный путь автоматизации навигации в контексте концепции CNS/ATM [1, 6].
2. Проанализировать ключевые технологические компоненты современных автоматизированных навигационных систем (PBN, ADS-B, FMS) [4, 7].
3. Оценить системные эффекты и противоречия, возникающие при интеграции ав-

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

томатизированных навигационных комплексов в практику УВД [5].

4. Выявить системные проблемы и риски, возникающие в результате высокой степени автоматизации [10].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью научного осмысления технологического перехода, которым живет глобальная авиация в рамках реализации глобальных и региональных программ (SESAR в Европе, NextGen в США) [3, 8]. Результаты анализа важны для разработки стратегий развития отечественной системы ОрВД с учетом международного опыта [1, 9].

## Эволюция навигационных систем: от радиомаяков к управлению 4D-траекториями

Во всемирной истории развитие навигации в авиации проходило в несколько этапов. Первый этап заключался в ориентации по наземным ориентирам и по ненаправленных и всенаправленных радиомаякам. Маршруты представляли собой «тонкую нитку» между навигационными точками расположения наземных станций, что вело к неоптимальности траекторий, перегрузке узловых точек и строгой зависимости от работоспособности инфраструктуры.

Второй этап в виде инерциальных и спутниковых систем начался с внедрения инерциальных навигационных систем и, что более важно, глобальных спутниковых навигационных систем - GPS, ГЛОНАСС [4]. Это позволило с большой точностью определить местоположение в любой точке земного шара, что позволило избежать привязки к наземным станциям. Появилась концепция Area Navigation (RNAV) - возможность полета по произвольному маршруту в пределах зоны покрытия навигационных средств.

Третий, современный этап, свидетельствует переход к Performance-Based Navigation (PBN) [7]. PBN — это парадигма, при которой требования к навигационным характеристикам радиооборудования устанавливаются для конкретного воздушного пространства или процедуры, а не продиктованы наличием определенного набора оборудования. PBN состоит из двух основных компонентов:

- RNAV - возможность полета по произвольному маршруту без необходимости пролета непосредственно над наземными радионавигационными точками.

- Required Navigation Performance (RNP) - расширение RNAV, включающее

функцию бортового мониторинга и оповещения на борту. Это означает, что воздушное судно может самостоятельно контролировать соблюдение навигационных характеристик и предупреждать экипаж об их нарушении, что имеет решающее значение для особых видов полетов, например при полетах в горах или при сложных метеоусловиях.

Автоматизация здесь проявляется в том, что навигационные задачи вводятся в Бортовой вычислительный комплекс. Он, интегрируя данные от GNSS, ИНС и других датчиков, установленных на воздушном судне, автоматически вычисляет и поддерживает оптимальную траекторию полета, передавая информацию автопилоту и экипажу через бортовую систему индикации. Это снижает основную нагрузку на экипаж, хотя экипаж остается осведомленным о ситуации, и повышает точность пилотирования [2].

## Ключевые технологии автоматизированной навигации и их роль в системе УВД

Автоматизация навигации не может существовать отдельно, она является центром более широкой экосистемы CNS/ATM [1, 6]. Функциями концепции организации воздушного движения являются:

- Связь: Переход от голосовой радиосвязи к цифровому обмену данными (CPDLC - Controller-Pilot Data Link Communications) позволяет передавать навигационные указания, разрешения и данные о метеообстановке в виде текстовых сообщений непосредственно в FMS, минимизируя ошибки восприятия и радиопомехи. На борт идет информация о погоде, указания диспетчера воздушного движения, а воздушного судна - параметры датчиков, сообщения от экипажа.

- Наблюдение и навигация: Технология Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) совершила революцию в наблюдении. ВС автоматически, без запроса, передает в эфир данные о своей позиции (от GNSS), скорости и других параметрах с датчиков, находящихся на борту воздушного судна. Эта информация передается как диспетчерам, так и другим экипажам. Это повышает ситуационную осведомленность экипажей, позволяет сократить интервалы между ВС и обеспечивает наблюдение в районах, где радары не применяются, например над океанами, полярными областями.

- Организация воздушного движения: Наземные автоматизированные системы УВД, получая данные ADS-B с различных воздушных судов, могут генерировать более

детальные прогнозы конфликтных ситуаций, автоматически предлагать диспетчерам варианты их разрешения и оптимальные профили снижения, что значительно снижает уровень шума на заходе и расход топлива [3, 8].

Таким образом, автоматизированная навигация становится источником точных данных для всех связующих и компонентов системы, создавая постоянный цикл обратной связи и повышая общую прогнозируемость воздушного движения.

### **Влияние автоматизации на показатели эффективности воздушного движения**

Одной из основных целей автоматизации навигации является повышение пропускной способности и регулярности воздушного движения. Автоматизация, использующая в качестве основы PBN и ADS-B, позволяет:

- Создавать оптимальные маршруты: прямые трассы, а точнее полеты по ортодромии, сокращают протяженность и время полета. В районе аэродрома внедрение процедур RNP позволяет создавать независимые параллельные траектории захода на посадку, что сильно увеличивает пропускную способность ВПП в сложных метеоусловиях и при высокой загруженности аэродрома [3, 7].
- Сокращать интервалы: точная информация о местоположении и планируемая траектория, благодаря внедрению FMS, позволяют безопасно сократить вертикальные и продольные интервалы между ВС.
- Снижать уровень задержек рейсов: измененные профили набора высоты и снижения, рассредоточение потоков в хабах минимизируют время задержки рейса и полеты в зонах ожидания.

Исследования Международной Организации Гражданской Авиации показывают, что внедрение PBN-процедур в аэропортах с высокой интенсивностью полетов и загруженностью может повысить их пропускную способность на 15–30%, одновременно снижая среднее время задержки на 10–20% [6, 7].

Кроме повышения пропускной способности аэропортов важным пунктом является увеличение экономической и топливной эффективности. Системы автоматизации навигации решают такие проблемы, как сокращение расхода топлива - полеты по ортодромиям и уникальные профили полета приводят к значительной экономии топлива. По данным Eurocontrol, один лишь переход на эту систему экономит от 100 до 300 кг топлива на рейсе среднемагистрального самолета [3]. Кроме расхода топлива снижается также время поле-

та, что позволяет выполнить большее количество полетов в один промежуток времени.

