

**ПОЛЗУНОВСКИЙ  
АЛЬМАНАХ**

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



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

**4  
2024**

НА ОБЛОЖКЕ:  
Сереброплавильный завод города Барнаула в середине XIX века

# ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ

№ 4 / 2024

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:*  
С.Б. Поморов  
И.В. Харламов  
И.Н. Сычева  
А.С. Авдеев  
С.В. Ананьин  
А.С. Баранов  
В.И. Полищук

*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

## В НОМЕРЕ:

### Часть 1. Виртуальные и интеллектуальные системы

#### Раздел 1

#### ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

*Т. Е. Шляхтина, В. Ю. Трубицын, К. А. Шляхтин*  
РАЗРАБОТКА, ОБУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ  
РАБОТЫ СПАЙКОВОЙ НЕЙРОННОЙ  
СЕТИ..... 4

*А. А. Савлук, Д. А. Савлук, Г. В. Лысак, И. А. Лысак*  
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ  
ТИТАНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ  
НАПЛАВКИ МЕТАЛЛА В ВАКУУМЕ..... 9

*А. А. Пилецкий*  
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И  
СОРТИРОВКИ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО  
КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЗЕРЕН  
ПШЕНИЦЫ..... 12

*Т. Е. Шляхтина, К. А. Шляхтин, А. И. Кириллов,  
К. С. Ермолин*  
АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НА  
СТМ-ИЗОБРАЖЕНИИ..... 16

*С. П. Пронин, С. В. Вейбер*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
РАЗМЕРА ОБЪЕКТА ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ  
ПРИ НЕКОГЕРЕНТНОМ ОСВЕЩЕНИИ ..... 21

*К. С. Коробков, В.И. Мосоров, Н. Б. Хантахаева*  
МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ  
КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСТРУКТУР  
УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ..... 24

*И. А. Суторихин, В. А. Соловьев, Г. А. Приймак*  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ  
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ ..... 29

---

**Раздел 2****ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ И КОНТРОЛЕ ПРОДУКЦИИ**

---

*Н. А. Отставнов, А. А. Глебов*  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....34

*В. С. Афонин, А. Н Чубов, Н. А Пушков, Е. С. Кранин*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЁМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ .....39

*А. В. Балашов, Д. С. Рахматулин*  
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....44

---

**Раздел 3****ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ**

---

*Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобокков, А. А. Ключанов, Н. В. Марков*  
ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА С КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА.....47

*Д. Е. Кривобокков, И. Е. Матущенко*  
РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ .....54

*С. С. Земская, А. Ю. Андреева*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СРЕДЫ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ .....58

*В. М. Рыжих*  
РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА-СИМУЛЯТОРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ UNITY ENGINE ..... 62

*Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобокков, Б. Р. Яковлев*  
СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЕМКОСТНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ..... 68

*Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобокков, Д. Е. Пузик*  
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ВИБРАЦИОННОГО ВИСКОЗИМЕТРА-ПЛОТНОМЕРА КАМЕРТОННОГО ТИПА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ..... 74

*В. М. Рыжих, Н. М. Рыжих*  
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ЗД-ОБЪЕКТОВ: МЕТОДЫ, ПРИМЕНЕНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФОТОГРАММЕТРИИ..... 78

*Д. Ю. Козлов, З. В. Тихомирова*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА АТАК НА БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ..... 84

*Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобокков, К. Д. Кандауров, Д. А. Гуляев, Д. С. Ложешников*  
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ КОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ..... 89

*В. В. Крафт, П. А. Зрюмов*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАПАЗОНА СМЕЩЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ НА СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА КАЧЕСТВО ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ГЛУБИНЫ..... 93

---

#### Раздел 4

#### **ВИРТУАЛЬНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТАХ**

---

*А. Г. Зрюмова, К. В. Степченко*  
ОБЗОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И  
МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ .....96

*Т. В. Котлубовская, А. И. Агарин*  
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ  
СОРТИРОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ  
РАСТЕНИЙ .....100

*Е. С. Жердев*  
ОБЗОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ  
ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ .....103

*И. Ю. Алышев, Н. В. Ерофеева*  
ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ КАК СРЕДСТВО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ .....107

*Т. В. Котлубовская, А. С. Карпов*  
РАЗРАБОТКА МАКЕТА УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОИЗОЛЯЦИОННЫХ  
СВОЙСТВ ВСПЕНЕННОГО  
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА .....109

*А. А. Чепуштанов, А. А. Ясенков*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ  
ОСОБЕННОСТЕЙ САПР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ  
РАЗРАБОТЧИКОВ В СРАВНЕНИИ С  
ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ В УСЛОВИЯХ  
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ .....111

*А. В. Малышев А. Г. Зрюмова*  
РОЛЬ БАЗ ДАННЫХ В ПОВЫШЕНИИ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЛУЖБЫ  
ЭВАКУАТОРОВ .....115

---

#### **Часть 2. Разное**

---

*М. Ю. Сарычев, О. Г. Кузьмина*  
ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ  
ИННОВАЦИОННОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО  
ПРОДУКТА НА ПРИМЕРЕ АВТОРСКОГО  
ТУРА..... 118

*Н. Н. Лопаткин, О. Н. Макарова, Е. А. Еремеев,  
Г. С. Шилинг*  
ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ НЕДЕЛИ  
МАТЕМАТИКИ И ТОЧНЫХ НАУК В  
МАЛАЙЗИИ ..... 121

*В. Г. Курцева, Д. Г. Митрошин*  
ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ОВСЯНОГО  
ПЕЧЕНЬЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ  
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ АЛТАЙСКОГО  
КРАЯ ..... 141

#### **Учредитель журнала:**

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

УДК 004.81

## РАЗРАБОТКА, ОБУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ СПАЙКОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

**Т. Е. Шляхтина, В. Ю. Трубицын, К. А. Шляхтин**  
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН  
г. Ижевск

*В данной работе была рассмотрена модель спайковой нейронной сети, разработанная авторами. Создана библиотека для расчетов спайковой нейронной сети. Разработана архитектура классов для библиотеки. Предложено в качестве паттернов сигналов использовать последовательность спайков. Показаны результаты качества распознавания сигналов с применением разработанной сети с различным количеством спайков в последовательности и различным количеством нейронов в сети. Показано кодирование и декодирование изображения с применением разработанной сети.*

**Ключевые слова:** спайковая нейронная сеть, спайки, нейроны, дендриты, аксоны, нейромедиаторы.

Для решения различных задач сегодня применяют нейронные сети. Принципы реализации искусственных нейронных сетей требуют большого набора данных, значительного времени обучения, а также выбора архитектуры и настройки нейронной сети для каждой конкретной цели. Одним из наиболее перспективных направлений для развития искусственных нейронных сетей сегодня являются спайковые нейронные сети (СНС). Спайковые нейронные сети декодируют набор спайков, полученных после взаимодействия потенциалов нейронов [1]. Есть несколько моделей кодирования информации в таких сетях. Если на вход сети подается изображение, то оно преобразуется в последовательность спайков, для которых яркость каждого пикселя преобразуется в частоту следования пуассоновской последовательности спайков. Кодирование такого типа было обнаружено в зрительной коре и моторной коре [2,3]. Недостатком этого способа является длительное время обработки и, следовательно, низкая скорость передачи информации. Все более популярным становится способ латентного кодирования, в котором для полного кодирования требуется только один спайк от каждого нейрона в группе [2]. В данной работе предложено программное приложение для нейронной сети спайкового типа, а также рассмотрен процесс обучения данной сети с применением латентного кодирования.

Для разработанной СНС основными элементами являются нейроны, аксоны и дендриты, а обмен данными происходит с помощью нейромедиаторов. Аксоны передают нейромедиаторы из нейрона на ближай-

шие дендриты. В СНС у нейронов возможно три состояния. В состоянии покоя нейрон только принимает нейромедиаторы. В активном состоянии нейрон высвобождает нейромедиаторы, при этом не принимает их. В состоянии абсолютной рефрактерности [4] – нейрон не раздает и не принимает нейромедиаторы некоторый период времени. Для разработанной модели спайковой нейронной сети были определены математические модели, предложенные в предыдущей работе [5]. Количество нейромедиаторов, передаваемых аксоном на каждом шаге:

$$A(t) = A_{max} \cdot e^{-\alpha t}, \quad (1)$$

где  $A_{max}$  – максимальный уровень нейромедиаторов на нейроне,  $\alpha$  – коэффициент, определяющий уменьшение выброса количества нейромедиаторов со временем,  $t$  – номер шага. Количество нейромедиаторов  $P(t)$ , которое передает аксон дендриту:

$$P(t) = A(t) \cdot \frac{e^{-\beta r}}{\sum_{m=1}^{N_D} e^{-\beta r_m}}, \quad (2)$$

где  $r_k$  – расстояние между аксоном и дендритом,  $\beta$  – коэффициент поглощения нейромедиаторов дендритом,  $N_D$  – количество дендритов в области.

Количество нейромедиаторов, которое поглощает дендрит:

$$D(t) = \sum_{j=1}^{N_A} P_j(t) \quad (3)$$

где  $N_A$  – количество аксонов в области, при условии, что

$$0 < \sum_{j=1}^{N_A} P_j(t) < D_{max}$$

где  $D_{max}$  – максимальное количество нейромедиаторов, принимаемое дендритом за один шаг. Если  $\sum_{j=1}^{N_A} P_j(t) > D_{max}$ , то  $D(t) = D_{max}$ .

Когда  $D(t) = D_{max}$  в течение нескольких шагов, равнодействующая сил воздействия на дендрит от всех аксонов:

$$\bar{F} = \sum_{j=1}^{N_A} (\bar{v}_j \cdot P_j(t)), \quad (4)$$

где  $\bar{v}_j$  – вектор направления от аксона к дендриту. Таким образом, вектор роста дендрита равен:

$$\bar{V}_{D(t)} = \begin{cases} \frac{\bar{F}}{|\bar{F}|} \cdot L_{D_{max}}, & \text{при } |\bar{F}| \geq L_{D_{max}}; \\ \bar{F}, & \text{при } |\bar{F}| < L_{D_{max}}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $L_{D_{max}}$  – максимальная величина прироста дендрита за один шаг.

На основе описанной модели было разработано программное приложение для работы с сетью. На рисунке 1 показана UML-диаграмма базовых классов разработанного приложения. Класс Dendrite включает в себя поля, которые описывают текущее состояние дендрита и расчеты, связанные с поглощением нейромедиаторов (Calc\_neuromediators) в системе и отращиванием дендритов (Calc\_vector\_grow) по формулам (3-5). Класс Axon аналогично включает в себя поля, которые описывают текущее состояние аксона и расчеты, связанные с распространением нейромедиаторов в системе (Calc\_neuromediators) по формулам (1,2). Класс Neuron отвечает за создание дендритов и аксонов, а также за сбор информации с них (Sum\_dendrits, Calc\_neuromediators). В классе Network создается область, состоящая из нейронов, а также задаются связи с другими такими же областями (Init\_connect), также в этом классе реализована возможность подачи импульсов на отдельные нейроны в области (Pulse и Pulse\_pattern). Класс Network\_General реализует расчет сигналов по времени  $t_i$  для системы из одной или нескольких областей Network (Calc\_step\_neuromediators).

На рисунке 2 показана функциональная схема разработанной библиотеки для работы

с СНС. Блок «Модель» отвечает за вычисления в системе. Блоки «Представление 2D» и «Представление 3D» за визуализацию модели в двухмерном и трехмерном виде соответственно. На рисунке 3 представлен вид СНС в разработанном программном приложении. В работе предложено использовать 2 сенсорные области (S1 и S2), в которые поступают сигналы и 1 область, в которую сигналы приходят (OUT). На рисунке 4 темно-синим цветом обозначены нейроны, голубым цветом обозначены дендриты, аксоны выделены красным. Поле аксона, обозначенное оранжевым – это область выброса нейромедиаторов, в которой он оказывает влияние на рост дендритов и распространение нейромедиаторов, вне сферы его вклад ничтожно мал. Для наглядности работы СНС реализован просмотр каждого шага обучения и работы сети и в зависимости от количества нейромедиаторов на аксоне яркость сферы изменяется.

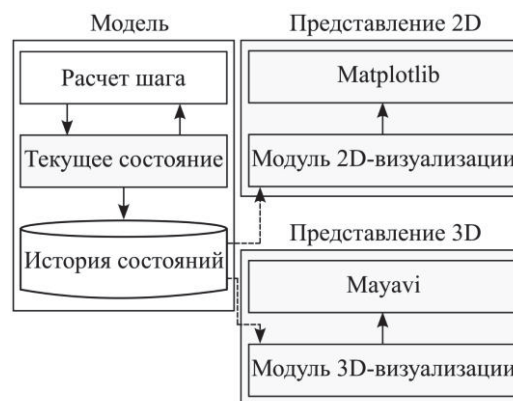


Рисунок 2 – Функциональная схема разработанной библиотеки для СНС

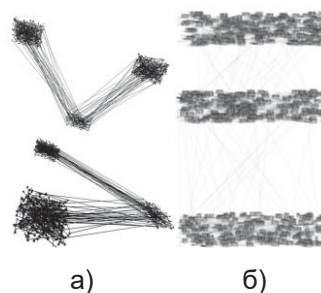


Рисунок 3 – Визуализация спайковой нейронной сети на 1000 нейронов в разработанном приложении: а) – 2D-вид; б) – 3D-вид СНС

## РАЗРАБОТКА, ОБУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ СПАЙКОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

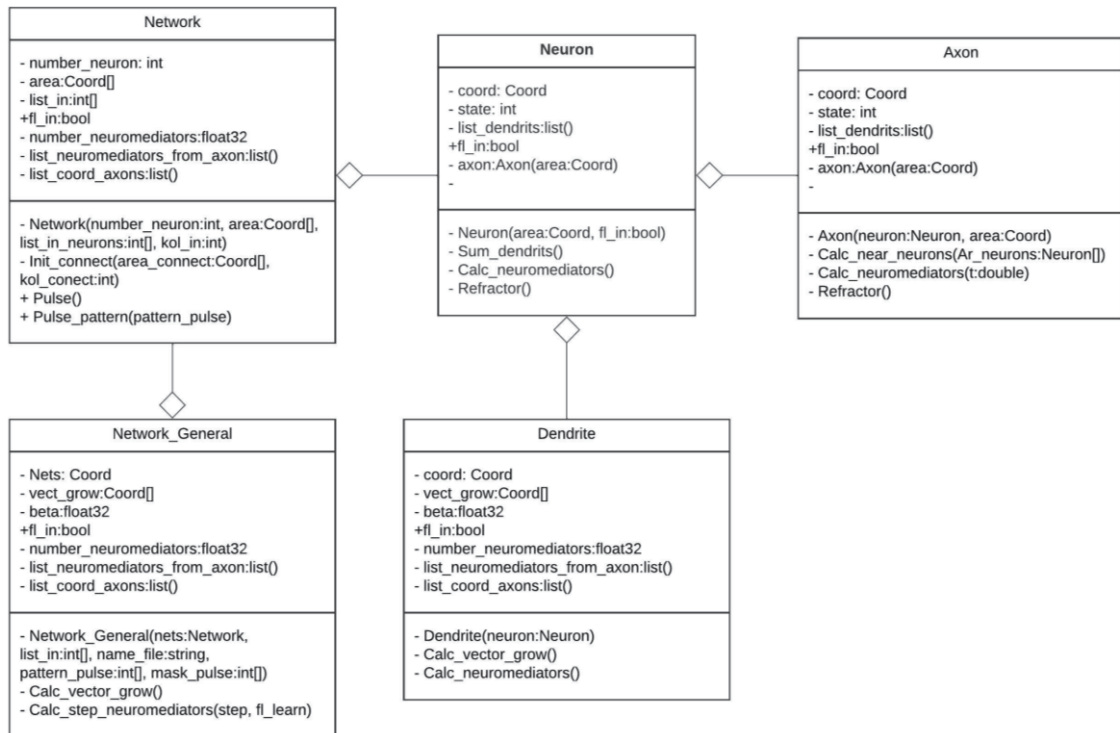


Рисунок 1 – UML-диаграмма базовых классов разработанного приложения

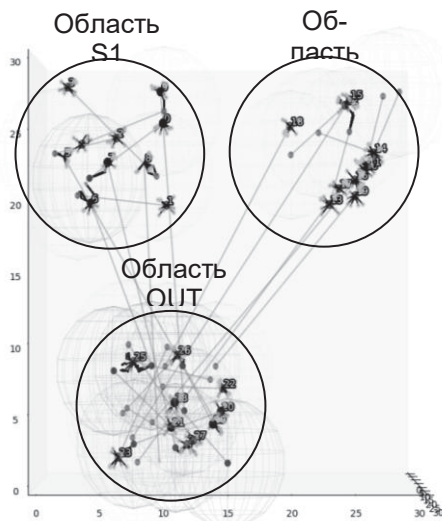


Рисунок 4 – Архитектура спайковой нейронной сети

Также для каждой из областей создаются связующие нейроны с выходной областью. Во входных областях создано 20 нейронов, для выходной области 10. Набор обучающих сигналов представлял собой набор спайков из 0 и 1. Для определения сигнала, поступающего на вход сети, с применением разработанного программного приложения, производится запись в файлы латентного кода всех нейронов из выходной области. Далее

полученный сигнал сравнивается с сигналами, записанными в базу данных, и определяется вероятность того, каким сигналом является полученный. На рисунке 5 представлены графики спайков в программе, первые 3 графика представляют собой последовательность спайковой из области S1, вторые 3 графика из области S2 и последние 3 графика показывают спайки, которые возникли в выходной области. Таким образом, было закодировано  $2^{10} = 1024$  сигналов. В ходе обучения каждый сигнал подавался на вход сети 100 шагов.

На рисунке 6 приведена зависимость количества, верно, определенных сигналов в процентах, от числа спайков в последовательности, по которым выполняется оценка. По полученному графику видно, что количество верно определенных сигналов, при последовательности более 5, практически не изменялось. При этом время на обучение увеличивалось кратно. Поэтому в системе для дифференциации сигналов выполнена проверка для различного количества нейронов в выходной области, при этом графики построены для сигналов из набора спайков от 1 до 5. На рисунке 7 приведены графики для различного количества нейронов в выходной области для 10, 15, 20, 25 и 30 соответственно и последовательностей спайков от 1 до 5 и доли верно определенных сигналов. На гра-

фике видно, что при увеличении количества нейронов в выходной области, значительно возрастает доля верно определенных сигналов, при 30 нейронах в выходной области процент верно определенных сигналов даже для 1 спайка превышает 70 процентов.

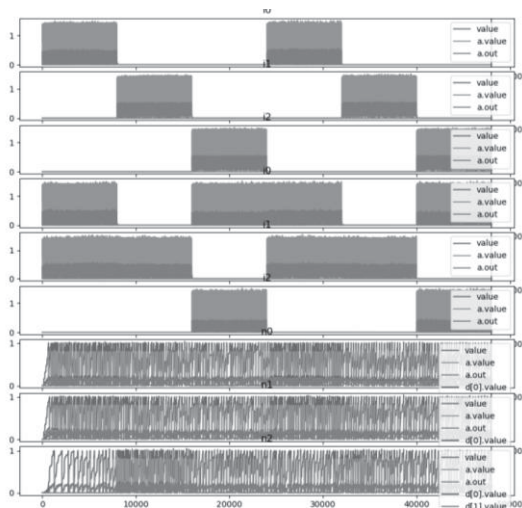


Рисунок 5 – Графики последовательностей спайков в разработанной СНС

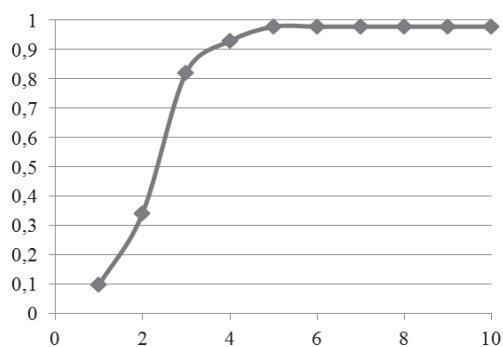


Рисунок 6 – График зависимости доли верно определенных сигналов от числа спайков в последовательности

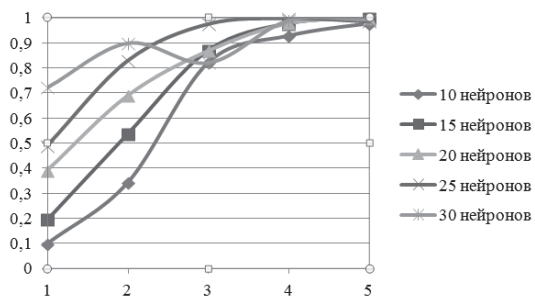


Рисунок 7 – График зависимости доли верно определенных сигналов от числа спайков в последовательности, при различном количестве нейронов в выходной сети

Однако, при 3 спайках на 30 нейронах возник спад. Это связано с тем, что нейроны в системе каждый раз генерируются в пространстве по-разному (при каждом новом обучении для разного количества нейронов и спайков выполняется новая генерация нейронов в пространстве). В следствие этого, иногда возникают случаи создания эфферентных нейронов, которые слабо влияют на выходной. Поэтому качество дифференциации сигналов снижается и возникают ошибки в распознавания сигналов. Данная проблема является предметом для дальнейшего исследования.

В разработанной сети, согласно работе [2], в которой на вход сети подавалось бинарное изображение, с применением декодирования последовательности спайков (рис. 8), также производилось кодирование и декодирование изображения с применением СНС. В работе было выбрано изображение размером 32\*32, в котором каждый пиксель принимал значение черного цвета, при наличии сигнала и оставался белым, при его отсутствии. На рисунке 9 представлены результаты декодирования изображения по 1-5 спайкам в последовательности для 30 нейронов в выходной области.

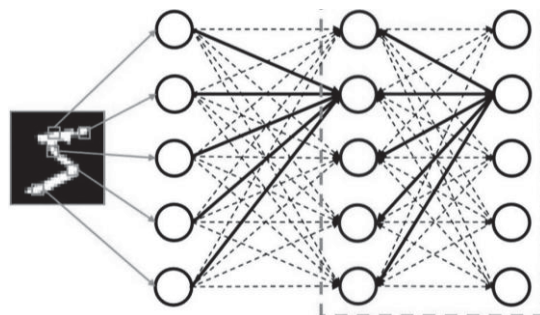


Рисунок 8 – Архитектура СНС из [2], в которой входной слой кодирует пиксели в спайки



Рисунок 9 – Черно-белое изображение 32x32, слева представлено исходное изображение, далее изображения полученные в результате декодирования СНС по 1-5 спайкам

Таким образом, создана модель нейронной сети на языке Python. Разработка и реализация новой модели нейронной сети позволит ускоренно решать задачи, которые сегодня ставят перед искусственным интеллектом. В качестве модели кодирования информации в сети применялось кодирование



## РАЗРАБОТКА, ОБУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ СПАЙКОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

по последовательности спайков. Установлено, что доля верно определенных сигналов зависит от количества спайков в последовательности, а также от количества выходных нейронов в сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malcolm K. and Josue Casco-Rodriguez A. Comprehensive Review of Spiking Neural Networks: Interpretation, Optimization, Efficiency, and Best Practices // Published in arXiv: 2023. 16 p.
2. Guo W., Fouda M.E., Eltawil A.M., Salama K.N. Neural Coding in Spiking Neural Networks: A Comparative Study for Robust Neuromorphic Systems // Front Neurosci. 2021. 21 p.
3. Eshraghian J.K., Ward M., Neftci E., Wang X., Lenz G., Dwivedi G., Bennamoun M., Jeong D. S., and Lu W. D. Training spiking neural networks using

lessons from deep learning // Proceedings of the IEEE. 2021. P. 1016-1054

4. Покровский, В.М. Физиология человека. 3-е изд. // М.: Медицина. 2011. 664 с.

5. Трубицын, В.Ю. Модель искусственной нейронной сети биологического типа и симуляция её работы / В.Ю. Трубицын, К.А. Шляхтин, Т.Е. Шелковникова // Химическая физика и мезоскопия. Т. 24, № 4. 2022. С. 503-510.

**Шляхтина Татьяна Евгеньевна** – м.н.с. УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [shelk-tan@udman.ru](mailto:shelk-tan@udman.ru);

**Трубицын Виктор Юрьевич** – д.ф.-м.н., г.н.с. УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [tvu@udman.ru](mailto:tvu@udman.ru);

**Шляхтин Константин Алексеевич** – м.н.с. УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [shlyah-tink@udman.ru](mailto:shlyah-tink@udman.ru).

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ МЕТАЛЛА В ВАКУУМЕ

А. А. Савлук, Д. А. Савлук, Г. В. Лысак, И. А. Лысак  
Томский политехнический университет  
г. Томск

*В статье рассмотрена задача разработки математической модели формообразования изделий из титана методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме. Установлены расчетные области и граничные условия для описания теплофизических процессов, протекающих при наплавке титанового сплава.*

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

### Введение

В последние три десятилетия происходит становление и активное развитие послойных аддитивных технологий (АТ). АТ — это совокупность методик (технологий), позволяющих создавать трехмерные изделия в едином технологическом процессе по данным компьютерных моделей. Интенсивность их развития не имеет аналогов, при этом внедрение их промышленностью называют «Третьей индустриальной революцией» [1].

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) [2].

**Цель исследования** — разработка математической модели формообразования изделий из титана методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме.

### Описание решаемой задачи

Разработка модели предназначена для исследований процессов, происходящих при послойном нанесении титанового сплава на подложку с использованием программного комплекса ANSYS. Программный продукт дает возможность моделировать и анализировать различные физические процессы, происходящие при электронно-лучевой наплавке тита-

новой проволоки, а также выполнять расчет остаточных напряжений и деформаций изделия. Математическое моделирование теплофизических процессов позволяет установить предпочтительные режимы изготовления изделий без многочисленных экспериментальных исследований [3].

Математическая модель теплового состояния стальной подложки включает в себя модель источника теплового воздействия и основание из нержавеющей стали, на которое наносятся 3 слоя наплавляемого материала (рисунок 1).

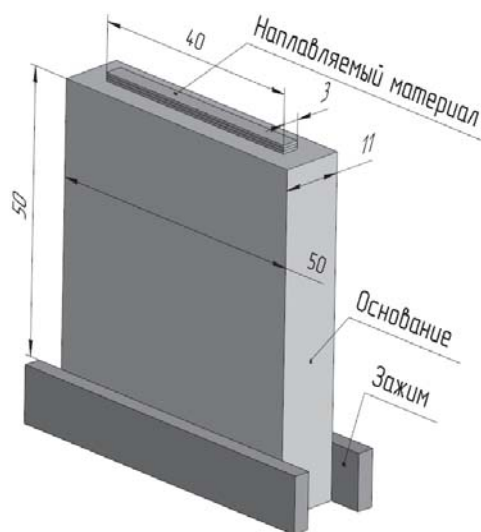


Рисунок 1 – Схема геометрии образца

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА МЕТОДОМ  
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ МЕТАЛЛА В ВАКУУМЕ

При моделировании процесса ЭЛАП в качестве подложки используется основание из коррозионностойкой стали 08X17H13M2, размеры которого представлены на рисунке 1. Наплавляемый материал – проволока Ø0,8 мм из титанового сплава марки ВТ6. В качестве зажима используются медные пластины. Подложка, установленная в зажиме, охлаждается до температуры окружающей среды под вакуумом.

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

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla(a\nabla T) + Q \quad (1)$$

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

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

Уравнение (1) с определенными начальными и граничными условиями представляет задачу о распределении температуры в каждой точке рассматриваемой области для любого момента времени.

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

$$\text{при } t = 0 \quad T = T_0 \quad (2)$$

Граничные условия (ГУ) описывают тепловые режимы на границах рассматриваемого тела. Поскольку электроннолучевая наплавка производится в вакууме конвективные тепловые потери на всех свободных поверхностях отсутствуют. Радиационная составляющая теплотеря описывается в соответствии с законом Стефана-Больцмана следующим уравнением:

$$q_{\text{рад}} = \varepsilon \sigma (T_{\text{нов}}^4 - T_{\infty}^4) \quad (3)$$

Здесь  $\varepsilon$  – коэффициент излучающей способности (0,3),  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>Т<sup>4</sup>),  $T_{\infty}$  – температура окружающей среды (22°С).

Противоположная тепловоспринимающей поверхности зафиксирована в медной

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

Профиль распределения интенсивности был взят и модифицирован на основе уравнения, предложенного Рукетом и др. [4].

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

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.

Применение граничных условий для каждой поверхности подложки представлено на рисунке 2.

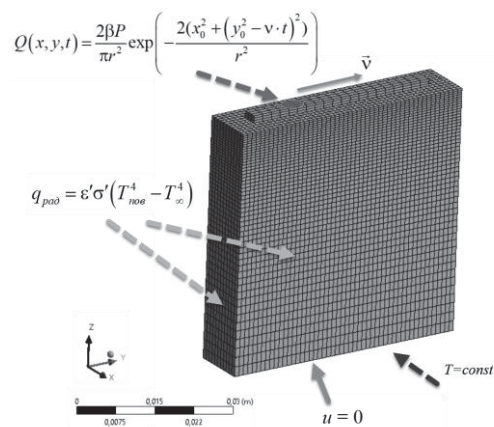


Рисунок 2 – Схема теплообмена стальной подложки

Сопряженный термомеханический анализ выполняется с использованием стандартных шестигранных элементов SOLID226 (рисунок 3). Данный трехмерный объемный элемент определяется 20 узлами, имеющими три степени свободы в каждом узле.

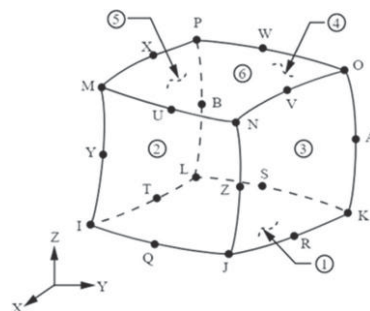


Рисунок 3 – Стандартный шестигранный элемент SOLID226

## Результаты

На рисунках 4 и 5 представлено прогнозируемое распределение температур во время нанесения первого и последнего слоев соответственно.

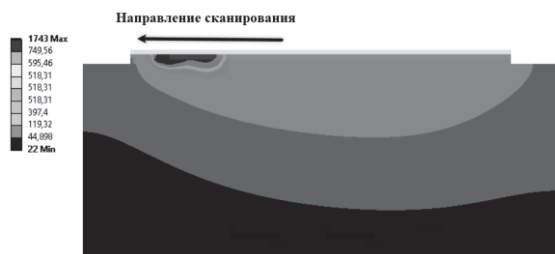


Рисунок 4 – Распределение температуры в процессе наплавления первого слоя

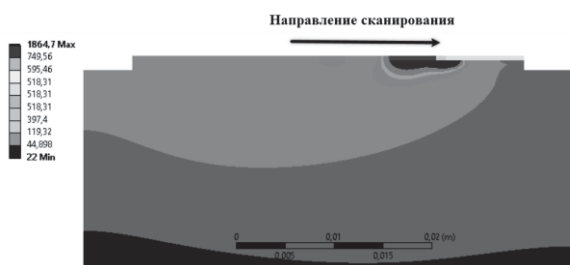


Рисунок 5 – Распределение температуры в процессе наплавления последнего слоя

На рисунке 6 представлены прогнозируемые эквивалентные остаточные напряжения в результате наплавки.

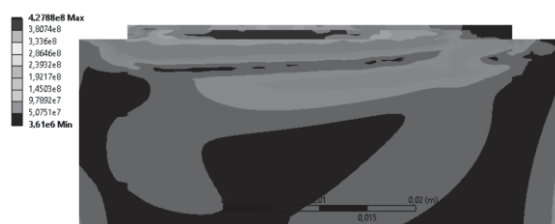


Рисунок 6 – Эквивалентные остаточные напряжения в результате наплавки

Представленные данные позволяют сделать вывод, что в результате наплавки возникают большие остаточные напряжения в объеме наплавленного образца и стальной подложке, следовательно необходима релаксация образца.

На основе проведенного численного исследования установлена локализация максимального температурного пика внутри ванны расплава и температура стальной подложки в процессе наплавки. Установлено, что остаточное тепло первого слоя оказывает существенное влияние на процесс многослойной наплавки.

## Выводы

Созданная модель может стать основой для дальнейшей разработки системы, позволяющей воспроизводить рациональную траекторию сканирующего луча с оптимальной частотой и мощностью с целью изготовления деталей из различных материалов с заданными характеристиками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Haradhan K.M. Third Industrial Revolution Brings Global Development [Текст] / Haradhan K. M. // Journal of Social Sciences and Humanities. – 2021. – № 4. – p. 239-251.
  2. Blakey-Milner, B., Gradl, P., Snedden, G., Brooks, M., Pitot, J., Lopez, E., Leary, M., Berto, F., & du Plessis, A. (2021). Metal additive manufacturing in aerospace: A review. *Materials & Design*, 209, 110008. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2021.110008>
  3. Lysak, I.A.; Lysak, G.V.; Konyukhov, V.Y.; Stupina, A.A.; Gozbenko, V.E.; Yamshchikov, A.S. Efficiency Optimization of an Annular-Nozzle Air Ejector under the Influence of Structural and Operating Parameters. *Mathematics* 2023, 11, 3039. <https://doi.org/10.3390/math11143039>
  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, p. 128–138.
- Савлук Артур Альфредович** – ст-м гр. 4АМ31 ОМШ ИШНПТ ТПУ, тел.: 89083163877, e-mail: aas293@tpu.ru;  
**Савлук Дарья Алексеевна** – ст-м гр. 4АМ31 ОМШ ИШНПТ ТПУ, 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.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И СОРТИРОВКИ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ

**А. А. Пилецкий**

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

*В статье рассмотрено создание библиотеки на языке C# для фильтрации и сортировки по основным параметрам сигналов биоэлектрического потенциала зерен пшеницы с использованием рефлексии и LinqExpressions. Рефлексия позволяет динамически работать с объектами и их свойствами, а LinqExpressions, в свою очередь, позволяют оптимизировать процесс построения фильтров и сортировок на основе запроса клиента.*

**Ключевые слова:** C#, EntityFramework, зерно пшеницы, фильтрация данных, сортировка данных.

Электрофизические свойства пшеницы, такие как переменный потенциал, время возрастания переменного потенциала в области деполяризации, уровень максимального значения переменного потенциала, все они несут информацию о качестве семян, об их урожайности. Однако переменный потенциал может быть искажен помехами и случайным шумом, поэтому требуется предварительная обработка, чтобы с большей достоверностью предсказать урожайные свойства пшеницы.

Для повышения качества обработки сигналов, получаемых от зерен пшеницы необходимо обеспечить легкий доступ к любым параметрам сигналов среди большой выборки. Одним из способов обеспечения такого функционала является одновременная фильтрация и сортировка сигналов по нескольким характеристикам. Кроме того, для удобства и упрощения разработки программного обеспечения, необходимо наличие общего универсального решения, позволяющего без дополнительной сложности добавлять новые характеристики сигнала в процессе эксплуатации ПО. Для этих целей была разработана библиотека на языке C#. Важной особенностью такой библиотеки является гибкость в применении различных критериев фильтрации и сортировки, что становится возможным при использовании механизмов рефлексии и выражений LINQ в языке C#.

В первую очередь был разработан контракт, по которому будет происходить обмен данными между сервером и клиентом. Он представляет собой описание полей, которые можно передавать серверу для обеспечения

фильтрации и сортировки данных. Формат полей запроса был выбран исходя из требований к программному обеспечению по отображению данных. В нем должна быть возможность выбора нескольких полей для сортировки с указанием их последовательности (сортировка сначала по концентрации, затем, внутри одной концентрации, сортировка по сортам и т.п.) и фильтрации по любым доступным полям. Так как по спецификации RESTAPI получение данных происходит через GET запрос, необходимые поля решено было передавать в query [1].

Формат фильтра был определен следующим образом: название поля – filter, формат поля – {поле модели} {операция} {значение/массив значений, перечисленный через запятую}. Поле filter является массивом, что позволяет передавать несколько объектов фильтрации в одном запросе. Пример запроса с фильтрацией [https://api.url.ru/wheat/signal?filter\[\]=concentrationId+in+2,3&filter\[\]=hoveringSpeed+>+9](https://api.url.ru/wheat/signal?filter[]=concentrationId+in+2,3&filter[]=hoveringSpeed+>+9). В данном запросе будет произведена следующая фильтрация: id концентрации равны двум или трем и скорость витания строго больше 9. Так как в формате используются пробелы, то по спецификации http запросов они преобразуются автоматически в знак + [2].

Формат сортировки определен в виде query объекта, что исключает возможность запроса двух разных направлений сортировки по одному полю. Порядок сортировки определяется по порядку следования полей в запросе. Название поля – orderBy, значение поля – SQL направление сортировки (ASC –

по возрастанию, DESC – по убыванию). Пример запроса с сортировкой `https://api.url.ru/wheat/signal?orderBy[varietyId]=ASC&orderBy[concentrationId]=DESC&orderBy[hoveringSpeed]=ASC`. В данном запросе будет произведена сортировка в порядке слева направо – сорт по возрастанию, концентрация по убыванию, скорость витания по возрастанию.

После определения формата необходимо реализовать программные средства для работы с функционалом. На стороне клиента использовалась библиотека `entity-repo` [3] с обвязкой для работы с представленным форматом. На сервере был реализован полноценный функционал для фильтрации и сортировки данных.

`C#` является строго типизированным языком и было решено придерживаться этой системы типов, т.к. это позволяет обеспечить безопасность и прозрачность кода. Альтернативным вариантом является динамическое формирование прямых SQL запросов в виде строки в обход преобразований типов в `EntityFramework`, что сильно упрощает библиотеку, но добавляет множество возможных уязвимостей, связанных с SQL инъекциями и ошибками в процессе выполнения, такими как невозможность преобразования типов данных на стороне СУБД (например, если придет запрос на фильтрацию числового столбца, где в качестве значения указаны буквы или символы).

В качестве ORM в приложении используется `EntityFramework` (Далее EF) [4]. Для формирования запросов к данным используется LINQ – конструкция языка/библиотека для упрощения взаимодействия с коллекциями, которая, в совокупности с EF позволяет создавать отложенные запросы к БД в декларативной форме. При создании запроса используются `LINQExpressions` – специальная конструкция языка, позволяющая указывать поля, сущности и операции над ними, сохраняя строгую типизацию. В обычном коде `LINQExpressions` выглядят как лямбда функции (Листинг 1).

В представленном коде все передаваемые в функции параметры являются выражениями LINQ. Как можно заметить, в выражениях требуется строгое указание свойств сущности, что расходится с требованием динамического формирования полей для фильтрации и сортировки. Кроме стандартного варианта, выражения поддерживают динамическое формирование. Этот подход является сложным с точки зрения программи-

рования, но более правильным с точки зрения подходов к проектированию программного обеспечения в требованиях динамического формирования выражений. Суть такого метода работы с LINQ Expressions заключается в индивидуальном формировании каждого из элементов выражения (параметр, свойство, операция, значение и т.п.) и их последующего объединения по специальным правилам в одно выражение.

Листинг 1 – Пример использования LINQExpressions в коде

```
Query.Include(p =>p.Variety)
.Include(p =>p.Concentration)
.Include(p =>p.Creator)
.ThenInclude(p =>p.UserInfo)
.Where(p =>p.ConcentrationId == 1 ||
p.ConcentrationId == 2);
```

Помимо удобства использования нужно также обеспечить безопасность работы с сервером, написанным с использованием данной библиотеки. Чтобы это обеспечить, были введены атрибуты, разрешающие фильтрацию и сортировку только для определенных моделей и их полей, это позволит полностью исключить доступ к данным, определенным разработчиком как недоступные для представленных операций. Кроме того, для удобства работы с клиентом, в атрибут указания полей введена возможность указания названия поля для клиента. Пример объявления модели представлен в Листинге 2.

Список моделей загружается автоматически при запуске приложения и хранится в памяти. Загрузка происходит путем получения всех доступных типов в приложении и выделения среди них тех, которые отмечены атрибутами `FilterableModel` или `SortableModel`.

Немаловажным является этап проверки правильности запроса. Это делается с помощью отдельно созданных классов валидации. Настройка проверок основывается на атрибутах модели запроса, в которые передается требуемый тип модели БД. Пример объявления фильтрации и сортировки по концентрации представлен в Листинге 3.

Валидация модели основана на функционале `ModelBinding`, представленном в фреймворке. Там происходит проверка доступных полей модели, применимых к ним типов операций и типов значений. Если валидация не проходит, то клиенту возвращается ошибка запроса, подробно описывающая, в каком поле или значении получены некорректные данные. Таким образом, после вали-

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И СОРТИРОВКИ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ

дании можно быть уверенным, что запрос точно соответствует по типам и полям переданной в атрибуте модели.

Листинг 2 – Пример описания модели, доступной для фильтрации и сортировки

```
[FilterableModel]
[SortableModel]
[Table("concentrations")]
public class DbConcentration
{
    [AllowFiltration]
    [AllowSorting]
    [Column("id")]
    public int Id { get; set; }

    [AllowFiltration]
    [AllowSorting]
    [Column("k")]
    public float K { get; set; }

    [AllowFiltration]
    [AllowSorting]
    [Column("na")]
    public float Na { get; set; }
}
```

Листинг 3 – Пример объявления модели запроса с фильтрацией и сортировкой

```
public class GetConcentrationsRequestDto
:PaginationRequestDto
{
    [ModelFilter<DbConcentration>]
    public FilterItem[]? Filter { get; set; }

    [ModelSorting<DbConcentration>]
    public SortingItem[]? OrderBy { get; set; }
}
```

В библиотеке фильтрация и сортировка разбита на два основных сервиса и несколько вспомогательных. Каждый сервис включен в DI контейнер приложения, что упрощает их использование в контроллерах и других сервисах.

В сервисе сортировки есть один доступный метод `ApplySorting`, который принимает подготовленный `IQueryable` запрос к БД и массив моделей `SortingItem`, взятых из `queryhttp` запроса. Модель `SortingItem` представлена в Листинге 4.

Запрос клиента преобразуется в массив представленных моделей, определяющий порядок сортировки.

Код функции сортировки состоит, в основном, из создания объектов `LINQExpression` и применения их к переданному запросу.

Пример обработки одного элемента `SortingItem` представлен в Листинге 5.

Листинг 4 – Модель `SortingItem`

```
public class SortingItem
{
    public string Field { get; set; }
    public SortingDirections Direction { get;
set; }
}
```

Листинг 5 – Пример обработки `SortingPropertyInfoPropertyInfo = sorting-ModelInfo.GetPropertyStrict(sortingItem.Field);`

```
MemberExpressionpropertyExpression =
Expression.Property(modelParam, propertyIn-
fo.Property.Name); //p.Field
```

```
UnaryExpressionconvertedBody = Expression.
Convert(propertyExpression, type-
of(object));
```

```
Expression<Func<T, object>> lambda =
Expression.Lambda<Func<T, object>>(convertedBody, modelParam);
```

```
if (sortingItem.Direction == SortingDirec-
tions.ASC)
{
    query = query.OrderBy(lambda);
}
else
{
    query =
query.OrderByDescending(lambda);
}
```

Таким образом, происходит дополнение `IQueryable` запроса необходимыми данными.

Выполнение фильтрации является более сложным процессом, так как там необходимо учитывать вариативность запроса в виде различных типов операций, значений и их применимости к исходным типам модели. Для фильтров были разработаны соответствующие интерфейсы для операций и типов значений. В качестве примера можно отметить операцию `IN`, которая может включать в себя массив значений любой длины. Пример реализации функции создания выражения операции `IN` представлен в Листинге 6.

Листинг 6 – Реализация функции создания выражения для операции `IN`

```
object[] rawValues = (ob-
ject[])filterItem.RawValue;
```

```

        ConstantExpressionobjectConstant = Expression.Constant(filterItem.RawValue, typeOf(object[]));

        MethodCallExpressioncastExpression = Expression.Call(
            null,
            _castMethod.MakeGenericMethod(propertyInfo.PropertyType),
            objectConstant
        );

        ConstantExpressionrawValuesConstant = Expression.Constant(rawValues);
        MethodInfoToArrayMethod = MethodInfo.MakeGenericMethod(propertyInfo.PropertyType);
        MethodCallExpressiontoArrayExpression = Expression.Call(toArrayMethod, castExpression);

        MethodInfocontainsMethod = typeOf(Enumerable).GetMethod(
            .Where(m =>m.Name == "Contains"
            &&m.GetParameters().Length == 2)
            .Single()
            .MakeGenericMethod(propertyInfo.PropertyType);

        return Expression.Call(containsMethod, toArrayExpression, propertyExpression);
    
```

Данный метод формирует выражение IN в виде LINQExpression, которое в дальнейшем в сервисе фильтрации применяется к основному запросу. Кроме обработчиков опе-

раций, добавлены обработчики основных типов данных. Они используются для проверки соответствия переданного значения типу данных, для которого оно передано. Таким образом, при вызове метода фильтрации, происходит цикл по всем переданным элементам и выполняется построение выражения WHERE в LINQ, которое применяется к IQueryable.

#### Заключение

Разработана гибкая библиотека, позволяющая с высоким уровнем безопасности и простоты использования обрабатывать запросы фильтрации и сортировки от клиента. Реализованные операции позволили добавить больше возможностей системе визуализации и обработки переменных потенциалов, получаемых от зерен пшеницы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Masse M. REST API design rulebook. – "O'Reilly Media, Inc.", 2011.
2. Jestratjew A., Kwiecien A. Performance of HTTP protocol in networked control systems //IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2012. – Т. 9. – №. 1. – С. 271-276.
3. @iappx/entity-reponpm/ [Электронный ресурс] // NPM : [сайт]. — URL: <https://www.npmjs.com/package/@iappx/entity-repo> (дата обращения: 04.11.2024).
4. Центр документации EntityFramework/ [Электронный ресурс] // Microsoft : [сайт]. — URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/ef/> (дата обращения: 04.11.2024).

**Пилецкий Александр Андреевич** – аспирант кафедры ИТ АлтГТУ, e-mail: [ap10111997.alex@yandex.ru](mailto:ap10111997.alex@yandex.ru).



## АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НА СТМ-ИЗОБРАЖЕНИИ

**Т. Е. Шляхтина, К. А. Шляхтин, А. И. Кириллов, К. С. Ермолин**

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН

г. Ижевск

*В работе рассмотрены различные программное обеспечение (ПО) для обработки СТМ-изображений. Приведены их преимущества и недостатки, выполнен сравнительный анализ качества сегментации одного и того же СТМ-изображения путем подсчета количества частиц на изображении и измерения размеров частиц. Выполнена сегментация наночастиц с применением программного обеспечения, разработанного авторами. Показано, что разработанное ПО не уступает аналогам.*

**Ключевые слова:** сканирующая туннельная микроскопия, фильтрация, сегментация, программное обеспечение, наночастицы.

Сканирующая туннельная микроскопия широко применяется как исследовательский инструмент в физике, электронике и электрохимии. В наноматериалах наблюдаются свойства, зависящие от размера, такие как квантовое ограничение в частицах полупроводников, поверхностный плазмонный резонанс в некоторых металлических частицах и суперпарамагнетизм в магнитных материалах. Получению именно таких наноматериалов в последние два десятилетия уделялось огромное внимание. Наноматериалы применяются в твердосплавной промышленности [1], авиастроении [2], медицине и биологии [3], а также в наноэлектронике и нанопотонике [4,5] и т.д. Процесс сканирования поверхности с применением СТМ трудоемкий процесс, который требует тщательной подготовки исследователем поверхности, измерительной иглы и настройки измерительного устройства. Несмотря на лабораторные условия, при зазоре между иглой и подложкой в несколько ангстрем сложно избавиться от возникающих искажений на СТМ-изображениях. Они связаны с вибрацией измерительного зонда относительно исследуемого образца, акустическими помехами, шумами электрической аппаратуры. Искажения изображений в значительной мере определяются тепловым дрейфом зонда относительно образца, а также нелинейностью характеристик и крипом пьезокерамических элементов сканера. Поэтому для формирования СТМ-изображений высокого качества и последующего проведения их анализа требуется специальная цифровая обработка этих изображений. Для изображений СТМ харак-

терным является наличие шумов, в том числе выбросов и полос, а также градиентов интенсивности и т.д. В качестве программного обеспечения (ПО) для сканирования и фильтрации СТМ-изображений используются приложения:

1. ImageJ/Fiji
2. Gwyddion
3. n-Surf
4. WSxM
5. Callisto
6. Nova
7. Приложение, разработанное авторами.

1. ImageJ/Fiji – ПО с открытым исходным кодом для анализа и обработки изображений [6]. На базе этого ПО разработано специализированное ПО для обработки изображений, полученных на СЗМ. В качестве достоинств можно отметить следующее:

- открытый API позволяет расширить функциональность за счёт возможности подключения плагинов;
- поддержка большого количества форматов изображений с различных микроскопов (порядка 44 форматов), в том числе возможна работа с обычными изображениями (порядка 16 форматов);
- различные фильтры, такие как medianная фильтрация, фильтры Лапласа и Гаусса, ФНЧ, ФВЧ, и другие;
- различные методы для бинаризации изображения (метод Оцу, Саувола, Ниблэка и др.);
- выполнение анализа изображения, путем подсчета частиц и их размеров, постро-

ние гистограммы распределения полученных данных;

- для корректного измерения размеров частиц есть возможность введения масштаба в свойства изображения.

К недостаткам данного ПО для обработки СЗМ-изображений можно отнести следующее:

- нет возможности выбора пороговых значений для удаления из гистограммы некорректных данных;

- нет возможности удаления поверхностей разных порядков;

- автоматическое построение гистограммы распределения только на основе изображения, прошедшего бинаризацию.

В качестве критериев оценки для ПО использовались количество и размер обнаруженных частиц. На рисунке 1 (а) показано исходное СТМ-изображение наночастиц платины, осажденных на поверхность пиролитического графита [7], также на рисунке 2 (а) показана гистограмма распределения частиц, полученная в результате его разметки исследователем. Во всех рассматриваемых ПО проводилась стандартная обработка СТМ-изображения, включающая фильтрацию, удаление поверхности, выделение частиц. На рисунке 1 (б) показан результат обработки СТМ-изображения в ImageJ/Fiji. На рисунке 2 (б) показана гистограмма распределения наночастиц на изображении, полученная в ImageJ.

2. Модульное ПО Gwyddion — ПО для визуализации и анализа данных СЗМ-изображений (АСМ, СТМ, магнито-силовой микроскопии) [8]. ПО поддерживает работу с операционными системами GNU/Linux, Microsoft Windows и Mac OS X. Имеет следующие специальные возможности по визуализации данных и обработке:

- цветное представление с различными типами картографии;

- заштрихованное, логарифмическое, градиентное и краевое местное контрастное представление;

- программный интерфейс OpenGL, трехмерный показ данных, легко изменяемые карты цветов и материалы OpenGL;

- возможности вращения, инверсии, обрезки, ресэмплинга (передискретизации), пороговой обработки;

- выравнивание поверхности, выравнивание профилей, трехточечное выравнивание, выравнивание граней, выравнивание вдоль определенных пользователем линий;

- чтение значений, расстояний и угловых измерений, глобальная оценка радиусов искривления, оценка параметра шероховатости и др.;

- работает с узкоспециализированными файлами с расширениями: \*.spm, \*.000-\*.999, \*.mdt, \*.dat, кроме того, позволяет работать с растровыми изображениями, для которых можно задать масштаб;

На рисунке 1 (в) показан результат обработки СТМ-изображения в Gwyddion. На рисунке 2 (в) показана гистограмма распределения наночастиц на изображении.

3. ПО n-Surf — программное обеспечение для анализа и обработки изображений поверхностей, полученных сканирующим туннельным микроскопом. Это приложение было развито для высококачественной визуализации и легкой обработки всех типов изображений. Осуществлена поддержка форматов Veeco/DI, NT-MDT и MPRI. Далее приведены возможности, предоставляемые n-Surf по визуализации данных и их обработке:

- разнообразие фильтров, таких как медианная фильтрация, фильтры Лапласа и Гаусса, ФНЧ, ФВЧ и другие;

- расширяющие и разрушающие морфологические действия;

- преобразование Фурье и автокорреляция;

- анализ шероховатости, гистограмма высот и направляющая кривая;

- специальные операции, такие как устранение скачка, сглаживание.

К недостаткам данного продукта можно отнести следующее:

- ПО не обновляется, поэтому есть сбои в работе;

- работает только с узкоспециализированными файлами с расширениями: \*.spm, \*.000-\*.999, \*.mdt;

- нет методов для сегментации частиц и подсчета их количества и размеров на изображении.

4. WSxM — это бесплатное ПО, используется для сбора и обработки данных в сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) [9]. Предназначено для использования в различных исследовательских приложениях, включая нанотехнологии и материаловедение. В MSxW предусмотрены следующие возможности по обработке изображений:

- различные фильтры, такие как медианная фильтрация, фильтры Лапласа и Гаусса, ФНЧ, ФВЧ, и другие;

- позволяет осуществлять вейвлет-анализ изображения;

## АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НА СТМ-ИЗОБРАЖЕНИИ

– с применением операции «flooding» есть возможность применения порогового фильтра и возврата количества выделенных областей.

В качестве недостатков можно отметить следующее:

– последнее обновление вышло в 2008 году, поэтому есть неисправленные ошибки в работе;

– операция flooding фактически выполняет бинаризацию изображения путем пороговой фильтрации и также не разделяет «слипшиеся» агломераты частиц.

На рисунке 1 (г) показан результат обработки СТМ-изображения vWSxM. На рисунке 2 (г) показана гистограмма распределения наночастиц на изображении.

5. Callisto — это свободно распространяемое ПО, основанное на использовании эффективных алгоритмов коррекции специфических искажений АСМ-изображений. Однако, оно позволяет также работать и с СТМ-изображениями. Рассмотрим встроенные возможности Callisto для фильтрации, визуализации и обработки данных:

– двумерное представление элементов поверхности. Выравнивание и нормализация, гистограмма высот;

– трехмерное представление включает в себя пространственное вращение поверхностей, управление положением и интенсивностью виртуального источника света, изменение масштаба, устранение дискретности. Отображение изменений в реальном времени;

– цветовая палитра. Произвольный выбор цветов заливки с использованием гистограммы высот. Отображение изменений в реальном времени;

– устранение ошибок сканирования, фильтрация с использованием свертки и преобразования Фурье. Отображение результатов фильтрации в реальном времени;

– определение геометрических размеров элементов поверхности;

– совмещение изображений, объединение данных в единый проект, сохранение параметров представления данных;

– преобразование данных в различные форматы, быстрый перенос изображений для создания отчетов.