Системы автоматизации на повышение уровня безопасности влияют двояко:

- Непосредственное повышение безопасности полетов: Бортовые системы предупреждения и оповещения, интегрированные с навигационной базой данных FMS, предотвращают столкновение с землей в управляемом полете. Системы RNP с бортовым мониторингом обеспечивают безопасный полет над сложным рельефом и в особых условиях. А система автоматического зависимого наблюдения повышает осведомленность о загруженности воздушного пространства и передает информацию о воздушном судне диспетчеру и другим воздушным судам, находящимся в воздухе [4, 5].

- Косвенное влияние: Снижение обычной рабочей нагрузки на экипаж и диспетчера позволяет им сосредоточиться на стратегическом управлении и оценке ситуации, пока системы автоматизации заняты управлением в реальном времени [2, 5].

### **Системные риски и вызовы автоматизации**

Несмотря на очевидные преимущества, основательная автоматизация порождает новые риски, требующие научного и технического внимания.

1. Усложнение взаимодействия в системе «человек-машина»: проблемы взаимодействия начинают возникать, когда экипаж не понимает логики действий бортового компьютера. А также у пилотов было замечено снижение профессиональных навыков из-за чрезмерного доверия автоматике [5].

2. Кибербезопасность: Цифровые связные системы потенциально уязвимы для подмены данных, глушиения и хакерских атак. Нарушение целостности навигационных данных ставит под угрозу безопасность полетов на системном уровне [10].

3. Системная интеграция и резервирование: Зависимость от одного источника данных создает уязвимость. Необходимы гибридные решения, где совместно со спутниковой навигацией работают инерциальная навигационная система, а также традиционные средства навигации [1, 4].

4. Нормативные и кадровые задержки: Темпы технологического развития опережают обновление авиационных правил и нормативно-правовых документов [9]. Это требует тщательной переподготовки как летного, так

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

и диспетческого состава для работы в новой модели [1].

## Заключение и перспективы развития

Системная автоматизация навигационных систем перестала быть вспомогательным инструментом и стала основным двигателем повышения эффективности воздушного движения. Было доказано ее комплексное положительное влияние на пропускную способность, экономичность полета, экологию и безопасность через реализацию концепций РВН и интеграцию в CNS/ATM [1, 6, 7].

Однако достигнутый уровень — это только промежуточный этап. Будущее эффективности воздушного движения зависит от реализации концепции структурирования траекторий полета и управления полетами в 4D пространстве, когда время пролета навигационных точек станет таким же обязательным параметром, как и передаваемые координаты [3, 6]. Это потребует:

- Развития технологий синхронизации системы «борт-земля» и взаимодействия «экипаж - диспетчер».
- Внедрения новых систем обмена данными и переговоров.
- Создание правовых и экономических структур, поощряющих эксплуатантов использовать наиболее эффективные процедуры [9].

Текущей задачей для нашей страны является интенсивная модернизация наземной инфраструктуры ОрВД в соответствии с Государственной программой модернизации ЕС ОрВД до 2030 г., массовое внедрение процедур РВН, особенно в районах с минимальным количеством наземных радионавигационных устройств [1, 9].

Автоматизация навигации — это не цель сама по себе, а средство создания устойчивой, безопасной и экономичной транспортной системы будущего, способной удовлетворить растущий глобальный спрос на увеличение количества и качества воздушных перевозок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации до 2030 года (утв. Распоряжением Правительства РФ от 11.12.2018 № 2782-р).
2. Барский Е.В. Теоретические основы проектирования оптимальных траекторий полета воздушных судов. — М.: Наука, 2018. — 288 с.
3. Загайнов Г.И., Миронов А.С. Проблемы кибербезопасности в системах CNS/ATM. — Информационные технологии в управлении, 2022. — № 1(44). — С. 45–53.
4. Козловский В.Е., Осипенко А.А. Современные технологии CNS/ATM и их внедрение в систему УВД. — Транспорт: наука, техника, управление, 2019. — № 10. — С. 24–31.
5. Струк В.А., Петров А.В. Влияние спутниковых технологий на развитие навигации в гражданской авиации. — Научный вестник МГТУ ГА, 2020. — Т. 23, № 4. — С. 74–85.
6. ICAO Doc 9854. Global Air Traffic Management Operational Concept. — ICAO, 2005.
7. ICAO Doc 9613. Performance-based Navigation (PBN) Manual. — ICAO, 4th Edition, 2013.
8. Eurocontrol. PBN Implementation Roadmap – Guidance for Stakeholders. — Eurocontrol, 2021.
9. FAA. NextGen Implementation Plan. — Federal Aviation Administration, 2021.
10. Endsley M.R. From Here to Autonomy: Lessons Learned from Human–Automation Research. — Human Factors, 2017. — Vol. 59(1). — P. 5–27.

**Соколов Олег Аркадьевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой №13 «Системы автоматизированного управления» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова».

**Устинова Анастасия Андреевна** – студент 3-го курса, Лётная эксплуатация воздушных судов, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова», e-mail: anastasiya.anast.ustinova@mail.ru.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПАРИРОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО ПРЕДИКТИВНОГО СИНТЕЗА

О. А. Соколов, П. И. Угаров

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации  
имени Главного маршала авиации А. А. Новикова,  
г. Санкт-Петербург

*В статье исследуется тема концепции системы автоматического парирования ветровых возмущений, предназначенной для внедрения в управление воздушным судном на важном этапе захода на посадку. Актуальность концепции обусловлена статистикой происшествий, связывающей большую часть инцидентов с воздействием сдвига ветра и турбулентности. В работе проанализированы исторические и современные примеры, выявлены системные недостатки реактивных систем управления. Предложена архитектура системы, основанная на принципе прогнозирования ветровой обстановки с помощью адаптивного алгоритма оценки и синтеза компенсирующих управляющих воздействий*

**Ключевые слова:** автоматическая посадка, ветровые возмущения, сдвиг ветра, система автоматического управления, безопасность полетов, адаптивное прогнозирование, предиктивное управление, исторический анализ.

### Введение

Экспоненциальный рост объема Заход на посадку и посадка вот уже более века остаются важнейшими этапами полета, требующими максимальной концентрации от экипажа и надежности от бортовых систем. С развитием истории и технологий сложилось так, что именно на этих финальных минутах полета концентрируется непропорционально высокие операционная интенсивность и процент авиационных происшествий [1]. Если в первой половине ХХ века главными факторами риска были плохие метеоусловия и ограниченные возможности навигации, то с появлением точных систем инструментальной посадки на первый план вышли проблемы, связанные с внезапными и сильными ветровыми воздействиями. В качестве примера можно привести катастрофу рейса 191 American Airlines в 1985 году в аэропорту Даллас. Анализ данных бортовых самописцев показал, что самолет Lockheed L-1011, заходя на посадку, попал в зону мощного микропорыва и нисходящего потока, вызванного грозовой деятельностью. Несмотря на действия экипажа, возмущение привело к потере скорости и высоты, и закончилось столкновением с землей. Эта трагедия стала толчком глобальных исследований в области обнаружения и предупреждения сдвига ветра, а так-

же совершенствования алгоритмов управления [2].

Современные системы автоматического и директорного управления существенно повысили безопасность и надежность полетов. Однако их принцип работы зачастую остается не совсем эффективным: они начинают компенсировать отклонение уже после того, как самолет под воздействием ветра сошел с траектории. В условиях быстрого изменения направления и скорости ветра, характерного для сдвига ветра, такая медленная реакция может быть недостаточной для удержания самолета на глиссаде [7]. Таким образом, появилась необходимость перехода от теории «реагирования» к стандарту «опережения». Целью данного исследования является разработка концепции автоматического парирования ветровых возмущений, способной на основе оценки текущей и прогнозируемой ветровой обстановки вырабатывать опережающие управляющие команды, тем самым повысить точность и безопасность захода на посадку в сложных метеоусловиях.

### 1. Исторический контекст и анализ современных вызовов

Эволюция систем автоматизации действий экипажа при заходе на посадку в условиях ветра прошла несколько этапов. В довоенный период и в первые послевоенные десятилетия основным инструментом была ис-

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПАРИРОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО ПРЕДИКТИВНОГО СИНТЕЗА

ключительно квалификация пилота, который визуально или по приборам оценивал снос и вводил коррекцию, используя метод «краба». Ситуация начала меняться с внедрением систем автоматического пилотирования, способных удерживать курс и глиссаду. Однако эти системы первых поколений были механическими или электромеханическими и работали по жестким законам. Они успешно справлялись с постоянным боковым ветром, но были бессильны против резкого изменения его скорости или направления.

Серьезным поворотным моментом стало широкое распространение цифровой вычислительной техники в 1970-х – 1980-х годах. Появились системы, которые могли рассчитывать и выводить на индикатор директорные стрелки, указывающие экипажу необходимые воздействия для возвращения на траекторию полета. Это был значительный шаг вперед, но человеческий фактор – время реакции пилота на индикацию – оставался слабым звеном в ситуации с микропорывами и сдвигами ветра.

Современный этап характеризуется стремлением к полной автоматизации процесса. Системы автоматической посадки категории III способны выполнять весь процесс от захода на посадку до пробега без визуального контакта экипажа с ВПП. Однако их алгоритмы, сертифицированные по устаревшим стандартам, зачастую настроены под «спокойную» атмосферу. При встрече с интенсивной турбулентностью или сдвигом ветра эти системы могут требовать вмешательства пилота, что в условиях низкой видимости создает опасную ситуацию [6]. При анализе авиационных инцидентов, например, сложной посадки в аэропорту Гонконга во время тайфуна, возникает повторяющийся сценарий: автопилот ведет борьбу с ветровыми возмущениями, раскачивая самолет, после чего экипаж вынужден брать управление на себя уже в сложном пространственном положении [3]. Таким образом, важнейшим аспектом для инженеров стала необходимость создания «интеллектуального» слоя управления, который не просто стабилизировал бы самолет, а активно противодействовал бы самой причине отклонений – ветровому потоку.

### 2. Концепция системы автоматического парирования ветровых возмущений

Предлагаемая система автоматического парирования задумана не как замена штатного автопилота или систем автоматизированного управления, а как интеллектуальный модуль, включающийся на этапе захода на посадку.

Инженерия системы автоматического парирования строится на двух основных вычислительных блоках: блока оценки и прогноза ветра и блока синтеза опережающих управлений.

Блок оценки и прогноза ветра является «глазами и мозгом» системы. Он в реальном времени решает сложную задачу – попытку понять как движение самолета зависит от двигателя, а как от ветра. Для решения этой задачи используется совмещение данных от инерциальной навигационной системы, которая точно измеряет скорость и ускорение самолета относительно земли с помощью акселерометров или лазерных гироскопов, и бортовой измерительной системы воздушных сигналов, которая получает данные о давлении и угле набегающего потока, определяя истинную воздушную скорость.

Однако ключевое отличие этой системы от простого мониторинга – это прогноз. Ветер, особенно в приземном слое, не меняется мгновенно. Он обладает инерцией и пространственно-временной корреляцией. В основе алгоритма прогноза лежит адаптивная фильтрация, позволяющая не только очистить данные от шумов, но и предсказать поведение ветра на ближайшие 2–3 секунды вперед. Этот временной отрезок выбран не случайно: он соответствует периоду собственных продольных и боковых колебаний тяжелого транспортного самолета. Таким образом, система получает возможность посмотреть дальше на несколько шагов и узнать, куда ветер будет относить самолет через время, необходимое для формирования реакции [10].

Блок синтеза предупреждающих управлений получает от первого блока прогноз ожидаемого ветра. Его задача – рассчитать такие корректирующие команды на руль высоты, руль направления и элероны, которые нейтрализуют воздействие ветра еще до того, как оно приведет к значительному отклонению от глиссады.

### 3. Теоретические вызовы и перспективные направления исследований

Построение работоспособной системы автоматического парирования связано с некоторыми аспектами:

Устойчивость системы в условиях неопределенности. Оценка и прогноз ветра неизбежно будет содержать ошибки из-за постоянно меняющихся характеристик атмосферы. Теория должна гарантировать, что ошибки прогноза не приведут к нарушения стабильности управления. Это требует применения методов оптимизации управления,

устойчивых к неточностям ветровых возмущений [11].

Учет нелинейности динамики самолета. Линейные модели могут существовать лишь в траектории без сильных изменений. При сильных возмущениях система может выходить в область нелинейного поведения, продолжая полет на опасных больших углах атаки и скольжения. Соединение параметров системы должно либо доказывать работоспособность линейной системы в заданной области, либо опираться на методы нелинейного прогнозирующего управления, что резко повышает вычислительную нагрузку.

Обеспечение реализуемости и ограничений. Управляющие сигналы, такие как отклонение рулей и элеронов физически ограничены по амплитуде и скорости. Система автоматического парирования должна изначально учитывать эти ограничения, что приводит к постановке задачи оптимального управления с ограничениями.

Внедрение разнородных данных. Перспективным направлением является включение в функцию данных дистанционного зондирования, основанных на доплеровском методе измерений. Это требует разработки теорий слияния данных с различной природой и точностью в единую согласованную систему с ветром.