К недостаткам данного продукта можно отнести следующее:

– не обновляется, поэтому есть сбои в работе;

– работает только с узкоспециализированными файлами с расширениями: \*.spm, \*.000-\*.999, \*.mdt, \*.dat;

– нет возможностей для детектирования, сегментации объектов (наночастиц).

6. PONova – программное обеспечение, созданное российской компанией НТ-МДТ Спектр Инструментс, для работы с АСМ и СТМ, выпущенными ими [10]. Данное ПО отвечает за сканирование, фильтрацию и постобработку результатов сканирования, также в нем есть возможности по сохранению серии шагов по фильтрации изображения в один файл с особым расширением «mdt». В Nova предусмотрены следующие функциональные возможности:

– управление процессом сканирования с микроскопа (коррекция размера шага вдоль осей x, y и z, установка режима сканирования и т.д.);

– возможность отображения серии результатов одновременно, открытие отдельного модуля для работы с конкретным изображением;

– фильтрация изображений разными методами, удаление артефактов методами «вычитания» поверхностей n-ого порядка;

– возможность сохранения дополнительных комментариев об условиях сканирования образца (дата, коэффициент интегрирования, скорость сканирования и т.д.).

В качестве минусов Nova можно отметить следующее:

– «сложность» интерфейса, слишком много управляющих блоков, что усложняет процесс освоения ПО;

– закрытый исходный код, нет возможности добавить пользовательские фильтры для работы с изображениями;

– автоматический анализ для подсчета частиц основан на бинаризации изображения, которое не позволяет выполнять разделение «слипшихся» агломератов частиц.

На рисунке 1 (г) показан результат обработки СТМ-изображения с применением данного ПО. На рисунке 2 (г) показана гистограмма распределения наночастиц на изображении, полученная в Nova.

В качестве общего недостатка рассмотренных ПО можно отметить отсутствию сетевых методов, которые повсеместно внедряются сегодня в ПО для адаптивной обработки изображений.

7. ПО, разработанное авторами [11]. В качестве преимуществ разработанного ПО можно отметить следующее:

- возможность чтения распространенных форматов, а также форматов используемых в STM-исследованиях (.mdt, .pc);

- возможность подключения внешних модулей на различных языках программирования (C#, Python, Java, Delphi), библиотек и средствразработки для них (OpenCV, Keras);

- повышение стабильности работы комплекса за счет локализации неисправностей внутри модуля;

- создание библиотек модулей, применяемых в работе отдельного пользователя.

- различные фильтры, такие как медианная фильтрация, фильтры Лапласа и Гаусса, ФНЧ, ФВЧ, и другие;

- удаление артефактов методами «вычитания» поверхностей n-ого порядка;

- методы классификации, кластеризации, сегментации для анализа данных;

- моделирование STM-изображений с разными параметрами (количество частиц, шум для генерации подложки).

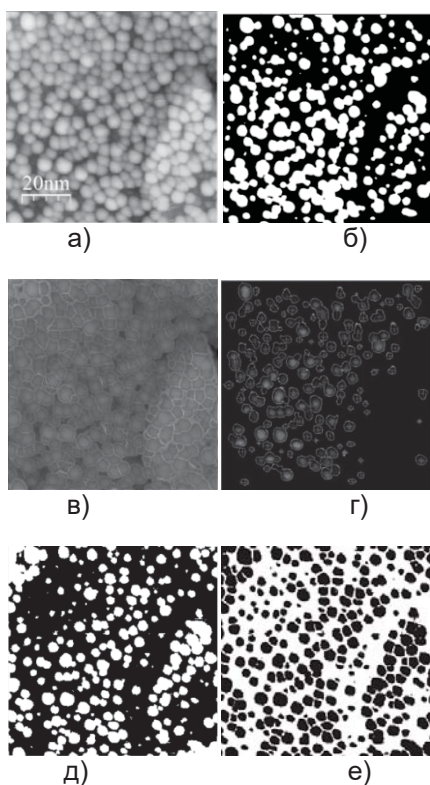


Рисунок 1 – Результаты сегментации STM-изображения:

а) – исходное STM-изображение;

б) – изображение обработанное ImageJ/Fiji;

в) – изображение обработанное WSxM;

г) – изображение обработанное Gwyddion;

д)– изображение обработанное Nova;

е) – изображение, обработанное собственным ПО

В Таблице 1 показан результат подсчета количества и размеров наночастиц (МО – математическое ожидание; СКО – среднее квадратичное отклонение) с применением различного ПО. По полученным данным можно сделать вывод о том, что лучшие результаты для сегментации STM-изображений показали Gwyddion и разработанное авторами ПО. Полученные высокое значение СКО для ImageJ/Fiji обусловлены тем, что после применения операции threshold часть частиц объединилась, часть частиц была выделена верно, а у других был выделена лишь небольшая часть.

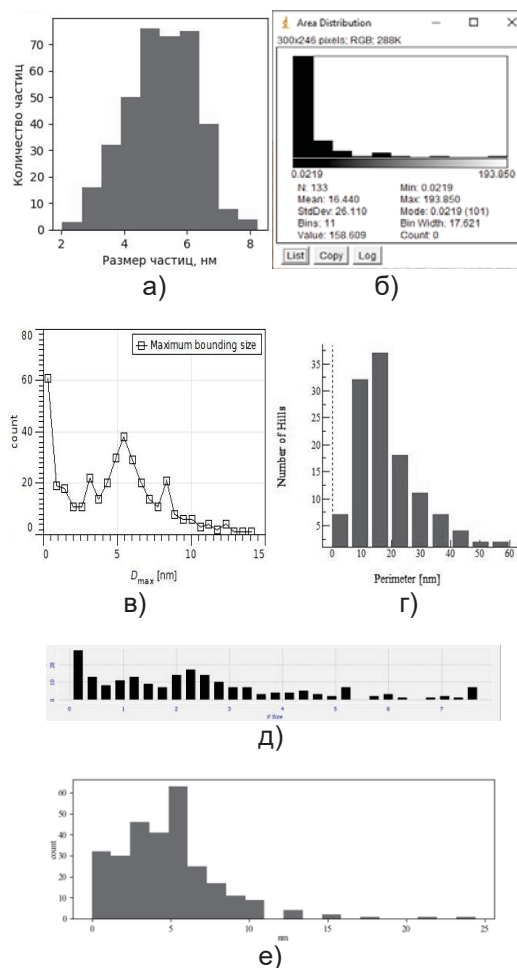


Рисунок 2 – Гистограммы распределения наночастиц: а) – гистограмма распределения размеров частиц и их количества, полученная в результате ручной разметки исследователя; б) – гистограмма из ImageJ/Fiji; в) – гистограмма из Gwyddion; г) – гистограмма из WSxM; д) – гистограмма из Nova е) гистограмма из собственного ПО

## АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НА СТМ-ИЗОБРАЖЕНИИ

Таблица 1 – Сводная таблица по результатам измерения наночастиц с применением различного ПО

	Количество обнаруженных частиц	Средний размер частиц, нм	
		МО	СКО
Ручная разметка	377	5,19	0,06
ПО			
ImageJ/Fiji	168 (-55,4%)	4,57	1,59
Gwyddion	<b>375(-0,5 %)</b>	3,87	0,46
WSxM	133(-64,7 %)	3,83	0,59
Nova	203(-46,2 %)	2,55	0,52
Собственное ПО	283(-24,9 %)	<b>4,79</b>	0,92

Необходимо отметить, что разработанное ПО уступает по количеству обнаруженных частиц программе Gwyddion и имеет наилучший результат по среднему размеру частиц (столбец МО таблицы 1).

Таким образом, разработанная программа не уступает другим программам, которые рассмотрены в данной работе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ahmad S, Ashrafi, Mansoor M.A., Rizwan S., Iqba I.M. An Overview of Recent Advances in the Synthesis and Applications of the Transition Metal Carbide Nanomaterials. *Nanomaterials*. 2021. 34 p.
- Veeman, Dhinakaran, Madabushi, Swapna, Mahesh, Varsha. Some Impact of Nanomaterials in Aerospace Engineering. 2021. 29 p.
- Wong I.Y., Bhatia S.N., Toner M. Nanotechnology: emerging tools for biology and medicine. *Genes Dev*. 27.2013. 12 p.

4. Bryce M.R. A review of functional linear carbon chains (oligoynes, polyynes, cumulenes) and their applications as molecular wires in molecular electronics and optoelectronics. *J. Mater. Chem. C* 9. 2021. 23 p.

5. Salem S. S., Eman N. H., Asem A. M., Wagdi E.-D.A. Comprehensive Review of Nanomaterials: Types, Synthesis, Characterization, and Applications. *Biointerface Res Appl Chem* 13. 2023. 30 p.

6. Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise E, Kaynig V, Longair M, Pietzsch T, Preibisch S, Rueden C, Saalfeld S, Schmid B, Tinevez JY, White DJ, Hartenstein V, Eliceiri K, Tomancak P, Cardona A. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods*. 2012. 7 p.

7. Publications and Data. Source: <<http://particlesnn.nsu.ru/text/publications>>

8. David Nečas, Petr Klapetek, Gwyddion: an open-source software for SPM data analysis, *Cent. Eur. J. Phys.* 10(1). 2012.P. 181-188

9. Horcasl. R., Fernández J.M., Gómez-Rodríguez J., Colchero J., Gómez-Herrero and A.M. Baró. *Review of Scientific Instruments*. 2007. 9 p.

10. НТ-МДТ Спектрум Инструментс [Электронный ресурс] // URL: <https://www.ntmdt-si.ru/> (дата обращения: 30.09.2024)

11. Egorov S, Arhipov I, Tatyana S. Information system for segmentation of nanoparticles in STM-images. *CEUR Workshop Proc* 2020. P. 130-134

**Шляхтина Татьяна Евгеньевна** – м.н.с. УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [shelktan@udman.ru](mailto:shelktan@udman.ru);

**Шляхтин Константин Алексеевич** – м.н.с. УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [shlyah-tink@udman.ru](mailto:shlyah-tink@udman.ru);

**Кирилов Андрей Игоревич** – к.т.н., м.н.с. УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [patt17@mail.ru](mailto:patt17@mail.ru);

**Ермолин Кирилл Сергеевич** – м.н.с. УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [ermolin@udm.ru](mailto:ermolin@udm.ru).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА ОБЪЕКТА ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ ПРИ НЕКОГЕРЕНТНОМ ОСВЕЩЕНИИ

**С. П. Пронин, С. В. Вейбер**

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

*В статье выполнено моделирование формирования границ изображения на основе двух функций – функции прямоугольного импульса и функции рассеяния линии в виде гауссоиды. В результате решения уравнения получен контур изменения освещенности, отличный от функции прямоугольного импульса. Как показывают вычисления, размер реального изображения по уровню 0,5 от максимального значения освещенности совпадает с размером идеального изображения при определенном условии. Критерием равенства размеров является соотношение параметра размытия к размеру идеального изображения. Соотношение не должно превышать 0,27.*

**Ключевые слова:** измерение, теневой метод, изображение, размер, свертка функций, уровень порога, критерий равенства размеров.

Для различных отраслей промышленности требуются бесконтактные измерительные средства геометрических размеров с высокой точностью и производительностью. Традиционно такими средствами были и остаются оптико-электронные системы [1-6]. Эти системы состоят из четырех основных блоков: источника света, объектива, многоэлементного фотоприемника и вычислительного блока. В качестве источника света используются когерентные и некогерентные. Как правило, в системах применяются объективы, но создаются и такие системы, которые не имеют объективов [2]. В последнем случае используется коллимированный световой пучок света. В качестве фотоприемников применяются ПЗС-фотоприемники.

Рассматривая ретроспективное развитие измерительных систем линейных размеров можно отметить, что широкое распространение получили системы, воплощающие теневой метод измерения [1-6].

Измеряемый объект создает в плоскости фотоприемника границы «свет-тень», по которым производится измерение размера изображения. Далее, по размеру изображения, вычисляется непосредственно размер контролируемого объекта. При вычислениях размера изображения устанавливают определенный пороговый уровень. В случае когерентного источника применяют уровень порога 0,25 от максимальной интенсивности в изо-

бражении. При некогерентном источнике – уровень 0,5.

Приведенные критерии являются общепринятыми [6]. Однако у авторов нет ответа на вопрос: всегда ли эти критерии выполняются? Если не всегда, то при каких условиях не выполняются?

Цель работы – смоделировать границы изображения объекта измерения при некогерентном освещении и оценить возможные изменения размеров по пороговому уровню 0,5

Представим идеальное изображение объекта измерения  $f(x)$  в виде прямоугольного импульса с единичной амплитудой и с размером  $a$ :

$$f(x) = \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \in \left[\frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right] \\ 0 & \text{при } x \notin \left[\frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right] \end{cases} \quad (1)$$

Для простоты анализа изображения исключим из рассмотрения влияние случайного шума, но рассмотрим влияние объектива через функцию рассеяния линии (ФРЛ)  $h(x)$ :

$$h(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\cdot\sigma^2}\right), \quad (2)$$

где  $\sigma$  – параметр размытия, который численно равен ширине ФРЛ по уровню 0,606.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА  
ОБЪЕКТА ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ  
ПРИ НЕКОГЕРЕНТНОМ ОСВЕЩЕНИИ

При отсутствии дисторсии у объектива модель реального изображения  $E(x)$  можно представить в виде свертки функций (1) и (2) [7]:

$$E(x) = f(x) * h(x) = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \exp\left(-\frac{(x-X)^2}{2\sigma^2}\right) dX. \quad (3)$$

Интеграл (3) является табличным [8]:

$$\int_0^x \exp(-a^2x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2a} \operatorname{erf}(ax), \quad (4)$$

поэтому модель распределения освещенности в изображении объекта (3) запишется в виде:

$$E(x) = \frac{\sigma\sqrt{\pi}}{2} \left[ \operatorname{erf}\left(\frac{x+\frac{a}{2}}{\sigma\sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x-\frac{a}{2}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right], \quad (5)$$

где  $\operatorname{erf}(\dots)$  – интеграл вероятности.

Точка  $x = a/2$  является границей идеального геометрического изображения. Вынесем в аргументах функции  $\operatorname{erf}(\dots)$  слагаемое  $a/2$  за скобки и обозначим отношение параметра размытия  $2\sigma$  к идеальному размеру изображения  $a$  как

$$M = \frac{2\sigma}{a}, \quad (6)$$

а отношение удвоенной координаты  $2x$  к размеру идеального изображения  $a$  как

$$z = \frac{2x}{a}. \quad (7)$$

Выполним нормировку (5) относительно максимального значения  $E(x)$ , которое достигается при  $x = 0$ . В итоге получим контур изображения в нормированном виде:

$$E(z) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{z+1}{M\sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{z-1}{M\sqrt{2}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{1}{M\sqrt{2}}\right)}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) можно найти теоретический пороговый уровень на границе изображения. Границе соответствует координата  $z = 1$ . Подставляя эту координату в (8), получим

$$E(1) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{2}{M\sqrt{2}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{1}{M\sqrt{2}}\right)}. \quad (9)$$

Допустим, объектив создает идеальное изображение. Такое условие означает, что размер ФРЛ равен нулю:  $\sigma = 0$ . Следовательно и соотношение  $M$  по формуле (6) тоже равно нулю. При  $M \rightarrow 0$  функция  $\operatorname{erf}(\infty) = 1$ . Следовательно, и числитель, и знаменатель равны единице, а значит освещенность приобретает значение 0,5 от максимальной освещенности. При увеличении соотношения  $M$  освещенность на границе идеального изображения уже не будет соответствовать уровню 0,5.

На рисунке приведено семейство графиков  $E(z)$  при различных соотношениях параметра размытия к размеру изображения (6).

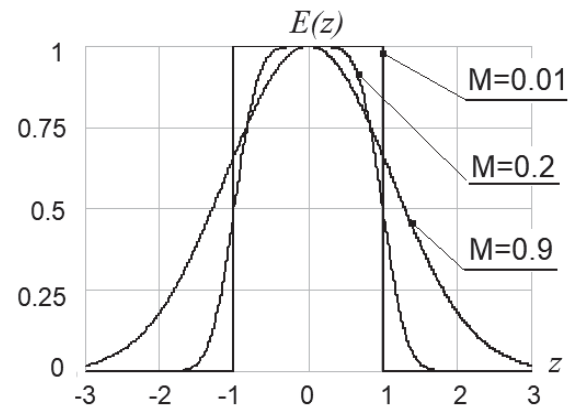


Рисунок 1 – Изменение границ изображения при различном соотношении размера размытия  $2\sigma$  к идеальному размеру изображения  $a$

Из графиков видно, что при  $M=0,01$  изображение имеет вид прямоугольного импульса, то есть идеальное изображение с резкими границами. Размер изображения превышает удвоенный параметр размытия в 100 раз. Если соотношение  $M=0,2$ , то размер изображения соответствует размеру идеального изображения только по уровню 0,5. Следовательно, размер изображения превышает удвоенный параметр размытия в 5 раз. Однако при  $M=0,9$  размер реального изображения по уровню 0,5 уже не соответствует размеру идеального геометрического изображения.

Расчеты по формуле (8) показывают, что освещенность на границе изображения  $E(z) = E(1) = 0,5$  остается неизменной, если соотношение  $M$  не превышает 0,27:

$$M = \frac{2\sigma}{a} \leq 0,27. \quad (10)$$

Неравенство (9) означает, что размер изображения должен превышать параметр размытия в  $3,7 \approx 4$  раза.

Для оценки погрешности измерения размеров в таблице приведены соотношения  $M$  и уровни порогов, при которых размер изображения равен размеру идеального геометрического изображения. Например, при  $M=0,3$  размеры будут равны по уровню 0,5004.

Величина обратная параметру  $M$  и равная значению 3,7 равносильна отношению сигнал/шум в электронике, если считать идеальный размер изображения  $A$  сигналом измерительной информации, а параметр размытия  $2\sigma$  – характеристикой шума. Известно, что для надежного выделения полезного сигнала на выходе фоточувствительного прибора с зарядовой связью обычно требуется получить отношение сигнал/шум более 3 [9].

M	E(1)	M	E(1)
0,25	0,5000	0,28	0,5002
0,26	0,5000	0,29	0,5003
0,27	0,5001	0,30	0,5004

Рисунок 2 – Соотношения  $M$  и уровни порогов, при которых размер изображения равен размеру идеального геометрического изображения

Полученный критерий (10) можно выразить непосредственно через размер объекта измерения  $A$ . Поскольку размер объекта и размер его изображения связаны линейным увеличением оптической системы  $\beta$  [10]:

$$a = \beta A, \quad (11)$$

то критерий (10) переписывается в виде:

$$M = \frac{2\sigma}{\beta A} \leq 0,27.$$

При измерении и контроле размеров изделия увеличение у оптической системы остается неизменным. Поэтому целесообразно записать критерий  $M$  как

$$M = \frac{2\sigma}{A} \leq \beta \cdot 0,27. \quad (12)$$

На основе (12) можно выразить следующее правило.

При измерении размеров изделий теневым методом в некогерентном пучке света по

уровню 0.5 от максимальной освещенности в изображении необходимо соблюдать условие. Отношение удвоенного размера параметра размытия ФРЛ к размеру объекта измерения должно быть не больше произведения  $\beta \cdot 0,27$ , где  $\beta$  - увеличение объектива измерительной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Palaguta K.A., Shiryayev V.A. and Grunakov N.V., "Shadow Optical Sensor of Linear Dimensions and Displacements Based on a Charge-Coupled Photodetector," 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, 2023, pp. 831-836, doi: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10138956.
2. Fischer, Jan & Radil, Tomas. (2003). Simple methods of edge position measurement using shadow projected on CCD sensor. Measurement Science Review.
3. Michailov V.N., Plechanova I.V., Finogenov L.V. Coherent object dimension measurement method with the outline images registration on a photodiode array. 2064:398-407. doi: 10.1117/12.150309
4. Chursin, Yury & Fedorov, Evgeny. (2015). Methods of resolution enhancement of laser diameter measuring instruments. Optics & Laser Technology. 67. 86–92. 10.1016/j.optlastec.2014.09.017.
5. Li, B. Research on geometric dimension measurement system of shaft parts based on machine vision. J Image Video Proc. 2018, 101 (2018). <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0339-x>
6. Двойнишников, С.В. Способ определения края объектов цилиндрической формы на изображении теневым методом размерного контроля / С.В. Двойнишников, В.В. Рахманов, И.К. Кабардин, В.Г. Меледин, Д.О. Семенов // Автотметрия.– 2022.– Т. 58. – № 1.– С.40-46
7. Обработка изображений и цифровая фильтрация: Пер с англ./ Под ред. Т.Хуанга. – Москва: Мир, 1979. –320 с.
8. Прудников, А.П. Интегралы и ряды / А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, О.И. Маричев. – Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. –800 с.
9. Носов, Ю.Р. Основы физики приборов с зарядовой связью / Ю.Р. Носов, В.А. Шилин. – Москва: Наука, 1986. – 320 с.
10. Апенко, М.И. Прикладная оптика / М.И. Апенко, А.С. Дубовик. – Москва: Наука, 1982. – 352 с.

**Пронин Сергей Петрович** – д.т.н., профессор каф.ИТ, АлтГТУ, e-mail: [sppronin@mail.ru](mailto:sppronin@mail.ru);

**Вейбер Сергей Владимирович** – магистрант каф. ИТ АлтГТУ, e-mail: [veiber2014@mail.ru](mailto:veiber2014@mail.ru).



## МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСТРУКТУР УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

**К. С. Коробков, В. И. Мосоров, Н. Б. Хаптахоева**

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления  
г. Улан-Удэ

*В данном исследовании рассматривается задача классификации микроструктуры углеродистых сталей посредством использования сверточных нейронных сетей (CNN). Нейронная сеть обладает последовательной архитектурой, включающей чередующиеся сверточные и пулинговые слои, что способствует эффективному извлечению признаков из изображений. После обучения на 270 изображениях модель продемонстрировала точность 96,67% на контрольном наборе данных через 50 эпох обучения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предложенная архитектура нейронной сети эффективно решает задачу классификации микроструктур, достигая высокой точности и минимальной ошибки ( $val\_loss = 0,05$ ).*

**Ключевые слова:** сверточные нейронные сети (CNN), металлография, автоматизация, углеродистые стали, микроструктура.

### Введение

Классификация микроструктуры сталей и сплавов представляет собой одну из важнейших задач в сфере металловедения, поскольку она непосредственно определяет понимание механических характеристик материалов и их поведения в разнообразных эксплуатационных условиях. Эксперты традиционно проводят оценку микроструктур визуально, основываясь на своих знаниях и опыте. Тем не менее, данный подход может привести к субъективным заключениям и неоднозначным итогам, ведь восприятие микроструктур может меняться в зависимости от уровня подготовки и опыта специалиста. Это вызывает необходимость разработки автоматических методов, обеспечивающих более объективные и повторяемые результаты.

Основная сложность, с которой сталкиваются исследователи, заключается в сложности и вариативности микроструктур, которые могут принимать различные формы в зависимости от химического состава, методов обработки и условий эксплуатации. Визуальная идентификация таких микроструктур требует не только глубоких знаний, но и значительных временных ресурсов на анализ, что делает этот процесс менее эффективным и подверженным ошибкам.

Сверточные нейронные сети (CNN) являются одной из наиболее перспективных технологий для решения задачи классификации микроструктур. Они обладают способностью выявлять сложные паттерны и признаки

в изображениях, что делает их идеальными для задач, связанных с анализом визуальных данных. CNN способны обрабатывать значительные объемы данных и обеспечивать высокую точность классификации, что существенно ускоряет процесс анализа по сравнению с традиционными методами.

Применение CNN в металлографии открывает новые возможности:

– Автоматизация процесса анализа: искусственные нейронные сети способны обучаться на обширных наборах данных, что дает им возможность эффективно распознавать и классифицировать микроструктуры без необходимости вмешательства человека. Это не только ускоряет весь процесс, но и уменьшает вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором.

– Повышение точности классификации: глубокое обучение позволяет значительно увеличить точность классификации, принимая во внимание множество факторов, которые могут оказывать влияние на микроструктуру. Например, модели могут быть обучены различению микроструктур, которые выглядят похоже, но обладают разными механическими характеристиками.

– Анализ данных в реальном времени: современные алгоритмы машинного обучения способны обрабатывать информацию в режиме реального времени, что позволяет выполнять анализ микроструктур непосредственно на стадии производства и принимать решения на основе получаемых данных.

Нейронные сети находят применение в следующих областях знаний:

– Классификация микроструктур: разработка специализированных моделей, которые способны различать и классифицировать структуры различных сталей и сплавов [1], а также выявлять изменения в микроструктуре, возникающие в результате различных методов обработки материала. В частности, в некоторых исследованиях была создана сверточная нейронная сеть для распознавания дендритной микроструктуры [2].

– Сегментация изображений: в количественном металлографическом анализе сегментация занимает ключевую роль. В исследовании [3] для этой задачи использовалась сеть U-Net, а в работе [4] — сеть W-Net. Эти подходы позволяют выделять отдельные элементы микроструктуры, что значительно повышает точность анализа.

Основная цель данной работы заключается в разработке нейронной сети, предназначенной для классификации марок углеродистых конструкционных сталей на основе изображений их микроструктуры.

#### **Методы**

Предварительная обработка данных и формирование базы данных (Dataset).

Исследуемыми материалами были выбраны стали 20, 45 и У10. Металлографические образцы этих сталей были подготовлены после отжига в лабораторной камерной печи СНОЛ-12/12, потому что именно после данного вида термической обработки границы зерен становятся максимально выраженными. Для химического травления использовался 4% спиртовой раствор азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  в течении 5-15 секунд в зависимости от марки стали.

Для создания базы данных было выполнено 300 снимков микроструктур, по 100 для каждой марки стали. Фотографии были сделаны с использованием металлографического микроскопа НЕОРНОТ-21 с цифровой камерой LEVENHUK для фиксации изображения при увеличении в 400 раз.

Хранение изображений осуществлялось на Google Drive, а программирование выполнялось на языке Python в среде Google Colaboratory. Для построения, обучения и тестирования нейронной сети, представленной в этой статье, использовалась библиотека TensorFlow. Предварительное аннотиро-

вание изображений микроструктур не проводилось.

Были сформированы обучающая выборка из 270 изображений и тестовая выборка из 30 изображений микроструктур. Входные данные представляют собой стандартные RGB-изображения размером 100x100 пикселей, что обеспечивает достаточное разрешение для анализа микроструктуры сталей. Нейронная сеть обучается на парах данных, которые организованы в наборе данных в формате  $\langle X, Y \rangle$ . Здесь X обозначает изображение микроструктуры сталей, а Y — это соответствующий эталонный класс, который представляет собой название конкретного типа стали.

Для кодирования изображений использовалась функция `image.img_to_array(img)`: эта функция из библиотеки Keras преобразует изображение `img` в массив NumPy. Этот массив представляет собой многомерный массив, где каждое значение соответствует пикселю изображения. Изображение `img` — цветное изображение, массив будет иметь форму (`height, width, channels`), где `channels` равен 3 для RGB-изображений (красный, зеленый, синий). Название класса (марки стали) кодируется в одномерный вектор.

На рисунке 1 показан пример того, как закодирована информация, содержащаяся в наборе данных Dataset.

#### **Результаты исследования**

##### **Разработка структуры нейронной сети**

В данной работе была применена классическая последовательная архитектура нейронной сети, типа Sequential. Эта структура позволяет строить модель, в которой слои располагаются один за другим, что упрощает процесс проектирования и настройки модели. Данная архитектура включает в себя последовательное чередование сверточных слоев (Convolutional) и слоев подвыборки (MaxPooling), что способствует эффективному извлечению признаков из изображений. В завершающей части сети располагаются полностью связанные слои (FullyConnected), которые выполняют функцию классификации изображений. Выходной слой (Dense) состоит из 3 нейронов, что соответствует количеству классов стали. Таблица 1 иллюстрирует структуру нейронной сети, включая типы слоев, их параметры, выходные размеры и количество параметров.

## МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСТРУКТУР УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

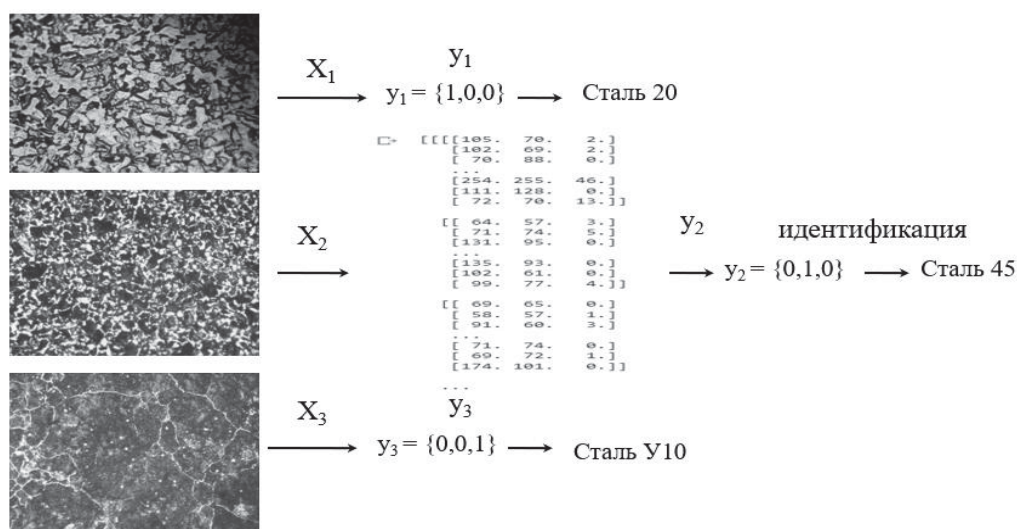


Рисунок 1 – Закодированная информация, сохранённая в наборе данных (Dataset)

Ниже приведено более детальное описание структуры и компоненты этой модели.

**Сверточные слои (Conv2D).**

**conv2d:** В первом сверточном слое происходит обработка входных изображений с использованием 16 фильтров размером  $3 \times 3$ , что приводит к формированию выходного тензора размером  $(100, 100, 16)$ . В этом слое насчитывается 1216 параметров.

**conv2d\_1:** Во втором сверточном слое применяются 32 фильтра того же размера  $3 \times 3$ , и после этапа подвыборки получается выход размером  $(50, 50, 32)$ . Общее количество параметров в этом слое составляет 12832.

**conv2d\_2:** Третий сверточный слой включает в себя 64 фильтра и генерирует выходные данные размером  $(25, 25, 64)$ . Количество параметров в этом слое достигает 51264.

**conv2d\_3:** Четвертый сверточный слой использует 128 фильтров, что приводит к формированию выходного тензора размером  $(12, 12, 128)$ . В этом слое содержится 204928 параметров.

**Слои подвыборки (MaxPooling2D).**

После каждого сверточного слоя в архитектуре нейронной сети располагаются слои подвыборки, которые уменьшают размерность выходных данных. Этот процесс не только способствует снижению вычислительных затрат, но и позволяет выделить наиболее значимые признаки, необходимые для эффективного анализа. Слои подвыборки помогают сосредоточиться на ключевых характеристиках входных данных, что в конечном итоге улучшает производительность мо-

дели и ее способность к обобщению. Каждый слой MaxPooling2D использует размер окна  $2 \times 2$  и шаг 2, что уменьшает размерность изображения вдвое.

**Слой выравнивания (Flatten).**

После сверточных и подвыборочных слоев данные выравниваются в одномерный массив (4608 элементов), что позволяет передать их в полносвязанные слои.

**Полносвязанные слои (Dense).**

**dense:** первый полносвязанный слой содержит 1024 нейрона. Это основной слой, который обрабатывает извлеченные признаки и формирует их для дальнейшей классификации. Количество параметров здесь составляет 4719616.

**dropout:** слой регуляризации Dropout, который отключает случайный процент нейронов во время обучения, чтобы предотвратить переобучение.

**dense\_1:** второй полносвязанный слой содержит 256 нейронов. Количество параметров — 262400.

**dropout\_1:** слой регуляризации Dropout, аналогичный предыдущему.

**dense\_2:** выходной слой, который имеет 3 нейрона, соответствующих количеству классов, для которых производится классификация. Количество параметров в этом слое составляет 771.

**Общие параметры:**

Общее количество параметров: 5253027 (20.04 MB).

Обучаемые параметры: все параметры в данной модели являются обучаемыми.

Необучаемые параметры: в данной архитектуре нет необучаемых параметров.

**Компиляция и обучение модели**

Для модели готовой к обучению используется метод - `model.compile`, чтобы настроить ее параметры. В этом методе задаются ключевые компоненты:

Функция потерь, которая измеряет разницу между предсказаниями модели и реальными значениями. Была использована - `loss='sparse_categorical_crossentropy'` для задачи многоклассовой классификации.

Алгоритм оптимизации, который будет обновлять веса модели на основе полученных данных, устанавливается как `optimizer='adam'`, который является одним

из наиболее эффективных алгоритмов оптимизации.

Метрика, отслеживаемая в процессе обучения и валидации, определяется как `metrics=['accuracy']`, что позволяет оценивать долю правильных предсказаний модели.

После настройки модели процесс обучения запускается с помощью метода `model.fit`, который принимает подготовленные данные.

После 50 эпох обучения сверточной нейронной сети точность модели на обучающем наборе достигла 100%, а на тестовом — 96,67%. Динамика изменения точности модели представлена на рисунке 2. Величина ошибки `val_loss` на 50-й эпохе составила 0,05.

Таблица 1 – Архитектура сверточной нейронной сети

Уровень	Тип	Параметры	Выходной размер	Количество параметров
1	Сверточный слой	16 фильтров, 3x3	(100, 100, 16)	1,216
2	MaxPooling	Размер окна 2x2	(50, 50, 16)	0
3	Сверточный слой	32 фильтра, 3x3	(50, 50, 32)	12,832
4	MaxPooling	Размер окна 2x2	(25, 25, 32)	0
5	Сверточный слой	64 фильтра, 3x3	(25, 25, 64)	51,264
6	MaxPooling	Размер окна 2x2	(12, 12, 64)	0
7	Сверточный слой	128 фильтров, 3x3	(12, 12, 128)	204,928
8	MaxPooling	Размер окна 2x2	(6, 6, 128)	0
9	Flatten	-	4608	0
10	Полносвязный слой	1024 нейронов	1024	4,719,616
11	Dropout	50% отключение	-	0
12	Полносвязный слой	256 нейронов	256	262,4
13	Dropout	50% отключение	-	0
14	Полносвязный слой	3 нейрона (выход)	3	771

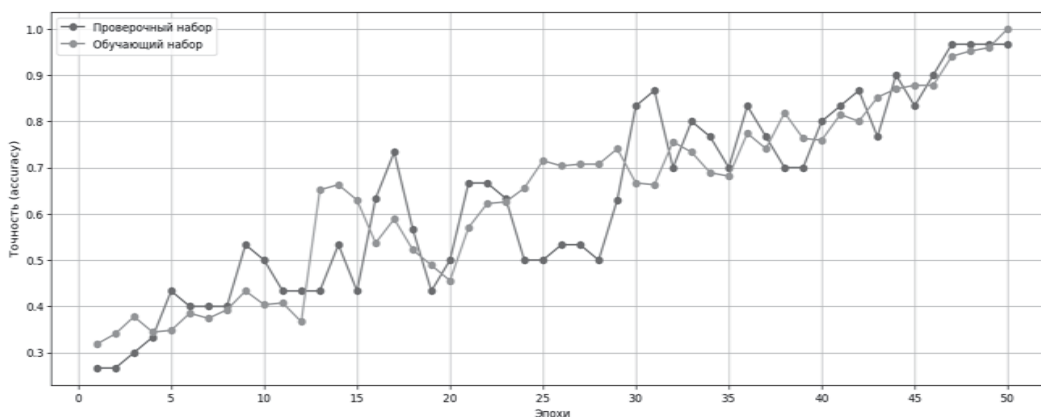


Рисунок 2 – График изменения точности модели на проверочном и обучающем наборе в зависимости от количества эпох обучения

## МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСТРУКТУР УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

### Выводы

Нейронная сеть, используемая в металлографических исследованиях, с четырьмя сверточными слоями достигла точности 96,67%, а ошибка составила 0,05. Общее количество параметров, на которых обучалась данная модель составила 5253027.

График показывает положительную динамику в обучении модели, с увеличением точности на обоих наборах. Это свидетельствует о том, что модель, хорошо справляется с поставленной задачей, но важно следить за переобучением.

К концу обучения разница между точностью на обучающем и проверочном наборе сокращается, что является положительным знаком, указывающим на то, что модель начинает лучше обобщать.

Архитектуры сверточных нейронных сетей отлично справляются с задачами классификации изображений благодаря тому, что объединяют в себе сверточные слои для выделения признаков и полносвязанные слои для классификации, одновременно обеспечивая регуляризацию для улучшения устойчивости модели.

В перспективе предполагается расширение базы данных путем добавления большего числа классов сталей, а также увеличения количества изображений для каждой марки.

*Результаты исследований выполнены при финансовой поддержке ФГБОУ ВО ВСГУТУ в рамках гранта «Молодые ученые ВСГУТУ» (Приказ 11760д от 27.04.2024).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мосоров, В.И. Применение нейронных сетей в металлографии / В.И. Мосоров, Н.Б.Хаптахаяева, К.С.Коробков // Ползуновский вестник. – 2024. – № 2. – С. 182–185.

2. Аристов, Г.В. Распознавание и классификация микроструктуры металлов и сплавов с использованием глубоких нейронных сетей/ Г.В. Аристов, А.В. Ключев // GraphiCon 2017: тр. 27-й Между-нар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению. Пермь, 24–28 сент. 2017 г. / АНО науч. общ-во Графикон, Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь: Изд-воЦентрПГНИУ, 2017. –С. 180–183.

3. Kovun, V.A. On development of models and algorithms for automated metallographic measurement of visible metal slice grain sizes / V.A. Kovun, I.L. Kashirina // Journal of Physics: Conference Series, 2020.

4. Ковун, В.А. Использование нейронной сети W-Net в металлографическом анализе образца стали/ В.А. Ковун, И.Л. Каширина/ информатика: проблемы, методы, технологии, Материалы XXI Международнойнаучно-методической конференции. Воронеж, 2021 / Изд-во «Вэлборн», 2021.–С. 760–767.

**Коробков Константин Сергеевич** – аспирант кафедры «Металловедение и технологии обработки материалов» ФГБОУ ВО Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, тел. 89140553976, e-mail:k\_korobkov00@mail.ru;

**Мосоров Владимир Иванович** – к.т.н., доцент, кафедры «Металловедение и технологии обработки материалов» ФГБОУ ВО Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, тел. 89021647562, e-mail:vlmosorov@yandex.ru;

**Хаптахаяева Наталья Баясхалановна** – к.т.н., доцент, факультет «Факультет компьютерных наук и технологий» ФГБОУ ВО Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, тел. 89834208333, e-mail:khapnb@gmail.com.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ

<sup>1,3</sup>И. А. Суторихин, <sup>2</sup>В. А. Соловьев, <sup>1</sup>Г. А. Приймак

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН

<sup>2</sup>Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр Информационных  
и вычислительных технологий  
г. Новосибирск

*Приведено описание измерительного комплекса для контроля спектральной подводной освещенности, температуры и малых скоростей движения воды в водоемах и водотоках. Комплекс проходил испытания в ходе экспедиций 2023-24 гг. на Телецком озере. Приводятся результаты проведенных измерений, обсуждаются полученные данные.*

**Ключевые слова:** спектральная подводная освещенность, температура, скорость движения воды, измерительный комплекс, 3D-модель, блок регистрации, блок обработки данных.

Мониторинг окружающей среды позволяет получить важные данные о явлениях и процессах, происходящих в ней. Непрерывные измерения дают информацию о динамике изменения физических величин с целью составления прогнозов метеорологических условий и построения моделей различных явлений. Гидрофизические измерения очень важны для определения состояния водных объектов. Однако проведение постоянных измерений в этом случае затруднительно из-за влияния погодных условий (сильное волнение водной поверхности, большая глубина), и конструктивных требований к приборам контроля (высокое давление на больших глубинах, высокая концентрация солей в морской и некоторой озерной воде, проблемы с передачей беспроводного сигнала под водой, сложность с автономным размещением). Все перечисленные аспекты приводят к тому, что приборы контроля гидрофизических параметров водоемов используются ограниченно и имеют высокую стоимость.

Специалисты из ИВЭП СО РАН и АлтГТУ разработали измерительный комплекс для проведения исследований на водных объектах. Измерительный комплекс включает датчики контроля спектральной подводной освещенности, температуры и скорости течения.

Устройство контроля спектральной подводной освещенности состоит из двух герме-

тичных измерительных устройств, способных выдерживать давление до 3 атмосфер, и блока обработки и отображения информации. В верхней части измерительного устройства находится прозрачное окно из матово-белого стекла, через которое солнечный свет проникает внутрь устройства. При помощи фотодиода происходит измерение интенсивности потока солнечного света, проходящего через поверхность воды. Для выделения необходимого спектра солнечного излучения используется поворотный барабан с устанавливаемыми на него интерференционными светофильтрами, которые выбираются, исходя из значений максимумов поглощения фотосинтетических пигментов (рисунок 1). Значения напряжения, измеренные на фотодиоде, передаются по гибкому многожильному кабелю на блок обработки, где происходит расчет значений освещенности и сохранение результатов. Переключение светофильтров происходит автоматически при помощи шагового двигателя. Дополнительно определяется температура и глубина погружения. Подробно структура устройства и функциональные особенности представлены в работах [2, 3].

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ

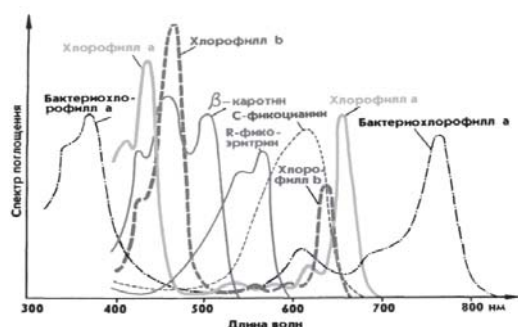


Рисунок 1 – Спектры поглощения фотосинтетических пигментов [4]

Устройство контроля скорости течения основано на принципе измерения скорости вращения крыльчатки подобно бытовому расходомеру воды. Расширитель служит для увеличения скорости потока воды, конструктивно он выполнен в виде горловины. Крыльчатка с магнитом преобразует скорость течения жидкости во вращательное движение. Датчик Холла служит для регистрации скорости вращения крыльчатки. Разъём необходим для подключения кабеля с питанием и сигнальным проводом. Устройство откалибровано в стендовых условиях в бассейне с водой. Штанга с измерителем закреплялась на подвижной каретке. Скорость движения каретки задавалась электродвигателем с шестеренчатым редуктором и могла изменяться в диапазоне от 1 до 40 мм/с [ПА].



Рисунок 2 – Структурная схема прибора для измерения малых скоростей течения

Устройства контроля профиля температуры выполнены в виде двух термокос. Герметичные датчики температуры DS18B20 расположены на погружаемом в воду кабеле через 0,5м и 1м общим количеством 20 и 61 шт. Таким образом, измерения температуры проводятся по глубине до 60 м. Первый датчик находится у поверхности. Частота опроса – каждые 30 секунд.



Рисунок 3 – Внешний вид устройств контроля

С целью комплексного и наглядного анализа измеряемых параметров разработана 3D-модель происходящих физических процессов с использованием игрового движка Godot Engine. В программе можно отобразить концентрацию взвешенных и растворенных веществ в виде распределенного облака точек, плотность и цвет которых меняются в зависимости от значения концентрации. Скорость и направления течения отображаются в виде линий-векторов. Длина вектора задает значение скорости, компас позволяет определить направление относительно стороны света. Освещенность (в %), глубина и температура указываются в измеренных точках в виде числового параметра.

Испытания измерительного комплекса проводились в 2024 г. Ниже приведены результаты исследований, полученные на озере Телецкое, в августе 2024 г.

Профиль температуры измерялся напротив стока реки Кыга и рядом со стоком при помощи 10-метровой термокосы. Датчики были расположены с шагом 0,5 м, поэтому регистрация температуры производилась в 21 точках, с учетом первого нижнего датчика. Скорость течения реки определялась при помощи измерителя скорости течения в разных местах русла, которая варьировалась от 5 до 8 см/с. Снос по координатам от берега для первой станции составил 89 м, для второй – 23 м. Время измерения: 5 минут.

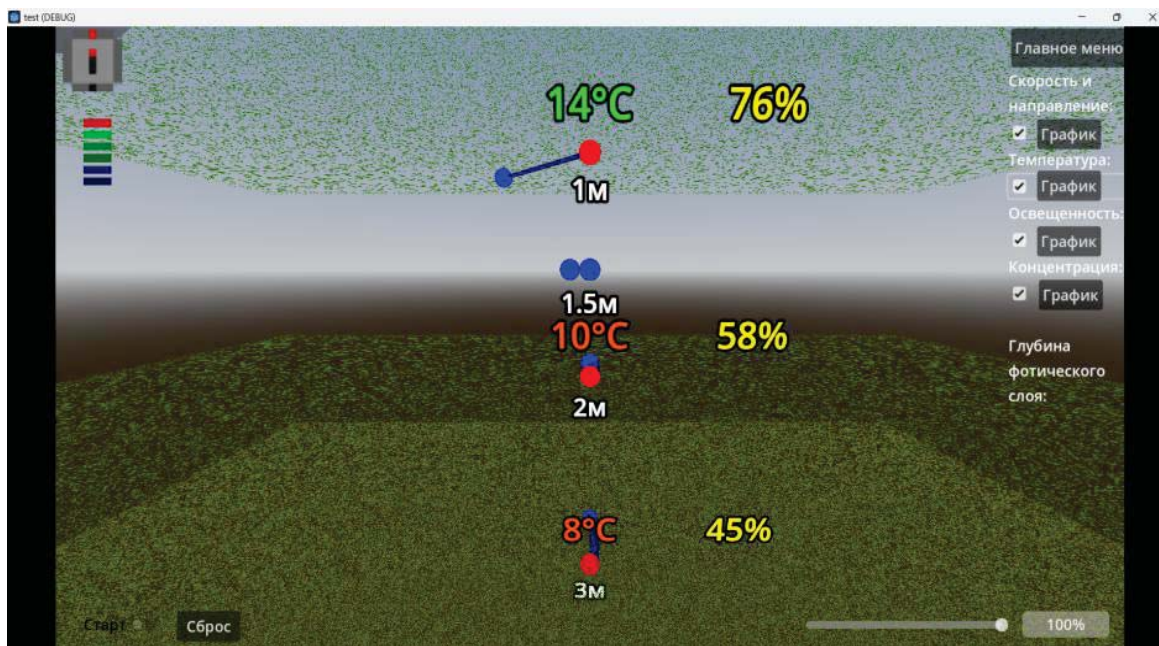


Рисунок 4 – Отображение нескольких параметров в программе моделирования при построении 3D-модели

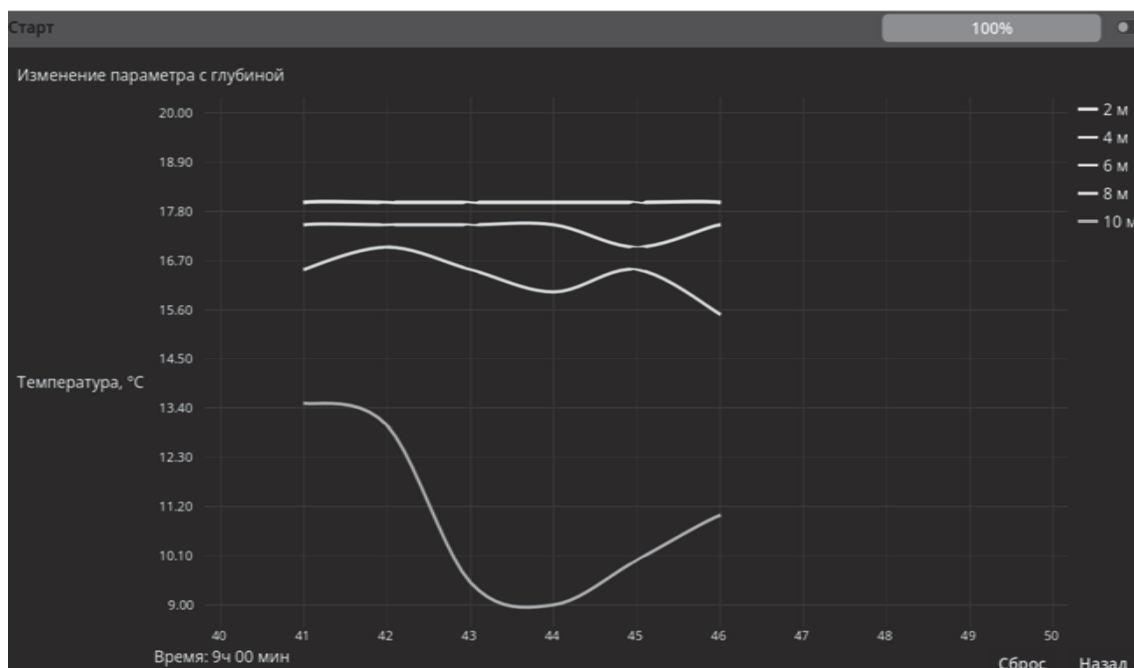


Рисунок 5 – Профиль температуры напротив стока р. Кыга, построенный в разработанной программе моделирования



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ  
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ

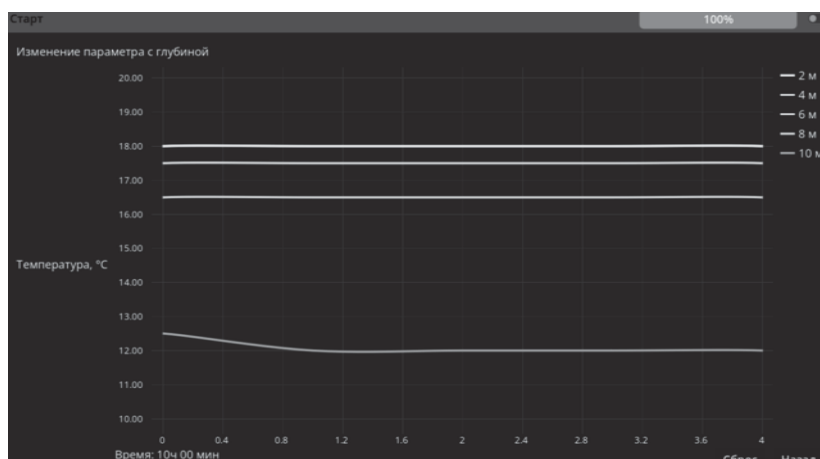


Рисунок 6 – Профиль температуры рядом со стоком р. Кыга, построенный в разработанной программе моделирования

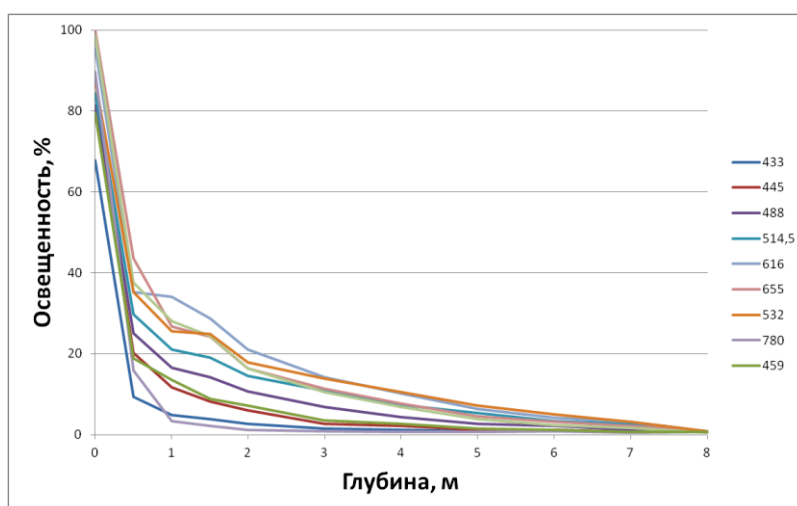


Рисунок 7 – Динамика спектральной подводной освещенности на разных длинах волн для ст.10 Корбу

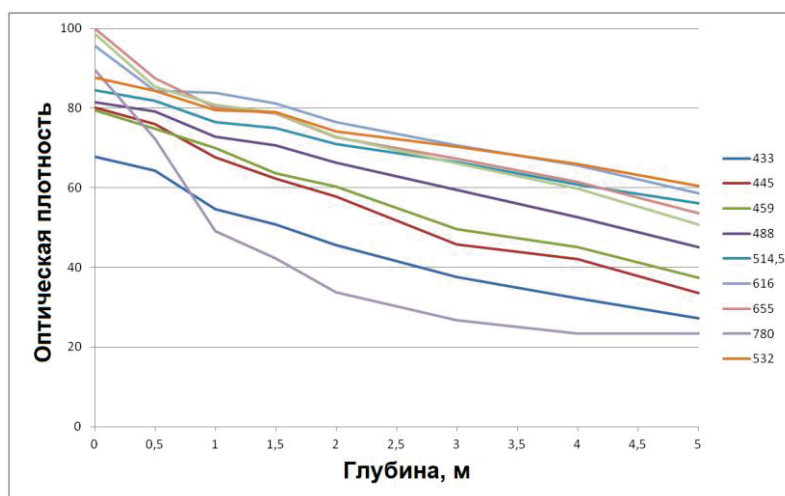


Рисунок 8 – Зависимость оптической плотности от глубины на разных длинах волн для ст.10 Корбу

Судя по полученным данным, наблюдается явное воздействие стока реки. У поверхности воды не замечено сильных флуктуаций. На глубине 7-10 м напротив стока реки наблюдаются флуктуации по температуре до 4 гр. Вероятно, это связано с разницей по температуре в реке и озере. При перемешивании водных масс различной плотности и температуры возникают температурные волны.