### **Заключение**

В работе сформулирована теоретическая концепция системы автоматического парирования ветровых возмущений. Показано, что преодоление ограничений классических систем требует перехода к структуре, основанной на прогнозировании возмущений. Система основана на двух взаимосвязанных блоках: адаптивной функции, решающей задачу совместной оценки состояния и ветрового возмущения, и синтезаторе управления, использующем прогноз для формирования компенсирующих воздействий.

Основной теоретической проблемой является обеспечение устойчивости всей системы в условиях неопределенности прогноза, нелинейности системы и наличия физических ограничений. Решение этих задач заложит строгий математический фундамент для создания практических систем, способных существенно повысить безопасность захода на посадку в сложных метеоусловиях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Федеральные авиационные правила. Требования к летной годности и эксплуата-

ции воздушных судов. – М.: Воздушный транспорт, 2022.

2. Национальный совет по безопасности на транспорте (NTSB). Отчет об авиационном происшествии AAR-86/05. Катастрофа рейса 191 American Airlines. – Вашингтон, 1986.

3. Совет по расследованию авиационных происшествий Гонконга (HK CAD). Отчет об инциденте с воздушным судном [тип] в аэропорту Гонконга 06.09.2017. – Гонконг, 2018.

4. Кулябов Д.С., Гаврилов А.Н. Алгоритмы слияния данных инерциальных и радиолокационных систем для оценки ветровых возмущений // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2021. – Т. 24, № 2. – С. 45-56.

5. Лысенко С.В., Петров А.И. Синтез предиктивного регулятора для системы автоматического захода на посадку // Труды ЦАГИ. – 2023. – Вып. 2956. – С. 32-41.

6. Минаков В.И., Шаталов А.С. Динамика полета в неспокойной атмосфере. – М.: Машиностроение, 2018. – 280 с.

7. Процко В.Г., Ефремов А.В. Современные системы автоматического управления самолетов. – М.: Изд-во МАИ, 2020. – 368 с.

8. RTCA DO-373. Mitigation of Wind Hazards During Approach, Landing and Go-Around. – Washington: RTCA, 2020.

9. Etkin B. Dynamics of Atmospheric Flight. – N.Y.: John Wiley & Sons, 2012. – 576 p.

10. Simon D. Optimal State Estimation: Kalman and Nonlinear Approaches. – N.J.: Wiley-Interscience, 2006. – 526 p.

11. Zhou K., Doyle J.C. Essentials of Robust Control. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998. – 411 p.

**Соколов Олег Аркадьевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой №13 «Системы автоматизированного управления» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова», 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38, +7-981-898 86 09, e-mail: sokolovo@spbguga.ru.

**Угаров Петр Иванович** – студент 3-го курса, Лётная эксплуатация воздушных судов, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова», 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38, +7-996-702-19-96, e-mail: Ugar-p@mail.ru.

**CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS**

**Part 1  
VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS  
IN SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**A REVIEW OF METHODS FOR DETECTING  
NANO-OBJECTS IN SPM IMAGES USING MODERN MACHINE LEARNING METHODS**

T. E. Shlyahina

*This paper examines current research on the identification and recognition of data obtained from scanning probe microscopes using machine learning methods. Approaches used for effective object detection are identified. The analysis of these studies yielded a summary table of methods for detecting nanoobjects in SPM images. Recommendations for selecting a detection method for SPM images are provided.*

**Keywords:** scanning probe microscopy, machine learning, nanoobjects, artifacts, detection.

**DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL CALCULATION OF RESIDUAL STRESSES IN PRODUCT  
FORMATION BY ELECTRON BEAM SURFACING OF TITANIUM IN VACUUM**

A. A. Savluk, D. A. Savluk, G. V. Lysak, I. A. Lysak

*This article examines the development of a mathematical model for shaping titanium components using electron beam surfacing of wire in vacuum. This model will form the basis for the development of a digital twin capable of reproducing the optimal trajectory of electron beam surfacing of titanium in vacuum conditions. The digital twin includes virtual models of equipment, materials, and processes, as well as algorithms for simulating and optimizing surfacing operations. It enables virtual experiments to assess the impact of residual stresses on the quality of the deposited layer and optimize process parameters.*

**Keywords:** electron beam wire additive manufacturing, mathematical modeling, titanium alloy, layer-by-layer surfacing, computer-aided engineering.

**THE EFFECT OF FLUCTUATIONS IN THE OSCILLATION FREQUENCIES OF MIRROR SCANNING ELEMENTS  
ON THE PROBABILITY OF DETECTING THE SEARCH OBJECT DURING SCANNING SPACES ALONG  
THE TRAJECTORY IN THE FORM OF LISSAJOUS SHAPES**

I. E. Gusarov, A. I. Kalugin, E. A. Antonov, E. Y. Shelkovnikov

*The paper shows the effect of fluctuations in the oscillation frequency of a mirror scanning element on the probability of detecting the search object. It is shown that the probability of detection increases when the oscillation frequency deviates from a given average value. However, in the presence of fluctuations, there is a disposition of the positions of the centers of the laser spots in the scanned space, which reduces the accuracy of determining the coordinates of the search object in space.*

**Keywords:** laser scanning, probability of detection, Lissajous figures, frequency of oscillation, degree of filling, scanning trajectory, scanning system, vertical scanning element, frequency change, distortion of the scanning trajectory.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ESTIMATING NON-INFORMATIVE PARAMETERS AFFECTING  
THE RESULT OF SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS OF SOLUTIONS**

B. S. Pervukhin, D. E. Krivobokov, A. A. Klyushanov

*A comparative analysis of three methods for determining non-informative parameters of contact primary transducers influencing the measurement results of the specific electrical conductivity of solutions has been carried out. Aqueous potassium chloride (KCl) solutions were used in the experiments. The active component of impedance was measured using etched and non-etched platinum electrodes in accordance with the sequential and parallel substitution schemes over a frequency range of 1–200 kHz with an RLC meter of accuracy class 0.05. The obtained experimental data were processed by three different methods, and the frequency dependences of the active impedance component were plotted for each method and each test solution.*

**Keywords:** specific electrical conductivity, electrodes, contact conductometer, systematic error.

**TECHNIQUE FOR DETERMINING THE REQUIRED BANDWIDTH OF THE RECEIVING AND AMPLIFYING PATH OF A LIDAR**

K. A. Shlyatin

An analysis of the influence of bandwidth on the shape of a laser range profile in a lidar has been performed. A technique for determining the bandwidth that the receiving and amplifying path must have in order to ensure an acceptable level of distortion has been proposed. Recommendations for selecting the elements of the receiving and amplifying path are given.