При помощи устройства контроля спектральной подводной освещенности выполнены измерения по глубине в нескольких точках на длинах волн: 433,445, 459, 488, 514,5, 532, 616, 655 и 780 нм. На рисунке 7 показан результат изменения освещенности по глубине относительно освещенности на водной поверхности. На рисунке 8 отражена зависимость оптической плотности от глубины как логарифм отношения освещенности на водной поверхности к освещенности на соответствующей глубине. Измерения проводились 5 августа 2024 года, по времени в 9:50 часов в безоблачную погоду. Скорость ветра составляла 1,6 м/с. Координаты станции: 51, 68347 с.ш., 87,66856 в.д.

На длинах волн 459, 616, 655 и 780 наблюдается нелинейное изменение графика. 780 нм соответствует инфракрасной области спектра, данный диапазон длин волн сильно поглощается водой. Длины волн 459 нм и 655 нм соответствуют максимуму поглощения хлорофилла-а, который входит в состав фитопланктонных сообществ и, в зависимости от внешних условий, довольно неравномерно распределен по глубине водоемов, а 616 нм – фикоцианину.

Таблица 1 – Концентрация хлорофилла-а в центральной части Камгинского залива

Глубина, м	Концентрация хлорофилла-а (С), мг/м <sup>3</sup>
0	0,62
5	1,15
10	0,14

Таблица 2 – Концентрация хлорофилла-а в береговой зоне Камгинского залива

Глубина, м	Концентрация хлорофилла-а (С), мг/м <sup>3</sup>
0	1,91
5	1,52
10	0,81

Например, для центральной части Камгинского залива на глубинах 0, 5 и 10 м концентрация хлорофилла-а показана в таблице 1. В

береговой зоне концентрация выше за счет лучшего прогрева поверхностного слоя воды солнцем (таблица 2).

### Обсуждение и выводы

Разработанный измерительный комплекс прошел апробацию для контроля гидрофизических параметров пресноводных водоемов. Приведенные натурные данные могут быть использованы при моделировании гидрофизических процессов водоемов. Например, для определения взаимного влияния температуры и скорости речного стока на возникающие температурные флуктуации в озере.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерение малых скоростей подледных течений на разных глубинах Телецкого озера / И. А. Суторихин, С. А. Литвиненко, В. А. Соловьев, А. Р. Каменев // Ползуновский альманах. – 2021. – № 4. – С. 39-42. – EDN FMRKZS.
2. Суторихин, И. А., Соловьев, В. А., Кривобок, Д. Е. Измерительный комплекс для оценки спектральной подводной освещенности на разных глубинах водоемов // Известия Алтайского государственного университета. – 2024. – № 4(138). – С. 42-48 DOI: 10.14258/izvasu(2024)4-05. URL: <http://izvestiya.asu.ru/article/view/%282024%294-05>.
3. Патент № 2817043 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/59. Способ и устройство измерения распределения спектральной солнечной освещенности в фотическом слое водоемов: № 2022130488: заявл. 23.11.2022; опубл. 09.04.2024 / И. А. Суторихин, Д.Е. Кривобок, В.А. Соловьев, А.Р. Каменев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный университет". – EDN MIZMIR.
4. Попик, А.Ю. Динамика спектров лазерно-индуцированной флюоресценции хлорофилла-а фитопланктона в условиях меняющихся параметров внешней среды: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.21. Владивосток, 2015. 145 с.

**Суторихин Игорь Анатольевич** – д.ф.м.н., профессор, г.н.с., ИВЭП СО РАН, ведущий научный сотрудник ФИЦ ИВТ тел.: 8(3852)638997, e-mail: sia@iverp.ru;

**Соловьев Виталий Андреевич** – ст. преподаватель каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(3852)290913, e-mail: solvitali@mail.ru;

**Приймак Григорий Александрович** – соискатель ИВЭП СО РАН, тел.: 8(3852)638997, e-mail: barnaul.jdc@mail.ru.

УДК 664:637.5.82:004.89

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Н. А. Отставнов, А. А. Глебов**

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

*Обоснована актуальность модернизации технологических линий и оборудования на современном пищевом предприятии с использованием элементов искусственного интеллекта. Предложен способ внедрения системы искусственного интеллекта для улучшения производственного процесса, обоснован выбор наиболее подходящего способа. Приведены результаты промышленных испытаний модернизированного оборудования с применением искусственного интеллекта на базе существующей производственной площадки.*

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, пищевое производство, модернизация производства, поломки оборудования, машинное обучение.

### **Введение**

Современные производственные линии пищевых предприятий сталкиваются с рядом проблем, среди которых периодические внезапные поломки оборудования, сложности в предсказании времени для необходимого обслуживания и, вследствие этого, снижение эффективности предприятия в результате вынужденных ремонтных простоев [1]. Здесь же необходимо добавить, что процесс устранения аварийных поломок на большинстве пищевых технологических линий крайне трудоемок и затратен, в том числе и вследствие необходимости проведения дополнительной санации оборудования.

Таким образом, целью работы являлось повышение эффективности пищевого производства путем внедрения технологий искусственного интеллекта (artificial intelligence, далее AI) и машинного обучения (machine learning, далее ML), которые позволяют осуществлять предсказательное обслуживание оборудования и оптимизировать производственные процессы за счет сокращения затрат на ремонт и аварийных простоев оборудования технологических линий.

### **Описание объекта модернизации**

Процесс производства замороженных полуфабрикатов из теста на одном из пищевых предприятий города Барнаула осуществляется с помощью двух автоматизированных аппаратов, каждый из которых способен производить до одной тонны готовой продукции за рабочую смену. Схема процесса производства представлена на рис. 1.

Ингредиенты (тесто, фарш и др.) загружаются в аппарат формовки 1, где полуфабрикаты из теста формируются в исходный продукт и, далее, во фритюрном аппарате 2 проходят обжаривание. Сформированные и термически обработанные полуфабрикаты из теста попадают на ленточный конвейер 3 и по нему направляются в шоковую камеру 4, где проходят этап сверхбыстрой заморозки. Затем замороженные полуфабрикаты из теста фасуют и отправляют на склад хранения готовой продукции.

### **Методы модернизации**

В процессе выбора системы для повышения эффективности производства и предотвращения аварийных простоев оборудования производственной линии, мы рассматривали несколько вариантов, которые могли бы помочь решать проблемы с поломками оборудования. Кратко рассмотрим некоторые из них, и начнем с традиционных методов.

1. Традиционное профилактическое обслуживание (планово-предупредительный ремонт) [1, 4].

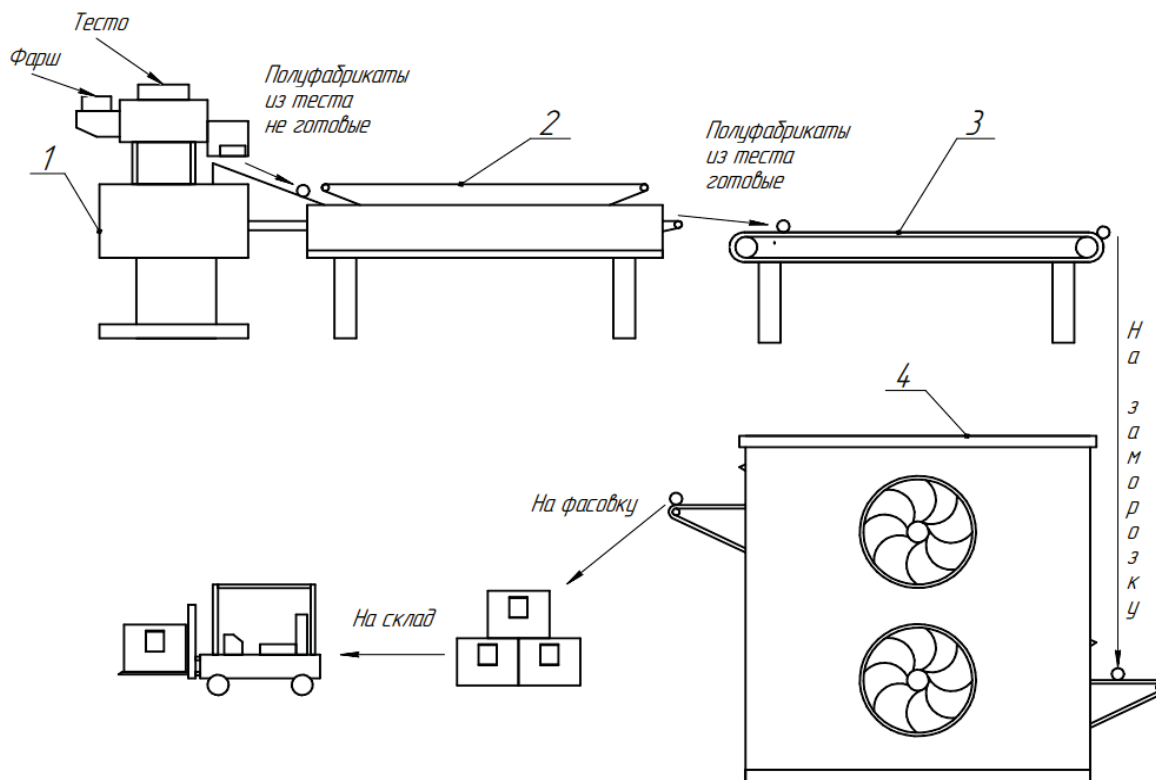
Это самый базовый подход, при котором техническое обслуживание оборудования осуществляется через определенные интервалы времени, вне зависимости от фактического состояния оборудования. Преимущество этого метода заключается в простоте и привычности для технического персонала. Однако недостатком является высокий риск выполнения ненужного обслуживания, что может приводить к увеличению затрат.

2. Оперативное обслуживание на основе сигналов о поломке [1,4].

В данном случае обслуживание начинается только тогда, когда оборудование уже выдает ошибку или сигнализирует о необходимости ремонта. Преимущество метода в том, что ресурсы не расходуются зря. Однако задержка в обнаружении проблемы может привести к простоям оборудования, что чревато дополнительными потерями.

### 3. Диагностические системы без AI [4].

Существуют системы, которые отслеживают состояние оборудования с помощью датчиков, но без применения ML. Они собирают данные в режиме реального времени, но поломки можно обнаружить только при отклонении значений от заранее заданных порогов. Основное отличие от ML — невозможность предсказывать поломки на основе сложных взаимосвязей между параметрами.



1 – Формовщик полуфабрикатов из теста; 2 – фритюрный аппарат;  
3 – транспортер; 4 – шоковая камера

Рисунок 1 – Схема процесса производства замороженных полуфабрикатов из теста

Таким образом, основные (традиционные) системы обслуживания оборудования имеют ряд существенных недостатков.

Прогностическое обслуживание с машинным обучением было выбрано по следующим причинам:

- Анализ сложных зависимостей: AI способен анализировать корреляции между множеством параметров (температура, вибрация, давление и т.д.) и прогнозировать будущие поломки, что невозможно при традиционных подходах [2, 3].

- Оптимизация затрат: за счет точного прогнозирования, можно избежать ненужных затрат на профилактическое обслуживание.

- Минимизация внеплановых (аварийных) остановок: с применением прогностиче-

ского обслуживания можно значительно сократить время простоя оборудования и повысить общую производительность.

В процессе модернизации производственной линии для выпуска замороженных полуфабрикатов из теста мы рассматривали несколько вариантов внедрения технологий AI. Основная задача состояла в том, чтобы улучшить мониторинг и диагностику состояния оборудования, а также (по возможности) автоматизировать процесс обслуживания.

1. Сенсорное оборудование: рассматривались варианты установки датчиков для измерения температуры, вибрации, давления, а также для отслеживания состояния масла во фритюрном аппарате 2 (см. рис. 1). Эти данные должны быть собраны в режиме реаль-

ного времени и анализироваться системой AI для выявления потенциальных проблем до их возникновения.

2. Мониторинг в реальном времени: одно из решений предусматривало создание системы мониторинга состояния всей линии, от замеса теста до шоковой заморозки и упаковки полуфабрикатов. Это позволило бы отслеживать такие параметры, как температура масла во фритюрнице, скорость конвейера и качество упаковки продукта.

3. Прогностическое обслуживание: мы рассмотрели внедрение системы ML, которая обучалась бы на собранных данных от сенсоров и предсказывала возможные поломки оборудования на основе статистики работы в прошлом. Эта система позволила бы планировать обслуживание заранее, избегая внеплановых простоев.

После рассмотрения различных вариантов мы остановились на внедрении системы прогностического обслуживания с использованием ML. Основными причинами выбора данного подхода стали:

- высокая точность в предсказании поломок оборудования;
- возможность оптимизации работы всей производственной линии, что позволяет избежать остановок и простоев;
- легкость интеграции с уже установленными системами мониторинга параметров производства (температура, вибрация и т.д.).

Внедрение AI на действующей технологической линии состояло из нескольких ключевых этапов.

1. Сбор данных: мы установили различные типы датчиков на ключевые элементы производственной линии (см. рис. 1), в т.ч.:

– Формовщик: датчики вибрации и нагрузки были установлены на подвижные части аппарата для мониторинга работы двигателя и механических частей. Датчики крепились с помощью стяжек и магнитов, и, при необходимости, могли быть легко сняты для замены.

– Фритюрный аппарат: установлены датчики температуры масла, уровня масла и датчики качества масла, позволяющие оценивать состояние масла и предотвращать его перегрев или недожаривание продукта. Датчики фиксировались с помощью хомутов и магнитных креплений для возможности их замены.

– Транспортные конвейеры: сенсоры скорости и нагрузки были интегрированы в цепи привода конвейера с возможностью мониторинга состояния ленты и двигателей.

– Шоковая камера: на этапе заморозки были установлены датчики температуры, которые фиксировали любые отклонения от установленных параметров для поддержания качества продукции.

2. Моделирование и обучение: система ML обучалась на данных, собранных с оборудования за последние полгода, чтобы выявить закономерности и предсказывать будущие поломки. Это время позволило системе накопить достаточное количество информации о различных режимах эксплуатации, которые включали:

- температурные колебания;
- уровни вибраций;
- давление, температура и качество масла;
- время работы и простои.

Все собранные данные были структурированы и очищены от аномальных значений (например, сильных выбросов, которые могли возникнуть из-за сбоев в работе сенсоров или вмешательства операторов). Данные были разделены на обучающую (80%) и тестовую (20%) выборки.

Основные алгоритмы, которые применялись для моделирования:

– Регрессия Лассо: для выявления взаимосвязей между показателями работы оборудования и вероятностью поломки.

– Деревья решений: использовались для прогнозирования событий на основе определенных условий (например, превышение температуры двигателя).

– Случайный лес: этот ансамблевый метод был выбран для улучшения точности предсказаний за счет сочетания множества деревьев решений. Главным его преимуществом является способность учитывать сложные зависимости между параметрами. Модель прогнозировала вероятность отказа оборудования, исходя из таких параметров, как вибрация и температура.

– Градиентный бустинг: применялся для повышения точности предсказания, минимизируя ошибки путем пошагового улучшения модели. Он улучшал точность на каждом этапе, корректируя ошибки предыдущей итерации модели. Это позволило системе быстрее реагировать на мелкие изменения в работе оборудования и предсказывать поломки с большей точностью.

Модель обучалась на данных, собранных за полгода, с применением техники перекрестной валидации для обеспечения её устойчивости к переобучению. Это позволило системе научиться предсказывать вероятные

поломки оборудования на основе изменяющихся параметров.

3. Внедрение и тестирование: после интеграции AI с производственной линией, было проведено тестирование системы в реальных условиях, чтобы убедиться в точности прогнозов и корректности работы системы.

После завершения процесса обучения модель была внедрена в работу, но на начальном этапе она использовалась параллельно с традиционными методами обслуживания, чтобы протестировать её на реальных данных и условиях.

Модель прошла тестирование в течение трех месяцев на действующей производственной линии. В течение тестового периода модель продемонстрировала высокую точность предсказания поломок (около 93%), что позволило заранее планировать обслуживание оборудования. Это позволило значительно сократить число внеплановых простоев и увеличить общую эффективность линии.

Для тестирования в стрессовых условиях модель была протестирована в условиях повышенной нагрузки на производственную линию, чтобы проверить её устойчивость к экстремальным изменениям параметров. Во время этого этапа была обнаружена необходимость доработки модели для лучшего учета неожиданных вибрационных колебаний оборудования.

Для обработки больших объемов данных и предсказания возможных отказов на основании неявных зависимостей между показателями работы оборудования использовались нейронные сети. Эта модель обучалась на исторических данных, что позволило ей предсказывать поломки на несколько недель вперед.

#### Графическое представление и выводы

Результаты внедрения ML в систему прогностического обслуживания линии производства замороженных полуфабрикатов из теста привели к следующему:

- снижение количества внеплановых ремонтов на 93 %;
- увеличение общей эффективности линии на 32 %;
- уменьшение затрат на обслуживание и вынужденные (аварийные) простои за счет точного планирования, в денежном выражении – на 670 тыс. руб. в месяц.

Таким образом, после внедрения системы AI результаты оказались достаточно обнадеживающими. На рис. 2 показано снижение количества внеплановых ремонтов и простоев оборудования после внедрения системы прогностического обслуживания. Как видно из данных, количество простоев оборудования существенно снизилось, что привело к значительной экономии на ремонте и увеличению производительности линии за счет ликвидации аварийных простоев.

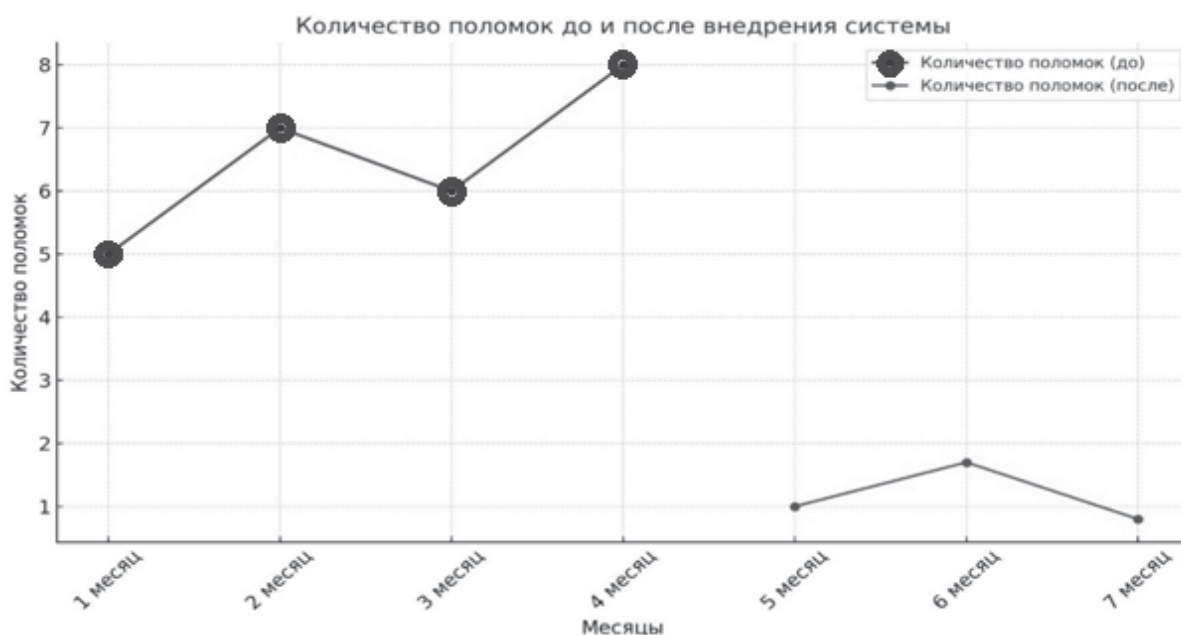


Рисунок 2 – Количество поломок до и после внедрения системы

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В настоящее время, после тестирования и успешного внедрения, система работает в полную силу, обеспечивая мониторинг и прогнозирование работы оборудования в режиме реального времени. Внедрение системы AI позволило существенно улучшить стабильность работы оборудования и повысить качество выпускаемой продукции. Предсказательное обслуживание дало возможность избежать неожиданных поломок, сократить затраты на ремонт и увеличить производительность. В будущем планируется расширить возможности системы для более точного контроля качества продукции на каждом этапе производства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов, С.Т. Технология пищевых производств / С.Т. Антипов, С.А. Бредихин, А.И. Ключников. – Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2023. – 652 с.
2. Nidhi Rajesh Mavani et al. (2021) Application of Artificial Intelligence in Food Industry – aGuideline Food Engineering Reviews (2022) 14:134–175. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>.
3. Васильев, В.И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Васильев, Г. И. Ильясов. - Москва: Радиотехника, 2009. - 387 с. – Текст: непосредственный.
4. Хозяев, И.А. Основы технологии пищевого машиностроения. – Москва: Профобразование, 2023. – 342 с.

**Отставнов Никита Александрович** - магистрант кафедры МАПП ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. 8(3852)290724, e-mail: [nikitaotstavnov26856@mail.ru](mailto:nikitaotstavnov26856@mail.ru);

**Глебов Александр Александрович** – к.т.н., зав. кафедрой МАПП ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. 8(3852)290723, e-mail: [a.glebov@mail.ru](mailto:a.glebov@mail.ru).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЁМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

**В. С. Афонин, А. Н Чубов, Н. А Пушков, Е. С. Кранин**

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

*Приведено описание исследования зависимости электрической ёмкости системы электродов от их геометрии. Численным методом подобраны оптимальные параметры для датчика зернового материала.*

**Ключевые слова:** ёмкостной преобразователь, статическая характеристика, геометрические параметры ЕП.

### **Введение**

Несмотря на высокий уровень развития технологий в уборке зерновых культур, содержание примесей после уборки остается довольно высоким для того, чтобы передать зерно на хранение. Поэтому необходимо проводить вначале первичную, затем вторичную очистки зерна, а также сушку во избежание потери качественных показателей [1].

Большинство аграрных предприятий для определения концентрации засорителя в зерновом материале используют методы, описанные ГОСТ [2]. Однако указанные методы не могут быть использованы для автоматизации технологических процессов.

Предлагается использовать ёмкостный преобразователь (ЕП) в качестве чувствительного элемента. Ёмкостный датчик способен определять величину частиц потока и, при известных значениях гранул зерна, проводить вычисления объемной концентрации засорителя.

Целью работы является исследование геометрических параметров ёмкостного преобразователя для определения засорителя в зерновом материале с последующим моделированием.

### **Описание метода**

Численные методы расчета электрических полей ЕП с контролируемым материалом или без него могут быть выполнены в специализированных программах. В данной работе моделирование электрических полей было выполнено в среде ELCUT. Данное программное обеспечение (ПО) позволяет моделировать системы электродов в средах с неоднородной диэлектрической проницаемостью, рассчитывать напряженность создаваемого электрического поля, проводить рас-

чет электрической ёмкости между выбранными токопроводящими электродами. Единственным недостатком данного ПО является невозможность моделирования в трехмерном пространстве. Тем не менее, для настоящей работы упрощение до двумерной модели не повлияет на справедливость конечных результатов.

Связь между параметрами (пространственное расположение, размер) контролируемого материала и электрической ёмкостью можно установить в результате анализа данных, полученных при физических и математических экспериментах. Организация физических экспериментов требует больших затрат времени и сложную, иногда и дорогостоящую, подготовку технической части. Следовательно, по большей части в данной работе авторы будут опираться на математическое моделирование. Физические эксперименты, подтверждающие справедливость полученных результатов, потребуются в меньшем объеме.

### **Моделирование датчика**

Особенность ЕП, используемого в работе, заключается в том, что контролируемый объект находится не между электродами, а как бы в стороне. Такой вид ЕП используется достаточно широко, описан в большом количестве литературных источников [3] и называется планарным (накладным) или FEF (fringing electric field sensor) датчиком.

На рисунке 1 приведена модель ЕП с контролируемым объектом, изображенной в виде закрашенной окружности. Датчик состоит из двух одинаковых по размеру электродов. С точки зрения модели ёмкостного датчика, влияющими параметрами являются длина электродов ( $a$ ) и межэлектродный за-



## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЁМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

зор (b). Не сложно показать, что значение собственной электрической емкости датчика будет тем больше, чем будет меньше величина b и больше a. Большее значение собственной емкости, а значит и ее приращение при наличии объекта контроля, позволит уменьшить требования к измерительному блоку устройства. Тем не менее, оптималь-

ные значения a и b можно установить только в результате моделирования и анализа полученных данных.

В математическом эксперименте объект контроля – это частица округлой формы с диэлектрической проницаемостью отличной от 1. В данной работе использовалось значение  $\epsilon_{\text{частицы}}=10$ , при условии  $\epsilon_{\text{среды}}=1$ .

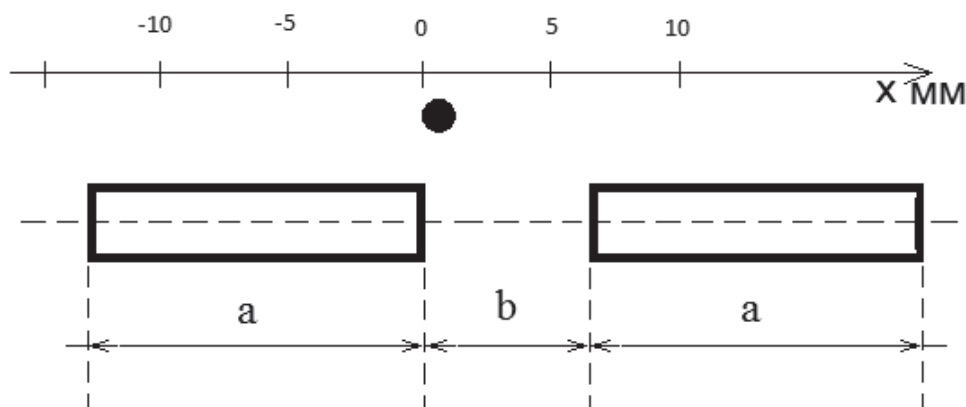


Рисунок 1 – Двумерная модель ЕП с объектом контроля

### Влияние межэлектродного зазора

В первой серии экспериментов диаметр частицы составлял 1 мм. Частица перемещалась по оси x с заданным шагом (см. рис.1). Расстояние от электродов до перемещаемой частицы всегда составляло 1мм. При каждом положении частицы производился расчет электрической емкости, результаты сводились в протокол. В результате математического эксперимента получен ряд характеристик ЕП при различных значениях параметров a и b. Форма полученных зависимостей представлена на рисунке 2 (показана функциональная зависимость при a=8, b=4). Наибольший интерес вызывает величина

максимального прироста электрической емкости, а также ширина рабочей зоны ЕП (непрерывный диапазон, при котором емкость ЕП увеличилась вследствие присутствия частицы).

Сводная таблица однозначно указывает на наиболее существенное влияние межэлектродного зазора b на ширину рабочей зоны ЕП, и в меньшей степени на прирост электрической емкости. В то время как величина длины электродов a оказывает большее влияние на значение прироста емкости ЕП, и в меньшей степени на ширину чувствительной зоны. Наглядно в этом можно убедиться, изучив графики на рисунках 2 и 3.

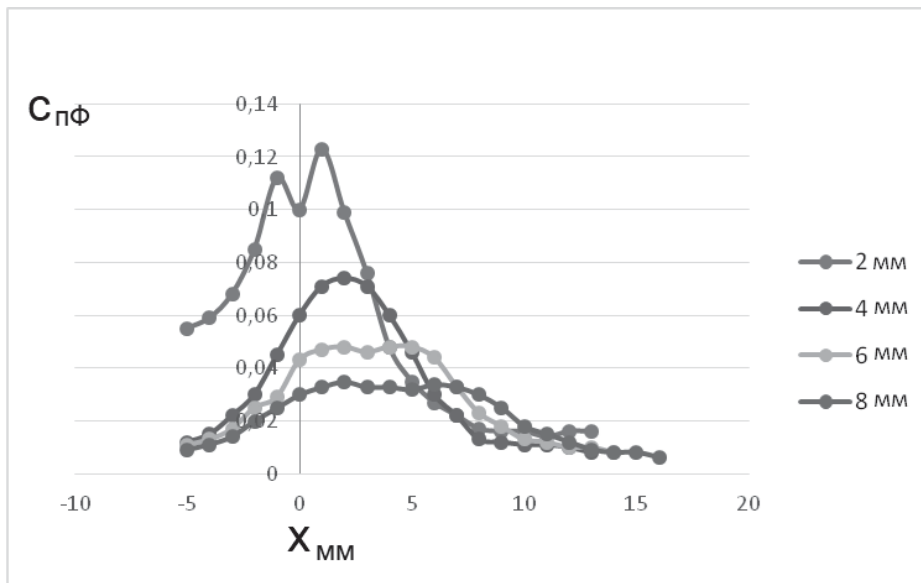


Рисунок 2 – Зависимость емкости 8 миллиметрового ЕП от расположения частицы с различным межэлектродным зазором

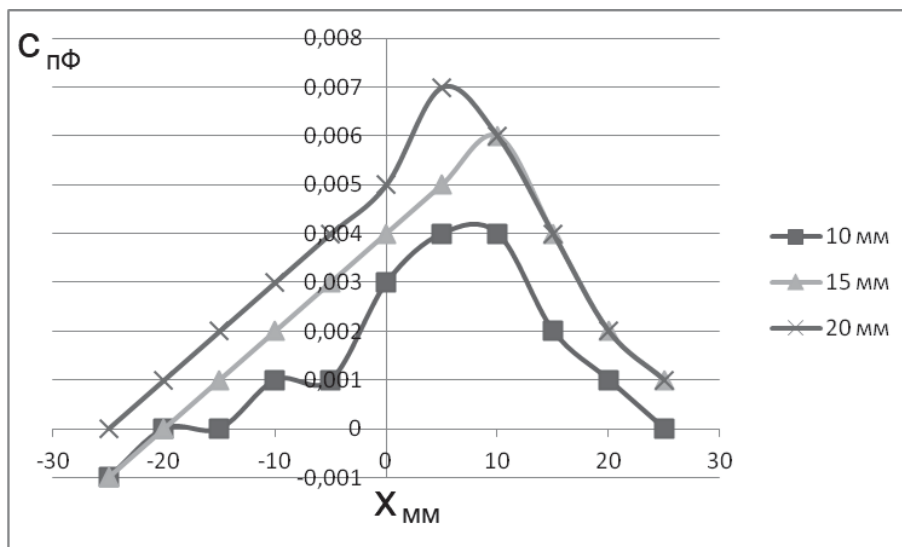


Рисунок 3 – Зависимость емкости ЕП с 8мм межэлектродным зазором от расположения частицы с различными длинами электродов

### Влияние размера частицы

Вторая серия экспериментов связана с определением влияния размера контролируемого объекта (частица материала с более высоким значением диэлектрической проницаемости) на электрическую емкость ЕП. В данной работе будет использоваться такой же ЕП с изменяющимися параметрами  $a$  и  $b$ . Условия проведения экспериментов: при заданных геометрических размерах системы электродов, частица помещается в чувствительную зону ЕП таким образом, чтобы ее центр находился над краем потенциального электрода, как показано на рисунке 1. При ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №4 2024

любом размере частицы расстояние между электродом и частицей всегда было равно 1 мм (это условие соответствует реальному значению при эксплуатации датчика). Изначально размер частицы выставлялся минимальным и в дальнейшем производилось увеличение ее диаметра с заданным шагом. При каждом состоянии частицы производился расчет электрической емкости, результаты сводились в протокол. В результате математического эксперимента получен ряд характеристик ЕП при различных значениях параметров  $a$  и  $b$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЁМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Функциональную зависимость между размером частицы и электрической емкостью ЕП можно условно разделить на 3 части, как представлено на рисунке 4.

Первая часть (I) характеризуется не очевидным уменьшением емкости при появлении контролируемого объекта в рабочей зоне ЕП. Такой эффект можно объяснить перераспределением электрического поля из-за появления области с повышенной диэлектрической проницаемостью. Такой эффект наблюдается при условии размера частицы значительно меньше, чем размер чувствительной зоны и не является интересным для настоящей работы. Это связано с тем, что в реальных условиях объем контролируемого материала во много раз превышает значение, при котором наблюдается описанных эффект.

Вторая часть (II) математической модели характеризуется увеличением электрической емкости в соответствии с законом:

$$C = \alpha e^{\beta d}, \quad 1)$$

где  $C$  — электрическая емкость между электродами;

$d$  — диаметр контролируемого объекта;

$\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты, устанавливаемые в процессе моделирования.

Увеличение объекта приводит к заполнению чувствительной (рабочей) зоны ЕП,

причем при приближении к значению коэффициента заполнения, равного 1, скорость роста емкости будет максимальна. Таким образом, значение размера частицы материала, при котором наблюдается экстремум дифференциала статической модели ЕП, соответствует размеру рабочей области емкостного датчика.

При дальнейшем увеличении диаметра частицы электрическая емкость продолжит увеличиваться, но с уменьшающейся скоростью. Третья часть (III) статической характеристики может быть описана законом:

$$C = \alpha \ln(\beta d) \quad (2)$$

### Макетирование датчика

За основу была взята конструкция накладного емкостного датчика. Потенциальный и измерительный электроды закрепляются на измерительной вставке, выполненной из диэлектрика. Электроды защищаются металлическим экраном для устранения электромагнитных помех.

При анализе результатов моделирования основное внимание уделялось поиску геометрических параметров ЕП для повышения чувствительности к контролируемому материалу. Так как размеры зерен пшеницы изменяются от 5 до 7 мм, оптимальными размерами ЕП будут:  $a = 8$  мм,  $b = 16$  мм.

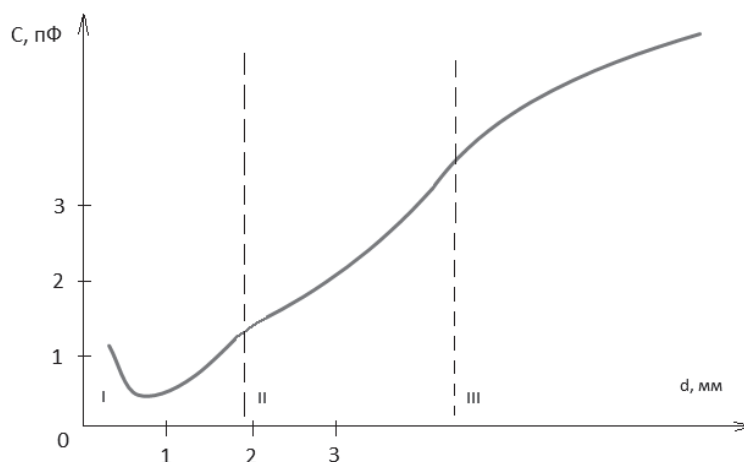


Рисунок 4 – Типовая характеристика ЕП с контролируемым объектом

### Обсуждение и выводы

В ходе проведенных исследований был разработан и протестирован макет устройства для определения состава потока сыпучего материала на основе емкостного преобразователя. Были изучены процессы формирова-

ния сигнала при движении частиц через датчик, а также влияние межэлектродного зазора на чувствительность преобразователя. Полученные результаты позволили установить оптимальные параметры системы для повышения точности измерений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия: Межгосударственный стандарт: издание официальное: ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (от 27 июля 2016 г. № 89-П): введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2018 г. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

2. ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей: Межгосударственный стандарт: издание официальное: ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 11 от 25 апреля 1997 г.): введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 июля 1998 г. – Минск: Стандартинформ, 2009. – 19 с.

3. 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. – EDN: УТКАМН.

**Афонин Вячеслав Сергеевич** – к.т.н, доцент каф. ИТ, АлтГТУ, тел 8-913-225-57-70, e-mail: [afonin\\_vs@mail.ru](mailto:afonin_vs@mail.ru);

**Чубов Александр Николаевич** – студент каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8-962-795-00-86, e-mail: [chubov\\_an@mail.ru](mailto:chubov_an@mail.ru);

**Пушков Никита Александрович** – студент каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова;

**Кранин Егор Сергеевич** – студент каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А. В. Балашов<sup>1</sup>, Д. С. Рахматулин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

<sup>2</sup> Алтайский завод прецизионных изделий  
г. Барнаул

В статье освещен подход к описанию технологии механической обработки деталей машин и приборов, рассмотрены теоретические и практические аспекты имитационного, компьютерного моделирования для совершенствования процессов их изготовления. Приведен пример применения САД-системы твердотельного моделирования КОМПАС-3D для описания технологического процесса механической обработки детали. В работе показаны отдельные этапы, необходимые для построения модели, имитирующей технологические операции, переходы и установы, на которых формообразуются детали, в том числе, в условиях автоматизированного производства. Рассмотренная модель позволяет проектировщику наглядно получить информацию о формообразовании изделия на том(ой) или ином(ой) переходе (операции), значительно сократить время на оформление технологической документации, построении эскизов операций и уменьшить количество ошибок технолога.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, САД-система, технология, процесс, механическая обработка, КОМПАС-3D, маршрут обработки, исполнение, операция, эскиз.

### Введение

В настоящее время под имитационным моделированием понимается метод, который позволяет строить модели на основании процессов, происходящих в реальности [1]. Одними из наиболее распространенных процессов в машиностроении являются технологические процессы изготовления деталей машин. В технологических процессах механической обработки деталей описываются целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния заготовки. Посредством имитационного моделирования технолог может воспроизвести технологический процесс изготовления детали во времени. Имитационное моделирование того или иного технологического процесса позволяет проектировщику наглядно получить информацию о формообразовании изделия на том(ой) или ином(ой) переходе (операции).

Для имитационного моделирования технологических процессов могут использоваться различные САД/САМ системы, например, КОМПАС-3D.

Рассмотрим метод имитационного моделирования технологического процесса изготовления детали – Втулка (рис.1).

Маршрутный технологический процесс механической обработки детали - Втулка приведен в таблице 1.

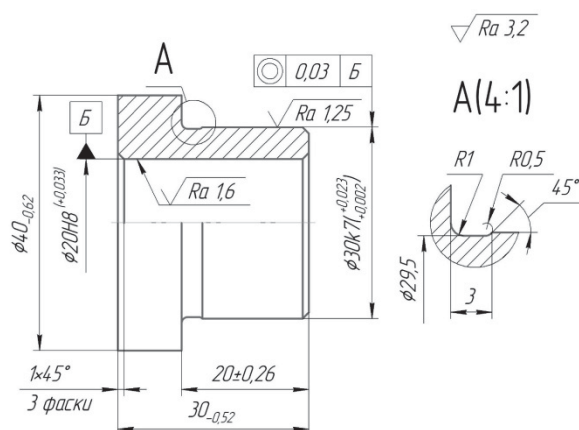


Рисунок 1 – Фрагмент чертежа детали – Втулка

На первом этапе имитационного моделирования в системе КОМПАС-3D строится модель круга  $\phi 44$  мм и длиной  $L=1000$  мм (рис.2).

Строки в дереве модели «Эскиз 1» и «Элемент выдавливания» необходимо объединить в макроэлемент с наименованием первой операции «4282 Ленточно (проволочное) – отрезная» (рис.3).

На следующем этапе создается исполнение операции 010 4233 – Токарная с ЧПУ, (рис.4).

Таблица 1 – Маршрут обработки детали – Втулка

№ операции	Код, наименование технологической операции	Тип оборудования	Содержание операции (размеры в мм)
1	2	3	4
005	4282 Ленточно (проволочно) - отрезная	Ленточнопильный станок	1. Отрезать круг $\varnothing 44$ , длиной $L=1000_{-2}$ .
010	4233 Токарная с ЧПУ	Прутковый токарный станок с ЧПУ	1. Подрезать торец. 2. Обточить $\varnothing 40h14$ на длину $33\pm 0,5$ . 3. Обточить $\varnothing 30,3h10$ на длину $19,5\pm 0,1$ . 4. Обточить канавку с подрезкой торца, выдерживая размер $20\pm 0,26$ , $\varnothing 29,5h14$ . 5. Обточить наружную фаску $1,1 \times 45^{\circ}$ . 6. Сверлить отверстие $\varnothing 19H9$ глубиной $32\pm 0,25$ . 7. Расточить отверстие $\varnothing 20H7$ , глубиной $31\pm 0,2$ со снятием фаски $1 \times 45^{\circ}$ . 8. Отрезать заготовку длиной $30_{-0,52}$ .
015	4214 Вертикально-сверлильная	Вертикально-сверлильный станок	1. Зенковать фаску $1 \times 45^{\circ}$ .
020	4132 Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок	1. Шлифовать $\varnothing 30k7$ .
025	0125 Промывка	Моечная машина	1. Промыть и обдуть детали.
030	0200 Контроль	Контрольный стол	1. Проверить соответствие линейных и диаметральных размеров, допуска соосности, шероховатости поверхностей детали заданным параметрам.

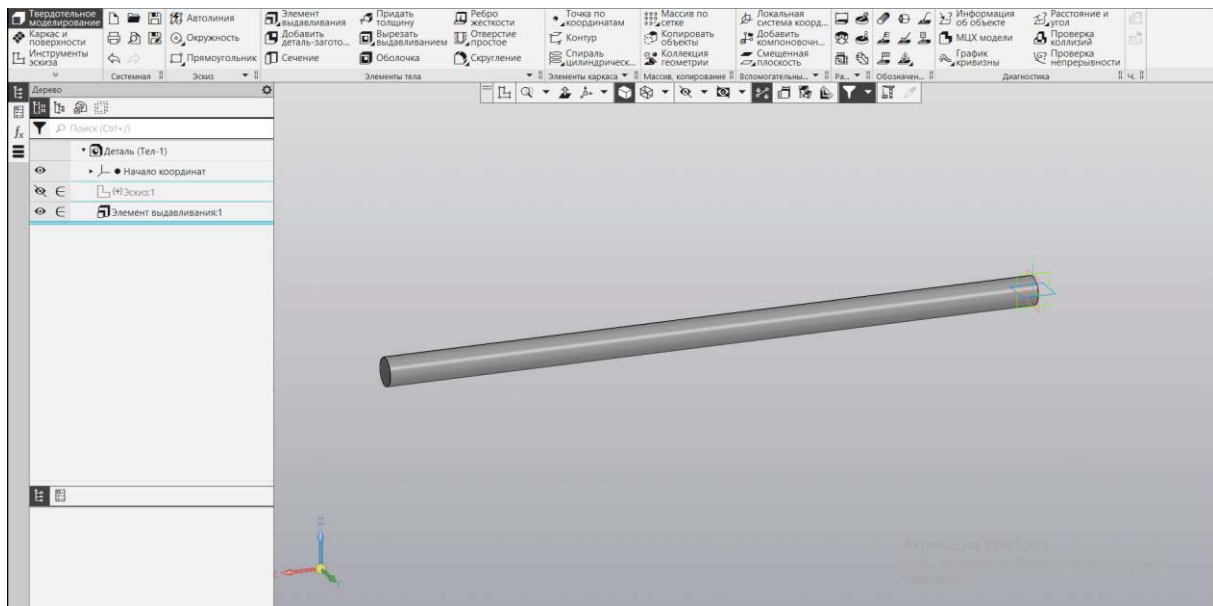


Рисунок 2 – 3D модель заготовки втулки

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

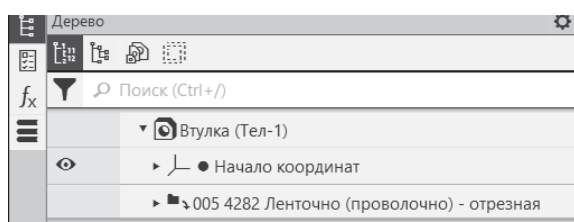


Рисунок 3 – Дерево модели

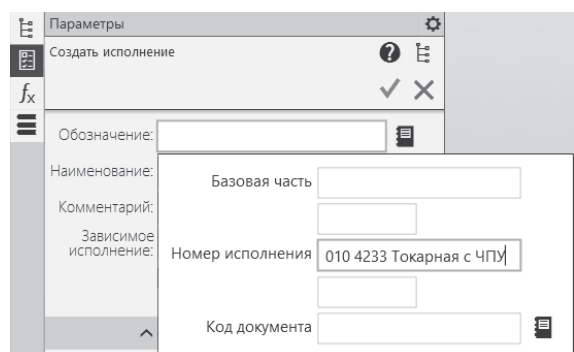


Рисунок 4 – Окно создания исполнения 3D-модели

Далее моделируются последовательно переходы токарной операции. Дерево модели и 3D модель заготовки, после реализации операции 010 Токарная с ЧПУ, показаны на рисунке 5.

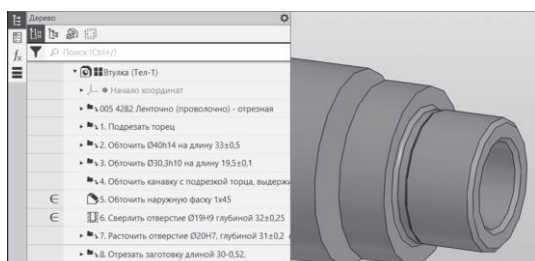


Рисунок 5 – Результаты моделирования операции 010 Токарная с ЧПУ

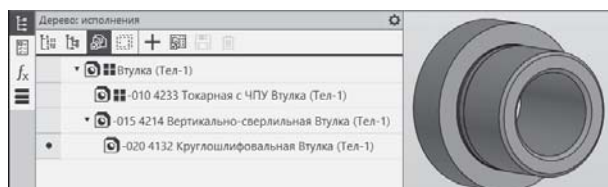


Рисунок 6 – Дерево исполнений и 3D модель детали – Втулка

Переходы токарной операции следует объединить в макроэлемент с названием «010 4233 Токарная с ЧПУ».

На следующих этапах создаются исполнения для оставшихся операций обработки резанием.

Дерево исполнений технологического процесса механической обработки и 3D-модель детали – Втулка показаны на рисунке 6.

### Обсуждение и выводы

Проведенное моделирование дает следующие положительные эффекты.

1. В одном файле находится информация о результатах формообразования поверхностей детали на различных операциях, установках, позициях и переходах.

2. При активации того или иного исполнения, можно наблюдать состояние объекта производства на выбранном этапе технологической операции.

3. Производственный опыт имитационного моделирования технологических процессов механической обработки деталей обеспечивает значительное сокращение времени на оформление операционных карт, карт эскизов и уменьшение количества ошибок технолога.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колекина А.О. Имитационное моделирование: сущность, методы и особенности / А.О. Колекина, Ю.В. Потекаева.- Текст: электронный // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки - Электронный научный журнал. – 2016. – №2. – С. 1-5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-suschnost-metody-i-osobennosti?ysclid=m4i87yj1d8318971947> (дата обращения: 10.12.2024).

2.Ташматова Т.С., Ганиева Т.И., Курбанова К.Э. Компьютерное моделирование и автоматизация технологических процессов производства машин / Т.С. Ташматова, Т.И. Ганиева, К.Э. Курбанова. – Текст: электронный // Теория и практика современной науки.–2020.– №3(57).– С. 296-300. URL: [https://www.modern-j.ru/\\_files/ugd/b06fdc\\_7f5dccda97b74cff9304262a6e557990.pdf?index=true](https://www.modern-j.ru/_files/ugd/b06fdc_7f5dccda97b74cff9304262a6e557990.pdf?index=true) (дата обращения: 10.12.2024).

**Балашов Александр Владимирович** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ТМ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: 79059241895, e-mail: [bavagtu@mail.ru](mailto:bavagtu@mail.ru);

**Рахматулин Дмитрий Сергеевич** – студент кафедры ТМ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», инженер-технолог «Алтайский завод прецизионных изделий», тел.: 79994002085, e-mail: [dmitriir22@vk.com](mailto:dmitriir22@vk.com).

УДК 621.317.33: 53.088.2

**ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ  
РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО  
СИГНАЛА С КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА****Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков, А. А. Ключанов, Н. В. Марков**  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

*Рассмотрены источники систематических погрешностей контактных кондуктометров. Проведена оценка различных методов измерения удельной электрической проводимости с учетом математических моделей погрешностей. На основе полученных результатов выполнен выбор оптимального метода измерения, обеспечивающего минимизацию погрешностей.*

**Ключевые слова:** графитовые электроды, контактный кондуктометр, систематическая погрешность, математическая модель.

**Введение**

Кондуктометрический метод измерения электропроводности растворов применяют во многих областях науки и техники. Метод позволяет оперативно и с высокой точностью оценивать химический состав растворов, что особенно важно при анализе загрязнений в экологических исследованиях, мониторинге качества воды и при контроле чистоты реагентов в лабораториях. В промышленности кондуктометрию применяют для контроля технологических процессов в химической и фармацевтической отраслях.

При проектировании приборов важно обеспечить требуемую точность измерений в заданном диапазоне. Для этого необходимо учитывать влияние источников систематической погрешности на конечный результат. Точность определения удельной электрической проводимости (УЭП) растворов с ис-

пользованием кондуктометра и его контактного преобразователя зависит от наличия двойного электрического слоя, общего поляризационного сопротивления электродов и применяемого метода измерения.

**Методы исследования**

Для измерения удельной электрической проводимости растворов используются измерительные цепи, представленные на рисунке 1. В качестве выходных сигналов измерительных цепей могут выступать [1-3]:

- ток, проходящий через первичный преобразователь (рисунок 1а);
- напряжение, измеряемое на первичном преобразователе (рисунок 1б);
- напряжение, фиксируемое на резисторе, включенном последовательно первичному преобразователю (рисунок 1в).

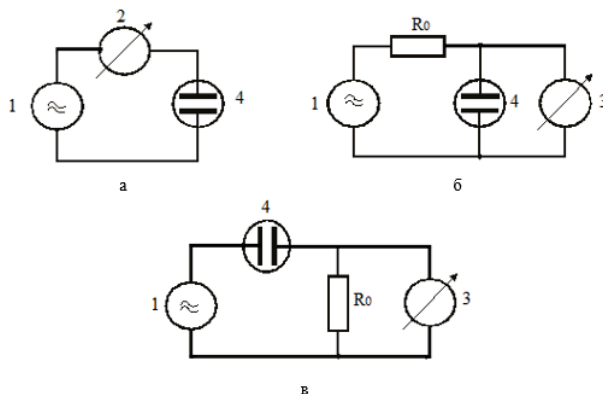


Рисунок 1 – Измерительные цепи для измерения УЭП:

1 – генератор переменного напряжения; 2 – измеритель тока; 3 – измеритель напряжения;  
4 – первичный преобразователь



## ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА С КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Выходной сигнал измерительной цепи может быть представлен различными способами для определения значения искомого параметра. Существуют различные методы преобразования выходного сигнала, такие как преобразование по амплитуде, среднему значению за половину периода напряжения питания и среднему значению выходного напряжения за полупериод тока, проходящего через первичный измерительный преобразователь.

### Ход исследования

Для оценки систематической погрешности будем использовать известную эквивалентную схему контактного преобразователя кондуктометра, представленную на рисунке 2.

В этой схеме необходимо измерить активное сопротивление раствора  $R_p$ . Систематическая погрешность обусловлена такими факторами, как суммарное сопротивление  $R_n$ , связанное с поляризацией электродов первичного преобразователя, ёмкость двойного электрического слоя электродов  $C$  и ёмкость  $C_p$ , зависящая от относительной диэлектрической проницаемости раствора и геометрии первичного преобразователя [4].

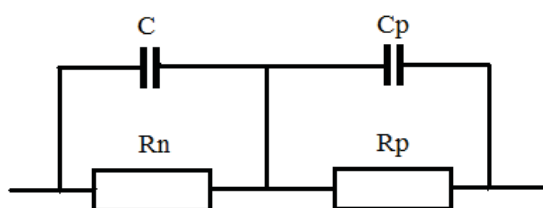


Рисунок 2 – Электрическая эквивалентная схема замещения контактного первичного преобразователя

Влияние величин  $R_n$ ,  $C$  и  $C_p$  на результат измерения можно оценить, используя номинальную и реальную статические характеристики [1, 2].

Когда выходной сигнал измерительной цепи зависит лишь от измеряемой величины, которая в нашем случае является величиной активного сопротивления раствора  $R_p$ , то такая характеристика называется номинальной.

Если выходной сигнал измерительной цепи зависит от параметров электрической эквивалентной схемы замещения контактного ПИП (рисунок 2) и измерительной цепи (рисунок 1), то такая характеристика называется реальной.

Процесс создания математической модели погрешности состоит из нескольких этапов. Сначала необходимо получить математические модели для оценки измеряемой ве-

личины по номинальной и реальной статических характеристик. После этого модель реального выходного сигнала подставляется в модель оценки измеряемой величины по номинальной характеристике. Полученную модель сравнивают с искомым параметром, тем самым получают модель абсолютной погрешности. Далее, для определения модели относительной погрешности, абсолютная погрешность делится на значение измеряемого параметра и умножается на 100%.

Известны следующие математические модели относительной погрешности для различных вариантов получения измерительного сигнала с кондуктометрического датчика и способов преобразования его в искомый параметр [1, 2]:

1. Выходной сигнал – ток через первичный измерительный преобразователь (ПИП):

– Оценка по амплитуде выходного сигнала:

$$\delta = \left( \frac{A\sqrt{g^2 + b^2}}{\chi} - 1 \right) 100; \quad (1)$$

– Оценка по среднему значению выходного сигнала, рассчитанному за полупериод напряжения питания:

$$\delta = \left( A \frac{g}{\chi} - 1 \right) 100; \quad (2)$$

2. Выходной сигнал – напряжение, измеряемое на ПИП:

– Оценка по амплитуде выходного сигнала:

$$\delta = \left[ \frac{A}{R_0\chi} \left( \frac{1}{\sqrt{g_n^2 + b_n^2 \sqrt{R^2 + X^2}}} - 1 \right) - 1 \right] 100; \quad (3)$$

– Оценка по среднему значению выходного сигнала, рассчитанному за полупериод напряжения питания:

$$\delta = \left[ \frac{A}{R_0\chi} \left( \frac{1}{g_n R + b_n X} - 1 \right) - 1 \right] 100; \quad (4)$$

– Оценка по среднему значению выходного напряжения, рассчитанному за полупериод тока через ПИП:

$$\delta = \left[ \frac{A}{R_0\chi} \left( \frac{1}{\sqrt{g_n^2 + b_n^2 R}} - 1 \right) - 1 \right] 100; \quad (5)$$

3. Выходной сигнал – напряжение, измеряемое на резисторе, включенном последовательно ПИП:

– Оценка по амплитуде выходного сигнала:

$$\delta = \left( \frac{A}{\chi} \frac{\sqrt{g_n^2 + b_n^2}}{1 - R_0 \sqrt{g_n^2 + b_n^2}} - 1 \right) 100; \quad (6)$$

– Оценка по среднему значению выходного сигнала, рассчитанному за полупериод напряжения питания:

$$\delta = \left[ \frac{A g_n}{\chi(1 - R_0 g_n)} - 1 \right] 100; \quad (7)$$

– Оценка по среднему значению выходного напряжения, рассчитанному за полупериод тока через ПИП:

$$\delta = \left( \frac{A}{\chi} \frac{\sqrt{g_n^2 + b_n^2}}{1 - R_0 \sqrt{g_n^2 + b_n^2}} - 1 \right) 100. \quad (8)$$

На основании математических моделей относительной погрешности (1)–(8) можно определить ключевые параметры измерительной цепи, влияющие на систематическую погрешность. Активные и реактивные части таких параметров представлены в таблице 1.