**Keywords:** the laser range profile, the bandwidth, the receiving and amplifying path, the lidar.

**Part 2**  
**VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS**  
**IN THE LEARNING PROCESS**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK MODELS FOR GENERATING TEST QUESTIONS**

V. N. Gusyatnikov, T. N. Sokolova

The article explores the problem of automating the development of pedagogical measurement materials. The aim of the work is a comparative analysis of the capabilities of six publicly available neural network models (DeepSeek, GigaChat, etc.) for generating test items. The methodology involved evaluating the models' responses to a single prompt using texts of different volumes based on the following criteria: accuracy, diversity, methodological correctness, and context handling. The results showed that the Qwen3-Max and DeepSeek models demonstrate the best combination of analytical and functional capabilities, while other models have significant limitations requiring careful control by the teacher.

**Keywords:** test item generation, artificial intelligence in education, neural network models, comparative analysis, automated knowledge assessment, prompt engineering.

**INSTALLATION AND USAGE RECOMMENDATIONS COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS IN THE RED OS OPERATING SYSTEM**

I. A. Bobrov, A. A. Chepushtanov

The instructions on using the RED OS operating system for solving design and modeling problems using various CAD systems are given..

**Keywords:** computer-aided design system, RED OS, operating system, KOMPAS-3D, Blender, SprutCAM.

**Part 3**  
**VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS**  
**IN ECOLOGY AND AGRICULTURE**

**THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS  
TO DETERMINE THE COMPOSITION OF GRAIN FLOW**

V. S. Afonin, A. N. Chubov

In the course of the work, neural network architectures (MLP and Conv1D) were developed and compared for signal spectrogram analysis. As a result, an algorithm for combining spectra was developed that integrates mathematical methods and the Conv1D neural network model, which showed accuracy of up to 95%.

**Keywords:** artificial neural network, machine learning, capacitive converter, measurement signal analysis, grain flow composition.

**USING LATE FEATURE FUSION IN A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK  
TO IMPROVE THE QUALITY OF WHEAT SEED YIELD PREDICTION**

A. A. Piletsky, S. P. Pronin

This article discusses an improvement to the architecture of a convolutional neural network for predicting wheat seed yield using a late feature injection method. This method allows for the addition of features of any type anywhere in the architecture. In the existing neural network, the input layer was modified, and features representing potassium and sodium concentrations in the grain solution were moved to the final fully connected layers, focusing the convolutional layers on extracting common features.

**Keywords:** wheat grain, convolutional neural network, late feature injection method, keras, tensorflow, python.

**MODERN METHODS AND MEANS OF MEASURING FINE PARTICLES IN ATMOSPHERIC AIR**

D. D. Mashkin, S. P. Pronin

*This paper presents a systematic review of modern methods for measuring fine particles in atmospheric air. The physical principles, analytical capabilities, and operating ranges of particle size measurement for various methods and instruments are discussed. The advantages and limitations of various approaches, including beta absorption, laser diffractometry, photoacoustic spectroscopy, and aerosol time-of-flight spectrometry, are analyzed. Particular attention is paid to promising hybrid methods that combine various measurement principles to improve the accuracy and selectivity of analysis. Trends in the development of methods for monitoring air pollution by suspended particles are discussed.*

**Keywords:** suspended particles, measurement, concentration, gravimetric method, laser diffractometry, beta absorption, photoacoustic spectroscopy, aerosol spectrometer, hybrid methods, atmospheric air monitoring.

**Part 4**  
**VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS**  
**IN INDUSTRY AND ELECTRIC POWER INDUSTRY**

**REMOTE MONITORING OF ELECTRIC POWER**

G. V. Medvedev, Yu. A. Osokin

*This paper describes a method for remote monitoring of electric power processes using remote measurement and control equipment, specifically video and thermal imaging devices operating in the visible and infrared ranges. The study also examines electric power systems with a high degree of integration in a confined space. Conducting a thermophysical analysis and identifying and resolving abnormal situations was crucial. The theoretical foundations of a number of remote monitoring devices, including those for thermophysical measurements, are discussed. This method enables the implementation of faster algorithms for recognizing various electric power phenomena.*

**Keywords:** electric power processes and objects, remote measurement and control, scanning recognition, video monitoring, images, data tables.

**METHOD OF COMPENSATION MEASUREMENT OF ELECTRIC CONDUCTIVITY OF A CONDUCTOMETRIC CELL**

D. E. Krivobokov, N. A. Pushkov

*A compensation circuit for measuring the conductivity of a conductometric cell is described. This method allows you to measure the active and reactive components separately due to the known coefficients of the compensation circuit or to be used as part of a standard conductometer circuit.*

**Keywords:** conductometry, measurement signal conversion, measurement circuit, current-voltage converter.

**Part 5**  
**VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS**  
**PROCESSING SYSTEMS**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR ANOMALY DETECTION IN NETWORK DATA**

D. Yu. Kozlov, Z. V. Tikhomirova, G. E. Kazakov

*It is important to note the growing significance of the task of anomaly detection in computational and measurement systems, especially in the context of network traffic subjected to cyberattacks and technical failures. This work presents a comparative analysis of machine learning models — Isolation Forest, One-Class SVM, Random Forest, and a simple autoencoder — using the open Network Traffic Anomaly Detection Dataset. The models were implemented utilizing the scikit-learn and PyTorch libraries. Experiments considering class imbalance demonstrated that optimizing the classification threshold significantly improves the quality of anomaly detection, while model ensembling ensures robustness of the results. The conclusions confirm the practical value of combining modern algorithms with careful parameter tuning to enhance security systems.*

**Keywords:** anomalies, machine learning, anomaly detection, Isolation Forest, One-Class SVM, Random Forest, autoencoder, network traffic, class imbalance, threshold optimization, model ensembling, scikit-learn, PyTorch.

**OVERVIEW OF IMAGE PROCESSING METHODS FOR TASKS SELECTING OBJECTS**

I. A. Bobrov, A. G. Zryumova, P. A. Zryumov

*The research and analysis of existing image processing methods for solving the problems of selecting various objects are presented.*

**Keywords:** segmentation, machine learning, pixels, computer vision, neural network model, image analysis.

## CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS

### MODELLING OF OPERATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF MEDICINAL PLANTS SORTING IN MICROSOFT VISUAL STUDIO SOFTWARE ENVIRONMENT

T. V. Kotlubovskaya, A. I. Agarin

*The article is devoted to modeling the operation of the automated control system for sorting medicinal plants in the Microsoft Visual Studio software environment.*

**Keywords:** automated control system, system operation algorithm, simulation, Microsoft Visual Studio software environment, color sensor, sorting, medicinal plants.

### A SYSTEMATIC APPROACH TO DESIGNING GRAPHICAL USER INTERFACE ELEMENTS

D. E. Puzik, N. P. Pustovoitov, V. I. Biyanov

*A systematic approach to the design of complex graphical user interface elements (widgets) is considered in the absence of ready-made implementations in standard development tools. The widget structure is proposed, which includes a graphical representation, input and output ports, as well as control scripts. A step-by-step design algorithm is described, consisting of the stages of problem formulation, decomposition, implementation and testing.*

**Keywords:** graphical user interface (GUI), widget, system approach, input ports, output ports, control scripts, design algorithm, interface decomposition.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN PROGRAMMING TOOLS FOR THE CH32V003 MICROCONTROLLER

M. S. Gonokhov, D. E. Koshikhin, V. S. Padalko

*The article presents a comparative analysis of programming tools for microcontrollers of the CH32V003 series. Approaches to developing applications in C/C++ in two environments are considered: MounRiver Studio 2 and Visual Studio Code (using the ch32fun project and the GCC 14 compiler). The result of the research was a list of programming tools that allow you to achieve the best experience when working with microcontrollers of this series.*

**Keywords:** programming of microcontrollers, programming tools, compiler, programming language.

### DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MICROSERVICE ARCHITECTURE FOR AN INTELLIGENT SYSTEM FOR ANALYZING LEGAL DOCUMENTS

V. V. Sidorov, A. A. Sukhorukov, V. R. Abdrashitov, E. V. Griva

*The article discusses the design and development of an intelligent legal document analysis system based on microservice architecture. The choice of this approach instead of a monolithic architecture is justified. The system is decomposed into key services. The functionality of each service and their role in the overall document analysis process are described.*

**Keywords:** microservices, REST API, microservice interaction, data transfer.

### ENVIRONMENT DETAIL IN APPLICATIONS FOR AUTONOMOUS VIRTUAL REALITY HEADSETS

D. E. Puzik, N. V. Pivovarov, D. I. Erdakov, D. A. Laskin

*Performance measurements of autonomous virtual reality headsets are presented, and the dependence of the system load on the number of vertices on the stage. The main methods for optimizing the geometry of three-dimensional objects with examples of their use are listed.*

**Keywords:** VR, virtual reality, geometry, environment, geometry simplification methods, detailing, virtual scene, performance, optimization, LOD, normal map, instancing, shaders.

## Part 6 VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS IN STUDENT WORKS

### THE POSSIBILITY OF EXPANDING THE SCOPE OF CONTACT CONDUCTOMETERS BY ANALYZING THE CURRENT PARAMETERS UNDER THE INFLUENCE OF OXIDATION-REDUCTION REACTIONS AT THE ELECTRODES

B. S. Pervukhin, D. E. Krivobokov, M. Yu. Tashkin

*The processes that determine both the static and dynamic characteristics of the electric current flowing through the primary converter of a contact conductivity meter under the influence of a scanning voltage are considered. The possibility of using physical effects associated with redox reactions at the electrodes to construct a system of equations for determining the component composition of the electrolyte solution is shown.*

**Keywords:** contact conductometry, electrochemistry, redox reaction, electrophoretic.

## CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS

### TEXTURING AND LIGHTING IN APPLICATIONS FOR AUTONOMOUS VIRTUAL REALITY HEADSETS

D. E. Puzik, N. V. Pivovarov, D. I. Erdakov, D. A. Laskin

*The basic principles of texturing and lighting scenes in applications for standalone VR headsets are given. Application performance improvement techniques are described and examples of their use are provided.*

**Keywords:** VR, virtual reality, environment, texturing, texture, lighting, virtual scene, scene design, LOD, ASTC, FPS, texture compression, texture atlas, texture baking.

### SIMULATOR SOFTWARE DEVELOPMENT FOR PRACTICING THE SKILLS OF CONTROLLING UNMANNED VEHICLES

M. S. Korolev, A. S. Anisimov, V. A. Loginov, V. A. Shchekoldina

*The article discusses the principles and stages of developing a software simulator for training operators of unmanned aerial vehicles (UAVs). The importance of simulators is emphasized as an effective training tool that allows you to safely practice management skills and actions in emergency situations. The goals and objectives of the project are described, including flight physics modeling, creating a user interface, a realistic visual environment, and a training scenario system. The structure of the software package based on modular architecture, as well as the stages of design, implementation and testing are presented. Special attention is paid to the use of the simulator for educational and corporate purposes, as well as the prospects for the development of technologies using artificial intelligence, virtual and augmented reality. The development of such systems helps to improve the quality of operator training and reduce risks during the operation of UAVs.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, simulator, operator training, flight simulation, physical model, user interface, visualization, virtual environment, artificial intelligence, virtual reality, augmented reality, training systems.

### DEVELOPMENT OF THE PROJECT FOR AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR STACKING PRODUCTS IN SHOW BOXES

T. V. Kotlubovskaya, D.E. Romanenko, T. Y. Fedorova

*The article is devoted to the development of the project for an automated control system for stacking products in show boxes at a confectionery factory.*

**Keywords:** automated control system, index conveyor, belt conveyor, optical sensor, microcontroller, product laying, chocolate bar, show boxes.

### HARDWARE AND PHYSIOLOGICAL LIMITATIONS IN THE DEVELOPMENT OF APPLICATIONS FOR AUTONOMOUS VIRTUAL REALITY HEADSETS

D. E. Puzik, N. V. Pivovarov, D. I. Erdakov, D. A. Laskin

*The main hardware and physiological limitations imposed when developing an application for autonomous virtual reality headsets are presented. Their causes and consequences are described, as well as key resolution methods.*

**Keywords:** VR, virtual reality, computing power, human physiology, performance.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF SCENE DEPTH DETERMINATION ACCURACY USING THE MIDAS MODEL AND MICROSOFT KINECT TECHNOLOGY

P. A. Zrumov, I. A. Kurnikov

*The article presents a comparative analysis of scene depth estimation accuracy using the MiDaS neural network model and Microsoft Kinect technology. Experimental studies were conducted where distances to objects were measured under controlled conditions.*

**Keywords:** depth map, structured light, monocular vision.

### TEXTURING AND LIGHTING IN APPLICATIONS FOR AUTONOMOUS VIRTUAL REALITY HEADSETS

D. E. Puzik, N. P. Pustovoitov, V. I. Biyanov

*The fundamental principles of designing a space for VR applications are presented, based on human physiology and psychology, as well as on the hardware capabilities of autonomous virtual reality headsets.*

**Keywords:** VR, virtual reality, design, environment design, space design, man as a measure, space as a guide, predictability of expectations, productivity through design, control of personal space, space optimization.