Также отметим, что активное сопротивление раствора  $R_p$  прямо пропорционально постоянной ПИП  $A$  и обратно пропорционально удельной электропроводности исследуемого раствора  $\chi$ . А емкость раствора зависит только от постоянной ПИП  $A$  и относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$ :

$$R_p = \frac{A}{\chi}, \quad C_p = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{A} \#. \quad (9)$$

Используя выражение (9) из ЭЭСЗ ПИП (рисунок 2) можно найти параметры, влияющие на систематическую погрешность. Результат представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Активные и реактивные составляющие комплексного сопротивления, проводимости ПИП и измерительной цепи.

Сопротивление ПИП	$R = \frac{R_n}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} + \frac{A \chi}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2}$
	$X = \frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{R_n^2 C \omega}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1}$
Проводимость ПИП	$g = \frac{\frac{R_n}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} + \frac{A \chi}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2}}{\left( \frac{R_n}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} + \frac{A \chi}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} \right)^2 + \left( \frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{R_n^2 C \omega}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} \right)^2}$
	$b = \frac{\frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{R_n^2 C \omega}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1}}{\left( \frac{R_n}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} + \frac{A \chi}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} \right)^2 + \left( \frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{R_n^2 C \omega}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} \right)^2}$
Проводимость измерительной цепи	$g_n = \frac{\frac{R_n + R_0 + R_0 C^2 R_n^2 \omega^2}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} + \frac{A \chi}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2}}{\left( \frac{R_n + R_0 + R_0 C^2 R_n^2 \omega^2}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} + \frac{A \chi}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} \right)^2 + \left( \frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{R_n^2 C \omega}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} \right)^2}$
	$b_n = \frac{\frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{R_n^2 C \omega}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1}}{\left( \frac{R_n + R_0 + R_0 C^2 R_n^2 \omega^2}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} + \frac{A \chi}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} \right)^2 + \left( \frac{\omega \varepsilon \varepsilon_0 A}{\chi^2 + \omega^2 \varepsilon^2 \varepsilon_0^2} + \frac{R_n^2 C \omega}{C^2 R_n^2 \omega^2 + 1} \right)^2}$

### Результаты исследований

Для вычисления относительной погрешности по математическим формулам (1)–(8)

были использованы исходные данные, которые послужили основой для расчетов:

## ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА С КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

– частота напряжения питания измерительной цепи 200 Гц, 1 и 5 кГц;

– относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 80$ ;

– постоянная первичного преобразователя  $A = 50 \frac{1}{\text{м}}$ .

Величины элементов ЭЭСЗ для графитовых электродов были получены экспериментально и изменялись в зависимости от УЭП раствора. Результат приведен в таблице 2.

Для повышения точности измерений необходимо правильно выбрать резистор  $R_0$  на схемах рисунков 1б и 1в. Чтобы обеспечить высокую чувствительность, значение резистора должно быть сопоставимо с сопротивлением раствора, которое определяется константой ПИП и удельной электропроводностью, согласно формуле (9). Поэтому, значения резистора  $R_0$  для диапазона измерения УЭП от 5 до 50 См/м – 5 Ом; для диапазона от 0,5 до 5 См/м – 50 Ом; для диапазона от 0,5 до 50 См/м – 500 Ом; для диапазона от 5 до 50 мСм/м – 5 кОм.

На рисунках 3–5 представлены зависимости погрешности для различных измерительных схем, показанных на рисунке 1.

Каждый рисунок разделен на три части, в которых изменяется частота питающего напряжения измерительной цепи: а – 200 Гц; б – 1 кГц; в – 5 кГц.

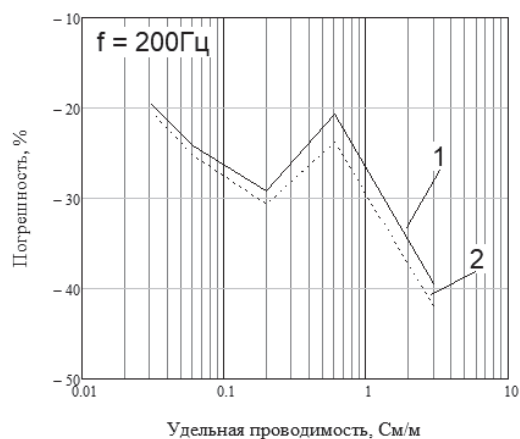
Графики имеют следующую интерпретацию:

– график 1 описывает преобразование по амплитуде выходного сигнала;

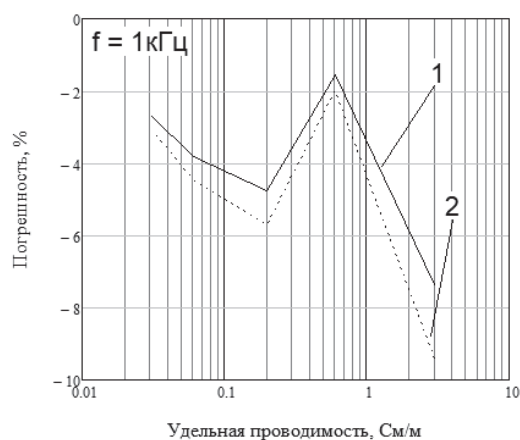
– график 2 описывает преобразование по среднему значению выходного сигнала, рассчитанному за полупериод напряжения питания;

– график 3 описывает преобразование по среднему значению выходного сигнала, рассчитанному за полупериод тока через ПИП.

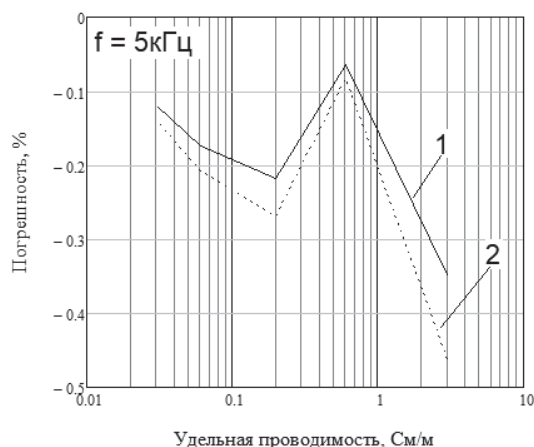
На рисунке 6 представлены зависимости относительной погрешности для каждой из исследованных измерительных схем. Для каждой схемы был выбран оптимальный способ преобразования выходного сигнала, который обеспечивает наименьшую погрешность для данной схемы. Подписи графиков на рисунке 6 соответствуют обозначениям схем, представленным на рисунке 1.



а



б

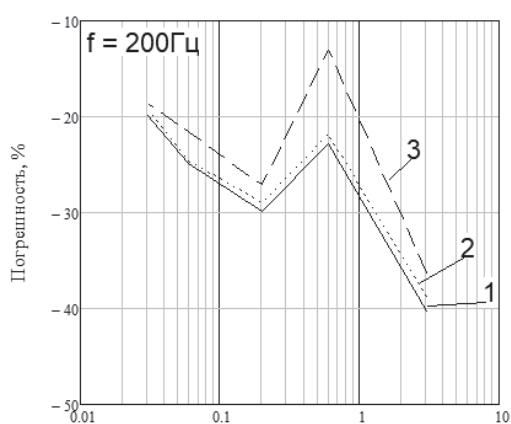


в

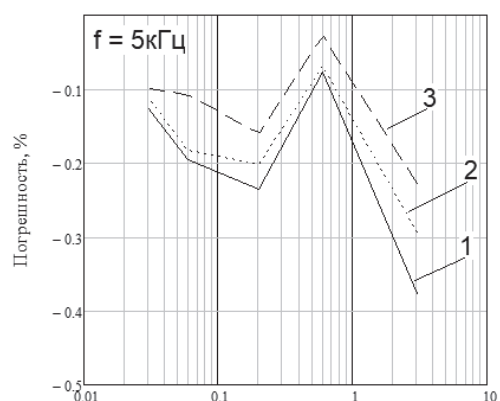
Рисунок 3 – Зависимость погрешности от УЭП для схемы 1а при частоте напряжения питания: а – 200 Гц, б – 1 кГц и в – 5 кГц

Таблица 2 – Величины элементов ЭЭСЗ

Активное сопротивление раствора $R_p$ , Ом	УЭП $\chi$ , См/м	Суммарное поляризационное сопротивление электродов $R_n$ , Ом	Суммарная емкость двойного электрического слоя электродов $C$ , мкФ	Емкость раствора $C_p$ , пФ
16,7	3	16	40	14
83,3	0,6	65	20	
250	0,2	130	4	
833,3	0,06	380	1,5	
1667	0,03	600	1	

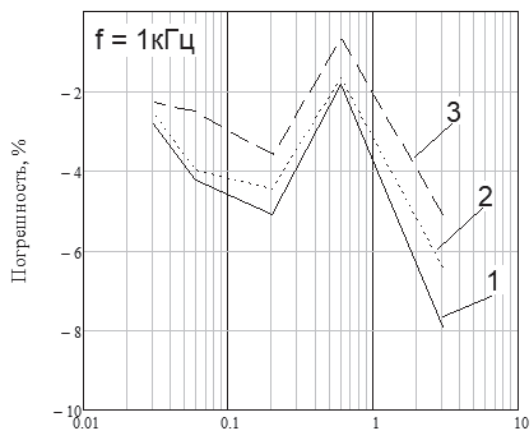


а

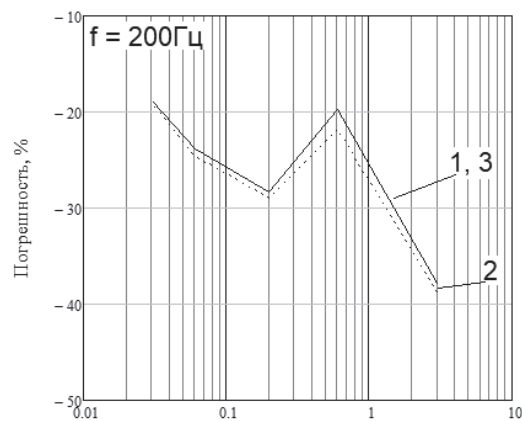


б

Рисунок 4 – Зависимость погрешности от УЭП для схемы 16 при частоте напряжения питания: а – 200 Гц, б – 1 кГц и в – 5 кГц



в



а

## ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА С КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

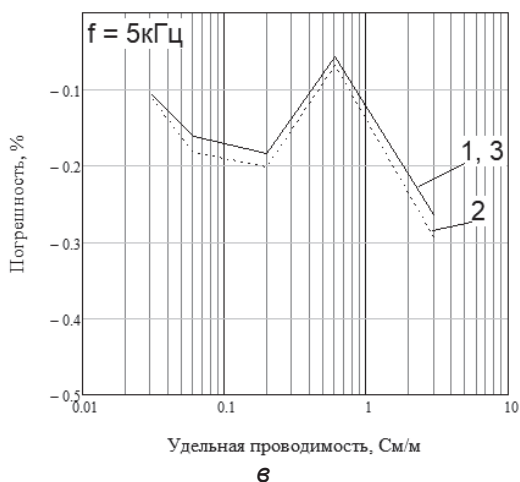
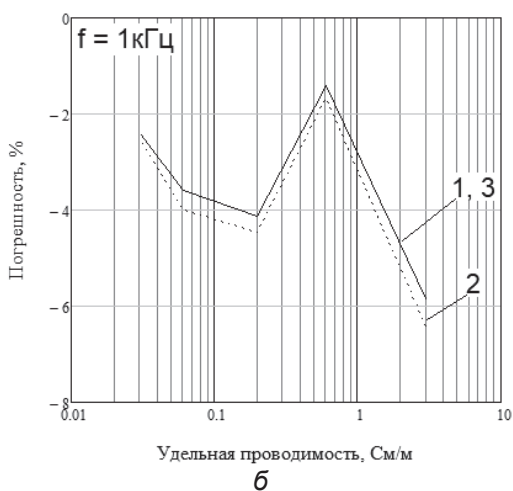


Рисунок 5 – Зависимость погрешности от УЭП для схемы 1в при частоте напряжения питания: а – 200 Гц, б – 1 кГц и в – 5 кГц

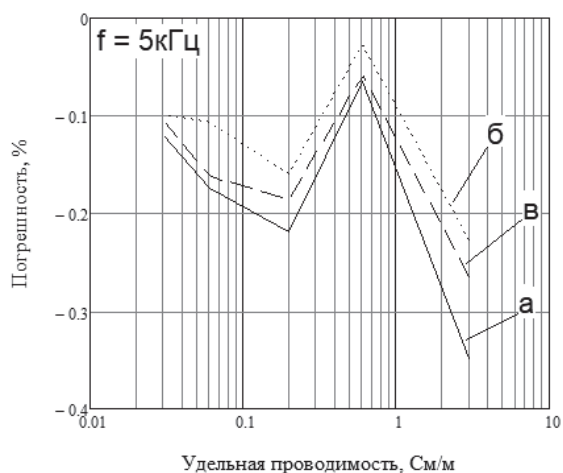


Рисунок 6 – Зависимость погрешности от УЭП для различных измерительных схем (рисунок 1)

### Обсуждение и заключение

Анализ рисунков 3–5 показывает, что увеличение частоты питающего напряжения приводит к снижению относительной погрешности для всех вариантов получения измерительного сигнала. Это объясняется тем, что на высоких частотах емкость в эквивалентной электрической схеме замещения (ЭЭСЗ) шунтирует процессы, происходящие вблизи электродов, минимизируя их влияние на результат измерения.

Также стоит отметить, что относительная погрешность при равных частотах остаётся в одном порядке для различных измерительных схем, однако наблюдаются незначительные различия.

Сравнительный анализ, представленный на рисунке 6, где для каждой измерительной схемы был выбран оптимальный способ преобразования выходного сигнала с минимальной погрешностью, показал, что в исследуемом диапазоне удельной электропроводности можно четко выделить измерительную схему с наилучшим и наихудшим результатами. Сравнение погрешностей было выполнено при частоте питающего напряжения 5 кГц, так как именно на этой частоте наблюдается минимальная погрешность.

В диапазоне измерений удельной электропроводности от 30 мСм/м до 3 См/м минимальная погрешность достигается при использовании схемы измерения падения напряжения на ПИП (рисунок 1б) с преобразованием по среднему значению сигнала, рассчитанному за полупериод тока, проходящего через ПИП.

В том же диапазоне наибольшая погрешность наблюдается при применении схемы, основанной на измерении тока через ПИП (рисунок 1а), с преобразованием по среднему значению сигнала, рассчитанному за полупериод тока через ПИП.

Дополнительно отметим, что при использовании схемы с измерением падения напряжения на образцовом резисторе, включенным последовательно ПИП, (рисунок 1в) способ преобразования по амплитуде и по среднему значению сигнала за полупериод тока через ПИП показали равные и наилучшие значение погрешности для этой схемы.

Таким образом, в ходе исследования была выполнена оценка систематической погрешности для различных вариантов получения измерительного сигнала с кондуктометрического датчика, в основе которого лежат графитовые электроды. Однако следует учесть, что наименьшая относительная по-

грешность, равная  $\delta = -0,2 \dots -0,5 \%$ , указывает на необходимость дополнительной оптимизации, поскольку она связана только с самим методом измерения и использованием упрощенной эквивалентной схемы контактного ПИП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Первухин, Б.С. Проектирование контактных кондуктометров с использованием в качестве критерия оптимизации заданной погрешности/ Первухин, Б.С.// Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – №2. – С. 41-44.

3. Первухин, Б.С. Сравнительный анализ методов определения параметров измерительного преобразователя контактного кондуктометра / Б.С. Первухин, Д.Е. Кривобок, В.А.Соловьев. –Текст: непосредственный // Измерительная техника. – 2022. –№1. –С.46-51.

4. Первухин, Б.С.Определение параметров контактных первичных преобразователей кон-

дуктометров. – Текст: непосредственный // Измерительная техника. – 2008. – №3. – С.61-63.

**Первухин Борис Семенович** – д.т.н., профессор каф. ИТ, ФГБОУВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: (385-2)66-65-02, e-mail: [bspervuhin@mail.ru](mailto:bspervuhin@mail.ru);

**Кривобок Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент каф. ИТ, ФГБОУВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [dmitriikrivobokov@mail.ru](mailto:dmitriikrivobokov@mail.ru);

**Ключанов Алексей Александрович** – магистрант каф. ИТ, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [aklyushanov2019@mail.ru](mailto:aklyushanov2019@mail.ru);

**Марков Никита Вячеславович** – магистрант каф. ИТ, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [markov25764@gmail.com](mailto:markov25764@gmail.com).

## РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ

**Д. Е. Кривобоков, И. Е. Матущенко**

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

*Приведены базовые принципы и алгоритм работы полётного контроллера квадрокоптера. Разработана методика составления обучающего набора данных. Рассмотрен принцип управления квадрокоптера с использованием нейронной сети на основе базовых принципов работы полётного контроллера.*

**Ключевые слова:** квадрокоптер, нейросеть, PID-регулятор, адаптивная система управления, БПЛА.

### **Введение**

На сегодняшний день для платформ с малой вычислительной мощностью нет корректного решения применения нейросетей для адаптивных систем автоматического управления, поскольку непосредственное применение нейросети в качестве регулятора требует большой вычислительной мощности, имеет длительное время реакции на изменение входных сигналов, продолжительное обучение для изменения функций управления, а также большой объём обучающих данных получаемых экспериментальным путём.

В этой статье мы предлагаем следующий способ решения данной проблемы. Адаптивную систему управления можно построить на базе типовых регуляторов с расширенными функциями, изменение передаточных характеристик которых производится нейросетью при использовании критериев рассогласования поведения дрона с ожидаемыми результатами.

### **Макет прибора и методика измерений**

Контроллер квадрокоптера осуществляет анализ данных с датчиков и реализует функции управления двигателями. Он считывает показания с акселерометра и гироскопа, компаса и других датчиков, определяя положение и ориентацию аппарата в пространстве.

Основной принцип работы полётного контроллера заключается в стабилизации квадрокоптера. Для этого контроллер непрерывно обрабатывает данные, поступающие с акселерометра и гироскопа. Эта информация позволяет контроллеру определять пространственную ориентацию дрона и осуществлять корректировку работы моторов в режиме реального времени.

Алгоритм управления квадрокоптером.

Цель данного алгоритма заключается в обеспечении устойчивости квадрокоптера во время полёта, ориентируясь на команды, поступающие от программы-пилота, с поддержанием заданной ориентации, скорости и положения в пространстве. Для реализации данной задачи применяется система автоматического управления с обратной связью, включающая две ключевые подсистемы: оценку состояния и регуляцию.

Подсистема оценки состояния использует данные, полученные с акселерометра и гироскопа для точного определения текущего состояния квадрокоптера, включая угловую скорость, ориентацию и линейное ускорение.

Подсистема регуляции принимает на вход текущее и целевое состояния и на основе этих данных рассчитывает управляющее воздействие в виде сигналов для моторов. Цель этого управляющего воздействия заключается в оптимальном переводе квадрокоптера в заданное состояние. Алгоритм работает в непрерывном цикле с высокой частотой, обеспечивая требуемую динамическую адаптацию к изменениям условий полета.

Этапы работы контроллера квадрокоптера.

Контроллер квадрокоптера реализует ряд ключевых этапов, обеспечивающих его устойчивое управление в воздухе.

1. Сбор данных с датчиков: Контроллер получает информацию от акселерометра и гироскопа. Акселерометр измеряет линейное ускорение по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , что позволяет определить ориентацию квадрокоптера в пространстве, его наклон, а также скорость изменения положения. Гироскоп измеряет угловую скорость, что позволяет оценивать от-

клонения по углам, фиксируя вращение относительно осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

2. Фильтрация и обработка данных: Собранные данные подвергаются фильтрации и обработке с целью удаления шумов и ошибок, что позволяет получить точные сведения о положении и движении квадрокоптера.

3. Вычисление управляющих сигналов: На основе обработанных данных контроллер вычисляет управляющие сигналы для моторов квадрокоптера, обеспечивая тем самым его адекватное реагирование на изменения в окружающей среде.

4. Передача управляющих сигналов моторам: После вычисления управляющих сигналов контроллер отправляет их на моторы через электронные регуляторы оборотов, обеспечивая необходимую мощность и управление.

5. Обратная связь и коррекция: Контроллер принимает обратную связь от датчиков и моторов, что позволяет осуществлять корректировку управляющих сигналов в реальном времени, поддерживая стабильность и точность управления квадрокоптером.

Коррекция осуществляется путем изменения частоты вращения двигателей, что достигается регулировкой управляющего сигнала, подаваемого на регуляторы оборотов. Этот управляющий сигнал формируется с помощью динамических регуляторов, в частности PID-регуляторов, которые адаптируют его параметры в зависимости от отклонений квадрокоптера от заданного положения.

#### **Результаты исследований**

Данные с гироскопа и акселерометра поступают на контроллер и, после их обработки и фильтрации, выдаёт значение ошибки на PID-регуляторы. Данные на выходе PID-регуляторов отправляются на регулятор скорости оборотов двигателей.

За основу для методики составления обучающей выборки были взяты результаты,

опубликованные авторами в работе [5]. Методика составления набора обучающих данных включает в себя следующие пункты:

1) Случайным образом определяем коэффициенты ПИД-регулятора:  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , а также коэффициент усиления  $K$ , постоянную времени  $T_y$  и декремент затухания  $E$ .

2) Используя передаточную функцию, в течении принятого периода времени  $dT_0$  для всех степеней свободы рассчитываем скорость отклонения  $V_0$  и накопленное значение отклонения  $S_0$  (путь смещения или угол рыскания).

3) Для коэффициентов ПИД-регулятора задаём случайным образом корректировки:  $DK_p$ ,  $DK_i$ ,  $DK_d$ .

4) Для скорректированных параметров в течении принятого периода времени  $dT_0$  для всех степеней свободы рассчитываем скорость отклонения  $V_1$  и накопленное значение отклонения  $S_1$  (путь смещения или угол рыскания).

5) Рассчитываем разницу между скорректированными и начальными параметрами  $DV$ ,  $DS$ .

6) Все случайно заданные и рассчитанные параметры объединяем в общий массив и получаем один элемент обучающей выборки.

Все коэффициенты выбираются случайно в определённых диапазонах.

Предложена методика составления обучающей выборки, которая заключается в том, что случайным образом вносятся изменения в коэффициенты передаточной функции системы управления и регистрируются соответствующие изменения выходного сигнала. При обучении нейросети изменения коэффициентов являются выходными данными, а сигналы рассогласования подаются на вход нейросети совместно с параметрами системы управления.



## РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ

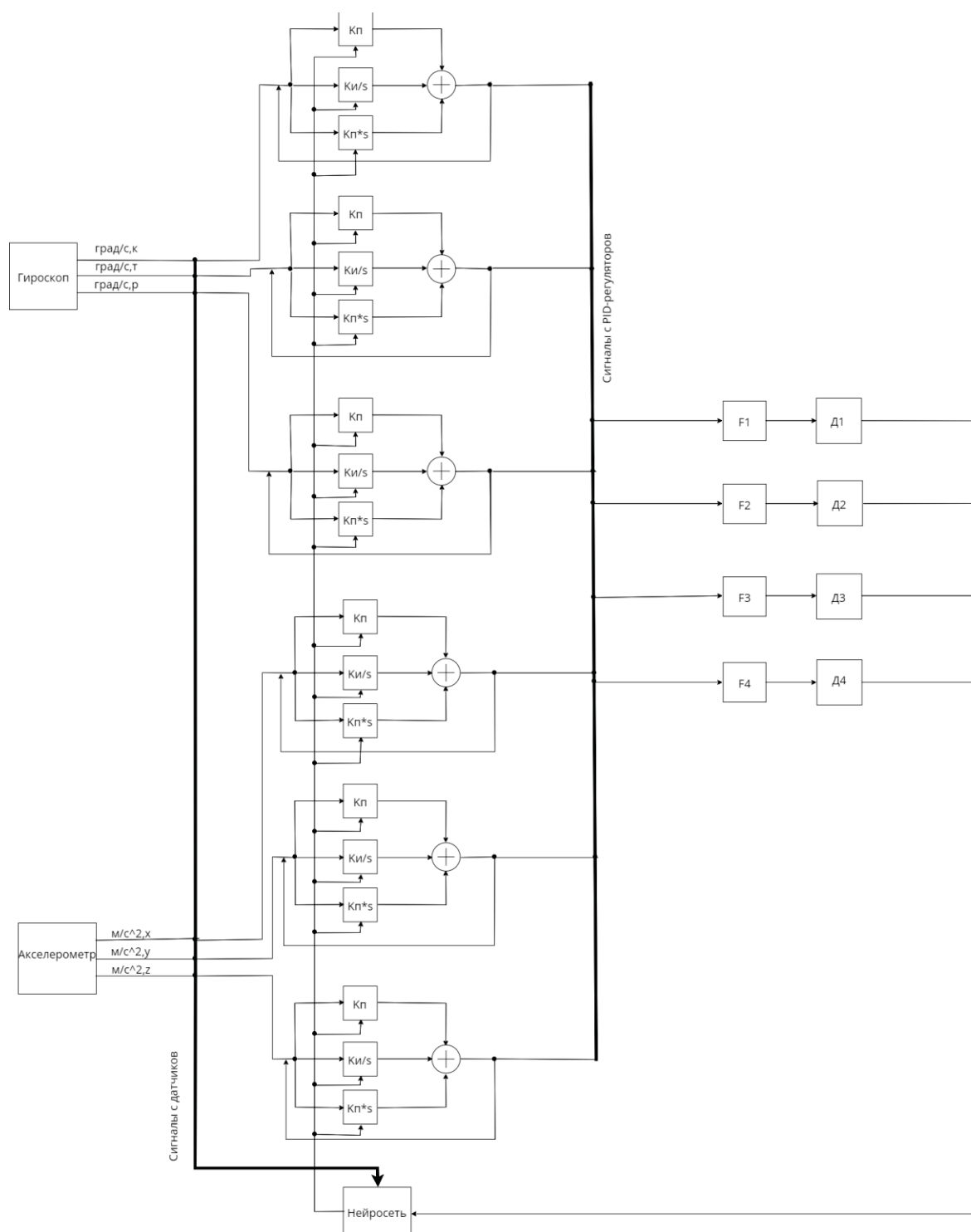


Рисунок 1 – Структурная схема управления при помощи нейросети, где x, y, z – координаты движения, к, т, р – выходные сигналы для крена, тангажа и рыскания

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lozano R., Dzul A., Castillo P. Quadrotor Helicopter Flight Dynamics and Control: Theory and Experiment. London: Springer, 2005.

2. Баранов, О.В. Алгоритм настройки стабилизирующего ПИД-регулятора квадрокоптера // Изв. вузов. Приборостроение. – 2021. – Т. 64. – № 10. – С. 829-838.

3. Никифоров, С.М. Особенности разработки аппаратной части полетного контроллера БПЛА /

С.М. Никифоров, В.В. Вертегел, В.В. Савинов, И.А. Симонов – Текст: непосредственный // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2019. – № 2. – С. 53.

4. Лоскутников, А.А. Системы автоматического управления БПЛА / А.А. Лоскутников, Н.С. Семяшкин, В. В. Парамонов. –Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2011. – № 9 (32). – С. 56-58. – URL: <https://moluch.ru/archive/32/3685/> (дата обращения: 14.10.2024).

5. Современные цифровые технологии: материалы III Всероссийской научно-практической конференции (03 июня 2024 г.) / под общ. ред. А.А. Беушев, А.С. Авдеев, Е.Г. Боровцов, А.Г. Зрюмова;

АлтГТУ им. И. И. Ползунова. – Барнаул: АлтГТУ, 2024. – С. 236-239. – URL: [https://journal.altstu.ru/konf\\_2024/2024\\_1/130/](https://journal.altstu.ru/konf_2024/2024_1/130/). – Текст: электронный.

**Кривобокос Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент, тел:+79619767563, e-mail: [dmitriikrivobokov@mail.ru](mailto:dmitriikrivobokov@mail.ru);

**Матущенко Игорь Евгеньевич** – студент кафедры «Приборостроение», тел: 89133087888, e-mail: [igormatusenko49456@mail.ru](mailto:igormatusenko49456@mail.ru).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СРЕДЫ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

С. С. Земская, А. Ю. Андреева

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

*В статье описана технология создания модели существующей транспортной развязки с использованием средств SUMO, JOSM и OSM. Данные модели могут быть использованы для различных аспектов моделирования дорожного движения, в том числе обучение с подкреплением агентов автономных транспортных средств.*

**Ключевые слова:** SUMO, JOSM, OSM, транспортные сети, площадь Октября.

### Введение

Недавние исследования показывают, что упорядоченное взаимодействие автономных транспортных средств (АТС) друг с другом может потенциально уменьшить дорожные пробки в искусственно созданных ситуациях, например, движение автомобилей по кольцу [1]. Потому многим компаниям, до того как начинать реализовывать какой-либо дорожный проект, важно иметь модель, которая будет реалистично имитировать транспортный поток и поведение водителей на дороге, чтобы предполагаемая реализация проекта имела наилучший результат [2].

Одним из эффективных решений для моделирования задачи является использование SUMO (Simulation of Urban MObility), который поддерживает открытый исходный код и предоставляет мощные инструменты для моделирования транспортных систем.

С применением искусственного интеллекта (ИИ) и методов обучения с подкреплением можно добиться значительных улучшений в управлении транспортными потоками. ИИ способен управлять АТС, учитывая условия, изменяющиеся на дорогах. Например, с помощью алгоритмов обучения с подкреплением АТС могут оптимизировать свои маршруты и поведение на основе получаемых наград за эффективное движение.

Использование SUMO в сочетании с ИИ открывает новые возможности для моделирования и оптимизации транспортных потоков. Это не только позволяет имитировать различные сценарии движения, но и дает возможность обучать АТС, адаптирующихся к реальным условиям на дорогах. Алгоритмы ИИ могут обучать автомобили принимать оптимальные решения в зависимости от ситуа-

ции, что приводит к более эффективному поведению АТС в трафике.

### Описание программного обеспечения

SUMO [3] – это мощный и гибкий пакет для симуляции городского трафика, который позволяет моделировать различные аспекты транспортных систем. С 2001 года SUMO доступен как бесплатное и открытое ПО. Данный пакет использует микроскопический подход к моделированию. Данный подход учитывает поведение отдельных компонентов системы ВАДС (водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда) на уровне отдельных единиц системы. Это позволяет более точно моделировать взаимодействие между АТС и их поведением на дорогах.

Данная система поддерживает моделирование различных видов АТС: легковых и грузовых автомобилей, общественный транспорт и пешеходов, поэтому делает это моделирование полезным для анализа сложных транспортных систем и их взаимодействия.

В SUMO входят различные инструменты, которые помогают в создании сценариев визуализации транспортного потока, импорте сетей и расчете выбросов. Также SUMO предоставляет API и поддерживает интеграции с разными языками программирования.

Часть ПО реализована на C++, тем самым обеспечивается высокая скорость выполнения и эффективность при обработке больших объемов данных, таких как транспортные потоки и взаимодействия между транспортными средствами. Также SUMO включает инструменты и интерфейсы Python, что позволяет пользователям легко взаимодействовать с симулятором, создать сценарии и автоматизировать задачи. Также Python используется для написания скриптов, которые могут управлять симуляцией, анализиро-



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СРЕДЫ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

работы с картами, что делает его популярным среди опытных редакторов. Загруженная в JOSM [5] схема отображена на рисунке 2.

2. Полученная в JOSM схема экспортируется в формат osm. Этот формат является

картой улиц, представляющих собой данные в формате xml в виде узлов, путей и отношений.

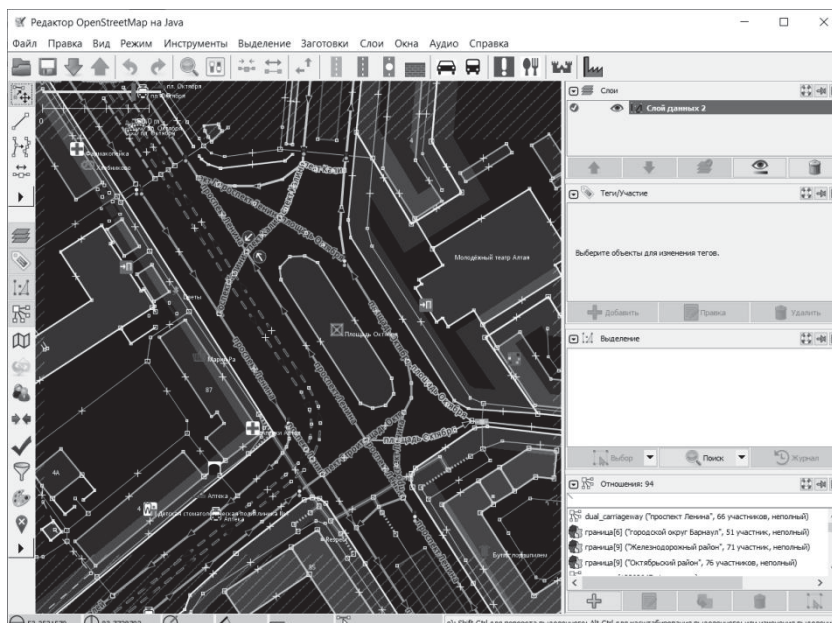


Рисунок 2 – Схема транспортной развязки в JOSM

3. Полученные в JOSM данные экспортируются в netedit [6] – это графический редактор сетей, входящий в состав SUMO, который предназначен для создания и редактирования дорожных сетей. В netedit файл ото-

бражается со всеми основными атрибутами дороги – светофорами, количеством полос, углами перекрестков и т.д., что продемонстрировано на рисунке 3.

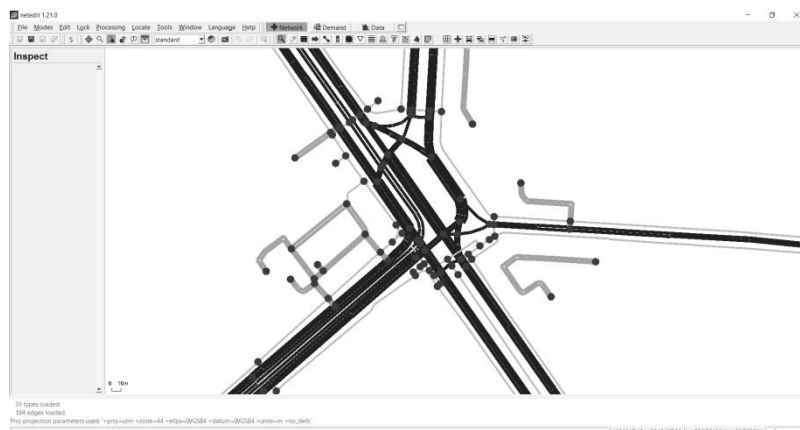


Рисунок 3 – Схема транспортной развязки в SUMO

### Анализ и результаты

Представленная технология позволяет создать рабочую карту, которая в дальнейшем будет использована как среда для агентов (АТС).

Полученная модель площади Октября позволяет добавлять любые объекты (пешеходные переходы, светофоры и т.д.).

Онлайн-ресурс Open StreetMap.org, не работает с российскими IP-адресами, так как доступ к этому ресурсу ограничен. Есть аль-

тернатива – Open StreetMap.ru, который обладает чуть меньшим функционалом.

Преобразование из OSM в SUMO выполняется с помощью двух инструментов: JOSM и netconvert, последний из которых предоставляется SUMO. Основной целью этих инструментов является создание дорожной транспортной сети, которую можно использовать для моделирования дорожного движения. Поэтому основное внимание уделяется именно дорогам.

#### **Обсуждение и выводы**

Анализ использования OSM, SUMO и JOSM показывает, что эти инструменты играют ключевую роль в создании и моделировании транспортных сетей, обеспечивая высокую степень детализации и гибкости в работе с геоданными.

OSM позволяет пользователям вносить изменения и обновления, что делает данные динамичными и адаптивными к изменениям в реальном мире. Это особенно важно для городского планирования и транспортного моделирования, где точность данных критична.

SUMO использует данные как собственного проектирования, так и из OSM для создания реалистичных моделей, что позволяет исследователям и планировщикам принимать обоснованные решения на основе симуляций.

JOSM служит удобным инструментом для редактирования и подготовки данных OSM перед их импортом в SUMO, что необходимо в связи с особенностями конвертирования транспортной сети.

Использование вышеописанных ресурсов позволило создать среду для дальнейшего исследования методов обучения с подкреплением для управления АТС.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Dissipation of stop-and-go waves via control of autonomous vehicles: Field experiments // Trans-

portation Research Part C: Emerging Technologies. – 2018. – №89. – С. 205-221.

2. Бекларян, А.Л., Бекларян, Л.А., Акопов, А. С. Имитационная модель интеллектуальной транспортной системы «умного города» с адаптивным управлением светофорами на основе нечеткой кластеризации // Бизнес-информатика. –2023.–Т.17.–№3.–С.70-86. URL: <https://bijournal.hse.ru/2023--3%20Vol%2017.html?ysclid=m4jflh35ef623225909>.

(дата обращения: 07.12.2024).

3. SUMO: Руководства: Официальный сайт. URL: <https://sumo.dlr.de/docs/Tutorials/index.html>. (дата обращения: 07.12.2024).

4. Начните с JOSM: сайт. URL: <https://josm.ru/> (дата обращения: 07.12.2024).

5. RU:JOSM: Начальное руководство: сайт. URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:JOSM/> (дата обращения: 07.11.2024).

6. SUMO: Netedit: сайт. URL: <https://sumo.dlr.de/docs/Netedit/index.html> (дата обращения: 07.12.2024).

7. Дмитриева, Л.М. Наш словарь – плод многолетнего труда // Газета Алтайского государственного университета «За науку!». – 2003. – №7(797). –С.3. URL: <https://zn.asu.ru/pdf/2003/> (дата обращения: 12.12.2024).

8. Geoff Boeing. Urban Street Network Orientation: сайт. URL: <https://geoffboeing.com/2019/09/urban-street-network-orientation/> (дата обращения: 08.11.2024). Текст: электронный.

9. SUMO: OpenStreetMap: сайт. URL: <https://sumo.dlr.de/docs/Networks/Import/OpenStreetMap.html> (дата обращения: 08.10.2024).

10. OpenStreetMap.ru // OpenStreetMap: Карта Online. URL: <https://openstreetmap.ru/#=&map=18/53.35523/83.76983> (дата обращения: 08.11.2024).

**Земская Софья Сергеевна – магистрант кафедры «Прикладная математика», 89612400221, e-mail: sophie.zemskaya@yandex.ru;**

**Андреева Ангелика Юрьевна – к.ф.м.н., доцент кафедры «Прикладная математика», 99059264503, e-mail: ang\_reg@mail.ru.**

## РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА-СИМУЛЯТОРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ UNITY ENGINE

**В. М. Рыжих**

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

*Статья посвящена разработке симулятора для обучения и тестирования робототехнических платформ, что является важным аспектом подготовки специалистов в области робототехники. Разработка робототехнических платформ требует комплексных знаний в программировании и аппаратном обеспечении. Внедрение симуляторов позволяет снизить риски повреждения оборудования и сократить расходы, связанные с обучением. В данной работе представлена разработка программной среды для симуляции работы робототехнической платформы на базе микроконтроллера STM32 с использованием Unity Engine. Рассматриваются этапы создания 2D-модели робота и интерфейса симулятора, включающего поддержку написания и выполнения кода на языке C, визуализацию робота в пиксельном стиле и удобное отображение логов выполнения программ.*

**Ключевые слова:** робототехническая платформа, программирование микроконтроллеров, пространственная дискретизация, UnityEngine, STM32, дистанционное обучение, пользовательский интерфейс, интерпретирование кода, системы симуляции взаимодействия, дистанционный отбор.

Разработка робототехнических платформ представляет собой сложный процесс, требующий глубоких знаний и практических навыков как в области программирования, так и в области работы с аппаратным обеспечением. Робототехнические системы находят широкое применение в различных отраслях, включая производство, медицину, науку и бытовую сферу. Обучение специалистов для работы с такими системами должно быть насыщенным и глубоко погруженным в процесс создания и тестирования роботов.

Одним из эффективных методов обучения и разработки является использование симуляторов. Симуляторы позволяют частично или полностью воспроизвести процесс программирования и работы робототехнической платформы, что снижает риски повреждения аппаратных компонентов и сокращает затраты на оборудование.

Целью данной работы является разработка программной среды для симуляции работы робототехнической платформы на базе STM32 с использованием Unity Engine.

### **Разработка 2D модели робота и интерфейса приложения**

На начальном этапе разработки интерфейса для симулятора робототехнической платформы был проведен анализ требований и целей проекта. Основные задачи включали создание удобного и интуитивно понятного интерфейса для взаимодействия с пользователем и реализацию визуализации робота с видом сверху в пиксельном стиле.

Основные требования к интерфейсу:

- Поддержка написания и выполнения кода на языке C.
- Отображение логов и результатов выполнения программ.
- Визуализация 2D-модели робота с видом сверху в пиксельном стиле.
- Простота и удобство использования для студентов и разработчиков.

Модель робота была реализована на реальном роботе от компании «Лаборатория ОмегаЛаб» под названием OmegaBot, представленном на рисунке 1. Ссылка на магазин с робототехнической платформой, использованной как референс: <https://omegabot.ru/product/17>

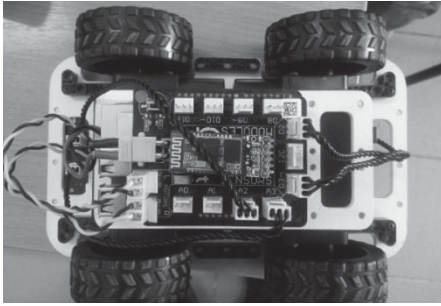


Рисунок 1 – Реальная модель робототехнической платформы

Процесс создания 2D-модели включал следующие этапы:

- Сборка референсов: использование фотографий и чертежей реального робота для создания точной 2D-репрезентации.
- Определение ключевых элементов: выделение основных компонентов робота (колеса, корпус, сенсоры), которые должны быть отображены в модели.
- Рисование в пиксельном стиле: создание пиксельной 2D-модели робота с видом сверху. Это обеспечило стилистическую целостность интерфейса и соответствие общей эстетике симулятора.

Создание 2D модели и пользовательского интерфейса осуществлялось в графическом редакторе Aseprite. Это платное программное обеспечение, распространяемое через магазин цифровой дистрибуции Steam, заточенное под создание изображений в пиксельном стиле и их анимирование.

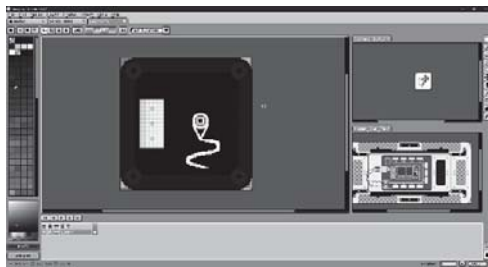


Рисунок 2 – Интерфейс Aseprite

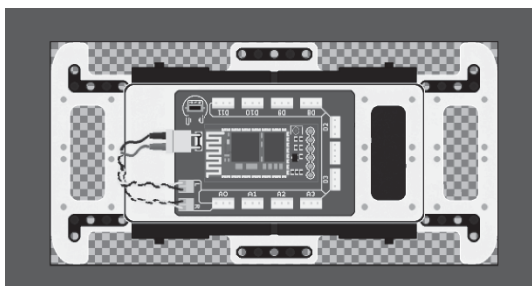


Рисунок 3 – 2D модель робототехнической платформы в графическом редакторе

На рисунке 3 представлена 2D модель симулируемой робототехнической платформы, созданная в графическом редакторе Aseprite. Колёса модели были нарисованы и анимированы отдельно от платформы, что позволило создать анимацию движения колёс внутри симулятора при помощи встроенного функционала Unity.

Процесс создания анимации виден на рисунках 4-5. Для начала все кадры анимации рисуются в одном файле так, чтобы между ними сохранялось одинаковое расстояние. Это позволяет не хранить все кадры анимации отдельно, а также легко импортировать их в Unity для автоматического создания внутреннего файла анимации в движке.

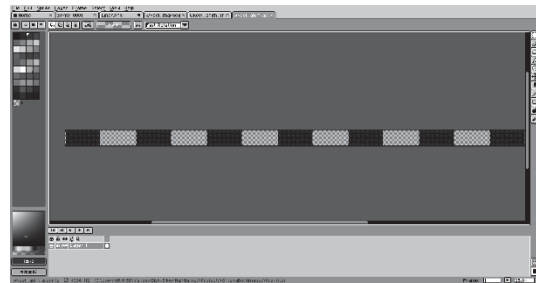


Рисунок 4 – Создание файла с кадрами анимации

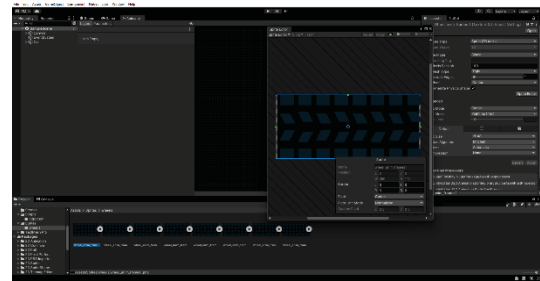


Рисунок 5 – Процесс импорта анимации в Unity

Интерфейс симулятора был разработан с учетом удобства использования и функциональности. Основные элементы интерфейса включают:

Поле ввода кода:

- Текстовое поле для написания программ на языке C.
- Подсветка синтаксиса для облегчения написания и чтения кода.

Кнопки управления:

- Старт: Запуск выполнения написанного кода.
- Пауза: Приостановка выполнения программы.



- Сброс: Остановка программы и сброс состояния симуляции.
- Очистка лога: Удаление всех записей в окне вывода логов.  
Окно вывода логов:
  - Вывод сообщений об ошибках и отладочной информации.
  - Возможность прокрутки и копирования текста.
- Визуализация 2D-модели робота:
  - Основная область симуляции, где отображается робот и его окружение.
  - Вид сверху для наглядного представления движений и взаимодействий робота с объектами.
  - Пиксельный стиль для соответствия общей эстетике интерфейса.

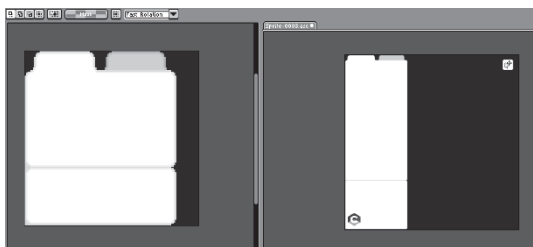


Рисунок 6 – Внешний вид пользовательского интерфейса

На рисунке 6 представлен внешний вид пользовательского интерфейса. В левой части экрана интерфейс адаптируется под окно с маленьким разрешением квадратной формы. В правой части экрана тот же интерфейс адаптируется под большее разрешение.

#### Разработка интерпретатора кода

Создание интерпретатора кода – сложная задача, включающая несколько этапов,

от анализа исходного кода до выполнения команд на целевом языке. Ниже описан процесс создания интерпретатора, используя ANTLR (Another Tool for Language Recognition) для разбора и интерпретации кода.

Первый шаг в создании интерпретатора — определение грамматики исходного языка, в данном случае, языка «С». Грамматика описывает синтаксис языка и задает правила, по которым код разбивается на токены и синтаксические структуры.

Создание грамматики:

- Написание файла грамматики для ANTLR, который описывает правила языка С.
- Грамматика включает лексические правила (определение токенов) и синтаксические правила (определение структуры).

На основе определенной грамматики ANTLR генерирует парсер, который преобразует исходный код в абстрактное синтаксическое дерево (AST).

Компиляция грамматики:

- Использование ANTLR для генерации парсера и лексера на основе грамматики.
- Генерация кода на выбранном языке (например, «С#») для использования в интерпретаторе.
- Разработка основной логики:
- Инициализация парсера с входным кодом на языке С.
- Использование посетителя для обхода синтаксического дерева и генерации Python кода.
- Выполнение сгенерированного Python кода с помощью встроенного интерпретатора Python (например, с использованием модуля `exec`).

```

public override string VisitConditionalExpression(CParser.ConditionalExpressionContext context) {
    AddHighlighting(context.Question(), CodeView.theme.KeywordColor);
    AddHighlighting(context.Colon(), CodeView.theme.KeywordColor);
    var main = Accept(context.logicalOrExpression());
    if (!IsNull(context.Question())) return main;
    var expr = Accept(context.expression());
    var cond = Accept(context.conditionalExpression());
    return $"{expr} if {main} else {cond}";
}

public override string VisitLogicalOrExpression(CParser.LogicalOrExpressionContext context) {
    return string.Join(" or ", Accept(context.logicalAndExpression()));
}

public override string VisitLogicalAndExpression(CParser.LogicalAndExpressionContext context) {
    return string.Join(" and ", Accept(context.inclusiveOrExpression()));
}

public override string VisitInclusiveOrExpression(CParser.InclusiveOrExpressionContext context) {
    return string.Join(" | ", Accept(context.exclusiveOrExpression()));
}

```

Рисунок 7 – Листинг 1 (синтаксис и логические операции)

Обработка синтаксических и семантических ошибок является важной частью создания интерпретатора. Это включает в себя обработку исключений и предоставление полезных сообщений об ошибках пользователю.

Обработка ошибок:

- Реализация механизма обработки ошибок на этапе парсинга и интерпретации.
- Предоставление детализированных сообщений об ошибках, включая строку и позицию в коде.

После завершения основных этапов разработки интерпретатор необходимо тщательно протестировать и оптимизировать.

Тестирование:

- Создание тестовых наборов с различными сценариями, включая корректный и некорректный код.
- Автоматическое тестирование для проверки правильности работы интерпретатора.

Оптимизация:

- Повышение производительности интерпретатора путем оптимизации критических участков кода.

– Улучшение обработки сложных выражений и конструкций.

### Сборка проекта

Процесс сборки симулятора в Unity состоит из нескольких этапов, начиная от настройки проекта и заканчивая созданием финального исполняемого файла.

При разработке симулятора использовалась версия UnityEngine 2021.3.19f1 (Рисунок 8). Данная версия является самой последней стабильной LTS версией на момент создания проекта.

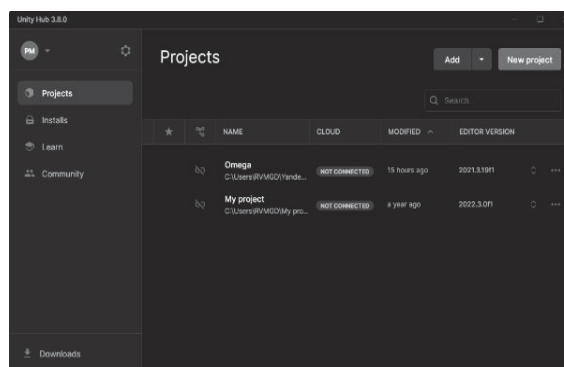


Рисунок 8 – Интерфейс Unity Hub

## РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА-СИМУЛЯТОРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ UNITY ENGINE

Проделанные шаги разработки:

- Создание сцены симулятора.
- Создание новой сцены и добавление основных объектов, таких как полигон для тестирования, робота и интерфейса пользователя.

- Размещение 2D-объектов (спрайтов) на сцене и настройка их свойств (размер, позиция, слой и т.д.).

Разработка скриптов.

- Робот: Создание скрипта для управления роботом, включая обработку его движений и взаимодействия с виртуальной средой.

- Интерпретатор: Реализация интерпретатора, который будет выполнять пользовательский код на языке C. Для этого используется ранее описанный CustomCVisitor.

- UI: Создание скриптов для пользовательского интерфейса, таких как редактор кода, лог и кнопки управления.

Добавление элементов интерфейса.

- Редактор кода: Использование InputField для создания текстового поля, в котором пользователи могут писать код на языке C.

- Кнопки управления: Добавление кнопок для запуска, паузы и сброса симуляции. Настройка их событий на вызов соответствующих методов.

- Окно лога: Использование Text для отображения результатов выполнения программ и отладочной информации.

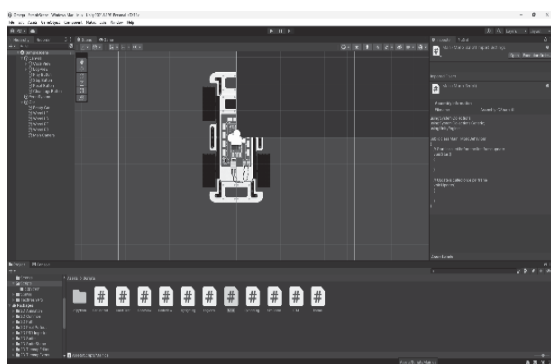


Рисунок 9 – Процесс создания приложения в UnityEngine

На рисунке 9 показан процесс автоматической сборки 2D модели: анимированные колёса привязываются к спрайту бота. Скорость анимации колёс зависит от скорости спрайта бота внутри симулятора.

### Вывод

Проект по разработке симулятора робототехнической платформы прошел через несколько ключевых этапов, каждый из которых был направлен на создание функционального, удобного и эффективного инструмента для обучения и соревнований по программированию микроконтроллеров.

Разработанный интерфейс симулятора позволяет пользователям легко писать и выполнять отладку кода, а также взаимодействовать с симуляцией робота. Основные элементы интерфейса включают встроенный редактор кода, кнопки управления и окно вывода логов. Разработанный интерфейс обеспечивает:

- простоту использования, что особенно важно для начинающих пользователей;

- полную интеграцию с другими компонентами симулятора, обеспечивая плавное взаимодействие между написанием кода и его выполнением;

- поддержку отладки и отображения логов, что помогает пользователям отслеживать выполнение программ и быстро находить ошибки.

Созданная 2D модель робота с видом сверху в пиксельном стиле позволило обеспечить:

- четкость и визуальную привлекательности модели, что улучшает общее восприятие симулятора;

- простоту интеграции модели в виртуальный полигон, что позволяет пользователям легко наблюдать за движением и взаимодействиями робота.

- точность воссоздания реального робота, что делает симуляцию максимально реалистичной и полезной для обучения и отладки.

Использование ANTLR для создания синтаксического анализатора и реализации класса посетителя (Visitor) позволило:

- корректно разбирать и интерпретировать пользовательский код на языке C;

- обеспечить выполнение высокоуровневых функций управления роботом, таких как перемещение, взаимодействие с датчиками и коммуникацию;

- создать стабильную и эффективную среду для написания, выполнения и отладки программ, что значительно улучшает пользовательский опыт.

Процесс сборки проекта в Unity включает настройку всех компонентов, оптимизацию производительности и тестирование готового продукта. Основные результаты сборки обеспечивают:

— создание готового к использованию прототипа симулятора, который поддерживает выполнение кода и отображает результаты на виртуальном полигоне;

— полное тестирование и отладку всех компонентов, что гарантирует стабильность и надежность симулятора при использовании в реальных условиях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Unity Technologies. Документация по движку Unity: Официальный сайт – URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>. (дата обращения: 10.12.2024).

2. Ферроне Харрисон. Изучаем C# через разработку игр на Unity. 5-е издание. - Санкт-Петербург: Питер, 2022. – 400 с. - ISBN 978-5-

4461-2932-4. – URL: <https://books.bsuir.by/MegaPro/Download/MObject/4360> (дата обращения: 10.12.2024). - Текст: электронный.

3. Основы компьютерной графики: учебное пособие / А.Ю. Дёмин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 191 с.

4. Васильев, А.С. Основы программирования микроконтроллеров / А.С. Васильев, О.Ю. Лашманов, А.В. Пантюшин. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. – 95с. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2031.pdf> (дата обращения: 10.12.2024). - Текст: электронный.

5. Борисов И.И., Колюбин С.А., Имитационное моделирование мехатронных систем.–Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2020.–103 с. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2628.pdf> (дата обращения: 10.12.2024). – Текст: электронный.

**Рыжих Виктор Максимович** – студент гр. 8ПС-41, Кафедра ИТ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул), e-mail: [rvmgd2020@gmail.com](mailto:rvmgd2020@gmail.com).

## СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЕМКОСТНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков, Б. Р. Яковлев

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

В статье проведено сравнение методов измерения удельной электрической проводимости жидкостей с использованием ёмкостных первичных преобразователей. В качестве критерия сравнения использованы модели систематических погрешностей измерений.

**Ключевые слова:** номинальная статическая характеристика, реальная статическая характеристика, абсолютная погрешность измерения, относительная погрешность измерения.

Кондуктометрические измерительные первичные преобразователи, основанные на ёмкостном методе измерений, не имеют гальванического контакта электродов с анализируемым раствором. Таким образом, электрическое взаимодействие датчика с жидкостью осуществляется через ёмкость. На рисунке 1 представлены эквивалентные электрические схемы замещения первичных преобразователей [1,4,6].

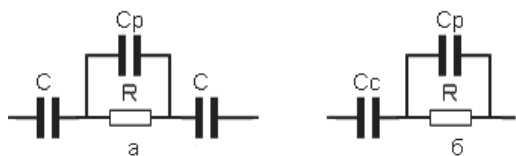


Рисунок 1 – Схемы замещения ёмкостного кондуктометрического измерительного преобразователя

Измерение удельной электрической проводимости при использовании ёмкостного датчика осуществляется с использованием тех же измерительных схем, что и для контактного преобразователя [2,3,5]. На рисунке 2 приведены схемы включения ёмкостного преобразователя, реализующие способ непосредственной оценки. Выходными сигналами являются:

- ток, протекающий через первичный преобразователь (рисунок 1а);
- падение напряжения на измерительном преобразователе (рисунок 1б);
- падение напряжения на плече резистивного делителя, включенном последовательно первичному преобразователю.

Для расчета удельной электрической проводимости раствора при использовании измерительных схем, применяются следующие способы:

- измерение амплитуды выходного сигнала измерительной цепи (способ А);
- вычисление среднего значения выходного сигнала в течении половины периода напряжения питания (способ Б);
- вычисление среднего значения выходного напряжения в течении половины периода протекания тока через измерительный преобразователь (способ В).

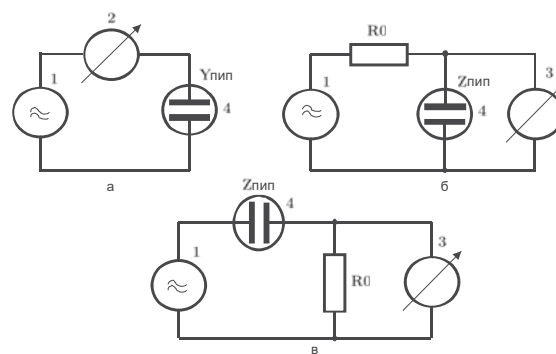


Рисунок 2 – Схемы измерений с непосредственной оценкой измеряемого параметра

Влияние значений элементов эквивалентной электрической схемы замещения первичного я тем, что учитывает не только зависимость выходного сигнала от параметров измерительной цепи, но и влияние параметров первичного измерительного преобразователя на этот сигнал.

Выходным сигналом измерительной цепи, показанной на рисунке 2а, является ток. В случае оценки удельной электрической проводимости жидкости по значению амплитуды тока, протекающего через преобразователь, номинальная статическая характеристика выглядит следующим образом:

$$i = U \frac{\chi}{A}, \quad (1)$$

где  $i$  – амплитуда тока;  $U$  – амплитуда напряжения питания;  $\chi$  – УЭП анализируемой жидкости;  $A$  – постоянная ПИП.

Реальная статическая характеристика при оценке величины УЭП по амплитуде тока через ПИП (рисунок 2а) имеет следующий вид:

$$i = U|Y| = U\sqrt{g^2 + b^2}, \quad (2)$$

где:  $|Y|$  – модуль комплексной проводимости ПИП;  $g$  – активная составляющая проводимости ПИП;  $b$  – реактивная составляющая проводимости ПИП.

Влияние на результат определения УЭП анализируемой жидкости параметров и ПИП, и жидкости, не подлежащих измерению, можно оценить, используя аналитические выражения для номинальной и реальной статических характеристик. Для схемы, показанной на рисунке 2а, из уравнения (1) можно выразить УЭП:

$$\chi = i \frac{A}{U}. \quad (3)$$

При учёте реальной статической характеристики (2) абсолютная погрешность для УЭП, как следует из (2) и (3), выразится следующим образом:

$$\Delta\chi = A\sqrt{g^2 + b^2} - \chi. \quad (4)$$

Из математических формул (3) и (4) вытекает относительная погрешность измерения  $\delta$ :

$$\delta = \left( \frac{A\sqrt{g^2 + b^2}}{\chi} - 1 \right) 100. \quad (5)$$

В случае использования способа Б, номинальная статическая будет выглядеть следующим образом:

$$i_{cp} = \frac{U}{\pi A} \int_0^\pi \chi \sin \omega t d\omega t = \frac{2U}{\pi A} \chi. \quad (6)$$

Реальная статическая характеристика схемы, показанной на рисунке 2а, при использовании способа оценки Б:

$$i_{cp} = \frac{U}{\pi} \int_0^\pi Y \sin(\omega t + \varphi) d\omega t = \frac{2U}{\pi} Y \cos \varphi = \frac{2U}{\pi} g \quad (7)$$

где  $\varphi$  – угол сдвига фазы тока относительно напряжения.

Из уравнений (6) и (7) можно выразить абсолютную погрешность измерения УЭП анализируемого раствора:

$$\Delta\chi = Ag - \chi. \quad (8)$$

Относительная погрешность измерения при этом способе оценки УЭП равна:

$$\delta = \left( A \frac{g}{\chi} - 1 \right) 100. \quad (9)$$

В схеме, показано на рисунке 2б, выходной сигнал измерительной цепи формируется как напряжение, падающее на первичном преобразователе с анализируемым раствором. В случае применения способа А для оценки УЭП, номинальная статическая характеристика примет следующий вид:

$$u = \frac{UA}{R_0\chi + A}, \quad (10)$$

где  $R_0$  – активный резистор с известным сопротивлением.

Реальная статическая характеристика этой схемы при использовании способа Б оценки имеет следующий вид:

$$u = U|Y_{uy}| \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (11)$$

где:  $Y_{uy}$  – модуль проводимости измерительной цепи;  $R$  – активная составляющая импеданса ПИП;  $X$  – реактивная составляющая импеданса ПИП.

Из (10) и (11) определяется абсолютная погрешность:

$$\Delta\chi = \frac{A}{R_0} \left( \frac{1}{\sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2} \sqrt{R^2 + X^2}} - 1 \right) - \chi, \quad (12)$$

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ  
УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ ЕМКОСТНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

где:  $g_{uy}$  – активная составляющая проводимости измерительной цепи;  $b_{uy}$  – реактивная составляющая проводимости измерительной цепи.

Как следует из (12), выражение для относительной систематической погрешности будет выглядеть следующим образом:

$$\delta = \left[ \frac{A}{R_0 \chi} \left( \frac{1}{\sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2} \sqrt{R^2 + X^2}} - 1 \right) - 1 \right] 100. \quad (13)$$

Для схемы, показанной на рисунке 2б, и расчете УЭП по способу Б номинальная статическая характеристика имеет следующий вид:

$$u_{cp} = \frac{U}{\pi} \frac{A}{R_0 \chi + A} \int_0^\pi \sin(\omega t) d\omega t = \frac{2U}{\pi} \frac{A}{R_0 \chi + A}. \quad (14)$$

Реальная статическая характеристика может быть получена с использованием следующего соотношения:

$$\begin{aligned} u_{cp} &= U \pi^{-1} \int_0^\pi |Y_{uy}| |Z| \sin(\omega t + \varphi - \psi) d\omega t = \\ &= \frac{2U}{\pi} |Y_{uy}| |Z| \cos(\varphi - \psi) \end{aligned} \quad (15)$$

где:  $Z$  – импеданс ПИП  $\varphi$  – угол сдвига фазы между питающим напряжением и током в измерительной цепи;  $\psi$  – угол сдвига фазы напряжением, падающим датчике и током в измерительной цепи. Если учесть, что:

$$\cos(\varphi - \psi) = \cos \varphi \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi, \quad (16)$$

и принять во внимание следующие обозначения:

$$\begin{aligned} |Y_{uy}| \cos \varphi &= g_{uy}, \\ |Z| \cos \psi &= R, \\ |Y_{uy}| \sin \varphi &= b_{uy}, \\ |Z| \sin \psi &= X, \end{aligned}$$

получим реальную статическую характеристику:

$$u_{cp} = \frac{2U}{\pi} (g_{uy} R + b_{uy} X). \quad (17)$$

Из (14) с учетом (17) абсолютная погрешность будет равна:

$$\Delta \chi = \frac{A}{R_0} \left( \frac{1}{g_{uy} R + b_{uy} X} - 1 \right) - \chi. \quad (18)$$

Соответственно относительная погрешность примет вид:

$$\delta = \left[ \frac{A}{R_0 \chi} \left( \frac{1}{g_{uy} R + b_{uy} X} - 1 \right) - 1 \right] 100. \quad (19)$$

Для способа В номинальная статическая характеристика рассчитывается аналогично (10). Реальную статическую характеристику можно получить из следующего уравнения:

$$\begin{aligned} u_{cp} &= \frac{U}{\pi} \int_0^\pi |Y_{uy}| |Z| \sin(\omega t - \psi) d(\omega t) = \\ &= \frac{2U}{\pi} \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2} |Z| \cos \psi = \frac{2U}{\pi} \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2} R. \end{aligned} \quad (20)$$

Тогда из (10) с учетом (20) получим:

$$\Delta \chi = \frac{A}{R_0} \left( \frac{2U}{\pi} \frac{1}{u_{cp}} - 1 \right) - \chi. \quad (21)$$

Как видно из (21), относительная систематическая погрешность вычисления удельной электрической проводимости будет равна:

$$\delta = \left[ \frac{A}{R_0 \chi} \left( \frac{1}{\sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2} R} - 1 \right) - 1 \right] 100. \quad (22)$$

В схеме, показанной на рисунке 2в, выходной сигнал формируется падением напряжения на резисторе, включенном последовательно датчику. Номинальная статическая характеристика при использовании для оценки способа А будет иметь вид:

$$u = \frac{U R_0 \chi}{R_0 \chi + A}. \quad (23)$$

Реальная статическая характеристика в этом случае:

$$u = U R_0 \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}. \quad (24)$$

Из (23) и (24) абсолютная погрешность оценки УЭП будет равна:

$$\Delta\chi = A \frac{\sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}}{1 - R_0 \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}} - \chi. \quad (25)$$

Из уравнения (25) можно получить значение относительной погрешности оценки УЭП для схемы, показанной на рисунке 2в, и способа А:

$$\delta = \left( \frac{A}{\chi} \frac{\sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}}{1 - R_0 \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}} - 1 \right) 100. \quad (26)$$

Для способа Б номинальная статическая характеристика будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} u_{cp} &= \frac{U}{\pi} \int_0^\pi \frac{R_0 \chi}{R_0 \chi + A} \sin(\omega t) d(\omega t) = \\ &= \frac{2U}{\pi} \frac{R_0 \chi}{R_0 \chi + A}. \end{aligned} \quad (27)$$

Реальную статическую характеристику для этой структуры и при этом способе оценки можно получить из следующего выражения:

$$\begin{aligned} u_{cp} &= \frac{UR_0}{\pi} \int_0^\pi |Y_{uy}| \sin(\omega t + \varphi) d\omega t = \\ &= \frac{2UR_0}{\pi} |Y_{uy}| \cos \varphi, \end{aligned} \quad (28)$$

где:  $\varphi$  – угол сдвига фазы тока в измерительной цепи относительно напряжения ее питания.

Если учесть равенство  $|Y_{uy}| \cos \varphi = g_{uy}$ , то из (28) получим реальную статическую характеристику:

$$u_{cp} = \frac{2UR_0}{\pi} g_{uy}. \quad (29)$$

Из (28) и (29) абсолютная погрешность оценки УЭП анализируемой жидкости будут равна

$$\Delta\chi = \frac{Ag_{uy}}{1 - R_0 g_{uy}} - \chi. \quad (30)$$

Из уравнения (30) несложно выразить относительную погрешность измерения УЭП:

$$\delta = \left[ \frac{Ag_{uy}}{\chi(1 - R_0 g_{uy})} - 1 \right] 100. \quad (31)$$

В случае оценки УЭП по схеме, представленной на рисунке 2в, и расчете УЭП по способу В номинальная статическая характеристика принимает вид:

$$\begin{aligned} u_{cp} &= \frac{U}{\pi} \frac{R_0 \chi}{R_0 \chi + A} \int_0^\pi \sin(\omega t) d(\omega t) = \\ &= \frac{2U}{\pi} \frac{R_0 \chi}{R_0 \chi + A}, \end{aligned} \quad (32)$$

а реальная статическая характеристика:

$$\begin{aligned} u_{cp} &= \frac{U}{\pi} \int_0^\pi R_0 |Y_{uy}| \sin(\omega t) d(\omega t) = \\ &= \frac{2U}{\pi} R_0 \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}. \end{aligned} \quad (33)$$

Используя (32) и (33), выражаем абсолютную погрешность:

$$\Delta\chi = \left( \frac{A \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}}{1 - R_0 \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}} - \chi \right). \quad (34)$$

Из (34) получим относительную систематическую погрешность оценки значения УЭП жидкости для рассматриваемого варианта:

$$\delta = \left[ \frac{A \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2}}{\chi(1 - R_0 \sqrt{g_{uy}^2 + b_{uy}^2})} - 1 \right] 100. \quad (35)$$

Как видно из математических формул расчета относительной погрешности (5), (9), (14), (19), (22), (26), (31) и (35), параметрами, от которых зависит систематическая погрешность измерения УЭП являются:

- модуль импеданса первичного преобразователя с раствором  $|Z|$ ;
- активная часть импеданса первичного преобразователя  $R$ ;
- реактивная часть импеданса первичного преобразователя  $X$ ;
- модуль проводимости первичного преобразователя  $|Y|$ ;
- активная часть проводимости первичного преобразователя  $g$ ;



**СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ  
УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ ЕМКОСТНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

- реактивная часть проводимости первичного преобразователя  $b$ ;
- модуль проводимости измерительной цепи  $|Y_{изц}|$ ;
- активная часть проводимости измерительной цепи  $g_{изц}$ ;
- реактивная часть измерительной цепи  $b_{изц}$ .

Значения активного сопротивления первичного преобразователя с жидкостью и его емкости связаны с кондукторной постоянной ПИП  $A$ , удельной электропроводностью жидкости  $\chi$  и ее относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  следующим образом:

$$R_p = \frac{A}{\chi}, \quad C_p = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{A}. \quad (36)$$

С учетом (36) из ЭЭХЗ ПИП (рисунок 16) можно определить  $g$ ,  $b$ ,  $g_{изц}$ ,  $b_{изц}$ ,  $R$  и  $X$ , входящие в уравнения расчета относительной погрешности.

На рисунке 3 приведены результаты расчета относительной погрешности при следующих исходных данных:

- относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 80$ ;
- суммарная емкость связи  $C_c = 1,3$  нФ;
- частота напряжения питания измерительной цепи 10 кГц;
- постоянная первичного преобразователя  $A = 10$  1/м.

Для обеспечения чувствительности выходного сигнала к изменению удельной электропроводности в схемах, приведенных на рисунках 2б,в, были выбраны следующие сопротивления: для диапазона изменения удельной электропроводности от 10 до 100 мкС/м – 500 кОм; для диапазона от 100 мкСм/м до 1 мС/м – 50 кОм; для диапазона от 1 до 10 мС/м – 5 кОм.

На рисунке 3 приведена зависимость относительной погрешности при использовании различных способов оценки измеряемой удельной электрической проводимости анализируемой среды. Графики 1 и 3 показывают зависимость погрешности при использовании измерительной цепи, приведенной на рисунке 2а, и при использовании способов А и В. График 2 показывает зависимость погрешности при использовании этой же цепи, но при способе измерения Б.

На рисунке 6 приведена зависимость относительной погрешности от удельной проводимости при способе оценки В.

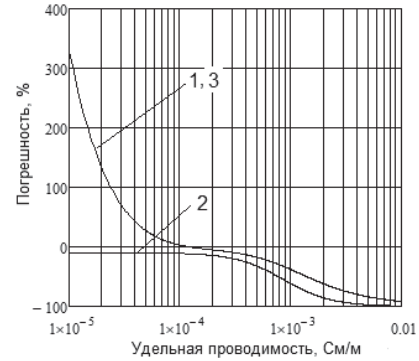


Рисунок 3 – Зависимость относительной погрешности от удельной проводимости

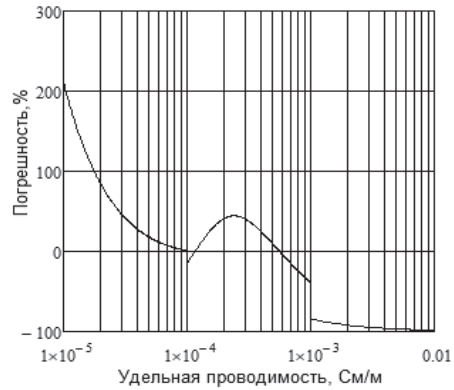


Рисунок 4 – Зависимость относительной погрешности от удельной проводимости

График, приведенный на рисунке 4, показывает зависимость погрешности от удельной погрешности при использовании измерительной цепи, приведенной на рисунке 2б, и при способе оценки А.

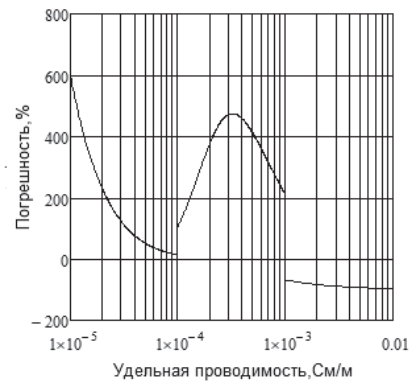


Рисунок 5 – Зависимость относительной погрешности от удельной проводимости

Зависимость погрешности от удельной проводимости при способе оценки Б приведена на рисунке 5.

На рисунках 7, 8 приведены зависимости относительной погрешности от удельной проводимости для измерительной цепи, показанной на рис.2в. На рисунке 7 приведена зависимость погрешности при использовании способов оценки измеряемой величины А и В. На рисунке 8 – при способе оценки Б.

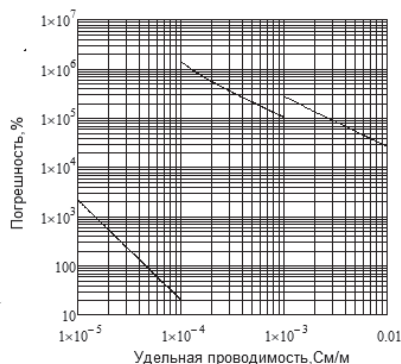


Рисунок 6 – Зависимость относительной погрешности от удельной проводимости

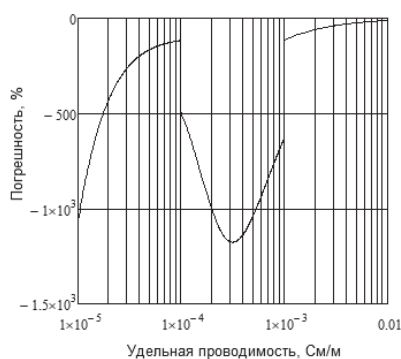


Рисунок 7 – Зависимость относительной погрешности от удельной проводимости

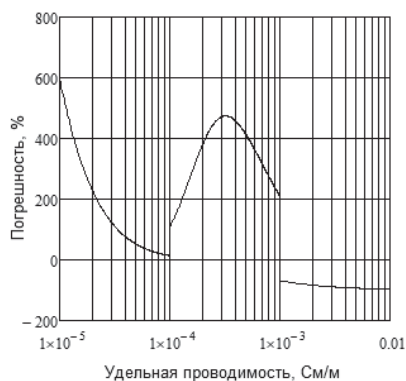


Рисунок 8 – Зависимость относительной погрешности от удельной проводимости

Как видно из представленных зависимостей, наименьшее значение относительной погрешности измерений обеспечивается схемой, приведенной на рисунке 2а, и способе оценки измеряемой величины – Б.

Таким образом, наиболее перспективной является измерительная цепь, в которой используется метод вычисления среднего значения протекающего тока за полу-период колебаний питающего напряжения.

Более информативное сравнение различных измерительных цепей и способов оценки измеряемой величины возможно после их оптимизации. В качестве критерия выбора измерительной цепи необходимо использовать минимальные значения относительной погрешности, а в качестве параметра оптимизации частоту напряжения питания измерительной цепи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Первухин, Б.С. Определение параметров емкостных первичных преобразователей кондуктометров / Б.С. Первухин. – Текст: непосредственный // Измерительная техника. – 2009. – №3. – С. 62- 64.
2. Первухин, Б.С. Методическая погрешность контактных кондуктометров/ Б.С. Первухин.– Текст: непосредственный // Естественные и технические науки. – 2011. – №1(51).– С. 41-44.
3. Первухин, Б.С. Проектирование контактных кондуктометров с использованием в качестве критерия оптимизации заданной систематической погрешности / Б.С. Первухин. – Текст: непосредственный // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – №2. – С. 41-44.
4. Кривобок, Д.Е. Разработка модели емкостного измерительного преобразователя при использовании стохастического метода определения параметров / Д.Е. Кривобок, А.И. Дуда, Б.С. Первухин, В.С. Афонин. –Текст: непосредственный // Ползуновский альманах.–2014.– №1.– С. 16-19.
5. Юшкова, В.Б. Модернизация метода измерения удельной электропроводности жидкостей, воды и химических растворов / В.Б. Юшкова, Б.С. Первухин. –Текст: непосредственный // Ползуновский вестник.–2015.–Т.1.–№4.–С.95-98.
6. Латышенко, К.П. Метрология и измерительная техника. Микропроцессорные анализаторы жидкости / К.П. Латышенко, Б.С. Первухин. – Москва: Высшее образование, 2020. – 204с.

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

**Кривобок Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02, e-mail: dmitrikrivobokov@mail.ru;

**Яковлев Борис Ренатович** – магистрант каф. ИТ, тел.: (385-2)29-09-13.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ВИБРАЦИОННОГО ВИСКОЗИМЕТРА-ПЛОТНОМЕРА КАМЕРТОННОГО ТИПА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

**Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков, Д. Е. Пузик**

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

*В статье рассматривается конструкция низкочастотного первичного измерительного преобразователя для измерения вязкости и плотности жидкости, использующего в качестве возбуждения электромагнитное поле, генерируемое электромагнитом. Теоретически обоснована и построена эквивалентная схема замещения. На основе схемы замещения определено уравнение импеданса системы. Для эквивалентной схемы замещения получены частотные и временные характеристики импеданса и тока.*

**Ключевые слова:** аналитические приборы, измерение, вязкость, плотность, камертон, вискозиметр, плотномер, электромагнитное возбуждение, магнитный поток, магнитное сопротивление.

### **Введение**

Вязкость и плотность жидкости являются одними из ключевых параметров, используемых при контроле технологического процесса и оценки качества продукта. Их измерение входит в задачи аналитического приборостроения для нужд нефтехимии, пищевой и фармацевтической промышленности, а также для оценки качества ГСМ.

Довольно часто, для возбуждения колебаний в подобных приборах используются пьезоэлементы. Это обусловлено их малыми габаритами, низкими токами возбуждения, а также возможностью работать в довольно широком диапазоне частот.

В то же время, пьезоэлементы отличаются высоким разбросом характеристик даже в одной партии, что требует дополнительных калибровок приборов. Также имеется ощутимый температурный дрейф, а наличие множества мод требуют сложных математических моделей для описания колебательных процессов в них.

Эти причины приводят к поиску более устойчивых систем и конструкций для измерения вязкости и плотности жидкости.

Цель работы – предложить конструкцию прибора, лишенную указанных недостатков

В первом приближении, конструкция ПИПа состоит из:

– катушки возбуждения электромагнитного поля;

– источника переменного напряжения;

– датчика тока;

– камертона.

Конструкция приведена на рисунке 1.

При подаче переменного напряжения на катушку возбуждения возникает переменное магнитное поле, которое движется по магнитопроводу и достигает конца его ветвей, где появляются два полюса одной полярности. В роли магнитопровода выступает камертон.

Это приводит к возникновению пондеромоторной силы, которая отталкивает ветви камертона друг от друга. В результате расстояние между ними увеличивается, что повышает магнитное сопротивление.

Камертон начинает колебаться с частотой источника напряжения. С ростом напряжения и тока увеличивается расстояние между ветвями камертона, что усиливает магнитное сопротивление. В результате происходит амплитудная модуляция тока через катушку возбуждения.

### **Построение эквивалентной схемы замещения**

Для анализа системы и построения математической модели, была построена электрическая эквивалентная схема замещения (ЭЭСЗ).

Возбуждающая катушка имеет собственную индуктивность и активное сопротивление проводника. Связь этих элементов с камертоном будем рассматривать как последовательно соединённые.

Камертон обладает массой, жёсткостью и потерями на внутреннее трение, то есть является, по своей сути, колебательной системой, что позволяет представить его в виде последовательной RLC цепи.

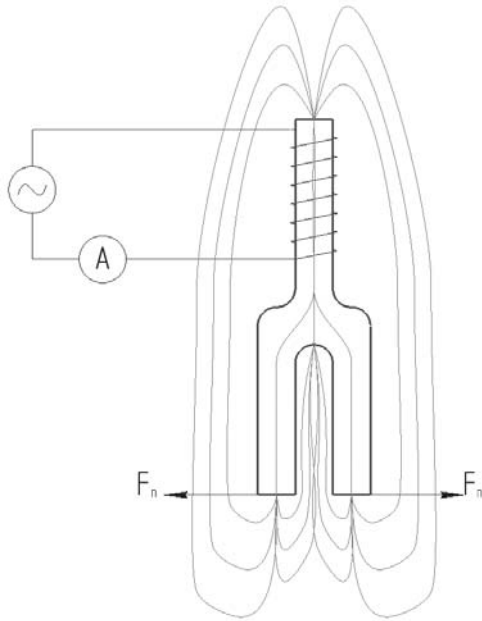


Рисунок 1 – Функциональная схема установки

Будучи погружённым в жидкость, камертон взаимодействует с ней, что в ЭЭСЗ представлено, как ещё одна последовательная RLC цепь.

Наконец, с основной цепью соединяется магнитное сопротивление, имеющее функциональную зависимость от расстояния между ветвями камертона. Конечный вид эквивалентной схемы замещения представлен на рисунке 2.

В данной системе приняты следующие обозначения:

- $R_k$  – сопротивление катушки;
- $L_k$  – индуктивность возбуждающей катушки;
- $R_{вт}$  – потери на внутреннее трение камертона;
- $C_{ж}$  – жёсткость камертона;
- $L_i$  – инертность камертона;
- $R_m(S)$  – функция магнитного сопротивления от расстояния между ветвями камертона;
- $C_{уж}$  – сжимаемость жидкости;
- $R_v$  – потери на вязкое трение жидкости;
- $L_v$  – присоединённая масса жидкости.

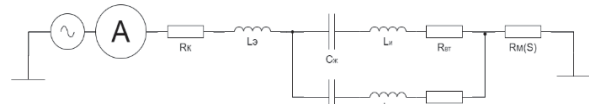


Рисунок 2 – Эквивалентная схемы замещения системы

Расчёт импеданса системы

Найдём импеданс системы в операторном виде.

Импеданс электрической ветви:

$$Z_B(\omega) = R_k + pL_k. \quad (1)$$

Импеданс механической ветви (камертон):

$$Z_K(\omega) = R_{вт} + pL_i + \frac{1}{pC_{ж}}. \quad (2)$$

Импеданс ветви жидкости:

$$Z_{ж}(\omega) = R_v + pL_v + \frac{1}{pC_{уж}}. \quad (3)$$

Импеданс магнитной ветви:

$$Z_M(\omega) = R_m(S). \quad (4)$$

Наконец, импеданс системы:

$$Z(\omega) = Z_B(\omega) + \frac{Z_K(\omega) \cdot Z_{ж}(\omega)}{Z_K(\omega) + Z_{ж}(\omega)} + Z_M(\omega). \quad (5)$$

Рассмотрим зависимость импеданса системы от частоты источника колебаний:

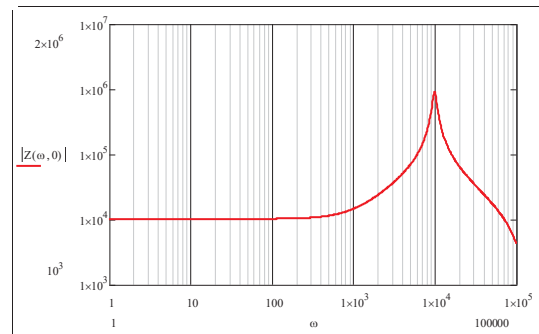


Рисунок 3 – АЧХ импеданса при  $R_{в0}$  и  $L_{в0}$

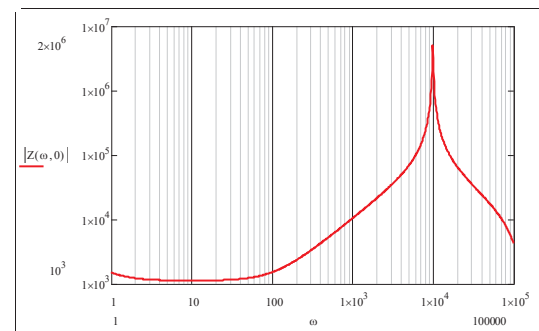


Рисунок 4 – АЧХ импеданса при  $R_v < R_{в0}$  и  $L_v < L_{в0}$

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ  
НИЗКОЧАСТОТНОГО ВИБРАЦИОННОГО  
ВИСКОЗИМЕТРА-ПЛОТНОМЕРА КАМЕРТОННОГО ТИПА  
С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ**

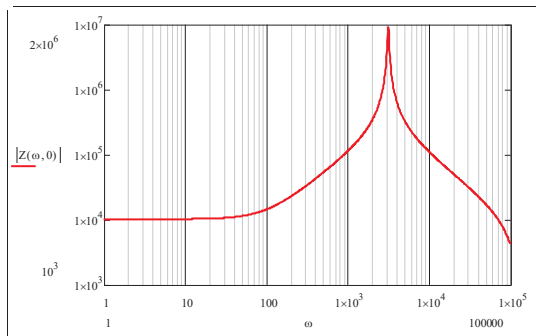


Рисунок 5 – АЧХ импеданса при  $R_{в0}$  и  $L_{в0} > L_{в0}$

Ожидается, что вязкость жидкости влияет на величину импеданса, в то время как её плотность влияет на частотные характеристики.

Однако возникает сложность с измерением плотности, вызванная тем, что экстремум находится в области высоких частот. Решением этой задачи может стать использование низкочастотного плато в АЧХ для измерения вязкости и калибровки. После чего следует увеличение частоты до достижения определённого значения импеданса, относительно калибровочного.

Теперь рассмотрим временную зависимость падения напряжения на катушке возбуждения:

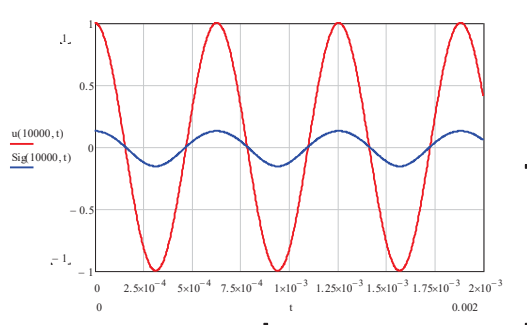


Рисунок 6 – Временная зависимость при  $R_{в0}$  и  $L_{в0}$  в области резонанса

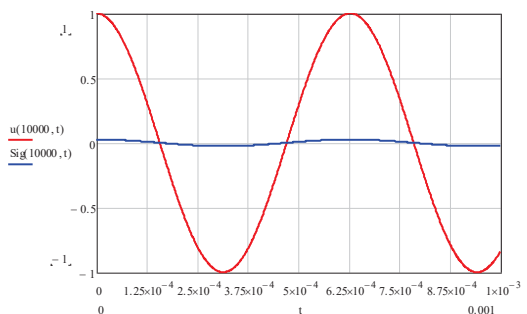


Рисунок 7 – Временная зависимость при  $R_{в0} < R_{в0}$  и  $L_{в0}$  в области резонанса

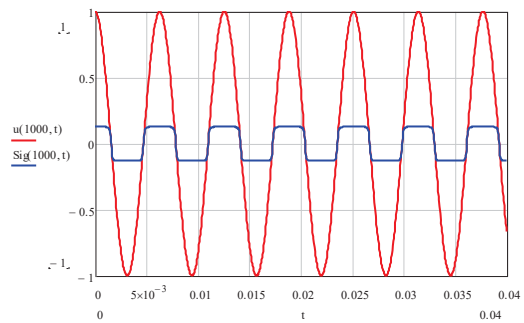


Рисунок 8 – Временная зависимость при  $R_{в0} < R_{в0}$  и  $L_{в0}$  вне области резонанса

Синим цветом на графиках показано падение напряжение на возбуждающей катушке, а красным – напряжение возбуждения.

Можно заметить, что модуляция тока, вызванная колебаниями ветвей камертона, а соответственно и колебанием магнитного сопротивления, практически не влияет на высокочастотный сигнал. Это можно обосновать тем, что колебания камертона на высокой частоте незначительны, ввиду его высокой инертности.

**Вывод**

В данной статье предложена конструкция первичного измерительного преобразователя для измерения вязкости и плотности. На основе полученной конструкции разработана эквивалентная схема замещения, для которой была получена математическая модель.

По зависимостям, полученным на основе математической модели, можно говорить о чувствительности конструкции к искомым параметрам – вязкости и плотности жидкости.

В дальнейшем, планируется сборка макета низкочастотного вискозиметра-плотнмера и исследование его передаточных характеристик.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Первухин, Б.С. Определение параметров жидкости электромеханическими преобразователями / Б. С. Первухин, В. Е. Ефремов, О. В. Сунцов // Ползуновский Альманах. – 2021. – № 4. – С. 46-48. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/341942> (дата обращения: 16.12.2024).

2. Седалищев, В.Н. Пьезорезонансный вискозиметр для экстремальных условий эксплуатации / В.Н. Седалищев, А.А. Доренский // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – 2006. – № 2. – С. 77-78. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL:

<https://e.lanbook.com/journal/issue/302625>. (дата обращения: 16.12.2024).

3. Кривобоков, Д.Е. Влияние вязкости среды на электрическую проводимость пьезоэлектрического первичного преобразователя / Д.Е. Кривобоков, Д.Е. Пузик, В.М. Рыжих // Ползуновский Альманах. – 2023. – №3. – С. 58-64. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/-351143> (дата обращения: 16.12.2024).

4. Ким, В. Ф. Колебания и волны: учебное пособие / В. Ф. Ким, Э. А. Кошелев, И. И. Суханов. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2022. – 66 с. – ISBN 978-5-7782-4742-0. – Текст: электронный // Цифровой

образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/126559.html> (дата обращения: 01.07.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей

**Первухин Борис Семенович** – д.т.н., профессор каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02, e-mail: [bspervuhin@mail.ru](mailto:bspervuhin@mail.ru);

**Кривобоков Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02, e-mail: [dmitriikrivobokov@mail.ru](mailto:dmitriikrivobokov@mail.ru);

**Пузик Данила Евгеньевич** – ассистент, магистрант каф. ИТ, тел.: (385-2)29-09-13.

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ: МЕТОДЫ, ПРИМЕНЕНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФОТОГРАММЕТРИИ

**В. М. Рыжих, Н. М. Рыжих**

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

*В статье рассматриваются методы пространственной дискретизации 3D-объектов, их роль и применение в задачах моделирования, создания игровых ассетов, 3D-сканирования и сохранения культурного наследия. Пространственная дискретизация позволяет преобразовать непрерывные физические объекты в цифровую форму, создавая модели с высокой точностью и уровнем детализации, что актуально в медицине, архитектуре и индустрии развлечений. Описаны основные подходы к дискретизации, такие как полигональные и воксельные модели, фотограмметрия и методы лидарного сканирования. Приведён обзор популярных программных решений, включая Photoscan (Agisoft), MVE, Autodesk 123D Catch, а также библиотек OpenMVG и OpenMVS. Каждое из них обладает уникальными функциями и ограничениями, что позволяет выбрать оптимальное программное обеспечение в зависимости от задач и ресурсов пользователя. Особое внимание уделено применению дискретизации для создания игровых ассетов и ускорению разработки в индустрии компьютерных игр. В заключение обсуждаются перспективы пространственной дискретизации, её значимость в различных областях и роль в развитии технологий 3D-моделирования.*

**Ключевые слова:** пространственная дискретизация, 3D-моделирование, фотограмметрия, полигональные модели, воксельные модели, 3D-сканирование, игровые ассеты, лидарное сканирование, цифровая реконструкция.

Пространственная дискретизация – это процесс преобразования непрерывной геометрии объекта в дискретное представление, состоящее из определенного количества точек, вокселей, полигонов или других базовых элементов. В контексте 3D-моделирования и сканирования это означает представление физического объекта как набора отдельных элементов, которые описывают его форму и структуру в цифровом виде.

Этот процесс начинается с измерения поверхности или внутренней структуры объекта с помощью оборудования (например, 3D-сканера, камеры или лидара). Затем программное обеспечение преобразует собранные данные в сетку или воксельную модель, которая воспроизводит геометрию объекта с той или иной степенью детализации.

Пространственная дискретизация играет ключевую роль в современных технологиях моделирования и анализа объектов, поскольку она решает задачи, недоступные для традиционных методов.

Дискретизация позволяет решать следующие задачи.

1. Создавать точные цифровые копии объектов с высокой детализацией.

2. Проводить точные расчёты на модели, которые воспроизводят внутреннюю и внешнюю структуру объектов.

3. Адаптировать 3D-модели для производства, обеспечивая высокую точность и совместимость с различными методами 3D-печати.

4. Помогает создавать цифровые копии объектов для виртуальных сред, таких как виртуальная и дополненная реальность.

5. Создавать разные уровни детализации одной и той же модели.

При создании 3D-моделей применяются различные методы пространственной дискретизации.

## **Сеточные (mesh) модели**

Триангуляция: разбиение поверхности объекта на множество треугольников для создания сеточной модели. Сканер фиксирует точки поверхности объекта, затем программное обеспечение соединяет их в треугольники, создавая 3D-модель. Это популярный метод, используемый в лазерных и оптических сканерах [1]. Пример сетки представлен на рисунке 1.

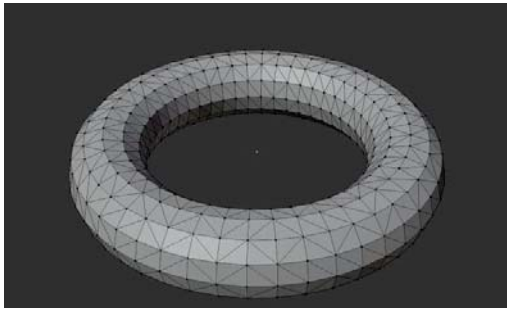


Рисунок 1 – Триангуляция объекта

Полигональные сетки: подход основан на создании сетей из различных полигонов (например, треугольников или четырехугольников), что позволяет варьировать плотность сетки для более точного представления сложных поверхностей. Этот метод популярен в промышленном и культурном 3D-сканировании [1]. Пример сетки приведен на рисунке 2.

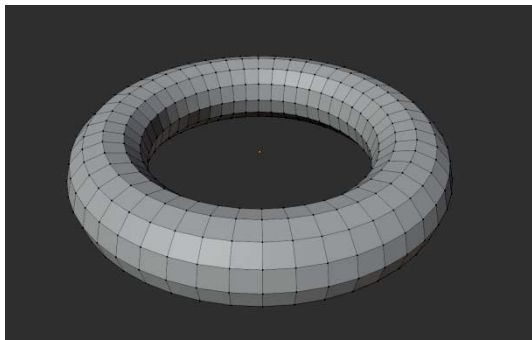


Рисунок 2 – Полигональная сетка из четырехугольников

#### **Воксельные модели**

Вокселизация: процесс дискретизации, основанный на трехмерных пикселях – вокселях. Этот метод применяют тогда, когда требуется не только показать поверхность объекта, но и его внутренние структуры (например, в медицинском сканировании или моделировании материалов). Воксельное представление позволяет легко вычислять физические свойства объекта, такие как объём и плотность, однако требует больших вычислительных ресурсов.

Томография: используется в медицинской и промышленных областях, где объект сканируется послойно, и по результатам строится воксельная модель. Применяется, например, в компьютерной томографии или магнитно-резонансной томографии [2]. Поверхность объекта после воксельного сканирования представлена на рисунке 3.

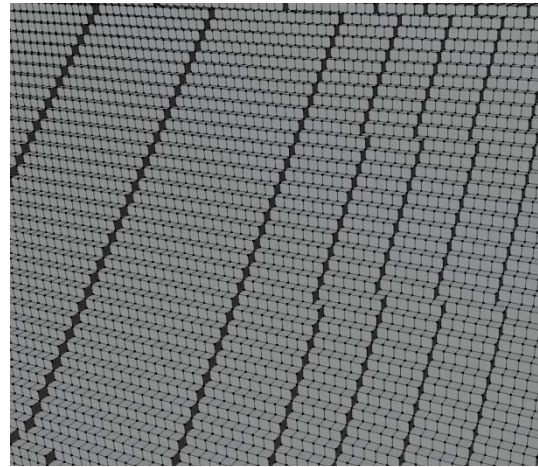


Рисунок 3 – Поверхность объекта после воксельного сканирования

#### **Гибридные методы**

Комбинированные модели: в некоторых случаях применяют гибридные подходы, комбинируя полигоны для внешней оболочки и воксели для внутренних структур. Это позволяет совместить высокую детализацию поверхности с возможностью анализа внутренних особенностей объекта.

Мультимасштабные методы: используются для работы с крупными или комплексными объектами, комбинируя сканы с разными уровнями детализации (например, высокое разрешение для важных частей объекта и низкое — для менее значимых). Это улучшает точность и снижает вычислительную нагрузку [2]. Мультимасштабная сетка объекта приведена на рисунке 4.

#### **Фотограмметрия**

Этот метод использует множество фотографий объекта, сделанных под разными углами, чтобы создать 3D-модель. Программное обеспечение анализирует ключевые точки на изображениях и строит 3D-модель с применением методов триангуляции. Метод часто применяется в культурном наследии и археологии, так как требует только камеры и специализированного ПО [3].

Фотограмметрическая модель приведена на рисунке 5.



## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ: МЕТОДЫ, ПРИМЕНЕНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФОТОГРАММЕТРИИ

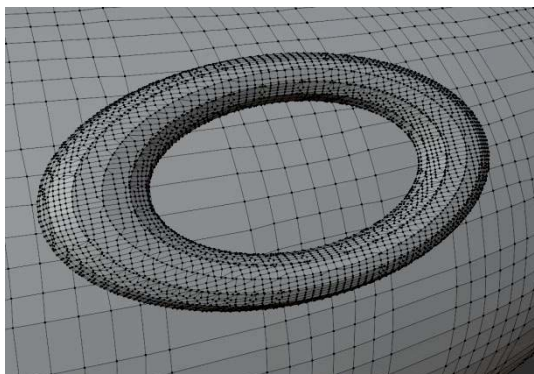


Рисунок 4 – Мультимасштабная сетка объекта

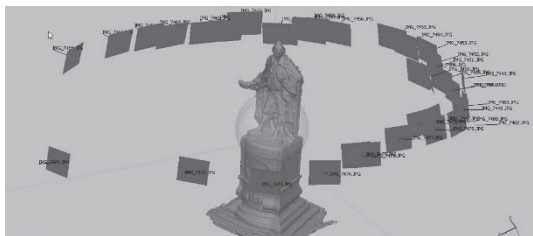


Рисунок 5 – Создание 3D-модели при помощи фотограмметрии

### Лидар (LiDAR)

Лидарные сканеры используют лазерные лучи для измерения расстояний до объекта и формирования облака точек. Эти данные затем преобразуются в 3D-модель, что подходит для сканирования больших объектов и ландшафтов. Метод получил популярность в архитектуре и геодезии, а также в картографии.

Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения, которые зависят от характеристик объекта, требований к точности и доступного оборудования. Выбор подхода к пространственной дискретизации будет определяться целями сканирования и последующего использования 3D-модели, будь то визуализация, анализ, реконструкция или печать.

Для пространственной дискретизации 3D объектов существует множество программ, каждая из которых обладает уникальными функциями и характеристиками.

Ниже представлен обзор наиболее популярных программ для 3D-сканирования и дискретизации [4].

### Photoscan (Agisoft)

Краткое описание: Photoscan от российской компании Agisoft — это мощная и сравнительно доступная программа для фотограмметрии, ориентированная на пользователей, которым важна точность и детализа-

ция. Она позволяет преобразовывать фотографии в 3D модели, создавая высококачественные текстуры и точные пространственные данные.

Основные функции: Photoscan поддерживает полную обработку фотограмметрических данных, включая выравнивание фотографий, построение облаков точек, создание полигональных сетей и генерацию текстурных карт. Также доступны функции автоматической калибровки и коррекции изображений, что облегчает процесс обработки.

Преимущества: к числу преимуществ Photoscan можно отнести высокую точность получаемых 3D моделей, поддержку большого количества форматов данных и возможность работы с высокодетализированными моделями. Photoscan хорошо интегрируется с другим софтом для геопространственной обработки и подходит для использования в археологии, архитектуре и геодезии.

Ограничения: для работы с Photoscan требуется мощное оборудование, особенно при обработке больших наборов данных, что может увеличить требования к ресурсам. Лицензия платная, что может ограничивать доступ для пользователей с ограниченным бюджетом.

Примеры использования: Photoscan используется в археологических раскопках для документирования артефактов, в геодезических исследованиях и при создании 3D моделей культурных объектов для сохранения культурного наследия [5].

### MVE (Multi-View Environment)

Краткое описание: MVE — это бесплатная, открытая платформа для фотограмметрии, предназначенная для картографирования и создания 3D-моделей из изображений. Она ориентирована на исследователей и разработчиков, которым необходима гибкость и возможность настроек для научных и прикладных задач.

Основные функции: MVE предоставляет полный набор инструментов для построения облаков точек, создания полигональных сетей и текстурирования, поддерживает много-ракурсное фотографирование и обработку изображений, что делает его подходящим для создания детализированных моделей.

Преимущества: программа бесплатна и предоставляет доступ к исходному коду, что позволяет пользователям адаптировать её под свои нужды. MVE поддерживает интеграцию с другими инструментами для визуализации и анализа, что делает её гибким решением для фотограмметрии.

Ограничения: MVE требует знаний в области программирования и настройки, поэтому может быть сложной для использования неспециалистами. Интерфейс программы более технический, что делает её менее доступной для начинающих пользователей.

Примеры использования: MVE используется в научных исследованиях, а также для создания картографических моделей и ландшафтных реконструкций, включая исследования в археологии и природоохранных проектах [4].

#### **Autodesk 123D Catch**

Краткое описание: Autodesk 123D Catch — бесплатное приложение для фотограмметрии, разработанное для создания 3D-моделей из фотографий и ориентированное на широкую аудиторию, включая пользователей мобильных и десктопных устройств.

Основные функции: приложение позволяет пользователям загружать наборы фотографий, автоматически обрабатывает их в облаке и выдаёт 3D-модель, которую можно экспортировать для дальнейшей обработки в других 3D редакторах. Поддерживаются как базовые, так и более сложные фотограмметрические задачи.

Преимущества: простой и доступный интерфейс делает 123D Catch удобным для непрофессионалов, включая художников и дизайнеров. Облачная обработка позволяет использовать программу даже на устройствах с низкой производительностью.

Ограничения: зависимость от облачных вычислений означает, что пользователи ограничены доступом к интернету. Программа имеет ограничения по количеству обрабатываемых изображений и поддерживаемому разрешению, что может ограничить её использование для более детализированных моделей.

Примеры использования: программа популярна среди художников, дизайнеров и

студентов для создания базовых 3D моделей реальных объектов и использования их в проектах дизайна и визуализации [4].

#### **OpenMVG + OpenMVS**

Краткое описание: OpenMVG и OpenMVS — это две библиотечные платформы для создания 3D-моделей по методам фотограмметрии, подходящие для пользователей, которым требуется детальный контроль над процессом моделирования. OpenMVG занимается созданием разреженного облака точек, а OpenMVS использует его для построения плотных облаков точек и полигональных сетей.

Основные функции: OpenMVG выполняет этапы калибровки и создания разреженной структуры, в то время как OpenMVS генерирует плотные облака точек и поверхностные сетки с текстурами. Эти библиотеки также позволяют интеграцию с другими системами обработки изображений и моделирования.

Преимущества: OpenMVG и OpenMVS — это открытые библиотеки с исходным кодом, что позволяет исследователям и разработчикам гибко настраивать процессы под свои нужды. Эти библиотеки дают высокую детализацию и позволяют работать с большими объёмами данных, оставаясь гибкими и мощными инструментами для фотограмметрии.

Ограничения: так как это библиотеки, их использование требует навыков программирования и знаний в области фотограмметрии. Интерфейс отсутствует, что требует дополнительной настройки и разработки при интеграции в рабочий процесс.

Примеры использования: OpenMVG и OpenMVS широко применяются в научных исследованиях и проектах, где важна высокая степень детализации, например, в археологии, цифровом архивировании и точном моделировании окружающей среды [4].

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ:  
МЕТОДЫ, ПРИМЕНЕНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФОТОГРАММЕТРИИ

Таблица 1 – Сравнение популярных программ для фотограмметрии

	Photoscan	MVE	123D Catch	OpenMVG + OpenMVS
Открывается в MeshLab и Blender	Да	Да	Да	Да
Генератор плотных облаков точек	Да	Да	Нет	Да
Качество плотного облака точек	Высокое	Высокое	Отсутствует	Высокое
Автоматическая текстура модели	Есть	Есть	Есть	Есть
Качество текстуры и модели	Высокое	Среднее	Высокое	Высокое
Общее время расчёта	Медленно	Быстро	Быстро	Средне
Скорость генерации	Медленно	Средне	Быстро	Средне
Операционные системы	Linux, Windows, Mac OS	Linux, Windows, Mac OS	Linux, Windows, Mac OS, Android, IOS	Linux, Windows, Mac OS
Размер файла	Большой	Средний	Маленький	Большой
Для чего используется	Создание цифровой модели местности, топография, строительство.	Создание цифровой модели местности, протезирование, картография, архитектура.	Непрофессиональное сканирование	Археология, микроскопия, протезирование, криминалистика, топография.

**Пример использования пространственной дискретизации**

Пространственная дискретизация широко используется в игровой индустрии для создания цифровых ассетов, таких как персонажи, предметы, и окружение. Ассеты, созданные с использованием 3D-сканирования и дискретизации, позволяют создавать более реалистичные и детализированные модели, что особенно важно в современных играх с высоким уровнем графики и иммерсивности.

**Актуальность дискретизации в создании игровых ассетов**

Использование пространственной дискретизации позволяет достигать баланса между визуальной реалистичностью и производительностью. Сканированные и оптимизированные модели могут быть легко интегрированы в игровой движок, сохраняя качество изображения и снижая потребность в ручном моделировании.

Кроме того, игровые ассеты, созданные с применением пространственной дискретизации, поддерживают:

- Реалистичную графику: Ассеты с высоким уровнем детализации, особенно персонажи и окружение, делают игру более правдоподобной, улучшая пользовательский опыт.

- Эффективное использование ресурсов: Оптимизированные модели, созданные методом дискретизации, снижают нагрузку на процессор и видеокарту, позволяя игре работать плавно даже на средних конфигурациях оборудования.

- Ускорение процесса разработки: Применение 3D-сканирования и дискретизации ускоряет создание игровых ассетов, сокращая время и затраты на моделирование сложных объектов.