**NEURAL NETWORK REGRESSION METHOD  
FOR ESTIMATING METAL TEMPERATURE FROM VISUAL DATA**

I. S. Kladov, D. E. Kribobokov

*A non-contact method for measuring the temperature of red-hot metal blanks (500–900°C) based on the analysis of their incandescence color using a CNN (Convolutional Neural Network) is proposed. The architecture is adapted to work under variable lighting conditions. Testing on nichrome spirals demonstrated an accuracy of 5–7.5% (MAE). The method eliminates interference from contact sensors during induction heating. Potential methods for improving accuracy using a parametric model based on Planck's law are suggested. Image enhancement for analysis using gamma correction and the Reinhard function..*

**Keywords:** non-contact thermometry, induction heating, computer vision, deep learning, convolutional neural networks, thermal radiation, digital image processing.

**DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR A HIGH-PRECISION CONTACT CONDUCTOMETER**

D. E. Krivobokov, N. V. Markov

*The development of a software algorithm for a microcontroller designed to control a contact conductometer is considered. The principles of synchronous detection used to suppress noise and extract a weak useful signal are described. An algorithm is presented that provides synchronous generation of a reference signal, control of the detector's analog key, and processing of data from the ADC, taking into account transient processes. Special attention is paid to methods of digital filtering and compensation of systematic errors to achieve high accuracy and stability in measuring the specific electrical conductivity of liquids.*

**Keywords:** contact conductometer, synchronous detection, microcontroller, software, control algorithm, ADC, measurement accuracy, specific conductivity, digital filtering, compensation.

**Part 7  
Other**

**DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL MATERIALS IN ELECTRICAL ENGINEERING AND POWER ELECTRONICS FOR PREPARING PHYSICS TEACHERS TO TEACH IN SPECIALIZED ENGINEERING CLASSES**

N. N. Lopatkin, A. I. Cherednichenko

Altai State Pedagogical University, Biysk branch named after V.M. Shukshin, Biysk

*Engineering classes in general education institutions make it possible to prepare future students for studies at universities of engineering profile, thus forming a foundation for the human resource potential of Russia's technological development. The article addresses issues arising in the development of the curriculum content for specialized engineering classes and presents methodological materials designed to prepare physics teachers for work in such classes. In particular, it describes an instructional and methodological package for the elective course "Methods of Teaching Electrical Engineering and Power Electronics for Engineering Classes" for students of pedagogical universities, taking into account the strong demand for engineers in the undergraduate training program "Electrical Engineering and Power Engineering." An example of using computer modeling in the PSIM environment for laboratory and practical sessions of the elective course is provided. The article briefly describes the conditions under which the developed methodological materials were partially tested.*

**Key words:** engineering classes, physics, teacher training, teacher training universities, bachelor's degree programs, curriculum content, electrical engineering and power electronics in school, instructional and methodological complex, computer modeling, PSIM.

**AUTOMATION OF PCB MANUFACTURING**

I. D. Paramonov, A. N. Somov, K. R. Zarichny

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

*The article is devoted to the development of automated equipment for the manufacture of double-sided printed circuit boards in design bureaus by automating the processes of photoresist exposure and galvanic deposition of metal. The methods and equipment used are described, the process of selecting components and programming the STM32 microcontroller using the STM32CubeIDE development environment is considered. A detailed algorithm for connecting circuit elements and configuring the interaction between them is provided. The final layout of the device is presented, confirming the operability of the proposed solution.*

**Keywords:** printed circuit boards, microcontroller, UART, software, port.

**RATIONALE FOR THE SELECTION OF THE TPAFE5160 MICROCIRCUIT FOR  
MEASURING LINE VOLTAGE IN 0.4 KV NETWORKS**

A. V. Kurkin, S. F. Nefedov

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

*This article describes the TPAFE5160 external analog-to-digital converter (ADC) chip. This microcircuit offers several advantages, including 8 bipolar channels, each with a 16-bit resolution, simultaneous voltage measurement across all eight channels, which minimizes errors when measuring electrical network parameters, built-in short-term overvoltage protection up to  $\pm 30$  volts per channel, and the ability to select an input measurement range of  $\pm 10$  V or  $\pm 5$  V.*

**Keywords:** ADC, TPAFE5160, 0.4 kV electrical networks, SPI protocol, network voltage measurements, Kotelnikov's theorem

**MASSIVE OPEN ONLINE COURSE IN THE MUNICIPAL RESILIENCE BUILDING SYSTEM: A COMPARATIVE  
STUDY OF EFFECTIVENESS IN THE CITY OF KAZAN**

Pavel Borisovich Shibaev

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

*The relevance of the study is driven by the need for effective tools to build the resilience of Kazan to emergencies. The aim is to empirically assess the comparative effectiveness of a Massive Open Online Course (MOOC) and traditional teaching methods in building population knowledge and practical readiness for emergencies, and to demonstrate their role in enhancing the resilience of the Kazan municipal formation. Methods included surveying ( $n=84$ ), interviews, and statistical analysis. The empirical assessment of 250 MOOC participants revealed an average knowledge retention rate of 84.75%, which is 33.13% higher than the result achieved through traditional methods (51.62%). The survey identified a significant increase in emergency preparedness: after training, 63.4% of respondents rated their readiness at 6-8 points out of 10, whereas before the training, 40% gave low scores (0-4 points). The results confirm the high effectiveness of the MOOC for building knowledge and population adaptability, substantiating its integration into municipal strategies.*

**Keywords:** massive open online course (MOOC), life safety, municipal resilience, city of Kazan, comparative analysis, learning effectiveness, traditional teaching methods, safety culture, emergency preparedness, population survey, knowledge acquisition, Sustainable Development Goals (SDGs).

**AUTOMATION OF NAVIGATION SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON AIR TRAFFIC EFFICIENCY**

Sokolov Oleg Arkadievich, Ustinova Anastasia Andreevna

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A. A. Novikov, St. Petersburg, Russia

*The article examines the impact of integrated automation of navigation systems and air traffic control systems on improving the efficiency and throughput of airspace. The analysis of the evolution of navigation from ground-based reference systems (OPRS, VOR/DME) to global satellite systems (GNSS) and further integration into the concept of Performance-Based Navigation (PBN) is carried out. The impact of automation on key performance indicators of air traffic is studied in detail: the capacity of airspace and airfields, flight regularity, fuel efficiency and safety, as well as the use of machine learning methods to predict trajectories and conflict situations. Systemic risks related to cybersecurity, GNSS failure, and the need to maintain a high level of human-machine interaction have been identified. It is concluded that further automation of navigation should be accompanied by the creation of redundant independent navigation infrastructures and the improvement of the regulatory framework governing the use of automated decision support systems in ATC.*

**Keywords:** automation, navigation systems, air traffic control (ATC), air traffic efficiency, PBN (Performance-Based Navigation), CNS/ATM, ADS-B, throughput, flight safety.

**THE SYSTEM OF AUTOMATIC PARRYING OF WIND DISTURBANCES DURING LANDING BASED  
ON ADAPTIVE PREDICTIVE SYNTHESIS**

Sokolov Oleg Arkadievich, Ugarov Peter Ivanovich

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A. A. Novikov, St. Petersburg, Russia

*The article explores the concept of an automatic wind disturbance parry system designed to be integrated into aircraft control at an important stage of landing. The relevance of the concept is determined by accident statistics, which link most of the incidents to the effects of wind shear and turbulence. The paper analyzes historical and modern examples and identifies systemic deficiencies in reactive control systems. The architecture of the system is proposed, based on the principle of forecasting the wind situation using an adaptive algorithm for evaluating and synthesizing compensating control actions.*

**Keywords:** automatic landing, wind disturbances, wind shear, automatic control system, flight safety, adaptive forecasting, predictive control, historical analysis.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объемом от 3 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объемом от 3 до 10 страниц), имеющая индекс УДК, аннотацию и ключевые слова на русском языке (в начале текста статьи) с приложением в отдельном файле перевода названия, аннотации, ФИО авторов и ключевых слов на английском языке, а также сведений об авторах (ученой степени, звания и места работы, e-mail и/или контактного телефона) должна отвечать следующим требованиям:

Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word.

Во вкладке «Разметка страницы»: используется размер бумаги формата А4, ориентация листа книжная. Поля: верхнее – 3,5 см; нижнее – 2,5 см; левое – 2,5 см; правое – 2,5 см; переплет – 0 см. В диалоге «Колонки» – «Другие колонки» выбирается расположение текста «в две колонки», устанавливается ширина колонок – 7,65 см, промежуток между ними – 0,7 см. В диалоге «Расстановка переносов» выбирается «авто».

Во вкладке «Вставка» выбирается «Верхний колонтитул» – «Пустой», далее появляется вкладка «Конструктор», включаются "Особый колонтитул для первой страницы" и "Разные колонтитулы для четных и нечетных страниц". Колонтитулы от края: верхний – 2,0 см; нижний – 2,0 см.

В верхнем колонтитуле указывается: на титульной странице – «особый колонтитул»; на чётных страницах – инициалы и фамилии автора ("Arial", 10 пунктов, прописные); на нечетных страницах – название статьи ("Arial", 10 пунктов, прописные). Нумерация страниц проставляется шрифтом размером "Arial", 12 пунктов, курсив. Расположение нумерации – внизу страницы в нижнем колонтитуле, для четных страниц выравнивание по левому краю, для нечетных по правому.

**Структура статьи в обязательном порядке должна содержать:**

- УДК (размещение в левом верхнем углу документа);
- Названия статей набираются прописными буквами (шрифт "Arial", размер шрифта текста – 14 пунктов, полужирный) по центру документа;
- Инициалы и фамилии авторов размещаются под названием статьи (шрифт "Arial", размер шрифта текста – 12 пунктов);
- аннотация (шрифт "Arial", размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками "одинарный") – текст (объемом 150 - 200 слов), отражающий актуальность, цель, методы исследования, полученные результаты;
- ключевые слова (не менее 10 слов или словосочетаний) (шрифт "Arial", размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками "одинарный");
- основной текст (для основной части текста используется шрифт "Arial", размер шрифта основного текста – 10 пунктов, красная строка (отступ) – 0,8 см, интервал между строками "одинарный");
- список литературы (шрифт "Arial", размер – 9 пунктов) оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 – 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»;
- сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, учёная степень, звание, место работы, e-mail и/или контактный телефон – обязательно, индикаторы ORCID – по желанию;
- на английском языке перевод названия статьи, ФИО авторов, аннотации и ключевых слов в отдельном файле.

Для создания формул и таблиц используются встроенные возможности Microsoft Word. Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Microsoft Word или другими программами и вставляются в нужное место документа.

Размеры рисунков не должны превышать границы полей страницы основного текста документа с учетом подрисуночной подписи. Рисунки издательством не редактируются. Если рисунок по ширине превышает размер колонки, то необходимо ставить перед ним и после него разрыв раздела на текущей странице и располагать рисунок в начале или в конце страницы.

Рисунки, надписи и объекты Microsoft Word должны перемещаться вместе с текстом, т. е. быть не поверх текста!

При приеме работы в печать обязательно наличие твердой копии, 1 внешней рецензии, экспертного заключения и согласия на обработку персональных данных!

К публикации принимаются статьи, ранее нигде не опубликованные и не представленные к печати в других изданиях.

Публикации принимаются на русском и английском языках.

К статье прилагается согласие на обработку персональных данных.

Материалы журнала (постатейно) и сопроводительная документация собираются и передаются в редакцию ответственным за выпуск лицом.

Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.

**Контактная информация:**

Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 89039905960, e-mail: orpd\_st@ mail.ru

Степанова Анна Александровна – тел. 89967044850, e-mail: editor.altgtu@mail.ru

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ

Электронное периодическое научное издание  
Статьи опубликованы в авторской редакции

Издательство Алтайского государственного  
технического университета им. И. И. Ползунова  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46



ISSN 2079-1097

Издательство АлтГТУ им. И. И. Ползунова  
656038 г. Барнаул, пр. Ленина, 46, каб. 113 главного корпуса  
тел./факс +7 (3852) 29-09-46  
сайт: <http://ipc.altstu.ru/> e-mail: [altgtu@mail.ru](mailto:altgtu@mail.ru)  
Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доц. каф. ТИАрх

НА ОБЛОЖКЕ:  
Главный корпус АлтГТУ, памятник И. И. Ползунову, г. Барнаул