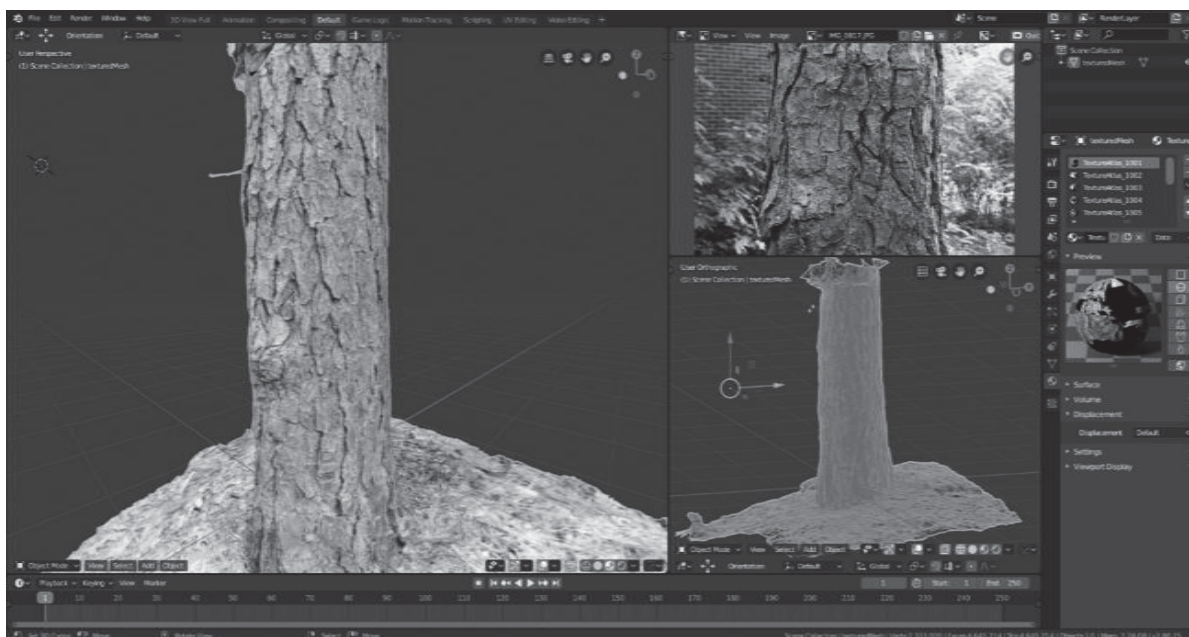


Рисунок 6 – Использование фотограмметрии для создания игрового ассета дерева

### Выводы

Пространственная дискретизация 3D-объектов является важным этапом создания цифровых моделей, востребованным в самых разных отраслях – от медицины и архитектуры до игровой индустрии и культурного наследия. Процессы дискретизации позволяют не только точно воспроизводить физические объекты, но и адаптировать их под конкретные цели, будь то визуализация, анализ или 3D-печать. Методы дискретизации, включая полигональные, воксельные и фотограмметрические подходы, обеспечивают высокий уровень детализации и универсальность применения. Используемое программное обеспечение, такое как Photoscan, MVE, Autodesk 123D Catch, OpenMVG и OpenMVS, предлагает пользователям широкий спектр инструментов для реализации различных задач моделирования, что позволяет выбрать наиболее подходящие решения в зависимости от потребностей и ресурсов.

Использование дискретизации при создании игровых ассетов ускоряет процесс разработки и улучшает визуальное качество, что актуально в условиях возрастающих требований к реалистичности графики. Преимущества пространственной дискретизации, включая точность и возможность цифрового архивирования, делают её перспективным направлением, играющим важную роль в развитии технологий моделирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов, А.В., Мирза, Н.С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 168 с.
2. Топология в 3D-моделировании. – URL: <https://ddf.ru/u/710078-cgitems/1619657-topologiya-v-3d-modelirovanii/> (дата обращения: 10.11.2024). –Текст: электронный.
3. Козин, Е.В. Фотограмметрия / Е.В. Козин, А.Г. Карманов, Н.А. Карманова.– Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – 142 с. – URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2455.pdf> (дата обращения: 16.12.2024).–Текст: электронный.
4. Меженин, А.В. Технологии разработки 3D-моделей. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 100 с. – URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2287.pdf> (дата обращения: 10.11.2024).)–Текст: электронный.
5. Наш опыт использования фотограмметрии при разработке компьютерной игры. – URL: <https://habr.com/ru/articles/279591/> (дата обращения: 10.11.2024).)–Текст: электронный.

**Рыжих Виктор Максимович** – студент гр. 8ПС-41, Кафедра ИТ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул), e-mail: [rvmgd2020@gmail.com](mailto:rvmgd2020@gmail.com);

**Рыжих Наталья Максимовна** – студент гр. 1ИИС-41 УТК ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул), e-mail: [rnmp2020@gmail.com](mailto:rnmp2020@gmail.com).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА АТАК НА БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

Д. Ю. Козлов, З. В. Тихомирова  
Алтайский государственный университет  
г. Барнаул

*В работе приведены статистические методы для анализа атак на беспроводные сенсорные сети и их программная реализация на языке программирования Python, с использованием библиотек `scipy`, `seaborn`, `matplotlib`, `pandas` и `numpy`. Важно понять, когда показания сенсора стали отличными от тех, что он давал раньше, поскольку выход датчика из строя может грозить убытками. Разработанная программа тестируется на реальных данных.*

**Ключевые слова:** беспроводные сенсорные сети, датчики, непараметрические критерии согласия, законы распределения случайных величин, программирование.

### Введение

На производстве, в научных центрах и в системе “умный дом” используются беспроводные сенсорные системы для сбора информации от датчиков температуры, влажности и т.п. в центральный узел с целью её последующего анализа или обработки. Иногда возникает сбой, который может быть вызван атакой извне, и датчик начинает давать неправильные показания или совсем выходит из строя. Нужно определить простые и вычислительно не затратные методы для сравнения распределения данных исправного датчика по ограниченному числу измерений с другим массивом данных, получаемых от того же датчика.

Актуальность работы обусловлена тем, что беспроводные сенсорные сети обладают большим потенциалом в практическом использовании [1]. Однако в такой сети может быть много сенсоров, поэтому для корректной её работы все они должны быть исправны. Очень важно мониторить данные, выдаваемые каждым датчиком, чтобы вовремя понять, когда возникла неисправность.

**Цель** нашей работы заключается в создании программы, способной использовать статистические методы для определения схожести законов распределения показаний датчиков в двух наборах данных, полученных при последовательных измерениях.

Для достижения цели необходимо решить задачи:

- выбрать статистические методы для сравнения законов распределения случайных величин,

- написать программу для проведения статистических тестов,

- написать функции для визуализации распределений показаний датчика,

- разработать тест программы на реальных данных.

### Определение вида закона распределения результатов измерений

Закон распределения случайной величины устанавливает связь между значениями случайной величины и их вероятностями [2]. Закон распределения случайной величины (ЗРСВ) может быть задан аналитически, таблично (для дискретной случайной величины) или графически [2].

Мы имеем дискретные значения непрерывной случайной величины, поэтому для каждого массива данных можно строить гистограмму распределения и график плотности распределения с помощью метода оценки ядерной плотности, чтобы понять, с каким видом распределения мы имеем дело.

С практической точки зрения не так важен закон распределения показаний датчика в целом, но очень важно, чтобы закон распределения показаний датчика для данного массива данных был похож на закон для предыдущего массива.

### Сравнение двух ЗРСВ

Чтобы сравнить два ЗРСВ применим непараметрические критерии согласия, потому что для них не важен ЗРСВ [3]. Также построим диаграмму рассеяния, график плотности распределения для визуального теста соответствия двух законов и диаграмму “ящик с усами” для определения выбросов в данных. При проверке гипотезы о соответствии двух законов будем использовать уровни значимости (обозначаемые  $\alpha$ ), равные 0,05, 0,01 и 0,001.

Согласно ограничениям критериев Колмогорова-Смирнова и Андерсона-Дарлинга, размер выборки должен быть не менее 50 измерений [4, 5]. По критерию Крамера-Мизеса-Смирнова размер выборки должен быть как можно больше для точных результатов [6].

Критерий Колмогорова-Смирнова, критерий Крамера-Мизеса-Смирнова и критерий Андерсона-Дарлинга в программном виде

реализованы в модуле `scipy.stats`, функции для вышеуказанных графиков можно найти в библиотеках `matplotlib` и `seaborn`.

### Методика и тест программы на реальных данных

В качестве реальных данных использовали датасет `SensorFaultDetectionData` [7]. В данных есть показания с одного сенсора температуры. Сами данные и описательная статистика для них приведена на рисунке 1.

	Timestamp	SensorId	Value
0	2017-03-01T23:20:00+03:00	1	18.479807
1	2017-03-02T04:00:00+03:00	1	19.539112
2	2017-03-23T06:25:00+03:00	1	19.250198
3	2017-03-23T19:35:00+03:00	1	18.961285
4	2017-04-04T15:10:00+03:00	1	25.321623

	index	Timestamp	SensorId	Value
count	62629.000000	62629	62629.0	62629.000000
mean	31314.000000	2017-04-28 09:25:14.911622400	1.0	24.203861
min	0.000000	2016-08-01 01:00:00	1.0	6.886155
25%	15657.000000	2017-02-22 09:45:00	1.0	21.369419
50%	31314.000000	2017-05-13 15:10:00	1.0	24.550188
75%	46971.000000	2017-07-07 13:40:00	1.0	27.443794
max	62628.000000	2017-09-01 00:55:00	1.0	149.601822
std	18079.579342	NaN	0.0	5.411599

Рисунок 1 – Описательная статистика для данных сенсора температуры

Для определения схожести двух распределений данных были написаны функции `test_signals`, `get_status`, `attack_status`, `visual_test_signals`.

Функция `test_signals` по критериям Колмогорова – Смирнова, Крамера – Мизеса – Смирнова, Андерсона – Дарлинга сравнивает законы распределения температуры для двух массивов данных при уровнях значимости 0,05, 0,01 и 0,001 и проверяет на наличие выбросов по методу “трёх сигм”.

Функция `get_status` определяет статус для датчика: если при заданном уровне значимости “ok” – по всем критериям равенство законов для двух массивов подтверждено, “warning” – хотя бы по одному критерию равенство законов для двух массивов отвергнуто, “trouble” – по всем критериям равенство

законов для двух массивов отвергнуто или есть выбросы.

Функция `attack_status` принимает два массива данных и возвращает статус для датчика при заданном уровне значимости.

Функция `visual_test_signals` помогает визуально оценить различия между двумя массивами данных. Для того, чтобы сравнивать данные за, примерно, одинаковые промежутки времени, приведем исходный формат даты к формату `datetime` и найдем изменения температуры в течение суток. Будем сравнивать суточное распределение данных для температуры.

Возьмём первые два массива данных и сравним их распределения (рисунок 2 и рисунок 3).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА АТАК НА БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

```
print(attacked_status(sig1, sig2))
```

0 ok  
Name: status, dtype: object

```
6) sig1 = df.Value[time_idx[0]:time_idx[1]]  
sig2 = df.Value[time_idx[1]:time_idx[2]]
```

```
test_signals(sig1, sig2)
```

	alpha	ks_test	anderson_test	cramervonmises_test	outliers_sig1	outliers_sig2	status
0	0.050	0.449037	1.961	0.371411	Series([], Name: Value, dtype: float64)	Series([], Name: Value, dtype: float64)	ok
1	0.010	0.449037	3.752	0.371411	Series([], Name: Value, dtype: float64)	Series([], Name: Value, dtype: float64)	ok
2	0.001	0.449037	6.546	0.371411	Series([], Name: Value, dtype: float64)	Series([], Name: Value, dtype: float64)	ok

Рисунок 2 – Результат сравнения распределений двух массивов данных, полученных с датчика температуры при помощи функции test\_signals

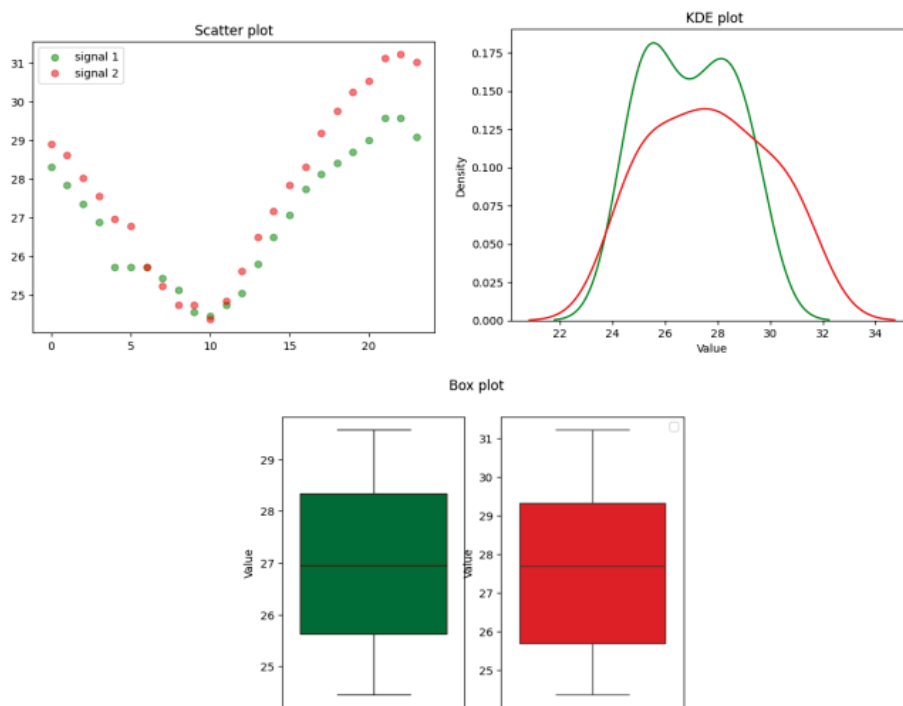


Рисунок 3 – Результат сравнения распределений двух массивов данных, полученных с датчика температуры, при помощи функции visual\_test\_signals

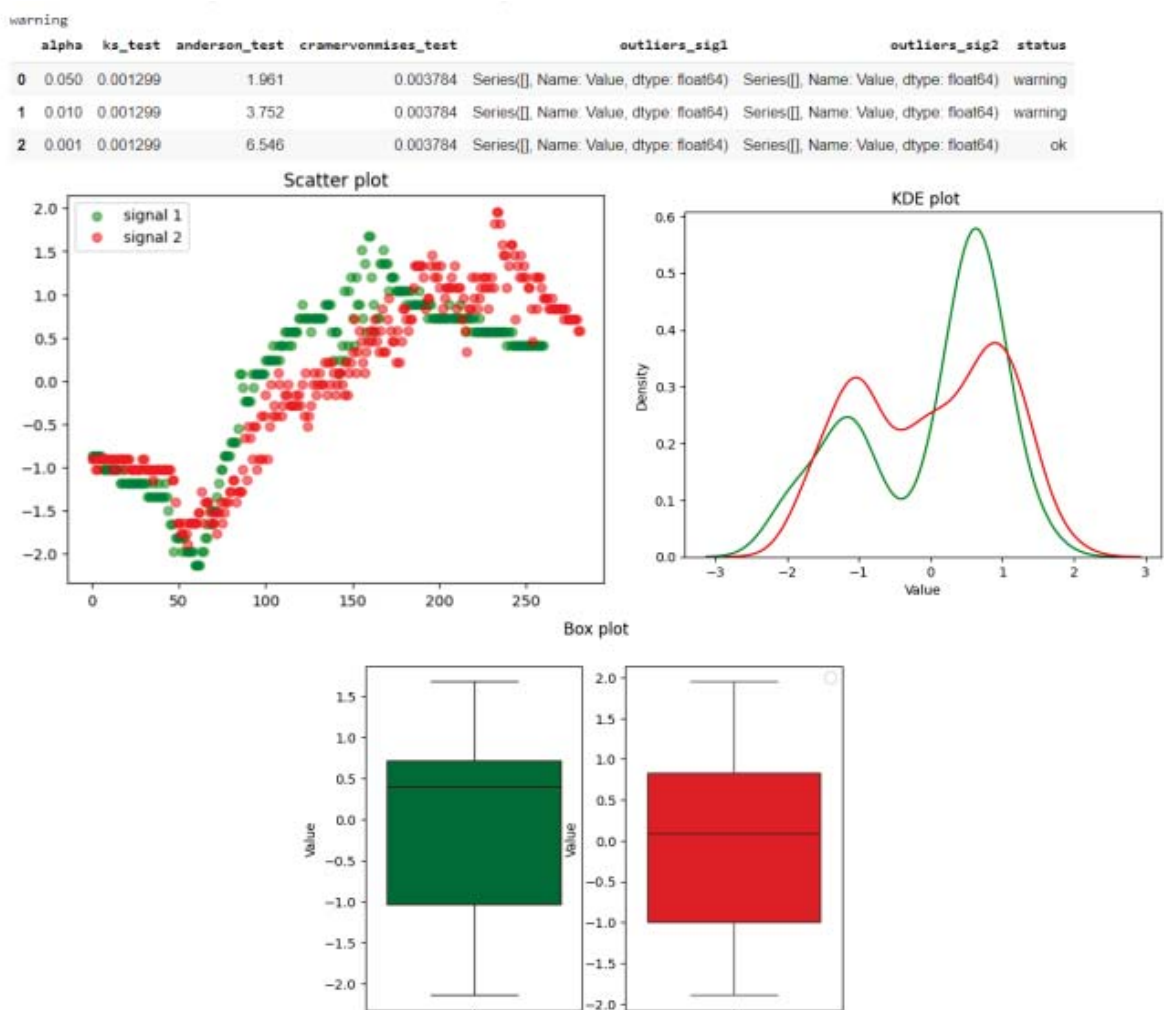


Рисунок 4 – Результат сравнения двух массивов данных, имеющих разные функции распределения

```

[56] cnt = [0, 0, 0]
      checked = 0
      p_values = [0.05, 0.01, 0.001]
      for i in range(len(time_idx)-2):
          sig1 = df.Value[time_idx[i]:time_idx[i+1]]
          sig2 = df.Value[time_idx[i+1]:time_idx[i+2]]
          if sig1.shape[0] < 60 or sig2.shape[0] < 60:
              continue
          checked += 1
          for i, alpha in enumerate(p_values):
              status_c = attacked_status(sig1, sig2, alpha).values[0]
              if status_c == 'warning':
                  cnt[i] += 1
    
```

cnt, checked

[[206, 204, 203], 206]

Рисунок 5 – Вариант теста для поточной обработки данных датчиков



По трем критериям законы распределения схожи, выбросов не имеют.

Однако, если мы сравним два других массива, то получим следующий результат (рисунок 4).

Из рисунка 4 видно, что алгоритм работает правильно, когда температура относительно стабильна. Это полезно для мониторинга работы датчиков температуры в помещениях.

При анализе температурных данных, особенно при наличии значительных колебаний, необходимо учитывать ограничения, связанные с географическим расположением датчика. Важно провести анализ распределения температур за месяц, определить возможные значения и убедиться, что они соответствуют реальным диапазонам для Земли. Однако, поскольку в описании датасета отсутствует информация о географическом положении датчика, дальнейшие вычисления

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахов, В. В., Стрельников, В. Е., Дюк, Н. В. К вопросу об эффективности беспроводных сенсорных сетей // Проблемы информатики. – 2014. – № 2 (23). – С. 28-38.
2. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем.–Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.–URL: <http://www.bourabai.ru/library/Aliev.pdf> (дата обращения: 18.12.2024). – Текст: электронный.
3. Лемешко, Б. Ю. Непараметрические критерии согласия. Руководство по применению. – Москва: Инфра-М, 2014.– 168 с. –URL: [https://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik\\_html/Demo\\_Lemeshko\\_ИНФРА\\_М.pdf?ysclid=m4v7v7tdzd784524898](https://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik_html/Demo_Lemeshko_ИНФРА_М.pdf?ysclid=m4v7v7tdzd784524898)(дата обращения: 18.12.2024). – Текст: электронный.
4. Стариченко, Б. Е. Обработка и представление данных педагогических исследований с помощью компьютера. – Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2004. – 218 с. – URL: <http://elar.uspu.ru/bitstream/uspu/5940/1/uch00136.pdf?ysclid=m4v81dzd8z196464331> (дата обращения: 18.12.2024). – Текст: электронный.
5. Блинов, П. Ю., Лемешко, Б. Ю. О мощности модификации критерия проверки равномерности Андерсона-Дарлинга // Обработка информации

носят приблизительный характер и не будут рассматриваться в данной работе.

#### Обсуждение и выводы

Разработанное программное обеспечение позволяет оценить схожесть двух распределений данных как визуально, так и с использованием статистических тестов и анализа выбросов. Чтобы получить максимальную пользу от использования этой программы, необходимо заранее определить поступающих с датчиков, например, температуры, как в открытом наборе данных, который использовали для тестирования программы. Можно также провести тестирование для потоковой обработки данных с датчиков. Например, можно использовать тест, представленный на рисунке 5.

В дальнейшем возможна адаптация программы под различные нужды конечного пользователя. Ссылка на репозиторий содержится в списке литературы [8]. и математическое моделирование: российская научно-техническая конференция. — Новосибирск: СибГУТИ, 2016. – С. 18 -26.–URL: [https://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik\\_html/Blinov\\_Lemeshko\\_OliMM\\_2016.pdf?ysclid=m4v8cj616v127222584](https://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik_html/Blinov_Lemeshko_OliMM_2016.pdf?ysclid=m4v8cj616v127222584) (дата обращения: 18.12.2024). – Текст: электронный.

6. Р 50.1.037-2002. Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии.- Москва: Изд-во стандартов, 2002.– 64 с.

7. SensorFaultDetectionData // Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/arashnic/sensor-fault-detection-data> (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.

8. Analysis of attacks on wireless sensor networks // GitHub. – URL: <https://github.com/zlatatikhomirova/analysis-of-attacks-on-wireless-sensors> (дата обращения: 12.11.2024). ). – Текст: электронный.

*Козлов Денис Юрьевич – к.ф.-м.н, доцент, АлтГУ, тел.: 8(3852)296-547, e-mail: [dyk.barnaul@gmail.com](mailto:dyk.barnaul@gmail.com);*

*Тихомирова Злата Вячеславна– студент ИМИТ АлтГУ, тел.: +79237174795, e-mail: [zlatatikhomirova21@mail.ru](mailto:zlatatikhomirova21@mail.ru).*

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ КОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

**Б. С. Первухин, Д. Е. Кривобоков, К. Д. Кандауров, Д. А. Гуляев,  
Д. С. Ложешников**

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

*В статье рассмотрена возможность определения параметров эквивалентной схемы замещения на основе анализа переходных процессов.*

**Ключевые слова:** контактный первичный преобразователь, активное сопротивление, реактивное сопротивление, поляризационное сопротивление, емкость двойного электрического слоя.

### Введение

Метрологические характеристики первичных измерительных преобразователей контактных кондуктометров во многом определяются поляризационными процессами в приэлектродных областях, которые существенно искажают результаты измерений

Эквивалентная электрическая схема замещения контактного первичного измерительного преобразователя

Выбор конкретной эквивалентной схемы замещения зависит от диапазона удельной электрической проводимости и частоты измерительного сигнала (рисунок 1),  $C_э$  – электрическая емкость двойного электрического слоя электрода;  $R_э$  – поляризационное сопротивление системы электрод-раствор;  $R$  – сопротивление анализируемого раствора;  $C_p$  – емкость между электродами [1].

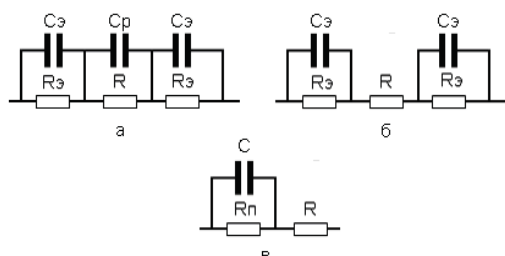


Рисунок 1 – Электрическая эквивалентная схема замещения кондуктометрического первичного преобразователя

Кондуктивную постоянную первичного измерительного преобразователя ( $A$ ), в случае, если электроды имеют одинаковую площадь, оценивают как отношение расстояния между электродами  $L$  к площади одного из них:  $S \quad A = LS^{-1}$ . Тогда электрическая ёмкость между электродами может быть найдена по формуле:  $C_p = SL^{-1}$  [1].

### Использование аналогового метода оценки параметров первичного измерительного преобразователя

Рассмотрим вариант, при котором первичный измерительный преобразователь питается синусоидальным сигналом. Для оценки влияния параметров на измерение удельной электрической проводимости общая ёмкость двойного электрического слоя будет представлена суммой ёмкостей электродов  $C$  так же, как и поляризационное сопротивление. Эти параметры связаны следующими соотношениями: (рисунок 1а) [2]:

$$R_n = 2R_э, C = 0.5C_э . \quad (1)$$

В случае последовательной схемы с питанием переменным напряжением синусоидальной формы, активная составляющая первичного преобразователя  $R_1$  равна [3]:

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

При параллельной схеме получим следующий результат [2]:

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ КОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

$$R_2 = R + \frac{R_n}{1 + \omega^2 C^2 R_n^2} + \frac{\omega^2 C^2 R_n^4}{[R_n + R(1 + \omega^2 C^2 R_n^2)](1 + \omega^2 C^2 R_n^2)} \quad (3)$$

При применении параллельной и последовательной схем замещения результаты будут различаться на величину  $\Delta R$  [2]:

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

Из соотношения (4) можно определить ёмкость [2]:

$$C = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{1}{R \Delta R}} \quad (5)$$

Значение поляризационного сопротивления можно получить на основе измерений сопротивления первичного преобразователя с анализируемым раствором. В результате получим следующую зависимость [5]:

$$\omega^2 C^2 (R_1 - R) R_n^2 - R_n + (R_1 - R) = 0 \quad (6)$$

Таким образом, поляризационное сопротивление, при использовании (6), может быть выражено следующим образом [4].

$$R_n = \frac{1 + \sqrt{1 - 4\omega^2 C^2 (R_1 - R)^2}}{2\omega^2 C^2 (R_1 - R)} \quad (7)$$

**Использование переходных процессов для определения параметров первичного измерительного преобразователя.**

При питании первичного преобразователя импульсным переменным напряжением (рисунок 2) длительность импульса  $t_1$  и время  $t_2$  подбираются так, чтобы к моменту  $t_2$  накопленная энергия в преобразователе полностью разряжалась и возвращалась в исходное состояние [6].

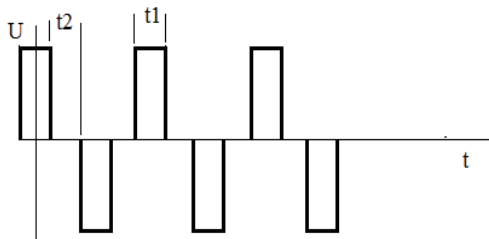


Рисунок 2 – Форма напряжения питания

Схема для расчета первичного измерительного преобразователя показана на рисунке 3 [6].

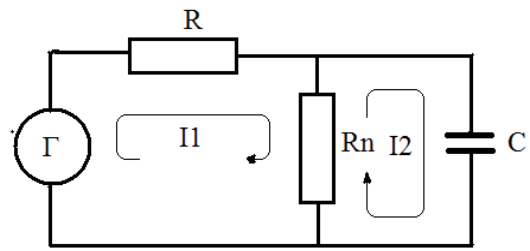


Рисунок 3 – Расчётная схема

Из рисунка 3 видно, что ток первичного преобразователя характеризуется током  $I_1$ . Используя метод контурных токов, запишем систему уравнений для поиска изображения  $I_1(p)$  [3]:

$$\begin{cases} (R + R_n)I_1(p) - R_n I_2(p) = \frac{U}{p} \\ \left(R_n + \frac{1}{pC}\right)I_2(p) - R_n I_1(p) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Решение системы уравнения (8) даёт результат [4]:

$$I_1(p) = U \frac{R_n p C + 1}{p(RR_n p C + R + R_n)} \quad (9)$$

Решая характеристическое уравнение  $p(RR_n p C + R + R_n)$ , получим следующие его корни:

$$p_0 = 0, p_1 = -\frac{R + R_n}{RR_n C} \quad (10)$$

Используя результат решения (10), получим следующее выражение для оригинала тока, протекающего через первичный преобразователь [4]:

$$i_1(t) = U \sum_0^1 \frac{R_n p_k C + 1}{2RR_n p_k C + R + R_n} e^{p_k t} \quad (11)$$

Если в это уравнение оригинала подставить значения корней характеристического уравнения, то получим следующее математическое выражение для тока [5]:

$$i_1(t) = U \left( \frac{1}{R + R_n} + \frac{R_n}{R(R + R_n)} e^{-\frac{R_n + R}{RR_n C} t} \right) \quad (12)$$

Для расчета значений параметров контактного первичного преобразователя необходимо по графику найти несколько значений тока в различные моменты времени (мгновенные значения), как показано на рисунке 4. Ток имеет экспоненциальную зависимость от времени:

$$i(t) = a + b \exp(-ct) \quad (13)$$

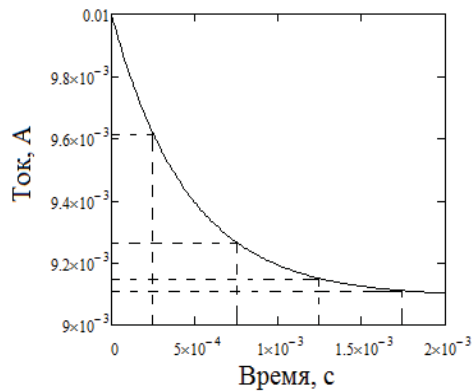


Рисунок 4 – Зависимость тока, протекающего через первичный преобразователь, от времени

При использовании (12) и (13), получаем следующую систему уравнений [4]:

$$\begin{cases} a = \frac{1}{R+R_n} \\ b = \frac{R_n}{(R+R_n)R} \\ c = \frac{R_n+R}{RR_nC} \end{cases} \quad (14)$$

Решение системы уравнений позволяет определить параметры первичного кондуктометрического преобразователя на основе обработанных экспериментальных данных [5].

$$R = \frac{1}{a+b}, \quad R_n = \frac{b}{a(a+b)}, \quad C = \frac{(a+b)^2}{bc}. \quad (15)$$

### Результаты измерений

Таблица 1 – Искомые параметры

R, Ом	R <sub>n</sub> , Ом	C, Ф
17	16	40 · 10 <sup>-6</sup>
83	65	20 · 10 <sup>-6</sup>
250	150	4 · 10 <sup>-6</sup>
833	380	1.5 · 10 <sup>-6</sup>
1667	600	1 · 10 <sup>-6</sup>

Для оценки аналогового метода и метода с использованием переходных процессов были проведены расчёты параметров, представленных в таблицах 2 и 3. В таблице 1

приведены исходные данные: в первом столбце указаны полученные значения сопротивления раствора, во втором – результаты поляризационного сопротивления электрода, в третьем – результаты ёмкости двойного электрического слоя.

Таблица 2 – Аналоговый метод

R, Ом	R <sub>n</sub> , Ом	C, Ф
15.4	17.1	38 · 10 <sup>-6</sup>
79.3	75.1	18 · 10 <sup>-6</sup>
243.3	137.4	3.5 · 10 <sup>-6</sup>
832.4	379.7	1.7 · 10 <sup>-6</sup>
1663.5	598.6	6 · 10 <sup>-5</sup>

Таблица 3 – Переходные процессы

R, Ом	R <sub>n</sub> , Ом	C, Ф
16.9	16.1	39.1 · 10 <sup>-6</sup>
83.1	64.8	20.2 · 10 <sup>-6</sup>
249.8	150.2	4.1 · 10 <sup>-6</sup>
833.6	379.9	1.4 · 10 <sup>-6</sup>
1667.2	598.9	9 · 10 <sup>-5</sup>

### Выводы

Переходные процессы, происходящие при питании ПИП импульсным напряжением, предоставляют дополнительные данные для оценки его параметров. Использование модели переходных процессов позволяет экспериментально оценить мгновенное значение тока и времени, которые можно использовать для более точного определения характеристик первичного измерительного преобразователя. Это особенно полезно при необходимости точного учёта временных характеристик ПИП. Применение динамических характеристик также расширяет функциональные возможности кондуктометрического анализа, позволяя учитывать более широкий спектр параметров ПИП и повышать точность и надёжность измерений.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ КОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

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

2. Первухин, Б.С. Сравнение методов определения постоянных контактных первичных преобразователей / Б.С. Первухин, Д.Б. Стародубцев // Ползуновский альманах. – 2018. – №4. – С.65-68.

3. Первухин, Б.С. Определение параметров первичных преобразователей контактных кондуктометров на переменном напряжении прямоугольной формы / Б.С. Первухин, Н.В. Суворова, В.Б. Юшкова // Ползуновский альманах. – 2013. – №1. – С.65-66.

4 Первухин, Б.С. Сравнительный анализ методов определения параметров измерительного преобразователя контактного кондуктометра / Б.С. Первухин Б.С., Д.Е. Кривобоков, В.А. Соловьев // Измерительная техника. – 2022. – №1. – С.46-51.

5. Первухин, Б.С. Определение параметров контактных первичных преобразователей кондук-

тометров» // Измерительная техника. – 2008.– №3.– С.61-63.

6. Первухин, Б.С. Определение параметров контактных кондуктометрических ячеек / Б.С. Первухин, Д.Е. Кривобоков, Н.В. Суворова // Ползуновский альманах.– 2014.– №1.–С.63-65.

**Первухин Борис Семенович** – д.т.н., профессор каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02, e-mail: [bspervuhin@mail.ru](mailto:bspervuhin@mail.ru);

**Кривобоков Дмитрий Евгеньевич** – к.т.н., доцент каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02;

**Кандауров Кирилл Дмитриевич** – студент каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02;

**Гуляев Дмитрий Александрович** – студент каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02;

**Ложешников Дмитрий Сергеевич** – студент каф. ИТ, тел.: (385-2)66-65-02.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАПАЗОНА СМЕЩЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ НА СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА КАЧЕСТВО ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ГЛУБИНЫ

**В. В. Крафт, П. А. Зрюмов**

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

*Выполнен анализ алгоритма, предназначенного для вычисления карты глубины на основе стереопары изображений с использованием OpenCV. В ходе анализа выделяются параметры SGBM, зависящие от разрешения изображения. Приведены результаты выполненных исследований и сделаны выводы.*

**Ключевые слова:** стереозрение, диспаратность, карта глубины, медианный фильтр, гауссово размытие, стереопара.

## **Введение**

Технология построения карты глубины представляет собой метод восстановления пространственной информации об объектах сцены, который находит широкое применение в различных областях: от компьютерного зрения и робототехники до медицины и виртуальной реальности. Карта глубины – это двумерное представление трехмерной сцены, где каждый пиксель соответствует расстоянию от камеры до определенной точки сцены. Это изображение глубины позволяет моделировать пространственные отношения между объектами и делать выводы о расположении и форме объектов на основе их расстояния до наблюдателя.

Один из наиболее распространенных подходов к построению карты глубины – использование стереозрения, также известного как стереоскопический метод. Суть этого метода заключается в вычислении расстояния до объекта на основе разницы в положении между двумя изображениями, полученными с разных ракурсов. Камеры, расположенные на известном расстоянии друг от друга, фиксируют сцены с небольшим параллаксом. В процессе анализа с помощью методов корреляции для каждого пикселя на одном изображении находится соответствующий пиксель на втором изображении, после чего вычисляется смещение между ними. Это смещение, или диспаратность, обратно пропорционально расстоянию до объекта и служит основой для построения карты глубины [1].

## **Вычисление карты глубины**

Карта глубины создается на основе методов стереозрения, которые анализируют парные изображения, полученные с двух ка-

мер, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Эти изображения фиксируют одну и ту же сцену под разными углами, что позволяет определить положение объектов в пространстве. Центральной концепцией стереозрения является вычисление диспаратности – разность координат одного и того же объекта на левом и правом изображениях, которая измеряется в пикселях. Зная диспаратность для каждого пикселя пары изображений, можно определить глубину  $Z$  сцены по формуле:

$$Z = \frac{f \cdot B}{d(x,y)}, \quad (1)$$

где  $f$  – фокусное расстояние камеры;  $B$  – расстояние между камерами;  $d(x,y)$  – диспаратность для пикселя с координатами  $(x,y)$  [2].

Для построения карты глубины часто используют метод полусглаженного блочного подбора (Semi-GlobalBlockMatching) [3,4]. Этот алгоритм учитывает локальные изменения и минимизирует функцию энергии, которая состоит из суммы соответствий для каждого пикселя и штрафов за несоответствие с соседними пикселями. Подход SGBM оценивает множество направлений, сглаживая карту глубины и снижая вероятность появления артефактов. Энергия в данном методе минимизируется, что позволяет находить оптимальные значения глубины для каждого пикселя с учетом гладкости локальных изменений. Алгоритм задается двумя параметрами штрафов, которые отвечают за минимальные и значительные изменения диспаратности

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАПАЗОНА СМЕЩЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ НА СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА КАЧЕСТВО ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ГЛУБИНЫ

между соседними пикселями, тем самым корректируя границы объектов и устраняя резкие скачки, связанные с шумами. Эти параметры позволяют поддерживать как гладкость карты глубины, так и детализированное разделение областей с разной глубиной.

$$E(D) = \sum_p C(p, D_p) + \sum_{(p,q) \in N} P_1 \cdot Dp - Dq = 1 + P_2 \cdot [Dp - Dq > 1], \quad (2)$$

где  $D$  – карта диспаратности;  $C(p, D_p)$  – стоимость сопоставления диспаратности для пикселя  $p$ ;  $P_1$  и  $P_2$  – штрафы за незначительное и значительное изменение диспаратности между соседними пикселями  $p$  и  $q$ ;  $N$  – множество всех пар соседних пикселей [5].

Для улучшения результатов карты глубины перед вычислением диспаратности изображений используется этап сглаживания с применением фильтров Гаусса и медианного фильтра. Фильтр Гаусса снижает высокочастотный шум, выравнивая резкие изменения интенсивности, а медианный фильтр подавляет выбросы пикселей, которые могут вызвать артефакты при вычислении глубины [6].

После вычисления диспаратности карту глубины нормализуют, чтобы привести ее значения к диапазону, удобному для отображения (обычно 0-255):

$$d_{normalized}(x, y) = 255 \cdot \frac{d(x, y) - d_{min}}{d_{max} - d_{min}}, \quad (3)$$

где  $d_{min}$  и  $d_{max}$  – минимальное и максимальное значения диспаратности на изображении [6].

### Алгоритм построения карты глубины

На первом этапе производится загрузка стереопары в градациях серого, обеспечивая меньшую размерность данных, что упрощает вычисления. Для подавления высокочастотных шумов, которые могут исказить карту глубины, к изображениям применяются гауссово размытие. После гауссового размытия изображения дополнительно обрабатываются медианным фильтром.

Следующим этапом реализуется алгоритм SGBM, предназначенный для расчета карты глубины на основе сопоставления пикселей между левым и правым изображениями. Полученные значения смещений нормализуются путём деления на 16.0, что по-

вышает точность. Карта смещений представляет собой двумерный массив, где значения элементов соответствуют величине смещения, указывая на расстояние до объектов на изображении. Далее выполняется нормализация карты смещений для преобразования значений в диапазон от 0 до 255, что делает её подходящей для отображения в виде изображения в градациях серого. Использование такого диапазона улучшает визуальное восприятие и позволяет интерпретировать значения смещений, где более светлые участки указывают на объекты.

### Проведение исследований

Исходными данными для проведения исследований являются два изображения, сделанные с помощью камеры, расположенной в двух точках, близких друг к другу, и отображающие одну и ту же сцену, но с небольшим смещением.



Рисунок 1 – Исходные изображения

Важным аспектом данного исследования является настройка параметров алгоритма SGBM. Диапазон возможных смещений между пикселями на левом и правом изображениях может вносить искажения, такие как чрезмерные или недостаточные смещения, что влияет на точность определенных расстояний. Размер блока для сравнения влияет на разрешение карты глубины. Меньшие значения блока могут обеспечить более детализированную карту, но повышают чувствительность к шуму. Степень сглаживания карты глубины имеет критическое значение для уменьшения эффекта «петли» (artifacts) и улучшения качества сопоставления при сильных контрастах и неоднородностях изображения.

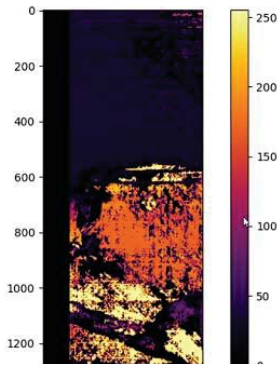


Рисунок 2 – Карта глубины, построенная по стереопаре изображений

Для корректной настройки параметров алгоритма SGBM (Semi-Global Block Matching) в контексте построения карты глубины важно учитывать разрешение исходных изображений, так как оно оказывает непосредственное влияние на выбор значений ключевых параметров.

Для изображений с низким разрешением: параметр `numDisparities` – достаточно применить меньшие значения (16 или 32), так как сцена может не требовать столь детализированного вычисления смещений; параметр `blockSize` – полезно использовать меньший размер блока (например, 3x3 или 5x5 пикселей), чтобы достичь большего разрешения карты глубины. Маленькие блоки позволяют получать более детализированные карты, но это также может привести к повышению чувствительности к шумам; можно установить более низкие значения `P1` и `P2`, поскольку меньшие разрешения менее подвержены артефактам и излишнему сглаживанию. При этом карта глубины получается менее детализированной.

Для изображений с высоким разрешением: параметр `numDisparities` – увеличение `numDisparities` до 65 и более может быть полезным для точного воспроизведения глубины; параметр `blockSize` – рекомендуется использовать немного большие блоки (например, 5x5 или 7x7 пикселей), чтобы улучшить устойчивость к шуму и ускорить вычисления. Меньшие блоки при высоком разрешении могут увеличить вычислительные затраты, а также привести к чрезмерной чувствительности к мелким шумам; `P1` и `P2` – требуется

увеличить, чтобы обеспечить должное сглаживание и минимизировать «петли», возникающие из-за высокой детализации.

### Выводы

Разрешение изображения имеет ключевое значение для выбора оптимальных параметров алгоритма SGBM. Для высококачественных изображений с большим разрешением требуется увеличение значений параметров `numDisparities`, `blockSize`, `P1` и `P2`. Это улучшает точность и детализацию карты глубины, но также увеличивает вычислительные затраты. В то же время для изображений с низким разрешением достаточно меньших значений этих параметров, что помогает снизить нагрузку на систему. При настройке алгоритма важно сбалансировать качество карты глубины и время обработки, что особенно важно при реальном использовании, например, в робототехнике или системах машинного зрения, где требуется высокая скорость вычислений при приемлемом качестве результата.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision : 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 655 с.
2. Scharstein D., Szeliski R. A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms // International Journal of Computer Vision. – 2002. – Т. 47, № 1–3. – С. 7–42.
3. Geiger A., Lenz P., Urtasun R. Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2012. – С. 3354–3361.
4. Хартли, Р. Множественная геометрия изображений в компьютерном зрении / Р. Хартли, А. Зиссерман // пер. с англ. – Кембридж: Cambridge University Press, 2004. – 655 с.
5. Хиршмюллер, Х. Обработка стереоизображений методом полусглаженного сопоставления и взаимной информации // Труды IEEE по анализу изображений и машинному обучению. – 2008. – Т. 30, № 2. – С. 328–341.
6. Пратт, У.К. Цифровая обработка изображений: Научное руководство PIKS. – Нью-Йорк: Wiley-Interscience, 2007. – 756 с.

**Крафт Владимир Владимирович** – магистрант кафедры ИТ, тел.: 8(385-2)29-09-13;

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



УДК 681.2.08:004.42

## ОБЗОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

**А. Г. Зрюмова, К. В. Степченко**

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

*В статье приведено описание системы управления электроснабжением, основанной на использовании умной розетки и мобильного приложения. Эта система предназначена для мониторинга и управления энергопотреблением отдельных приборов и небольших групп устройств. Анализируются ключевые компоненты и структура системы, описывается процесс выбора технологии управления и приводится обоснование её преимуществ для объектов с малой и средней нагрузкой.*

**Ключевые слова:** контроль электроснабжения, умная розетка, информационная система, мобильное приложение, автоматизация, мониторинг энергопотребления.

### **Введение**

Управление электроснабжением — важная и актуальная задача в условиях постоянного роста потребностей в энергии и стремления к повышению энергоэффективности. Современные технологии позволяют значительно улучшить процессы управления и мониторинга энергопотребления, обеспечивая дополнительную экономию ресурсов. Одним из перспективных решений управления электроснабжением объектов является разработка информационной системы. Такая система позволяет организовать дистанционное управление электроприборами, обеспечивая гибкость и удобство для пользователей, особенно в условиях небольших и средних объектов с ограниченной потребностью в ресурсах.

Информационная система включает в себя аппаратную, программную и серверную части.

Умная розетка позволяет подключённым приборам передавать информацию о текущем энергопотреблении и получать команды на включение или отключение. Через мобильное приложение пользователь получает возможность удалённого контроля и управления энергопотреблением, устанавливая графики работы и анализируя данные потребления в реальном времени. Облачный сервер обрабатывает данные, а также сохраняет их для последующего анализа и отчетности [1, 2].

### **Описание объекта**

Умная розетка — интеллектуальное устройство для мониторинга и управления энер-

гопотреблением подключённых приборов. Розетка оснащена датчиками тока и напряжения, а также Wi-Fi и Bluetooth модулями, что позволяет получать точные данные о потребляемой мощности и передавать их на сервер. Устройство также поддерживает возможность дистанционного управления, принимая команды на включение или отключение питания [7].

Принцип работы умной розетки основан на использовании беспроводных технологий связи и микроконтроллеров. Устройство подключается к электрической розетке и обладает возможностью дистанционного управления [4].

Работа умной розетки основывается на простом принципе: когда розетка включена, электрический ток поступает на подключённое устройство. Когда розетка выключена, подача электрического тока прекращается и подключённое устройство выключается. Таким образом, умная розетка позволяет управлять подключёнными устройствами, как если бы они были подключены к выключателю, но дистанционно [3].

Некоторые умные розетки также поддерживают синхронизацию с виртуальными ассистентами, такими как Amazon Alexa или Google Assistant, что позволяет управлять электроприборами с помощью голосовых команд или приложения на смартфоне. Это делает управление домашними устройствами ещё более удобным и эффективным [4].

Одной из главных особенностей умной розетки является возможность управления электроприборами с помощью таймеров и

расписания. Таким образом, можно настроить умную розетку на автоматическое включение или выключение определенных приборов в определенное время. Это может быть полезно, например, для управления светом или кофемашиной, чтобы они автоматически включались утром [1].

Умная розетка также может быть переведена в режим «экономии энергии», который оптимизирует потребление электричества

мощными устройствами, такими как кондиционер или обогреватель. Режим экономии энергии может автоматически выключать приборы, если они не используются в течение определенного времени, что помогает снизить электропотребление и счет за электроэнергию [2].

Структурная схема умной розетки с поддержкой Wi-Fi показана на рисунке 1.

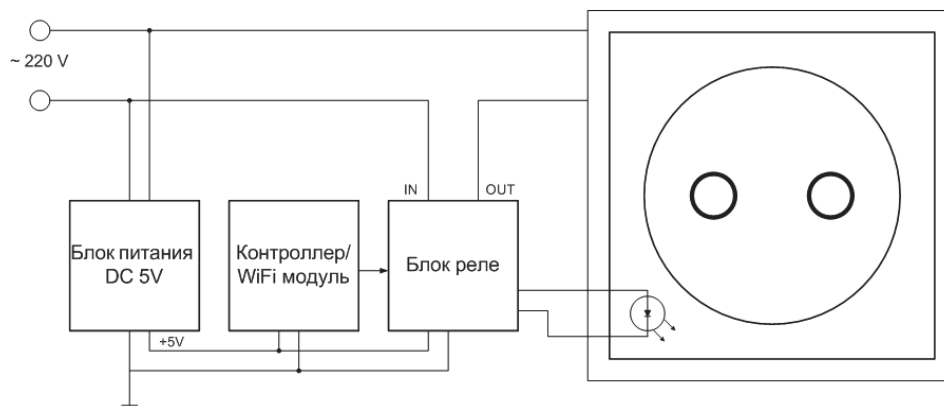


Рисунок 1 – Структурная схема умной розетки с интегрированным Wi-Fi модулем

### Архитектура информационной системы и методы управления энергопотреблением

Информационная система для управления электроснабжением состоит из трёх основных компонентов: умной розетки, мобильного приложения и облачного сервера. Взаимодействие между этими элементами позволяет дистанционно контролировать энергопотребление и выполнять операции по включению и отключению приборов, что вносит значительный вклад в повышение энергоэффективности и удобства эксплуатации на объектах с малой и средней нагрузкой [1, 2].

Умная розетка представляет собой ключевой аппаратный элемент системы, который непосредственно подключается к электрической сети и управляет подключенными к ней приборами. Она оборудована модулями для измерения потребляемой мощности и передачи данных [6, 7].

Мобильное приложение является основным средством взаимодействия пользователя с системой. С его помощью пользователь может не только отслеживать текущее энергопотребление, но и управлять графиками работы подключенных приборов, достаточно лишь иметь доступ в интернет. Интерфейс приложения включает в себя функции для настройки режимов работы, отображения данных в реальном времени и анализа исто-

рии потребления. Пользователю также предоставлена возможность управления сразу несколькими умными розетками с разными типами и разными производителями [12, 13].

Серверная часть системы выступает в роли центра обработки и хранения данных. Сервер принимает данные о потреблении энергии от умной розетки, обрабатывает их, анализирует и предоставляет их для мобильного приложения. В базе данных сервера так же хранятся логины и пароли пользователей а так же информация о розетках и их состояниях [5, 9].

Функциональная схема работы информационной системы для управления электроснабжением объектов представлена на рисунке 2.

### Результаты тестирования системы

Разработанная информационная система была протестирована на ряде объектов с малой и средней нагрузкой, чтобы оценить её функциональность и эффективность в управлении энергопотреблением.

Для тестирования использовались умные розетки серий Edimax и TP-LINK Tаро, (одна из тестируемых моделей Tаро P100 от TP-LINK изображена на рисунке 3).

При разработке мобильного приложения были учтены следующие ключевые критерии, направленные на обеспечение эффективности, безопасности и удобства использования:

## ОБЗОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

интуитивный и удобный интерфейс, функциональность и гибкость; безопасность и защита персональных данных; масштабируемость и возможность обновления приложения. На рисунке 4 представлен интерфейс мобильного приложения с подключенной розеткой TP-LINK Tapo P100 и запросом на включение.

Результаты тестирования показали, что разработанная информационная система способна эффективно управлять группой умных розеток на любом расстоянии, а так же минимизировать затраты на электроэнергию. Однако стоит отметить, что для работы системы требуется доступ в интернет.

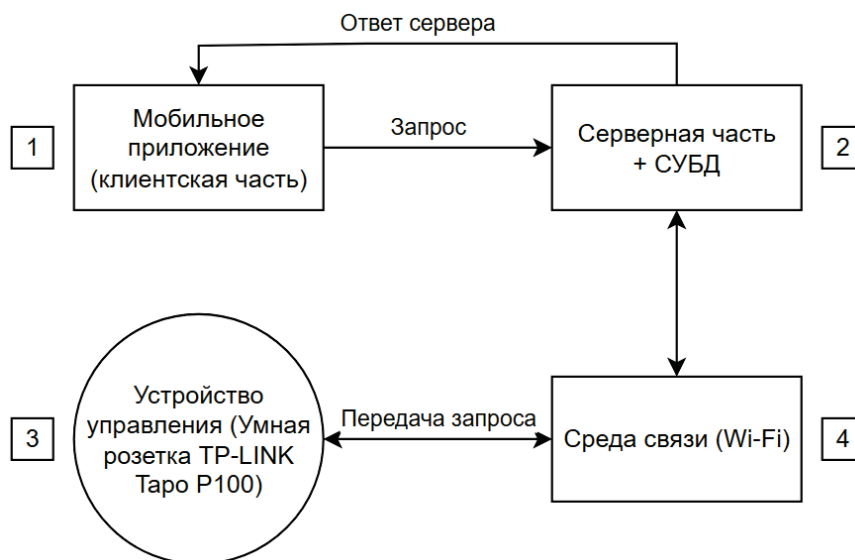


Рисунок 2 – Функциональная схема информационной системы «Приложение-розетка»



Рисунок 3 – Модель умной розетки TP-LINK Tapo P100

### Обсуждение и выводы

Результаты тестирования информационной системы подтвердили её эффективность и надёжность в управлении энергопотреблением объектов с малой и средней нагрузкой. Разработанная система успешно справляется с основными задачами: удалённое включение и отключение приборов, мониторинг текущего потребления и настройка графиков работы. Использование мобильного приложения обеспечило удобный и интуитивно понятный интерфейс, который позволяет пользователю легко контролировать энергопотребление на любом расстоянии, что осо-

бенно актуально для удалённых объектов. Несмотря на полученные положительные результаты, система требует постоянного доступа в интернет, что может быть ограничением в условиях нестабильной сети.

Таким образом, данная информационная система может быть рекомендована для внедрения на небольших и средних объектах, где контроль энергопотребления является актуальной задачей. Дальнейшая работа может включать улучшение функционала системы и исследование её применимости для более крупных объектов с более сложной структурой энергопотребления.

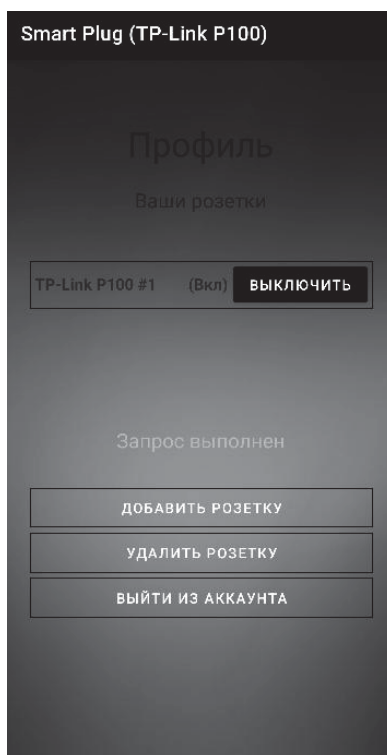


Рисунок 4 – Интерфейс мобильного приложения для управления умной розеткой, успешный запрос на включение розетки

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 13109-97. Системы управления энергосбережением. Основные положения и определения. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 32 с.
2. ГОСТ Р 56350-2015. Системы управления энергопотреблением в зданиях и сооружениях. Общие требования. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 18 с.
3. Грибков, В. Н. Мобильные приложения для управления системами умного дома. – Москва: Издательский дом "Дело и Сервис", 2018. – 200 с.
4. Алексеев, В. А. Умная розетка: учебное пособие / В. А. Алексеев. – Москва: "Эксмо", 2015. – 182 с.
5. ГОСТ Р 54609-2011 Системы умного дома. Требования к устройствам управления электропитанием. – Москва: Стандартинформ, 2023. – 6 с.
6. Горобец, В. Ф. Управление электроснабжением: учеб. пособие / В. Ф. Горобец. – Минск: БГУИР, 2007. – 78 с.
7. Козырев, А. А. Автоматизированные системы управления электроснабжением: учебник для вузов / А. А. Козырев, В. Н. Пархоменко. – Москва: Энергоатомиздат, 2017. – 336 с.
8. Руководство по разработке мобильных приложений для Android / А. А. Алексеев, Д. А.

Безруков, А. С. Ломов. – Санкт-Петербург: Изд. "Питер", 2019. - 480 с.

9. Иванов, А. В. Принцип работы системы умного дома: учебное пособие / А. В. Иванов. — Санкт-Петербург: Изд. "Питер", 2014. – 236 с.

10. Тесля, Е. В. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему / Е. В. Тесля. – Санкт-Петербург: Изд. "Питер", 2018. – 256 с.

11. Козлов, М. Разработка мобильных приложений. Учимся создавать Android-приложения Издательский дом "ДМК Пресс", 2017.

12. Бергман, Я. А., Константинов И.И. Мобильная разработка: подходы и технологии / Я. А. Бергман, И. И Константинов. Под изд. "Питер", 2019.

13. Коулсон, К. Создание мобильных приложений на платформе Android. Издательский дом "ДМК Пресс", 2017

**Зрюмова Анастасия Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент, зав. каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(3852)290913, e-mail: a.zrumova@mail.ru;

**Степченко Константин Викторович** – студент каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(9831)008721, e-mail: scplanstaiwan@gmail.com.

## РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОРТИРОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

**Т. В. Котлубовская, А. И. Агарин**

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

*Статья посвящена разработке проекта системы автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений на небольшом предприятии.*

**Ключевые слова:** система автоматизированного контроля, Raspberry Pi, датчик цвета, тензометрические весы, сортировка, лекарственные растения.

Алтайский край является одним из лидеров поставки лекарственных растений на рынок страны. Сбором и заготовкой сырья, наряду с крупными производителями, могут заниматься небольшие организации, не имеющие возможности работать на больших производственных площадях, оснащенных мощными автоматизированными линиями. Недостаток площади приводит к использованию ручного труда, что влечет за собой ошибки, связанные с человеческим фактором. Зачастую ошибки возникают на этапе сортировки упакованной продукции. Для решения этой проблемы необходимо установить оригинальную компактную линию сортировки сырья и осуществлять автоматизированный контроль за ее работой [1].

Лекарственные травы поступают на производство в больших мешках. Сырье готовят к фасовке (очищают/моют, высушивают, ферментируют и т.д.) и раскладывают вручную по пакетам весом 25, 50, 100 и более грамм. На фасовочном участке одновременно могут фасоваться разные виды сырья. Для каждого вида сырья предусмотрен свой цвет индивидуальной упаковки. У каждого фасовщика свои весы.

Расфасованное в индивидуальные упаковки сырье всех видов перемещается на сортировочный участок, находящийся в помещении с другим микроклиматом. На сортировочном участке производится укладка расфасованных пакетов в укрупненную тару (например, картонные коробки по 100 пакетов). При этом может возникать пересортица: в коробку с пакетами одного цвета попадает другой. Кроме того, на данном этапе отсутствует контроль массы индивидуального пакета. Решить проблему можно путем разработки системы автоматизированного контроля сортировки пакетов лекарственных растений в укрупненную тару.

То есть, контролируя массу и цвет пакета с продукцией, можно решить проблему некорректной сортировки, сокращая при этом временные и экономические затраты.

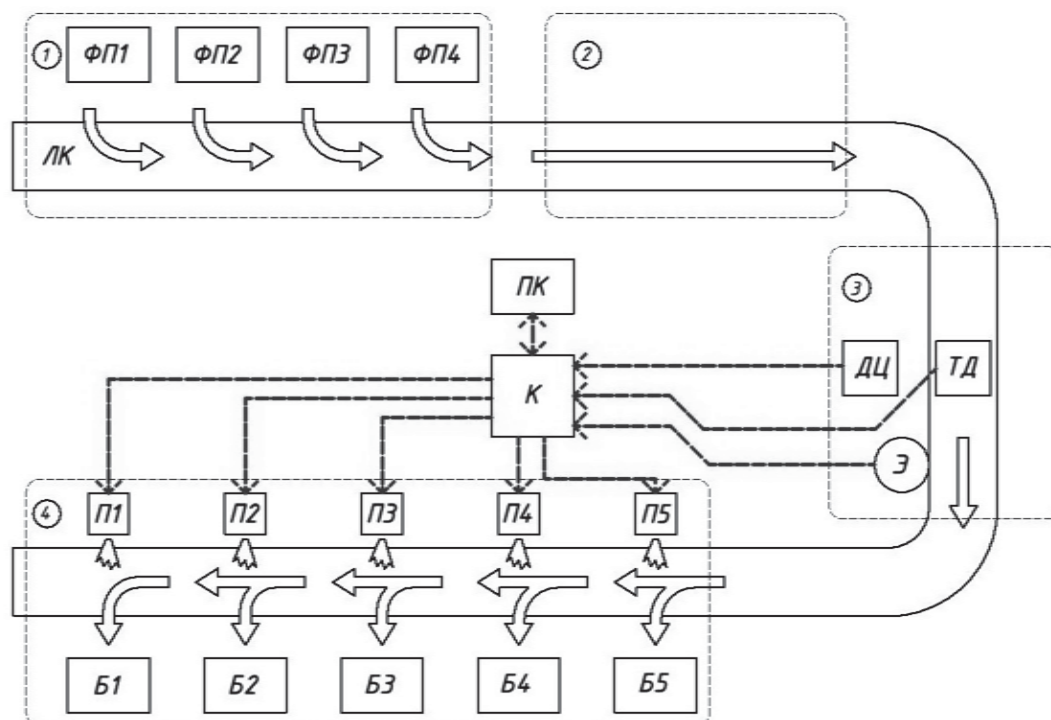
Вышеизложенное послужило основанием для постановки цели работы. Разработать систему автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений.

На этапе выполнения аналитического обзора различных методов сортировки, выяснилось, что наиболее подходящими методами для дальнейших исследований являются оптический метод и метод взвешивания с использованием тензометрических весов.

Функциональная схема разрабатываемой системы представлена на рисунке 1.

Цикл работы системы начинается с запуска конвейерной линии. Сырьё (собранный лекарственная трава) в льняных мешках после сбора поступает на подготовительный участок ПУ, где его чистят, сушат, измельчают и т.д.

Затем сырьё перемещается в деревянных ящиках на участок фасовки УФ. На этом участке, как правило, работают несколько фасовщиков, каждый на своём фасовочном посту ФП. Фасовщики пользуются индивидуальными весами, с помощью которых масса в каждом пакете доводится до 50 грамм. Каждый фасовщик занимается только одним видом сырья и, соответственно, фасует его в пакеты одного цвета. Количество ФП – до четырёх. Наполненный пакет с сырьём помещается на ленточный конвейер ЛК, который проходит через весь участок, и продукция с любого ФП помещается на него бессистемно. Продукция по ЛК транспортируется на следующий участок.



Условные обозначения:

- 1 – участок фасовки УФ;
- 2 – участок выравнивания УВ;
- 3 – участок идентификации УИ;
- 4 – участок сортировки УС;
- ФП1-ФП4 – фасовочные посты;
- Э – энкодер инкрементальный;
- П1-П5 – пушеры (экстракторы);
- ТД – тензодатчики;
- Б1-Б5 – бункеры;
- ЛК – ленточный конвейер;
- К – контроллер;
- ДЦ – датчик цвета;
- ПК – персональный компьютер.

Рисунок 1 – Функциональная схема системы автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений

На участке выравнивания УВ продукция выстраивается в одну линию вне зависимости от цвета пакета и чётко позиционируется на ЛК по ширине конвейера. Также на УВ задаётся одинаковая дистанция между пакетами с продукцией.

Далее продукция попадает на участок идентификации УИ. Здесь происходит взвешивание пакета с продукцией, а также определение типа сырья по цвету. Определение массы производится с помощью комплекса тензодатчиков ТД (в количестве четырех

штук), размещенных по углам площадки взвешивания ЛК [2].

Цвет пакета определяется с помощью датчика цвета ДЦ. Два указанных процесса идентификации пакета продукции должны происходить синхронно для каждого пакета, что достигается с помощью настройки датчиков. Для каждого пакета, прошедшего идентификацию, контроллер К запоминает его статус (соответствует ли масса и какой тип сырья) и включает счётчик времени.

Замыкает зону контроля участок сортировки УС. На УС происходит сброс пакета в

бункер, соответствующий по цвету (типу сырья). Сброс происходит путём направления потока со сжатым воздухом на необходимый пакет. Поскольку ЛК на перегоне УИ-УС движется с постоянной скоростью, счётчик времени, работающий для каждого пакета, позволяет определить его местоположение в любой момент времени. Это позволяет включить нужный пушер (П1-П5) для сброса пакета с продукцией, когда этот пакет будет находиться напротив необходимого бункера (Б1-Б5). Нештатные изменения скорости ЛК фиксируются энкодером Э, и в счётчик времени мгновенно вносятся коррективы. Пакеты с несоответствующей массой (брак) сбрасываются в Б5 независимо от цвета пакета. В каждом бункере (кроме Б5) расположен гофрокороб на 100 пакетов, заменяемый на пустой по мере заполнения (опция в данной работе не рассматривается). Таким образом, пакеты разных цветов (типов сырья) расфасовываются по соответствующим гофрокоробам, и ни один пакет не проходит по ЛК далее Б1.

Роль датчика цвета может выполнить камера с хорошим разрешением, например, Camera Module V2, совместимая с высокопроизводительным одноплатным компьютером Raspberry Pi. Подключение камеры производится через CSI-разъём [3-4].

Пушеры и бункеры – индивидуального проектирования. Пушеры - на базе пневмораспределителя 3/2 марки Kipvalve 534-2132.

Энкодер инкрементальный марки E100H35-10000-3-N-5 (Autonics).

В качестве операционной системы для Raspberry Pi будет использована Raspbian Jessie.

### **Выводы**

На данном этапе работы определён состав программно-аппаратных средств, необходимых для разработки системы автоматизированного контроля сортировки лекарственных растений, разработана функциональная схема системы и описан принцип ее работы.

Разрабатываемая система будет осуществлять контроль массы пакетов с лекарственными растениями разных видов и их сортировку в укрупненную тару по цвету упаковки.

### **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. Котлубовская, Т.В. Разработка проекта системы автоматизированного контроля наполняемости контейнеров готовой продукцией / Котлубовская Т.В., Красилов А.А. . – Текст непосредственный // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2020. – №4. – С.82-84.

3. Configuration – Raspberry Pi Documentation. – Текст электронный. – URL: <https://www.Raspberrypi.org/documentation/configuration/> (дата обращения: 04.09.2024).

4. Buy a Camera Module V2 – Raspberry Pi. – URL: <https://www.Raspberrypi.org/products/camera-module-v2/>. (дата обращения 04.09.2024).

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

**Агарин Артем Иванович** – студент.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Е. С. Жердев**

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

*Данная статья посвящена современным подходам к обнаружению и предотвращению препятствий в полете беспилотных летательных аппаратов. В статье рассматриваются различные методы обнаружения препятствий, такие как методы на основе компьютерного зрения, лазерные дальномеры и радарные датчики. Обсуждаются преимущества и недостатки приведенных методов.*

**Ключевые слова:** обнаружение препятствий, БПЛА, инфракрасные датчики, компьютерное зрение, измерение времени.

### **Введение**

Дроны, или беспилотные летательные аппараты (БПЛА), становятся все более популярными в различных областях, таких как сельское хозяйство, картография, мониторинг окружающей среды, доставка грузов и многие другие. Дроны могут быть использованы для выполнения полетов в труднодоступных районах или над большими водными пространствами.

Дроны бывают разных размеров и конфигураций в зависимости от их предназначения. Например, компактные дроны подходят для фотосъемки и видеозаписи, а крупные беспилотные летательные аппараты используются для транспортировки грузов или проведения научных изысканий. Некоторые дроны могут быть полностью автономными, в то время как другие могут управляться дистанционно оператором.

Одним из наиболее важных аспектов безопасности полетов беспилотных летательных аппаратов является обнаружение и избегание препятствий. Препятствия могут представлять собой серьезную угрозу для безопасности полетов.

В этом обзоре рассмотрены различные методы обнаружения препятствий, которые можно использовать для обеспечения безопасности полетов и предотвращения столкновений.

Цель исследования заключается в анализе методов обнаружения препятствий с использованием компьютерного зрения, радаров и инфракрасных датчиков [1], а также оценке возможности интеграции этих методов

в систему управления полетом дрона для автоматического предотвращения столкновений.

### **Результаты исследования**

#### **1) Метод компьютерного зрения.**

Компьютерное зрение (CV) использует камеры и алгоритмы для распознавания и анализа окружающей среды. Дроны могут использовать одну или несколько камер для получения изображений, которые затем обрабатываются с помощью различных алгоритмов. Пример функциональной схемы представлен на рисунке 1.

Основные подходы:

1. Монохромные камеры. Используют одиночную камеру для захвата изображений. Дрон анализирует кадры, определяя изменения в текстурах и границах объектов.

2. Стеклокамеры. Применяются для создания 3D – моделей окружающей среды, используя два изображения с разных точек зрения для определения глубины объектов

3. Оптический поток. Анализ изменения положения пикселей между последовательными кадрами видео. Если объект движется относительно камеры, его можно выявить по смещению в последовательных кадрах.

4. Алгоритмы машинного обучения. Дроны с поддержкой CV используют нейронные сети для классификации объектов и их состояний. Нейросети могут идентифицировать препятствия, такие как здания, деревья или люди, на основе предварительной обучающей выборки данных.



## ОБЗОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

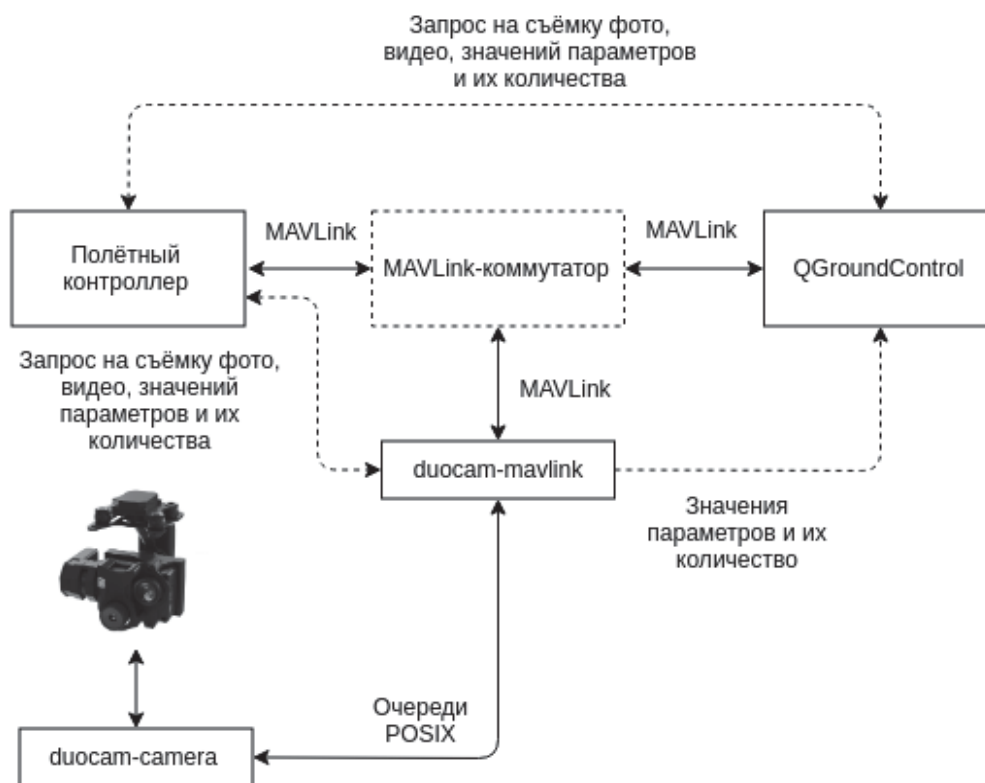


Рисунок 1 – Функциональная схема обнаружения препятствий на основе компьютерного зрения [1]

### 2) Лазерные дальномеры.

Лазерные дальномеры используют световые импульсы для измерения расстояний до объектов. Лидар сканирует пространство вокруг дрона, испуская лазерные лучи и измеряя время, за которое они возвращаются после отражения от объекта. Эти данные позволяют строить точные 3D-карты окружающей

среды. Пример функциональной схемы приведен на рисунке 2.

Основные подходы:

1) Ротационные сенсоры. Обеспечивают круговой обзор окружающего пространства.

2) Твердотельные сенсоры. Новые технологии, в которых сенсоры имеют меньшие размеры и более устойчивы к механическим воздействиям [2,3].

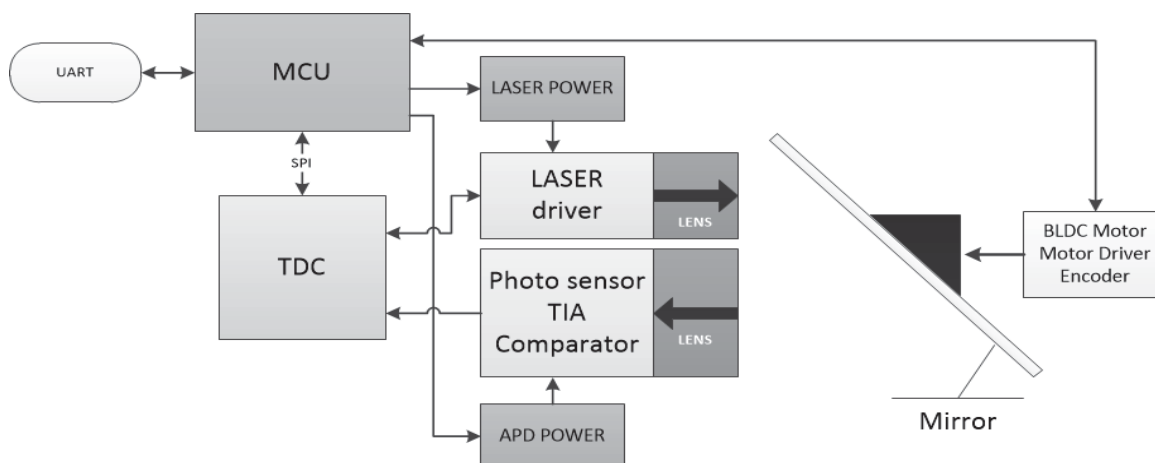


Рисунок 2 – Функциональная схема обнаружения препятствий на основе лазерного дальномера [2]

3) Радарные датчики.

Системы используют радиоволны для обнаружения объектов и измерения расстояния и скорости. Радиоволны хорошо проникают через туман, дождь и пыль, что делает радары полезными в сложных условиях окружающей среды. Пример функциональной схемы представлен на рисунке 3.

Основные подходы:

1) Микроволновые радары. Работают на основе принципа излучения и приема электромагнитных волн в микроволновом диапазоне частот. Принцип работы можно описать следующим образом. Микроволновый радар содержит излучатель, который генерирует электромагнитные волны в микроволновом диапазоне частот. Эти волны излучаются в направлении объекта, который нужно обнаружить или измерить. Когда микроволновые волны попадают на объект, они отражаются от него и возвращаются к радару. Степень отражения зависит от свойств объекта, таких как размер, форма, материал и другие параметры. Радар содержит приемник, который улавливает отраженные микроволновые волны. Приемник преобразует эти волны в электрические сигналы, которые можно обрабатывать и анализировать. Электрические сигналы, полученные от приемника, обрабатываются электронной схемой радара. Эта обработка может включать в себя усиление, фильтрацию, детектирование и другие операции, необходимые для извлечения информации из сигнала. В зависимости от типа радара, обработанный сигнал может использоваться для измерения расстояния до объекта или его скорости. Например, радар может измерять время, прошедшее между излучением и приемом сигнала, чтобы определить расстояние до объекта. Или он может измерить частотный сдвиг между излученным и принятым сигналами, чтобы определить скорость объекта (эффект Доплера) [4].

2) Миллиметровые радары. Применяются для обнаружения мелких объектов на больших расстояниях. Важно отметить, что миллиметровые волны имеют более короткую длину волны и большую частоту, чем микроволны, что позволяет миллиметровым радарам обеспечивать более высокую разрешающую способность и точность измерений. Однако миллиметровые волны также более чувствительны к поглощению и рассеянию в атмосфере, что может ограничивать дальность действия миллиметровых радаров.

Принцип работы миллиметрового радара можно описать следующим образом. Мил-

лиметровый радар содержит излучатель, который генерирует электромагнитные волны в миллиметровом диапазоне частот. Эти волны излучаются в направлении объекта, который нужно обнаружить или измерить. Когда миллиметровые волны попадают на объект, они отражаются от него и возвращаются к радару. Степень отражения зависит от свойств объекта, таких как размер, форма, материал и другие параметры. Радар содержит приемник, который улавливает отраженные миллиметровые волны. Приемник преобразует эти волны в электрические сигналы, которые можно обрабатывать и анализировать. Электрические сигналы, полученные от приемника, обрабатываются электронной схемой радара. Эта обработка может включать в себя усиление, фильтрацию, детектирование и другие операции, необходимые для извлечения информации из сигнала.

**Обсуждение и выводы**

Проведенный обзор методов обнаружения препятствия для беспилотных летательных аппаратов позволил определить следующие преимущества и недостатки каждого описанного метода.

1) Метод на основе компьютерного зрения.

Преимущества:

- а) Высокая детализация и точность;
- б) Возможность распознавания сложных объектов.

Недостатки:

- а) Высокие вычислительные требования;
- б) Чувствительность к освещению и погодным условиям.

2) Лазерные дальномеры.

Преимущества:

а) Высокая точность измерения расстояний.

б) Работоспособность в условиях слабого освещения или полной темноты.

Недостатки:

- а) Высокая стоимость оборудования.
- б) Снижение эффективности в условиях плохой видимости.

3) Радарные датчики.

Преимущества:

а) Отличная работа в любых погодных условиях;

б) Дальнобойность и точность.

Недостатки:

а) Сложность интеграции в малогабаритные дроны;

б) Высокая стоимость.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

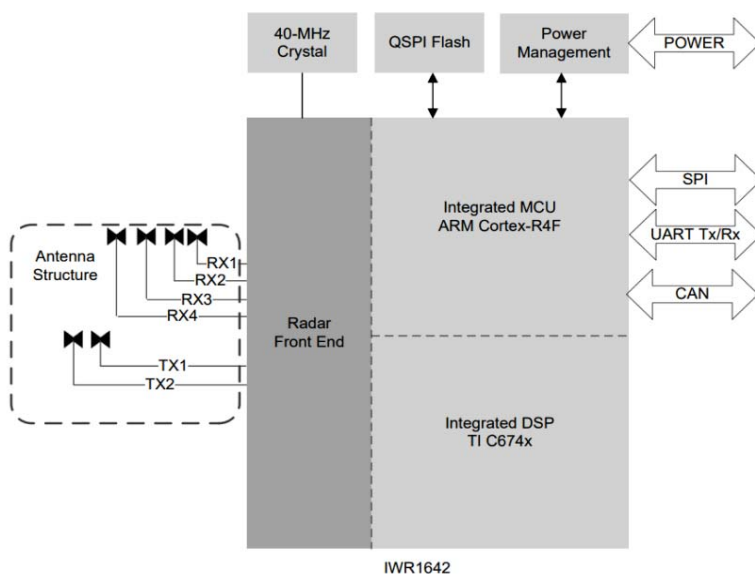


Рисунок 3 – Функциональная схема обнаружения препятствий на основе радарного датчика

Применение данных методов обнаружения препятствий, позволит создавать новые типы дронов с высокой точностью определения препятствий в условиях действия помех.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тархов, Д.А. Нейросетевые модели и алгоритмы. – Москва: Радиотехника, 2014. – 349 с. – URL:

<https://www.gstu.by/sites/default/files/atoms/files/47/f7/tarhanov.pdf?ysclid=m4lds1r4zk84642708> (дата обращения: 12.12.2024). – Текст электронный.

2. Кугейко, М.М., Смунов, Д.А. Методы определения микрофизических параметров эритроцитов по поляризационно-нефелометрическим изме-

рениям // Электроника-инфо. – 2016. – № 2. – С. 41–49.

3. Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC – SR04 / В.А. Жмудь, К.А. Кузнецов, К. О. Кондратьев [и тд] // Автоматика и программная инженерия. – 2017. - №4. – С. 18 – 26.

4. Патрушев, Е.М. К вопросу о разработке радарных датчиков расстояния на основе хаотических генераторов / Е. М. Патрушев, И. В. Колосов // Ползуновский альманах. – 2021. - №4. – С.28-32.

**Жердев Евгений Сергеевич** – магистрант, каф. ИТ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: 8(961)9768641, e-mail: zheny.zherdev@bk.ru.

## ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

И. Ю. Алышев<sup>1</sup>, Н. В. Ерофеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева филиал в г. Междуреченске

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева г. Кемерово

*Показано применение видеокамер в подземных выработках шахт с целью контролирования и недопущения аварийных ситуаций при выполнении производственных задач. Отмечена возможность применения видеоконтроля для недопустимости захода персонала в опасную зону. Приведена возможность использования тепловизионных камер с целью обеспечения безопасности в угольных шахтах.*

**Ключевые слова:** видеокамера, тепловизионная камера, шахта, контроль, безопасность.

### Введение

Шахта – это опасный производственный объект [1].

Для визуального контроля производственного процесса необходимы системы видеонаблюдения.

### Описание объекта

Видеокамеры устанавливаются в местах перегрузки, для наблюдения за работой персонала, контроля соблюдения норм безопасности, контроля эксплуатации горного оборудования. Также видеокамеры используют для наблюдения за удаленными или малопосещаемыми, или опасными для посещения людей объектами.

С помощью видеокамер обеспечивают:

– Контроль безопасности периметра. С помощью данного контроля можно выставить зоны, в которых запрещено пребывание людей. В камере выставляются настройка тревожных сигналов, виды объектов, размеры объектов с целью недопущения реакции на птиц и животных. Видеокамера при пересечении персоналом заданного сектора выводит на экран тревожное сообщение на монитор в виде всплывающего окна и звукового сигнала. Окно с тревогой всплывает поверх остальных окон оператора, и он реагирует на него [2].

– Контроль рабочего времени. Для этого используется модуль, позволяющий отследить количество людей, входящих в шахту и выходящих из нее. Модуль – это совокупность видеокамеры и программного обеспечения, установленного на сервер. Видеокамера устанавливается непосредственно на

входе в здание клетового ствола и передает информацию на сервер. Программное обеспечение анализирует вход и выход персонала [3].

– Контроль производственного процесса. С помощью видеонаблюдения начальник смены имеет возможность постоянного контроля производственных процессов.

На конвейерах устанавливают инфракрасные тепловизионные камеры. Их преимущества – бесконтактное измерение температуры в режиме реального времени без необходимости личного посещения объекта, сбор данных по всем температурным точкам и автоматическом определении горячих точек. Тепловизоры могут быть оснащены световой и звуковой сигнализацией, которая служит для заблаговременного уведомления при сильных колебаниях температуры объекта наблюдения, что позволяет принять меры эффективного предотвращения несчастных случаев [2].

Камеры устанавливают в очистных и подготовительных забоях, с помощью которых оценивают состояние конвейерных лент, смотрят за скоплением персонала в опасных местах, отслеживают наличие задымлений непосредственно в рабочей зоне и в других местах нахождения людей, выполняющих работы по обеспечению безопасности производства работ. Также наблюдают за состоянием крепи горных выработок, откаткой горной массы или проветриванием.

Для обеспечения связи в шахте используются оптоволоконные линии, они считаются искробезопасными в отличие от медных про-

## ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

водов, где электрический сигнал даже невысокого напряжения создает риск возникновения искры. Оптоволоконные линии связи же с этой точки зрения совершенно безопасны.

В стационарных системах видеонаблюдения есть свои недостатки. В связи с загруженностью выработок металлоконструкциями и другими препятствиями, большой протяженностью линий, влажностью, запыленностью использование их не всегда удобно.

В связи с этим получают широкое распространение мобильные видеокамеры, встроенные в головной светильник рабочего.

Такие системы разделяются на два вида: запись ведется на встроенный накопитель, и для съемки с трансляцией видеофайлов начальнику смены в режиме реального времени. Для работы таких систем необходима связь с сервером, поэтому на всей протяженности шахты устанавливают Wi-Fi.

Важно, что при задействовании Плана ликвидации аварии видеотрансляция может быть доступна диспетчеру или руководителю спасательного отряда в режиме реального времени.

Применение видеокамер в головных светильниках не является обязательным требованием, но возможно со временем станет одной из систем, входящих в многофункциональную систему безопасности угольной шахты.

В угольных шахтах расширяется применение мобильных устройств, включая головные светильники шахтера, со встроенными видеокамерами, предназначенными для ви-

зуального контроля горнотехнических процессов и объектов.

### Обсуждение и выводы

Подводя итог, можно отметить, что видеонаблюдение в шахте облегчает работу персонала, позволяя визуально контролировать технологический процесс. Также способствует предотвращению нарушения техники безопасности и аварийных ситуаций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).– URL: <http://nvol.gosnadzor.ru/activity/expert/fz116.pdf> (дата обращения: 12.12.2024).

2. Hikvision: Продажа IP-видеокамер и IP-видеорегистраторов: официальный сайт.– URL: <https://www.hikvision-shop.su/?yclid=779402910316363775> (дата обращения: 12.12.2024).

3. Сатро-Паладин: Системы видеонаблюдения: сайт.– <https://www.perco.ru/>. (дата обращения: 12.12.2024).

**Алышев Иван Юрьевич** – студент кафедры Т и М ГР ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева», филиал в г. Междуреченске, тел: 8(38475)72898, e-mail: [alyshev.ivan@mail.ru](mailto:alyshev.ivan@mail.ru);

**Ерофеева Наталья Валерьевна** – к.т.н., доцент, доцент ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева», тел: 8(3842)396940, e-mail: [env.stm@kuzstu.ru](mailto:env.stm@kuzstu.ru).

## РАЗРАБОТКА МАКЕТА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВСПЕНЕННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

**Т. В. Котлубовская, А. С. Карпов**

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

*Статья посвящена разработке макета установки для исследования шумоизоляционных свойств вспененного композиционного материала.*

**Ключевые слова:** галтовка, шумоизоляция, макет установки, вспененный композиционный материал.

Эффективность работы любого производственного предприятия зависит от параметров микроклимата производственных помещений. На различных производственных предприятиях для подготовки мелких металлических деталей в большом количестве используется операция галтовка. Она подразумевает перемешивание большого количества мелких металлических деталей с абразивом. Делается это для очистки (подготовки) поверхности деталей. Технологический процесс подразумевает использование чрезвычайно шумного оборудования, например, галтовочного барабана (рисунок 1).

Металлические детали (стальные), изготовленные из листового материала путем газовой, плазменной, лазерной резки практически на любом машиностроительном или механосборочном предприятии являются базовыми и, как правило, самыми многочисленными деталями [1]. Высокотемпературная резка листового материала позволяет изготавливать детали из стального листа с хорошей точностью, довольно дешево и очень быстро. Но в жертву скорости изготовления приносится качество кромки детали. По контуру реза металла деталь получается в большей или меньшей степени оплавленной. Стекавшие и застывшие на кромке капли называются грат. Грат снимается либо зачисткой каждой детали с помощью углошлифовальной машины (УШМ), либо обработкой большого количества деталей одновременно, например, галтовкой. Снятие грата при помощи УШМ даёт максимально качественный результат, но происходит довольно долго, и является очень травмоопасным мероприятием для работника, осуществляющего зачистку деталей, и для находящихся рядом людей. Галтовка с помощью галтовочного барабана

позволяет сильно сэкономить время на обработку деталей, даёт хорошее качество поверхности и высвобождает работника на время обработки (следить за процессом не нужно). Серьёзным вредным фактором работы галтовочного барабана является сильный шум. Не на всех производственных предприятиях имеется возможность отделить галтовочный участок от основного производства, в связи с чем, уровень шума там не соответствует СанПиН [1].

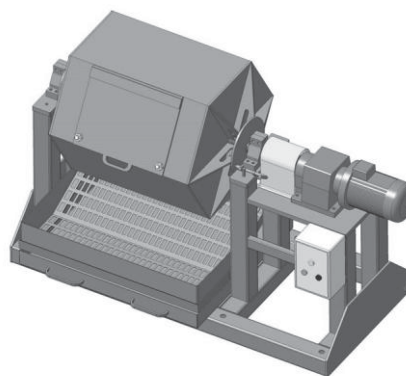


Рисунок 1 – Внешний вид галтовочного барабана

Для решения этой проблемы предполагается использовать шумозащитный барьер (кожух), созданный на основе вспененного композиционного материала.

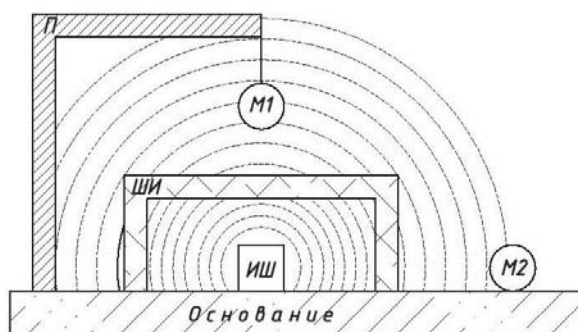
Вспененный композит представляет собой твердый вспененный полимер со внесённым в него дисперсным наполнителем. Моделированием внутренней структуры пенокомпозита (изменением размера ячейки, их количества, типа, величины и процентного содержания наполнителя) можно изменять

## РАЗРАБОТКА МАКЕТА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВСПЕНЕННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

различные свойства получаемого материала в довольно широких пределах. Речь идёт как о механических или теплофизических, так и об акустических (звукоизоляционных) свойствах композита [4].

Модифицируя вспененный композиционный материал и исследуя его шумопоглощающие свойства, можно решить вопрос соблюдения санитарных правил и норм, сохранить здоровье людей и повысить производительность труда или, другими словами, эффективность работы предприятия.

Макет установки для исследования шумоизоляционных свойств представлен на рисунке 2.



Условные обозначения:

- ИШ – источник шума;
- ШИ – шумоизоляция;
- М1, М2 – микрофоны;
- П – подвес.

Рисунок 2 – Обобщенная схема установки (макет) для исследования свойств шумоизоляции

В качестве источника шума может быть использован любой медиапроигрыватель (телефон, плеер и пр.), имитирующий частоту шумящего оборудования (галтовочного барабана).

Шумоизоляция представляет собой кожух из вспененного композиционного материала, плотно закрывающий источник шума.

Основание – кирпич, бетон, керамическая плитка, керамогранит и т.п.

Микрофоны М1, М2 – это шумомеры (подойдет даже смартфон с приложением "шумомер").

Подвес – любая стойка, позволяющая подвешивать микрофон.

Основание имитирует бетонный пол производственного помещения.

Подвешенный М1 исключает влияние твердой среды (основания) на распространение шума. М1 имитирует слух работника, находящегося над полом производственного помещения (например, кран, погрузочная или смотровая площадка).

М2 лежит на основании, воспринимая звук, распространяющийся по газообразной и твердой средам. М2 имитирует слух работника, находящегося в любом месте производственного помещения на том же этаже.

Смысл будущего эксперимента заключается в исследовании влияния модификации пенокомпозита на снижение уровня шума [2-4].

### Выводы

Разработана обобщенная структурная схема установки для исследования свойств шумоизоляции пенокомпозита с подбором аппаратной части.

Разработанный макет установки будет реализован и использован для проведения экспериментальных исследований свойств шумоизоляции вспененных композиционных материалов разных модификаций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование литейных цехов: метод. указания для студентов профиля «Машины и технология литейного производства» всех форм обучения / НГТУ; сост.: Н.Ф. Чувагин, М.А. Гейко. Н. Новгород, 2014. – 49 с. – Текст непосредственный.
2. Щевьев, Ю.П. Основы физической акустики: учебное пособие для вузов / Ю. П. Щевьев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 364 с. – Текст непосредственный.
3. Дымкин, Г.Я. Методы акустического контроля: учебное пособие / Г.Я. Дымкин, С.Р. Цомук. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2022. – 69 с. – Текст непосредственный.
4. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 10. – С. 54-67. – Текст: электронный. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13138> (дата обращения: 10.11.2024).

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

**Карпов Артем Сергеевич** – студент каф. ИТ, тел.: (385-2)29-09-13.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ САПР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАЗРАБОТЧИКОВ В СРАВНЕНИИ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

**А. А. Чепуштанов, А. А. Ясенков**

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

*Приведены исследование и анализ существующих систем автоматизированного проектирования от российских разработчиков и их аналогов от зарубежных разработчиков.*

*Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, импортозамещение, CAD, CAM, CAE, PLM.*

### **Введение**

Комплекс инструментов системы автоматизации проектирования (САПР) на текущий момент внедрён во все направления инженерных профессий, поэтому без применения таких систем не обходится ни одно из инженерных предприятий. Тем не менее, на подавляющем большинстве таких предприятий используются зарубежные системы САПР.

Целью данной работы является анализ применения САПР, разработки технических объектов приборостроения различных зарубежных САПР-систем, поиск аналогов этих систем от российских разработчиков согласно определённым признакам, а также разработка рекомендаций по выбору САПР для руководителей предприятий, которые позволят им функционировать в условиях импортозамещения.

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

- провести аналитический обзор существующих и используемых на предприятиях программ от зарубежных разработчиков;
- провести аналогичный обзор программ-аналогов от российских разработчиков;
- продемонстрировать аналогичность выбранных САПР на практическом примере;
- разработать алгоритм выбора российских аналогов САПР.

Для осуществления подбора отечественных аналогов зарубежных систем САПР, необходимо задать критерии, по которым этот подбор будет осуществляться.

1. Совместимость с другими программами. САПР – это целый комплекс программ, нацеленных на выполнение различных задач,

которые, тем не менее, используются на одних и тех же предприятиях и производствах, поэтому очень важным фактором выбора будет согласованность систем между собой. Эта согласованность достигается за счёт объединения их всех в единую систему, покрывающую собой весь жизненный цикл продукции.

2. Поддержка отечественных стандартов. Программы должны быть ориентированы, в первую очередь, на соответствие ГОСТ и другим российским стандартам, а не ограничиваться лишь международными.

3. Стоимость лицензии. Когда речь заходит о бесплатных версиях программ, становится очевидным тот факт, что они существуют скорее для ознакомления, нежели для полноценного внедрения на предприятии в силу упрощённости функционала в таких версиях. По этой причине необходимо учитывать стоимость полноценной версии.

4. Развитие. Стандарты на рынке постоянно меняются, поэтому программа должна активно поддерживаться разработчиками, должны происходить постоянные внедрения нововведений, улучшения производительности, удобства для пользователей.

Для большей наглядности рассмотрим примеры решений компании АСКОН по управлению жизненным циклом изделий в сравнении с продуктами компании РТС.

### **Совместимость с другими САПР**

Отечественный программный комплекс включает в себя как продукты АСКОН, так и продукты их компаний-партнеров. Направлен он на решение различных задач, таких как управление инженерными данными, 3D-проектирование, инженерный анализ, разработка техпроцессов, управление производст-



## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ САПР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАЗРАБОТЧИКОВ В СРАВНЕНИИ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

вом, управление нормативно-справочной информацией и управление качеством изделий.

Во главе стоит ЛОЦМАН: PLM от компании АСКОН, который отвечает за управление инженерными данными и жизненным циклом изделия. Для конструкторского проектирования и оформления документации применяется САД-система КОМПАС-3D – система 3D моделирования, которая уже успела стать стандартизированной для большого количества промышленных предприятий. Для проектирования электронных устройств и печатных плат, а также создания принципиальных схем применяется ЕСАД-система Delta Design, разработанная компанией EREMEX. Для работы со станками ЧПУ используется система разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ АДЕМ САМ, разработанная группой компаний АДЕМ [1].

Преимущество данного решения заключается в сотрудничестве компаний-разработчиков всего программного комплекса на протяжении долгого времени. Это, в свою очередь, привело к высокому уровню технологической совместимости всех систем, которые входят в данный комплекс.

В противовес ему идёт решение компании РТС, которое также пользуется высокой популярностью во всём мире. Данное решение также состоит как из продуктов компании РТС, так и продуктов сторонних компаний-партнеров.

Основу решения составляет РТС Windchill – PLM-система, отвечающая за управление всей информацией об изделии и жизненным циклом. Для конструкторского проектирования, работы со станками ЧПУ и проектирования электронных устройств и печатных плат отвечает одна программа – РТС Creo. Собственной ЕСАД-системы у компании нет, поэтому используется система Xpedition сторонней компании-разработчика, которая, тем не менее, имеет интеграцию с программами от РТС [2].

В качестве кратких итогов можно отметить, что сгруппированность функций в малом количестве программ является преимуществом зарубежного комплекса. Тем не менее, сгруппированность большого функционала в малом количестве программ мешает в разграничении производственного процесса, что приводит к снижению эффективности работы. Также большое количество функционала приводит к повышению системных требований программ, что повышает затраты на оборудование. К отечественному программ-

ному комплексу, с другой стороны, эти недостатки не относятся.

### **Соответствие стандартам**

Отечественные программы изначально имеют полное соответствие стандартам серий ЕСКД (единая система конструкторской документации), ЕСТД (единая система технологической документации), СПДС (система проектной документации для строительства), ГОСТ.

В случае с зарубежными системами, оформление документации по отечественным стандартам изначально невозможно. Для ЕСАД-системы внедрение такой возможности не проводилось, а в случае с продуктами компании РТС такое возможно лишь с применением дополнительного ПО от компании Ирисофт.

Подводя итоги, необходимо отметить несоответствие зарубежных решений отечественным стандартам, что усложняет процесс работы с ними. В текущих условиях полное соответствие стандартам ГОСТ и ЕСКД даёт ощутимый плюс в пользу решения от АСКОН и её партнеров. Однако в долгосрочной перспективе, при выходе из тех обстоятельств, в которых разработчики вынуждены существовать на данный момент, потребуется определенное время для добавления возможности соответствия стандартам ISO.

### **Стоимость лицензий**

Отечественные разработчики предоставляют постоянные лицензии на свои продукты, что позволяет производителям не думать об их постоянном продлении. Однако по этой причине, лицензии на данные ПО имеют относительно высокую стоимость.

Зарубежные разработчики предоставляют более низкие цены на свою лицензию, однако её можно приобрести лишь на год. Это может привести к высоким затратам, поскольку лицензию будет необходимо постоянно продлевать. Помимо этого, цена сильно зависит от курса валют, который постоянно меняется.

### **Перспективы в развитии**

Сейчас основная задача отечественных компаний, разрабатывающих САПР, заключается в замене зарубежного программного обеспечения на отечественное.

Для решения этой, а также многих других задач был создан консорциум «Развитие» – объединение российских разработчиков программного обеспечения, которое используется, в том числе, на приборостроительных производствах [3]. Консорциум был создан в 2015 году, и с самого начала ставил в при-

оритет решение задач максимального снижения зависимости от импорта. В консорциуме объединены разработчики, технологические решения которых объединены единым геометрическим ядром C3D, которое было разработано компанией C3D Labs, дочерней компанией АСКОН. Именно за счёт общего геометрического ядра, программы компаний, состоящих в данном объединении, без проблем работают друг с другом [4]. Чтобы достигнуть импортозамещения, консорциум решает множество задач, и одной из самых важных является перевод IT-инфраструктуры на операционную систему, отличную от Microsoft Windows. Такой перевод необходим по причине ухода компании Microsoft с российского рынка цифровой продукции. По этой причине, чтобы избежать возможные риски, происходит переход компаний с Windows на операционную систему Linux, которая распространяется в соответствии с моделью разработки свободного и открытого программного обеспечения с общедоступным исходным кодом. По этой же причине компания АСКОН производит адаптацию своих продуктов и продуктов своих партнеров для данной операционной системы. В текущих реалиях всё чаще поднимается вопрос о внедрении искусственного интеллекта в САПР. Одним из вариантов применения нейронных сетей – бот по справке КОМПАС-3D, который бы упростил работу пользователя с программой. Ещё одним направлением является генеративное 3D моделирование. Идея внедрения подобного инструмента в программу появилась вследствие появления нейросетей, которые способны генерировать объём-

ные полигональные модели и трёхмерные облака точек от компаний NVIDIA и OpenAI. Подобной технологией занимается компания Autodesk, представив в своём продукте Autodesk Fusion 360° автоматическое моделирование, благодаря которому пользователь может выбирать поверхности для соединения и задавать тела для исключения, вследствие чего создаётся модель, соединяющая выбранные поверхности.

Продукция компании РТС постоянно совершенствуется. Разработчики РТС Sgeo сосредоточены на улучшении стабильности и удобства программ для пользователей. Однако в новых версиях есть значительные изменения: разработчики стремятся добавить к комплексу CAD/CAM/CAE собственную систему ECAD. Также обсуждаются возможности внедрения нейронных сетей в продукты, но пока это находится на стадии концепции.

Все компании сосредоточены на внедрении нейронных сетей и искусственного интеллекта в свои технологии. В связи с актуальностью использования ИИ в настоящее время, разработчики САПР рассматривают различные способы применения этих технологий, такие как упрощение работы с интерфейсом, определение возможностей решения задач с помощью функционала программы, генеративный дизайн и упрощение создания трёхмерных моделей. Хотя некоторые из этих функций уже доступны и постепенно интегрируются в системы, массовое применение всё ещё ограничено. Тем не менее, это основное направление развития для разработчиков САПР.

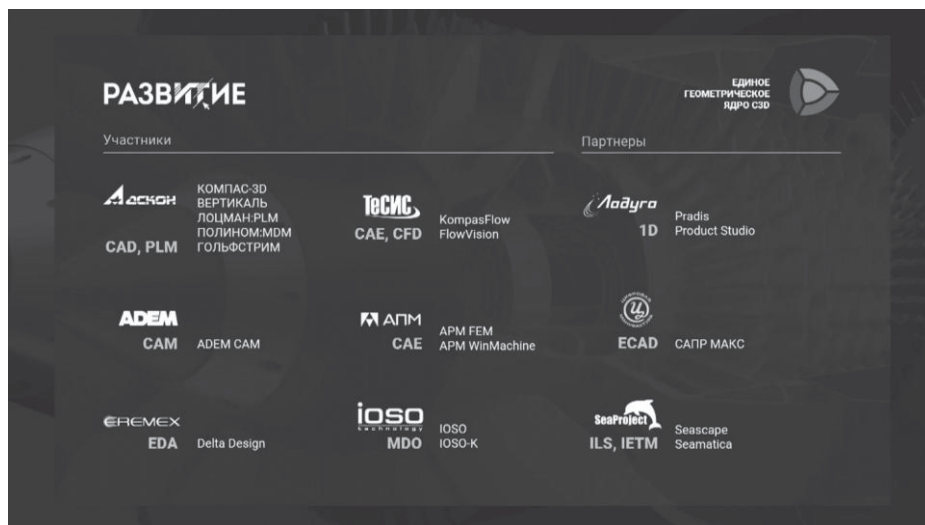


Рисунок 1 – Состав консорциума «Развитие» на 2022 год

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ САПР  
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАЗРАБОТЧИКОВ В СРАВНЕНИИ  
С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Компания - разработчик ADEM: официальный сайт. – URL: <https://adem.ru> (дата обращения: 16.12.2024). – Текст: электронный.

2. Компания – разработчик PTC: официальный сайт. – URL: <https://www.ptc.com/> (дата обращения: 16.12.2024). – Текст: электронный.

3. Консорциум компаний-разработчиков «Развитие»: официальный сайт. – URL: <https://plmrussia.ru> (дата обращения: 16.12.2024). – Текст: электронный.

4. Компания-разработчик Siemens Digital Industries Software: официальный сайт. – URL:

<https://eda.sw.siemens.com/> (дата обращения: 16.12.2024). – Текст: электронный.

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

**Ясенков Алексей Андреевич** – студент каф. ИТ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(9612)426109, e-mail: [ayasenkov@yandex.ru](mailto:ayasenkov@yandex.ru).

## РОЛЬ БАЗ ДАННЫХ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЛУЖБЫ ЭВАКУАТОРОВ

**А. В. Малышев, А. Г. Зрюмова**

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

*Рассматривается влияние баз данных на оптимизацию процессов работы службы эвакуаторов. Проведён анализ текущей системы, выявлены основные недостатки и проблемы, влияющие на качество обслуживания. Обсуждаются требования к новой информационной системе, а также описывается архитектура и структура решения, включая выбор технологий и инструментов, которые будут способствовать повышению эффективности работы службы.*

**Ключевые слова:** служба эвакуаторов, база данных, эффективность, система контроля, ИТ-сервисы.

В современных условиях, когда скорость и качество обслуживания становятся критически важными для бизнеса, службы эвакуаторов сталкиваются с необходимостью оптимизации своих процессов. В данной статье рассматривается влияние баз данных на эффективность работы службы эвакуаторов, анализируется текущая система, выявляются основные недостатки и проблемы, а также обсуждаются требования к новой информационной системе.

### **Анализ текущей системы**

Существующая система контроля и координации работы службы эвакуаторов в Барнауле имеет ряд недостатков. Во-первых, информация о заказах, пользователях и водителях хранится в разных источниках, что усложняет доступ к данным и их обработку. Во-вторых, отсутствие автоматизации процессов приводит к увеличению времени обработки заказов и снижению качества обслуживания клиентов. В-третьих, текущая система не позволяет эффективно отслеживать местоположение эвакуаторов, что затрудняет оперативное реагирование на запросы.

### **Требования к новой информационной системе**

При разработке новой информационной системы необходимо учитывать следующие требования:

– централизованное хранение данных: Все данные должны храниться в одной базе

данных для обеспечения быстрого доступа и обработки информации;

– автоматизация процессов: Система должна автоматизировать обработку заказов, управление тарифами и отслеживание местоположения эвакуаторов;

– интерфейс для пользователей: Необходим удобный интерфейс для взаимодействия клиентов с системой, включая возможность заказа услуг через мобильные приложения и чат-боты;

– отчетность и аналитика: Система должна обеспечивать возможность генерации отчетов для анализа эффективности работы службы.

### **Выбор базы данных**

Для новой информационной системы была выбрана реляционная база данных (РСУБД) MySQL. Это решение обусловлено несколькими факторами:

– надежность и стабильность: MySQL является одной из наиболее распространенных и поддерживаемых СУБД, что гарантирует её надежность;

– гибкость и масштабируемость: Реляционные базы данных позволяют легко изменять структуру данных и добавлять новые функциональные возможности по мере роста бизнеса;

– поддержка сложных запросов: MySQL поддерживает сложные SQL-запросы, что позволяет эффективно обрабатывать большие объемы данных.

## РОЛЬ БАЗ ДАННЫХ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЛУЖБЫ ЭВАКУАТОРОВ



Рисунок 1 – Схема БД

### Архитектура и структура базы данных

Архитектура базы данных включает несколько ключевых таблиц:

- пользователи: Хранит информацию о клиентах, включая уникальные идентификаторы, контактные данные и историю заказов;
- заказы: Содержит данные о заказах, включая уникальные идентификаторы, статус, время создания и завершения, а также ссылки на пользователей и водителей;
- водители: Хранит информацию о водителях, включая их контактные данные, статус занятости и геолокацию;
- тарифы: Содержит информацию о тарифах на услуги, включая базовые цены и дополнительные коэффициенты;
- погода: Таблица, которая хранит данные о погодных условиях, включая температуру, осадки, ветер и прочие параметры. Эти данные могут быть собраны из внешних API и обновляться в реальном времени, что позволит службе учитывать погодные условия при планировании маршрутов и времени выполнения заказов;
- трафик: Таблица для хранения информации о текущей дорожной ситуации, включая данные о пробках, авариях и ремонтах дорог. Эта информация также может поступать из внешних источников и поможет оптимизировать маршруты эвакуаторов, снижая время ожидания клиентов;

– обращения: Таблица для хранения обращений клиентов, включая информацию о запросах на услуги, жалобах и предложениях. Это позволит службе более эффективно реагировать на потребности клиентов и улучшать качество обслуживания;

– журнал действий: хранит информации о внесении любых изменений в БД при работе пользователей с любой ролью через все доступные интерфейсы.

При завершении или отмене заказа информация о нём переносится с дополнительную таблицу, используется триггер на уровне БД, для дальнейшего использования в аналитике.

Связи между таблицами реализованы через внешние ключи, что обеспечивает целостность данных и упрощает выполнение сложных запросов. Например, связь между таблицами "Заказы" и "Пользователи" позволяет быстро получать информацию о клиенте, сделавшем заказ, что важно для анализа удовлетворенности клиентов и улучшения сервиса. Схема БД представлена на рисунке 1.

### Заключение

Внедрение реляционной базы данных в работу службы эвакуаторов позволит значительно повысить эффективность процессов, улучшить качество обслуживания клиентов и обеспечить более оперативное реагирование на запросы. Центральное хранение данных,

автоматизация процессов и возможность аналитики – все это станет основой для успешной работы службы в условиях растущей конкуренции. Система, построенная на современных технологиях, будет способствовать не только оптимизации текущих процессов, но и созданию новых возможностей для развития бизнеса в будущем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сосновиков, Г.К. Основы реляционных баз данных : учебное пособие / Г.К. Сосновиков, В.Н. Шакин. – Москва: Московский технический университет связи и информатики, 2013. – 106 с.

2. Татарникова, Т.М. Системы управления базами данных: учебное пособие / Т. М.Татарникова. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2004. – 88 с.

3. Медведкова, И.Е. Базы данных : учебное пособие / И.Е. Медведкова, Ю.В. Бугаев, С.В. Чикунов. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. – 104 с.

**Малышев Алексей Вадимович** – студент кафедры ИТ, e-mail: [visa120601@mail.ru](mailto:visa120601@mail.ru);

**Зрюмова Анастасия Геннадьевна** – к.т.н., доцент кафедры ИТ, email: [a.zrumova@mail.ru](mailto:a.zrumova@mail.ru).

## ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО ПРОДУКТА НА ПРИМЕРЕ АВТОРСКОГО ТУРА

**М. Ю. Сарычев, О. Г. Кузьмина**

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

*В настоящее время развитие туризма в значительной степени зависит от внедрения и применения новых технологий, направленных на улучшение обслуживания туристов и увеличение сервисных возможностей для туристических услуг. Для достижения эффективности и прибыльности в туристической сфере необходимо привлечь все заинтересованные стороны, включая бизнес, науку и управление, студентов и преподавателей, к инновационным технологиям и инструментам для создания инновационных туристских продуктов на внутренних рынках. Без знания современных технологий невозможно создать инновационный туристический продукт на уникальных туристических объектах России. Приверженность прогрессу проявляется в внедрении новых или усовершенствованных технологий и оборудования в процесс предоставления услуги, что является инновацией. В статье представлен опыт создания туристического продукта, основанного на инновационной методологии юнит экономики, маркетинговом инструменте "воронке продаж", информационно-маркетинговой технологии Cust Dev и т.д. Направлено внимание на развитие способностей и стремления к развитию бизнеса, а также на создание инновационного внутреннего туризма.*

**Ключевые слова:** авторские туры, юнит-экономика, воронка продаж, внутренний туризм, инновационный туристский продукт, современные технологии, туристический кластер, девелопмент в туризме, новаторский подход в туризме, индустрия туризма.

До 2035 г. стратегия развития туризма России предусматривает развитие внутреннего, въездного и внутреннего туризма, а также создание и продвижение конкурентоспособных туристских продуктов на внутренних и международных туристических рынках страны.

Важную роль в развитии и повышении эффективности внутреннего туризма играет сформировавшаяся на сегодняшний день, глубоко укорененная в сознании российских граждан и стремительно развивающаяся с каждым годом сеть авторских туров.

Благодаря интернет-технологиям и возможности напрямую находить клиентов, авторы туров стали популярными и бизнесами, и стилями жизни, которыми приятно делиться в социальных сетях. В то же время, несмотря на множество преимуществ этого вида туристической деятельности, он обладает и существенным недостатком. Согласно российскому законодательству, авторские туры не имеют четкого определения, и многие их организаторы вынуждены работать в "серых зонах", рискуя попасть под санкции и уголовное преследование.

Несомненно, что эта деятельность должна быть официально оформлена. В то же время, изменения законодательства, направленные на цивилизованный вывод из тени авторского тура, должны быть направлены прежде всего на их распространение и ускоренное развитие.

В основу базового инструментария для принятия ключевых решений в бизнесе, как нам кажется, должны быть положены методологии юнит экономики (англ. "unit"), основанной на оценке рентабельности одного юнита (англ. "unit"). В качестве юнита может выступать единица продукции или один покупатель. Для примера рассмотрим, как можно реализовать авторские туры в туристическом бизнесе.

На первой стадии определяется стоимость юнита для клиента, в данном случае это клиент. Следует учитывать, что цена рассчитывается на двух типах клиентов: приглашённых клиентов и покупателей.

Согласно рекламе, размещенной в одной социальной сети, на авторском туре зарегистрировалось 20 человек, и 10 из них заплатили за участие. При этом общая сумма

затрат на привлечение клиентов составила 100 000 руб. в месяц. Для одного пользователя стоимость привлечения составит 100 тысяч рублей, для одного покупателя - 10 тысяч рублей, в то время как для одного покупателя это будет стоить всего лишь 10 тысяч рублей за привлечение. Совокупность конверсий показывает, что эффективность продаж составляет  $20/10/100 = 50$  процентов.

На третьем этапе рассчитывается доход с одного пользователя и покупателя, а также производится расчёт дохода для каждого юнита.

Например, 10 клиентов приняли участие в 30-ти авторских турах и каждый из них получил право участвовать во всех трёх авторских путешествиях по цене 20 000 руб., 50 тыс. руб. и 100 тыс. рублей соответственно. Таким образом, каждый тур был продан десятикратно. Сумма авторского гонорара и непредвиденных расходов, связанных с подготовкой и проведением путешествия, составляет примерно 50 тысяч рублей в один тур.

На одного клиента будет приходиться 30 покупок, а средний чек составит: 20 000 рублей (50 000 рублей) \* 10 и 100 тысяч рублей (100 000 рублей). Это составляет 57 700 руб. Средний доход для одного клиента определяется как разница между средней стоимостью покупки и средними затратами на одну покупку, умноженная на среднестатистическую выручку за единицу товара: 57 700 рублей - 50 000 руб.

Средний доход одного пользователя равен 23 100 рублям, а средний доход на клиента - 11 500 рублям.

Для оценки рентабельности бизнеса используется маржинальный доход, который рассчитывается как разница между среднестатистическим доходом клиента на одного пользователя и средней стоимостью привлечения 5 000 пользователей, умноженной на количество привлеченных пользователей. Суммарный доход компании составляет 131 тысяча рублей в год.

Для увеличения эффективности работы организаторов авторского тура рекомендуется использование маркетингового инструмента "воронки продаж".

Модель воронок продаж базируется на концепции "Аттенсивность, открытость, дезориентированность и активность", разработанной в США. Согласно учению американского рекламного агентства Эласа Сент-Эльфо Льюиса (Elias Sent-Elmo Lewis), все клиенты перед покупкой проходят четыре

этапа: внимание, интерес, потребность и действие. Это четыре стадии, которые формируют классическую воронку продаж в бизнесе. В верхней части находится самая широкая часть. На этом этапе клиент обращается к вам. Когда мы приближаемся к цели, то количество людей, не заинтересованных в продуктах, становится всё больше и больше.

Например, во время проведения авторских туров через аккаунт "Инстаграмм" (деятельность организации запрещена на территории РФ) 4 рекламные объявления увидели 100 пользователей. В директе 20 человек спросили о наличии свободных мест. Пять человек зарегистрировались для авторского тура. Два человека заплатили за тур в Турцию.

По данным воронки продаж, 80 процентов покупателей отказались от покупки туров, а 75 % - от бронирования тура после его приобретения. В нашем случае конверсия составила 10 процентов.

Может быть, высокие цены обусловлены личными условиями покупателей или выгодными предложениями от конкурентов.

В воронке продаж клиент проходит путь от предложения к покупке. Изучая воронку, можно определить эффективность каждого канала и понять, когда вы упустили потенциальных клиентов из виду. Она также помогает увеличить количество продаж.

Для начинающих и действующих предпринимателей в сфере авторских туров, а также для тех, кто только начинает свой бизнес, значительное содействие может оказать технология Cust Developerment ("Cust Dev"), которая называется "Супермаркет". Согласно переводу с английского, это означает развитие отношений с клиентом. Концепцию Cust Dev разработал известный предприниматель Стив Бланк. Основной мотив, определяющий философию Custdev, заключается в том, что мы делаем то, чего хотим от людей прямо сейчас и за что готовы платить. Для того, чтобы сэкономить время, проводятся короткие интервью с корреспондентами. Благодаря получению инструкций от клиентов, компания может сформировать комплекс мероприятий, разделенных на циклы, каждый из которых принесет компании минимальную прибыль.

Процесс создания продукта Custody можно условно поделить на три стадии. На первой стадии (Discovering) необходимо определить, кого компания может принять в качестве клиента. Для этого проводится поиск информации о потенциальных потребителях, а также производится анализ рынка.



## ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО ПРОДУКТА НА ПРИМЕРЕ АВТОРСКОГО ТУРА

Создание персонажа начинается с определения его целей, интересов и потребностей. Важно провести анализ целевых аудиторий и составить на их основе собирательный портрет потенциального покупателя.

На следующем шаге происходит поиск потенциальных клиентов и сбор информации о них, которая необходима для разработки или усовершенствования продукта в будущем. Третий этап включает в себя создание тестовой версии сервиса, получившей название MVP - минимально жизнеспособного продукта, который уже способен составить конкуренцию конкурентам.

В результате проведения комплекса мероприятий, направленных на развитие бизнеса, формируется список рабочих задач для команды, который включает в себя четкие действия, которые должны быть выполнены командой.

В заключение необходимо подчеркнуть, что для создания конкурентоспособной туристической продукции в современном мире требуется использование широкого спектра инновационного оборудования. В качестве альтернативы предлагаются методы Юнит-экономического анализа, маркетинговых технологий "воронки продаж", Cast Dev и т.д.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития туризма до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/37906/> (дата обращения: 10.11.2022).
2. Большаков Н. Модель AIDA в маркетинге: что это, принципы работы, техника продаж и практические советы по применению AIDA [Электронный ресурс]. URL: <https://www.calltouch.ru/blog/model-aida-v-marketinge-cto-eto-principy-raboty-tehnika-prodazhi-prakticheskie-sovety-po-primeneniyu-aida/> (дата обращения 19.01.2022).

3. Делия В. П. Инновационное мышление в XXI веке: монография / В. П. Делия. Балашиха, 2011. С. 19

4. Делия В. П., Каткова А. М. Авторские туры как перспективное направление в развитии внутреннего туризма / В. П. Делия, А. М. Каткова // Научный вестник МГУСИТ: спорт, туризм, гостеприимство. № 2 2022 С. 59-66.

5. Статьи: юнит-экономика-маркетинг для практиков [Электронный ресурс]. URL: <https://marketing-course.ru/tag/yunit-yekonomika/> (дата обращения: 10.11.2022).

6 Румянцева М., Маслов Е. Юнит-экономика: полный разбор. Ключевые метрики и шаблон-калькулятор [Электронный ресурс]. URL: <https://skillbox.ru/media/management/razbor-metodiki-yunitekonomika/> (дата обращения: 10.11.2022).

7. Четыре шага к озарению. Стратегии создания успешных стартапов. The Four Steps to the Epiphany. М.: Альпина Паблишер, 2014 368 с.

8. В АТОР подвели итоги развития туризма в России в 2021 году [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atorus.ru/news/press-centre/new/58171.html> (дата обращения: 10.11.2022).

9. Наборы данных «Статистическая информация в сфере туризма» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.opendata.tourism.gov.ru> (дата обращения: 5.09.2022).

10. Воронка продаж: этапы построения, примеры, анализ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.uplab.ru/blog/how-to-build-a-sales-funnel/> (дата обращения: 21.07.2018).

**Сарычев Максим Юрьевич** – студент группа 8М (о-э)-31 ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул), e-mail: [sarycevmaksim110@gmail.com](mailto:sarycevmaksim110@gmail.com);

**Кузьмина Ольга Григорьевна** – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул).

## ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ НЕДЕЛИ МАТЕМАТИКИ И ТОЧНЫХ НАУК В МАЛАЙЗИИ

Н. Н. Лопаткин, О. Н. Макарова, Е. А. Еремеев, Г. С. Шилинг

Алтайский государственный педагогический университет, Бийский филиал им. В.М. Шукшина,  
г. Бийск

*Популяризация русского языка, русской культуры, российских научных и инженерных достижений сейчас как никогда необходима в странах, перспективных в плане сотрудничества с Россией в экономическом, культурном и образовательном пространстве и выполнения совместных научно-технических проектов. Вот почему проведение Недели математики и точных наук в Малайзии получило поддержку Минпросвещения России в рамках проекта по формированию единого образовательного пространства для изучения математики и точных наук на русском языке в Малайзии. В статье описаны мероприятия, проведенные в рамках Недели в г. Куала-Лумпуре, приведены примеры олимпиадных заданий и слайдов лекций. Также отмечены некоторые сходства и различия в подходах к преподаванию школьной математики в России и в Малайзии. Представлены результаты опроса малайзийских учителей о потребности школьников в изучении русского языка и заинтересованности в образовании на русском языке. Отмечено, что хотя спрос на школы с изучением русского языка в Малайзии отсутствует, интерес к русскому языку, культуре и образованию существует и может быть повышен благодаря совместным проектам, которые, несомненно, должны быть поддержаны государством.*

**Ключевые слова:** *школьная математика, точные науки, единое образовательное пространство, математическая олимпиада, русский язык, российское образование, интерес к изучению, социальный опрос, международное сотрудничество, Малайзия.*

**Благодарности.** *Исследование выполнено при поддержке Министерства просвещения Российской Федерации в рамках государственного задания АлтГПУ на выполнение НИР (№ государственной регистрации 124041200020-6) «Проектирование единого образовательного пространства для изучения математики и точных наук на русском языке в Малайзии с использованием моделей центров открытого образования». Также авторы признательны старшему научному сотруднику научно-исследовательского отдела Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ, кандидату психологических наук, доценту Сычёву О.А. за составление вопросов и обработку результатов опроса учителей.*

### ВВЕДЕНИЕ

Международное сотрудничество было и является условием устойчивого развития цивилизации, одинаково выгодным как мировому сообществу в целом, так и каждому из государств. В современных условиях России необходимо расширение контактов и развитие отношений с быстро развивающимися странами Юго-Восточной Азии. Ассоциация государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН, АСЕАН) была образована 8 августа 1967 г. и в настоящее время включает 10 стран. Одним из ключевых государств АСЕАН, непосредственно стоящих у истоков создания организации, является Малайзия, экономика которой является третьей по величине в Юго-Восточной Азии и 38-й в мире. Россия присо-

единилась к Договору о дружбе и сотрудничестве в Юго-Восточной Азии 1976 г. (Балийский договор) 29 ноября 2004 года, и в настоящее время диалоговое партнерство Россия – АСЕАН развивается быстрыми темпами. Был подписан ряд документов о сотрудничестве, например, Сочинская декларация по итогам 2-го саммита Россия-АСЕАН 2016 года [1] и Декларация лидеров 3-го саммита Россия-АСЕАН о стратегическом партнерстве 2018 года [2], разработана, принята и реализуется Дорожная карта 2021-2025 торгового и инвестиционного сотрудничества Россия-АСЕАН [3], предусматривающая, в частности, как взаимодействие в сфере науки, технологий, инноваций и интеллектуальной собственности, так и укрепление культурного и молодежного сотрудничества. Все перечис-

ленное выше нереализуемо в полной мере без различных образовательных проектов, направленных на популяризацию русского языка, русской культуры, российских научных и инженерных достижений.

Центры открытого образования, созданные многими вузами России, предлагают зарубежным учащимся и педагогам многочисленные электронные ресурсы и открывают свои площадки в разных странах мира, что способствует развитию образовательных связей и продвижению русского языка за рубежом путем его интеграции с различными предметными областями, например, с математикой. Многие такие Центры работают уже давно и показывают отличные результаты, но для достижения успеха новыми открываемыми Центрами необходимо учитывать местную специфику (т.н. культурную среду) [4], а это требует изучения условий непосредственно на месте при проведении каких-либо образовательных мероприятий.

Министерством просвещения Российской Федерации поддержан проект тематики научных исследований в рамках государственного задания на выполнение прикладной НИР «Проектирование единого образовательного пространства для изучения математики и точных наук на русском языке в Малайзии с использованием моделей центров открытого образования» (№ ПТНИ 1023120700001-9-5.3.1). В рамках международного сотрудничества согласно описанной выше парадигме центров открытого образования, при финансовой поддержке Минпросвещения России и организационной поддержке Федерального агентства по делам Содружества Независимых Государств, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству (Россотрудничества), Бийским филиалом им. В. М. Шукшина АлтГПУ для малайзийских школьников и учителей в июне 2024 г. проведена Неделя математики и точных наук, с основными мероприятиями, реализованными непосредственно в столице Малайзии г. Куала-Лумпуре группой из трех преподавателей кафедры математики, физики, информатики (МФИ). Ниже представлены некоторые аспекты полученного опыта.

#### МЕРОПРИЯТИЯ НЕДЕЛИ МАТЕМАТИКИ И ТОЧНЫХ НАУК В КУАЛА-ЛУМПУРЕ

В подготовительный период был проведен ряд как неофициальных, так и официальных консультаций и совещаний (см. рис. 1-2).



Рисунок 1 – Сотрудники кафедры МФИ (авторы данной работы) на международном научно-методическом онлайн-семинаре с коллегами из Куала-Лумпура 04.06.2024



Рисунок 2 – Сотрудники научно-исследовательского отдела Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ, сотрудники Русского дома культуры и науки в Куала-Лумпуре и учителя школ Куала-Лумпура (внизу в центре) на онлайн-семинаре 04.06.2024

Была организована рассылка информационных сообщений и переписка с заинтересованными представителями малайзийских школ. В результате на данном этапе был разработан и уточнен формат и план мероприятий, проводимых в рамках Недели, озвучены категории и количество их участников, утверждены концепция и логотип (эмблема) олимпиады по математике и точным наукам (рис. 3). Было уделено внимание и разработке различных вариантов дизайна сертификатов и благодарностей, призов победителей олимпиады.



Рисунок 3 – Эмблема олимпиады «Математические истории»

Но основным на подготовительном этапе была разработка и подготовка к использованию методических материалов для изучения математики и точных наук и разноуровневых олимпиадных задач по математике для различных возрастных категорий школьников с формулировкой на трех языках: русском, малайском и английском.

Заявленными целями олимпиады являлись: развитие у обучающихся за рубежом интереса к изучению математики и точных наук на русском языке; привлечение иностранных граждан (взрослых и детей) для обучения русскому языку; распространение научных знаний в области математики и точных наук среди зарубежной молодежи; вовлечение иностранных граждан в проводимые культурно-просветительские, образовательные и научно-методические мероприятия, проводимые в процессе подготовки, организации и проведения олимпиады; развитие олимпиадного движения в университете.

Для достижения этих целей было предложено реализовать межпредметные связи математики с русским языком, историей и культурным наследием России через наполнение каждого из разрабатываемых олимпиадных заданий и каждой структурной единицы методических материалов культурно-

исторической фабулой и элементами социокультурного контекста, что должно было способствовать знакомству малайзийских школьников с российской культурой и достижениями российской науки и тем самым укреплению позиций русского языка [5].

Примеры разработанных материалов для изучения математики и точных наук представлены на рис. 4-5, а примеры олимпиадных заданий и справочных материалов к ним – на рис. 6-9. Как можно видеть, данные материалы наряду с описанием предметных – математических – фактов несут информацию о России, истории обучения математике в России и элементах культурного кода россиян.

Также важным элементом Недели были открытые лекции о математике и истории математического образования в России для школьников и учителей г. Куала-Лумпура. Наиболее интересные слайды подготовленных презентаций показаны на рис. 10-17.

Мотивирующий слайд на рис. 10 знакомит с одним из пионеров космонавтики Ю. В. Кондратьевым, некоторое время работавшим в здании, где в наше время располагаются учебные аудитории и структурные подразделения Бийского филиала им. В. М. Шукшина АлтГПУ.

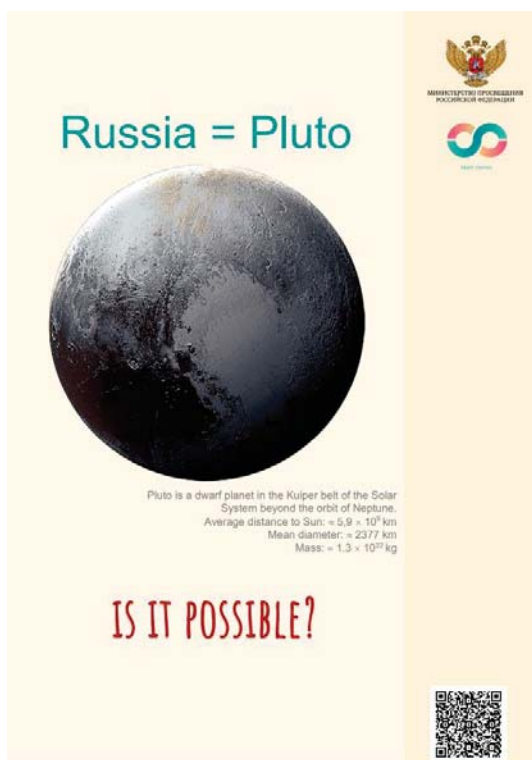


Рисунок 4 – Сопоставление площади Российской Федерации ( $17\,000\,000\text{ км}^2$ ) с площадью планеты Плутона ( $17\,700\,000\text{ км}^2$ )

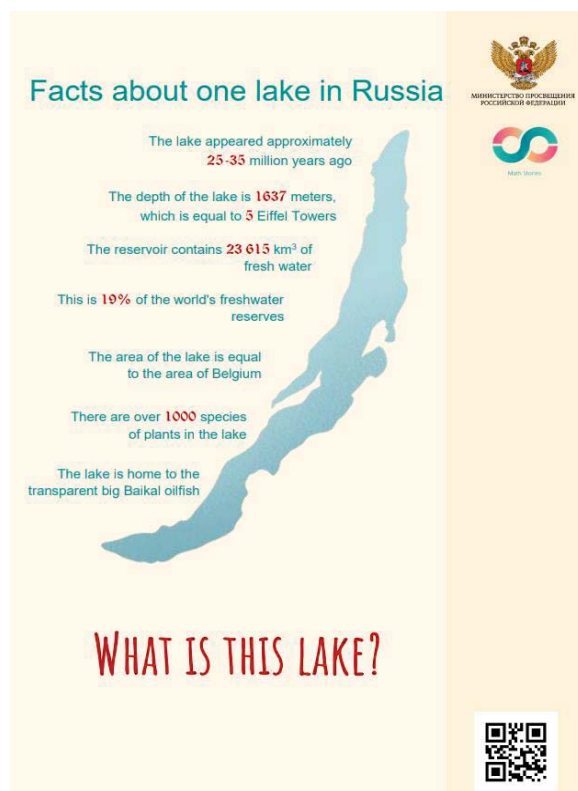



Рисунок 5 – Описание количественных параметров достояния России – озера Байкал

**4. Math problem/ Masalah matematik/Задача:**   
**Уровень задачи:** легкий/средний/тяжелый (выделить нужный)



Take a close look at the famous painting by Russian artist N.P. Bogdanov-Belsky "Oral calculation. At the public school of S. A. Rachinsky." Here is a fragment of a mathematics lesson in a rural school. On the board, the teacher wrote down the expression:  $\frac{10^2+11^2+12^2+13^2+14^2}{365}$ . The village children must solve this expression orally. Suggest the simplest and fastest calculation method.

Lihatlah dengan teliti lukisan terkenal oleh artis Rusia N.P. Bogdanov-Belsky "Pengiraan lisan. Di sekolah awam S. A. Rachinsky." Berikut adalah serpihan pelajaran matematik di sekolah luar bandar. Di papan tulis, guru menulis ungkapan:

$\frac{10^2+11^2+12^2+13^2+14^2}{365}$ . Kanak-kanak kampung mesti menyelesaikan ungkapan ini secara lisan. Cadangkan kaedah pengiraan yang paling mudah dan pantas.

Внимательно посмотрите на известную картину русского художника Н.П. Богданова-Бельского «Устный счёт. В народной школе С. А. Рачинского». Здесь изображен фрагмент урока математики в сельской школе. На доске учитель записал выражение:  $\frac{10^2+11^2+12^2+13^2+14^2}{365}$ . Деревенские ребята должны решить это выражение устно. Предложите наиболее простой и быстрый способ вычисления.

Рисунок 6 – Задача по сюжету картины Н. П. Богданова-Бельского «Устный счёт. В народной школе С. А. Рачинского»

**Reference material / Bahan rujukan /Справочный материал:**

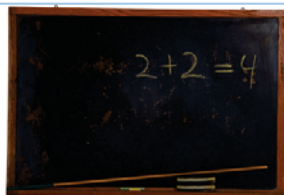
На картине изображена деревенская школа конца XIX века во время урока арифметики. Учитель — реальный человек, Сергей Александрович Рачинский (1833—1902), ботаник и математик, профессор Московского университета. Рачинский в родном селе Tatevo создал школу для крестьянских детей, разработал уникальную методику обучения устному счёту.

На картине представлена черная школьная доска. Первоначально доска была черного цвета, но при ярком солнечном свете написанное было плохо видно, поэтому позже доски изготавливали коричневого или зеленого цвета.

The painting depicts a village school at the end of the 19th century during an arithmetic lesson. The teacher is a real person, Sergei Aleksandrovich Rachinsky (1833-1902), botanist and mathematician, professor at Moscow University. Rachinsky in his native village of Tatevo created a school for peasant children and developed a unique method of teaching mental arithmetic. The picture shows a black school board. Initially, the board was black, but in bright sunlight the writing was difficult to see, so later the boards were made brown or green.

Lukisan itu menggambarkan sebuah sekolah kampung pada akhir abad ke-19 semasa pelajaran aritmetik. Guru itu adalah orang sebenar, Sergei Aleksandrovich Rachinsky (1833-1902), ahli botani dan ahli matematik, profesor di Universiti Moscow. Rachinsky di kampung asalnya Tatevo mencipta sekolah untuk kanak-kanak petani dan membangunkan kaedah unik untuk mengajar aritmetik mental.

Gambar menunjukkan lembaga sekolah hitam. Pada mulanya, papan itu berwarna hitam, tetapi dalam cahaya matahari yang terang tulisannya sukar dilihat, jadi kemudiannya papan itu dibuat coklat atau hijau.



**ШКОЛЬНАЯ ДОСКА**

[Shkol'naya doska]

Рисунок 7 – Справочный материал к задаче по сюжету картины

# ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ НЕДЕЛИ МАТЕМАТИКИ И ТОЧНЫХ НАУК В МАЛАЙЗИИ

## 5. Math problem/ Masalah matematik/Задача: 🍌🍌

Уровень задачи: легкий/средний/тяжелый (выделить нужный)

In the cartoon "Well, Just Wait," the Wolf chases the Hare at a speed of 17 m/sec, the Hare runs at a speed of 14 m/sec. Before the chase, the distance between them is 150 m, and the nearest bushes where the Hare can hide are located at a distance of 520 m from it. Will the Wolf catch up with the Hare?

Dalam kartun "Baiklah, Anda Tunggu", Serigala mengejar Arnab pada kelajuan 17 m/s, Arnab berlari pada kelajuan 14 m/s. Sebelum mengejar, jarak antara mereka adalah 150 m, dan semak terdekat di mana Arnab boleh bersembunyi terletak pada jarak 520 m darinya. Adakah Serigala akan mengejar Arnab?

В мультфильме «Ну, погоди!» Волк гонится за Зайцем со скоростью 17 м/сек, Заяц бежит со скоростью 14 м/сек. До погони расстояние между ними составляет 150 м, а ближайшние кусты, где может спрятаться Заяц, расположены от него на расстоянии 520 м. Догонит ли Волк Зайца?

Reference material / Bahan rujukan /Справочный материал:

«Ну, погоди!» – российский мультипликационный сериал о комичной погоне Волка за Зайцем. В каждой серии все попытки хищника поймать добычу оканчиваются неудачей. Вследствие этого Волк произносит или выкрикивает: «Ну, погоди!».

"Well, Just You Wait!" - Russian animated series about the comical pursuit of the Wolf after the Hare. In each episode, all attempts by the predator to catch prey end in failure. As a result, the Wolf says or shouts: "Well, Just You Wait!".

"Baiklah, Anda Tunggu!" - Siri animasi Rusia tentang pengejaran Serigala yang lucu selepas Arnab. Dalam setiap episod, semua percubaan oleh pemangsa untuk menangkap mangsa berakhir dengan kegagalan. Akibatnya, Serigala berkata atau menjerit: "Baiklah, Anda Tunggu!".



ВОЛК  
[Volk]

ЗАЯЦ  
[Za 'yats]

Рисунок 8 – Задача про героев мультипликационного сериала «Ну, погоди!»

Ю. В. Кондратюк в 1916 году предложил оптимальную траекторию полета к Луне (идея опубликована в 1929), которая позже была названа «трассой Кондратюка» («петля Кондратюка», «улитка Кондратюка»). Эти расчеты были использованы НАСА в лунной программе «Аполлон». Это замечательный пример того, как математические расчеты могут

## 8. Math problem/ Masalah matematik/Задача: 🍌🍌

Уровень задачи: легкий/средний/тяжелый (выделить нужный)

A travel company held a promotion: "Buy a ticket to Belokurikha, bring four friends who will also buy a ticket, and get the cost of the trip back." During the promotion, 13 buyers came on their own, the rest were brought by friends. Some of them brought exactly 4 new clients, while the remaining 100 people brought none. How many tourists went to Belokurikha for free?

Sebuah syarikat pelancongan mengadakan promosi: "Beli tiket ke Belokurikha, bawa empat rakan yang juga akan membeli tiket, dan dapatkan kos perjalanan balik." Semasa promosi, 13 pembeli datang sendiri, selebihnya dibawa oleh kawan-kawan. Sebahagian daripada mereka membawa tepat 4 pelanggan baharu, manakala baki 100 orang tidak membawa. Berapa ramai pelancong pergi ke Belokurikha secara percuma?

Туристическая фирма провела акцию: «Купи путёвку в Белокуриху, приведи четырёх друзей, которые также купят путёвку, и получи стоимость путёвки обратно». За время действия акции 13 покупателей пришли сами, остальные привели друзей. Некоторые из них привели ровно по 4 новых клиента, а остальные 100 человек не привели никого. Сколько туристов отправились бесплатно в Белокуриху?

Reference material / Bahan rujukan /Справочный материал:

Курорт Белокуриха расположен в предгорьях Алтая на высоте 240-250 метров над уровнем моря, в живописной долине.

The Belokurikha resort is located in the foothills of Altai at an altitude of 240-250 meters above sea level, in a picturesque valley.

Resort Belokurikha terletak di kaki bukit Altai pada ketinggian 240-250 meter di atas paras laut, di lembah yang indah.



БЕЛОКУРИХА  
[Belokurikha]

Рисунок 9 – Задача, сюжет которой отражает статус Алтайского края и юга Западной Сибири России как туристического региона

оторвать нас от земли и вывести в космос, к Луне и звездам!

Слайды на рис. 11-13 знакомят с особенностями славянской нумерации, инструментом для расчетов и задачами для устного счета, а на рис. 14-16 – с самым ярким представителем основанной указом Петра Великого Академии наук – Леонардом Эйлером.

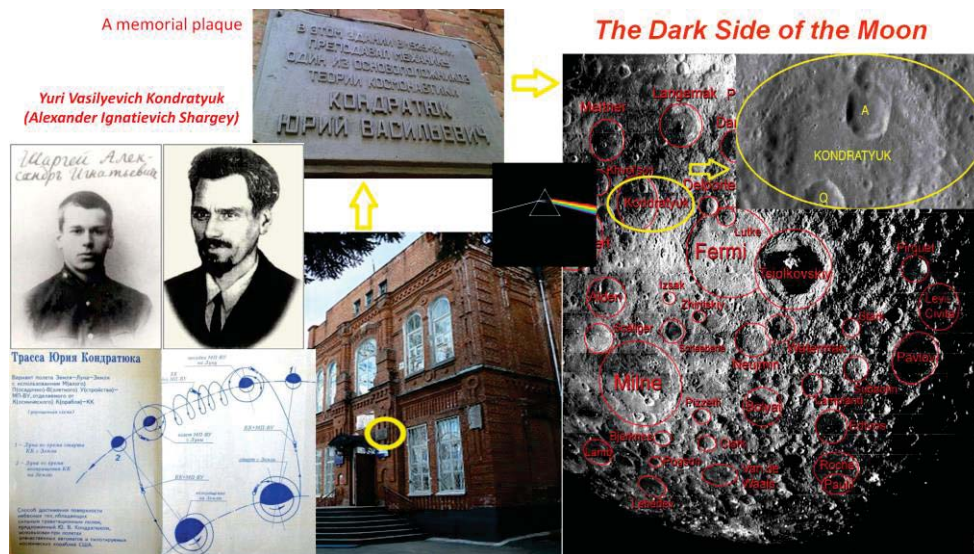


Рисунок 10 – Слайд, отсылающий к истории здания, где долгие годы располагался физико-математический факультет бийского педагогического вуза и где в 1929-1930 годах выдающийся теоретик космонавтики Юрий Васильевич Кондратюк (настоящее имя – Александр Игнатьевич Шаргей) преподавал механику студентам рабочего университета (рабфака)

Mathematics and Mathematical Olympiads in Russia

**Ancient Russian Mathematics**



Methodius and Cyril



1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	200	300	400	500	600	700	800	900

Тысяча	1000	ворон	10 000 000
Тыма	10 000	колода	100 000 000
Легион	100 000		
Леодр	1 000 000		

1793  $\Rightarrow$  **АЩУГ**

НЕ 55    СПШ 288    А 1    УЧИ 498

Не спи, а учи )))  
Don't sleep, but learn

Math Stories 2024

Рисунок 11 – Славянская нумерация, созданная вместе со славянской алфавитной системой греческими монахами, братьями Кириллом (Константином) и Мефодием

Mathematics and Mathematical Olympiads in Russia

**Reforms of Peter the Great**

*Math Knowledge Condition before the reforms*



"Merchant"  
(painting by B.M. Kustodiev, 1918)



Russian "schoty"



Russian abacus and the values of the bones on each wire

10 000 000
1 000 000
100 000
10 000
1 000
100
10
1
1/4
1/10
1/100
1/1000

Math Stories 2024

Рисунок 12 – Русские счёты, использующие десятичную систему счисления

Mathematics and Mathematical Olympiads in Russia

**Reforms of Peter the Great**

*Magnitsky's "Arithmetic"*



Скворцы (из арифметики Магницкого). Летели скворцы и встретились им деревья. Когда сели они по одному на дерево, то одному скворцу не хватило дерева, а когда на каждое дерево сели по два скворца, то одно дерево осталось не занятым. Сколько было скворцов и сколько было деревьев?

Starlings were flying, and they saw trees. When the birds landed on a trees by 1 per tree, 1 starling did not have enough tree, and when 2 starlings sat on each tree, 1 tree remained unoccupied. How many starlings were there and how many trees were there?



В жаркий день 6 косцов выпили бочонок кваса за 8 часов. Нужно узнать, сколько косцов за 3 часа выпьют такой же бочонок кваса.

On a hot day, 6 mowers drank a barrel of kvass in 8 hours. You need to find out how many mowers will drink the same barrel of kvass in 3 hours.

Math Stories 2024

Рисунок 13 – Учебные задания из «Арифметики» Магницкого, предложенные во время лекции для решения малайзийским школьникам

Mathematics and Mathematical Olympiads in Russia

**Reforms of Peter the Great**

*Imperial Academy of Sciences*



The plan of Praskovya Fyodorovna's palace, which the Academy used before demolition in the 1820s



Leonhard Euler (15 April 1707 - 18 September 1783)

11

Рисунок 14 – Леонард Эйлер - швейцарский, прусский и русский математик и механик

Mathematics and Mathematical Olympiads in Russia

**Reforms of Peter the Great**

**Leonhard Euler**

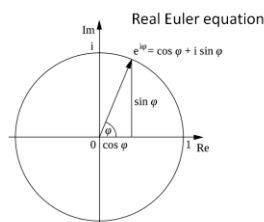


In mathematics, **Euler's identity** (also known as **Euler's equation**) is the equality

$$e^{i\pi} + 1 = 0$$

where

- $e$  is Euler's number, the base of natural logarithms,
- $i$  is the imaginary unit, which by definition satisfies  $i^2 = -1$ , and
- $\pi$  is pi, the ratio of the circumference of a circle to its diameter.



Again Euler equation)))

For an arbitrary planar connected graph  $G$  with  $V$  vertices,  $E$  edges and  $F$  faces, the following relation holds:  
 $V - E + F = 2$

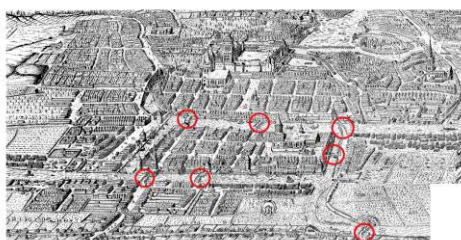
12

Рисунок 15 – Самые известные уравнения Эйлера

Mathematics and Mathematical Olympiads in Russia

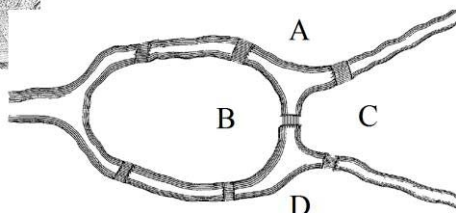
**Reforms of Peter the Great**

**Leonhard Euler**



View of Königsberg with marked bridges

Diagram based on a drawing from L. Euler's article



13


Рисунок 16 – Иллюстрации к задаче о семи кёнигсбергских мостах, рассмотрение которой привело Эйлера к написанию первой в истории работы по теории графов



На рис. 17 представлен слайд, посвященный Пафнутию Львовичу Чебышёву, по праву считающемуся отцом-основателем русской математики и звездой мирового уровня: по данным проекта «Математическая генеалогия» [6] на октябрь 2024 года, у П.Л. Чебышёва имеется более 17 000 математических «потомков»!

Mathematics and Mathematical Olympiads in Russia

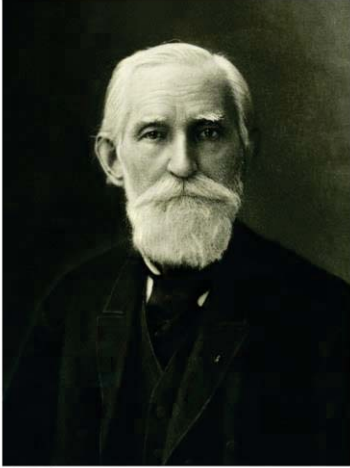
**The Age of Enlightenment in Russia**

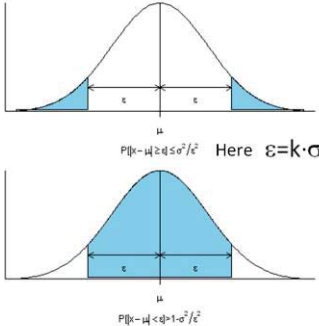


**Pafnuty Lvovich Chebyshev**

(16 May [O.S. 4 May] 1821 – 8 December [O.S. 26 November] 1894)

Chebyshev's inequality (Bienaymé–Chebyshev inequality)





The probability that a random variable deviates from its mean by more than  $k\sigma$  is at most  $1/k^2$ , where  $k$  is any positive constant and  $\sigma$  is the standard deviation (the square root of the variance).

15

Рисунок 17 – Пафнутий Чебышёв и неравенство Чебышёва (неравенство Бьенеме-Чебышёва), определяющее верхнюю границу вероятности отклонения случайной величины с конечной дисперсией от ее среднего значения

Со многими из частично представленных здесь разработанных методических материалов можно ознакомиться непосредственно на сайте поддержки олимпиады [7] (см. рис. 18) или в изданных в электронном виде (на дисках CD-R) методических рекомендациях, которые могут быть полезными для организаторов центров открытого образования [8].

Неделя математики и точных наук в г. Куала-Лумпуре была проведена 17-21 июня 2024 года при непосредственном участии на месте преподавателей кафедры МФИ: кандидата педагогических наук, доцента Макаровой О.Н., старшего преподавателя Еремеева Е.А. и кандидата технических наук, доцента кафедры Лопаткина Н.Н.



Рисунок 18 – Страница сайта олимпиады «Математические истории» [7] с примерами заданий

Если в ходе онлайн-семинара 04.06.2024 в основном обсуждались вопросы единых подходов к преподаванию математики и точных наук, коллеги делились опытом двух стран, то на методическом семинаре с учителями малайзийских школ (Hibiscus International School и SMK Seri Ampang) 17.06.2024 в Русском доме науки и культуры в г. Куала-Лумпуре внимание было уделено не только методике преподавания математики, но и, в большей степени, вопросам организации международного олимпиадного движения по математике, кадрового обеспечения математического образования и деталям проведения Недели и, в частности, международной математической олимпиады «Math Stories». Также малайзийские учителя и представители Русского дома высоко оценили научные публикации, переданные Бийским филиалом им. В.М. Шукшина АлтГПУ, а богато иллюстрированная монография Е.А. Еремеева «Ravinology», посвященная природе города Бийска и его окрестностей, была удостоена особого внимания (см. рис. 19-20).

На данном семинаре и последующих встречах учителям была оказана методическая помощь, касающаяся вопросов классификации заданий по разделам математики и по сложности и подготовки школьников к предстоящей олимпиаде (см. рис. 21).

## ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ НЕДЕЛИ МАТЕМАТИКИ И ТОЧНЫХ НАУК В МАЛАЙЗИИ



Рисунок 19 – Представители Русского дома науки и культуры в г. Куала-Лумпуре знакомятся с монографией и олимпиадными заданиями



Рисунок 20 – Групповое фото участников методического семинара 17.06.2024 в Русском доме науки и культуры в г. Куала-Лумпуре



Рисунок 21 – Доцент О.Н. Макарова и учитель национальной средней школы Сери Ампанг мисс Вонг Вай Ёнг обсуждают заявленные уровни трудности олимпиадных задач

Описанные выше стендовые материалы для изучения математики и точных наук, разработанные Макаровой О.Н. и Еремеевым Е.А. и посвященные российской культуре, географии России, русским школьным педагогам, 19.06.2024 размещены в различных помещениях международной школы “Hibiscus

International School”, см. рис. 22-24. Материалы вызвали живой интерес у школьников. Была предусмотрена проверка ответов к задачам с помощью QR-кодов, предоставленных малайзийским школьникам.



Рисунок 22 – Материалы для изучения математики и точных наук, размещенные в кабинете физики



Рисунок 23 – Плакаты с задачами на стенде сразу привлекли внимание учащегося



Рисунок 24 – Обсуждение – продуктивный подход к поиску решения

Главными мероприятиями при посещении международной школы “Hibiscus International School” преподавателями из Бийска 19.06.2024 явились первый этап международной олимпиады по математике и точным наукам “Math Stories” и открытая лекция о математике и математическом образовании в России для учителей.

Первый этап олимпиады прошел среди обучающихся младшей возрастной группы (от 10 до 13 лет). Участникам были предложены задачи с тремя уровнями сложности. В течение двух часов школьники выполняли олимпиадные задания, см. рис. 25-30.



Рисунок 25 – Раздача материалов заданий



Рисунок 26 – Процесс решения задач



Рисунок 27 – Процесс решения задач



Рисунок 28 – Процесс решения задач



Рисунок 29 – Всеобщая сосредоточенность



Рисунок 30 – Консультация по толкованию условия задачи

## ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ НЕДЕЛИ МАТЕМАТИКИ И ТОЧНЫХ НАУК В МАЛАЙЗИИ

На лекции о российском математическом образовании (см. рис. 31-33) присутствовали, в основном, учителя точных наук (включая информатику).

Открытая лекция о математике в России для учащихся школы “SMK Seri Ampang” была проведена в Русском доме культуры и науки в г. Куала-Лумпуре 20.06.2024, см. рис. 34-35. Эта лекция была более интерактивной, поскольку включала этапы, на которых малайзийские школьники решали задачи.



Рисунок 31 – Слушатели и лектор



Рисунок 32 – Внимание аудитории завоевано



Рисунок 33 – Рассказ о царе-реформаторе Петре I и об учебнике арифметики, написанном по его поручению Л.Ф. Магницким (1703)



Рисунок 34 – Лопаткин Н.Н. рассказывает школьникам о гиперболической геометрии Н.И. Лобачевского



Рисунок 35 – Наилучшее взаимодействие с аудиторией достигнуто при участии учителя русского и английского языков Русского дома Т.С. Винокуровой

Этот день в Русском доме оказался наиболее насыщенным мероприятиями Недели из всех дней пребывания бийских преподавателей в г. Куала-Лумпуре. Макаровой О.Н. и Еремеевым Е.А. был проведен круглый стол по вопросам использования опыта олимпиады для изучения математики на русском языке в Малайзии, в работе которого приняли участие учитель математики школы “SMK Seri Ampang” мисс Wong Wai Yong и учитель русского языка Винокурова Татьяна Сергеевна, см. рис. 36-37. Итогом круглого стола стала разработанная тематика проектов для реализации с малайзийскими школьниками. Совместно с Русским домом в формате телемоста для обучающихся школы “SMK Seri Ampang” проведены открытые лекции, см. рис. 38-40. С лекцией о русском языке и России “Discover the world with Russian” («Откройте мир с русским языком») выступил начальник научно-исследовательского отдела (НИО) Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ Власов Михаил Сергеевич.



Рисунок 36 – Еремеев Е.А. предлагает темы проектов для школьников



Рисунок 37 – Винокурова Т.С. обсуждает с коллегами вопросы подачи учебного материала по математике на русском языке



Рисунок 38 – Еремеев Е.А. – ведущий телемоста (вебинара) на стороне Русского дома



Рисунок 39 – Тематика лекции Сычева О.А. заставляет задуматься о будущей профессии



Рисунок 40 – Лекции для школьников с удовольствием слушают и учителя национальных средних школ

Старший научный сотрудник НИО Сычев Олег Анатольевич рассказал о перспективах специалистов по аналитике данных в лекции “Data Science” («Наука о данных»). Также сотрудниками НИО был показан видеоролик, рассказывающий о природе Алтая.

Но главным мероприятием 20.06.2024 в Русском доме стал второй этап международной олимпиады по математике и точным наукам “Math Stories”, см. рис. 41-46.



Рисунок 41 – Инструктаж перед выполнением олимпиадных заданий



Рисунок 42 – Инструктаж перед выполнением олимпиадных заданий

## ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ НЕДЕЛИ МАТЕМАТИКИ И ТОЧНЫХ НАУК В МАЛАЙЗИИ



Рисунок 43 – Представители младшей возрастной группы



Рисунок 44 – Представители старшей возрастной группы



Рисунок 45 – Объяснение условия задачи



Рисунок 46 – Консультация по толкованию условия задачи

Участниками второго этапа олимпиады стали ученики школы “SMK Seri Ampang” двух возрастных групп: младшей (от 10 до 13 лет) и старшей (от 14 до 16 лет). Задачи, как уже было показано ранее, содержали информацию об истории, географии, природе России, а также перевод русских слов, занимательные факты из области математики.

Общие итоги международной олимпиады по математике и точным наукам «Math Stories» представлены на сайте [7].

Торжественное награждение победителей состоялось 21.06.2024 в Русском доме культуры и науки в г. Куала-Лумпур, см. рис. 47-50.



Рисунок 47 – Поощрение учителей



Рисунок 48 – Победители и призеры олимпиады из двух возрастных групп, учителя и организаторы



Рисунок 49 – Фотографирование у здания Русского дома



Рисунок 50 – Фотографирование у здания Русского дома

В церемонии награждения участвовали педагоги образовательных учреждений: учитель математики мисс Wong Wai Yong (“SMK Seri Ampang”), учитель физики Ramis Zaripov (“Hibiscus International School”), учитель русского языка в Русском доме Винокурова Татьяна Сергеевна, а также другие сотрудники Русского дома.

Также 21.06.2024 ученики и учителя малайзийских школ, преподаватели из Бийска и сотрудники Русского дома приняли участие в мероприятиях Дня памяти и скорби (рис. 51).



Рисунок 51 – Минута молчания у монумента в память о погибших в Великой Отечественной войне у здания Русского дома [9]

Очные мероприятия Недели математики и точных наук в Малайзии, проведенные в Куала-Лумпуре преподавателями АлтГПУ при поддержке Россотрудничества (Русского дома), потребовали высокой концентрации усилий организаторов, которые были вознаграждены высокими уровнями интереса и активности малайзийских учеников и учителей.

## МАТЕМАТИКА В РОССИИ И В МАЛАЙЗИИ

Некоторую информацию об отличии подходов к математическому образованию в Малайзии и в России, применяемых, начиная со школьной программы по математике, мы можем почерпнуть из печатных и электронных источников.

В России математическому образованию уделяется особое внимание, благодаря богатой истории математики в нашей стране и многим всемирно известным российским математикам [10-11]. Еще в XIX веке высокими достижениями в области математики проявили себя М.В. Остроградский, В.Я. Буняковский, Н.И. Лобачевский, П.Л. Чебышёв, А.М. Ляпунов, В.А. Стеклов, Д.А. Граве, С.В. Ковалевская. На рубеже XIX и XX веков эстафету приняли Н.Е. Жуковский, К.М. Петерсон, Д.Ф. Егоров. В советский период развитие отечественной математики и методики математики продолжилось трудами таких учёных как Н.Н. Лузин, П.С. Александров, Н.К. Бари, Л.В. Келдыш, А.Н. Колмогоров, М.А. Лаврентьев, Л.А. Люстерник, Д.Е. Меншов, М.Л. Суслин, А.Я. Хинчин, Л.Г. Шнирельман и многие другие. Наиболее ярким представителем постсоветского периода российской математики является Г.Я. Перельман (рис. 52 [12]), известный своим вкладом в области геометрического анализа, римановой геометрии и геометрической топологии. Журнал “Science” признал доказательство гипотезы Пуанкаре Перельманом научным «прорывом года», что стало первым подобным признанием в области математики (см. цикл подробных научно-популярных статей [13]). Уровень научных разработок как в области математики, так и в различных прикладных областях требует большого количества квалифицированных кадров, качество подготовки которых очевидным образом связано с уровнем преподавания математики как в университетах, так и в школах.



Рисунок 52 – Григорий Яковлевич Перельман в 1993 году

Российское математическое образование в лучших его проявлениях направлено на развитие у учащихся глубины понимания, навыков решения задач и нестандартного мышления. Российская математическая школа направлена на поддержание и повышение качества образования, стимулирование интереса к учебе и на обучение детей свободному и глубокому мышлению.

В Малайзии нет таких долгосрочных традиций в математике и математическом образовании. В различных источниках информации упоминается, что математическое образование является универсальным направлением для умных и амбициозных молодых людей, которые стремятся быть полезными в различных отраслях. Это говорит о том, что в Малайзии математическое образование ценится так же, как и в России, за его универсальность и применимость. Конкретные вопросы именно математического образования в Малайзии в источниках отражены мало. Однако в статье, подробно рассматривающей изучение статистики и теории вероятностей учащимися начальной и средней школы в Малайзии [14], указывается, что по официальным данным Министерства образования Малайзии, в 2014 году на естественно-научных и технических специальностях в 10-х и 11-х классах обучались лишь 29% учащихся. При этом образовательная политика Малайзии направлена на повышение доли учащихся 10–11-х классов со специализацией в соответствующих специальностях до 60%. Очевидно, что предполагается систематическое изучение такими учащимися математики, являющейся, в том числе, основой для освоения других наук.

Сравним доступные результаты исследований математических знаний школьников России и Малайзии. В 2015 году российские 8-классники со средним баллом 538 заняли 6 место по математической подготовке в международном мониторинговом исследовании качества школьного математического и естественнонаучного образования TIMSS (Trends in Mathematics and Science Study), организованном Международной ассоциацией по оценке учебных достижений IEA [15-16]. Малайзийские школьники с результатом 465 баллов (что ниже среднего уровня 500 баллов) оказались лишь на 22 месте. Разница соответствующих результатов в 2019 году оказалась еще большей: у России – 543 балла и 6 место, у Малайзии – 461 балл и 28 место [17].

Интересно также сопоставить данные России и Малайзии международной програм-

мы по оценке образовательных достижений учащихся PISA (Programme for International Student Assessment), где ни та, ни другая страна не входят в группу лидеров. Рассматривая результаты за 2018 год [18] (последнее официальное участие России в исследовании), видим, что по направлению «Математическая грамотность» средний балл россиян (488) существенно выше балла малайзийцев (440). При этом долгосрочная тенденция показала у россиян меньший средний темп роста показателей за трехлетние периоды, чем у малайзийцев: 5 баллов против 13, что говорит о том, что разница средних баллов уменьшается. В России в исследовании участвовало порядка 8 тыс. учащихся из более 200 образовательных организаций 43 регионов, в выборку вошли 15-летние учащиеся школ и образовательных учреждений среднего профессионального образования.

Для оценки высших достижений школьников следует обратиться к результатам Международной Математической Олимпиады (ММО, англ. IMO) – чемпионата мира по математике среди школьников старших классов, проводимого ежегодно с 1959 года [19]. С 1992 года Россия показывает стабильные результаты, за исключением 2017 года, когда в неофициальном зачете заняла лишь 11 место, причем российская команда дважды (в 1999 и 2007 годах) занимала 1 позицию и 9 раз (в 2000-2002, 2006, 2008, 2010, 2018, 2020-2021 годах) 2 позицию. Высшим же достижением малайзийских школьников было 23 место в 2014 году. При этом они демонстрируют достаточно высокие индивидуальные достижения. Например, под руководством М. Syafiq Johar в 2021 году, заняв 41 командное место, члены команды получили 2 серебряные медали и 3 похвальные грамоты, а в 2024 году, заняв 33 место – 2 серебряные и 4 бронзовые медали, см. рис. 53. Следует отметить, что на IMO-2024 российские школьники ожидаемо достигли большего, завоевав 4 золотые и 2 серебряные медали.

Участник [🇲🇾]	31	32	33	34	35	36	Итого	Рейтинг		Награда
								Абс.	Отн.	
Jer Ren Wong	7	7	0	7	7	0	28	59	90,46%	Серебряная медаль
Ivan Chan Guan Yu	7	7	0	7	1	0	22	147	75,99%	Серебряная медаль
Kwong Weng Loh	7	2	1	7	0	1	18	238	61,02%	Бронзовая медаль
Min Heng Tan	7	2	0	7	1	1	18	238	61,02%	Бронзовая медаль
Daryl Lee Ker Ru	7	2	0	7	0	0	16	283	53,62%	Бронзовая медаль
Leila Mayssa Masyerin	7	1	0	7	1	0	16	283	53,62%	Бронзовая медаль
<b>Результаты команды</b>	<b>42</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>42</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>118</b>	<b>33</b>	<b>70,09%</b>	<b>С, С, Б, Б, Б, Б</b>

Руководитель: **М. Syafiq Johar**  
Заместитель руководителя: **Muhammad Zafree Zaharidan**

Рисунок 53 – Индивидуальные результаты команды Малайзии на 65 Международной Математической Олимпиаде 2024 года в г. Бат, Великобритания



На сегодняшний день на ММО представляли страну 78 малайзийцев, некоторые из них после участия в Олимпиаде продолжили изучать математику и стали математиками, другие занимались управлением активами, финансами, вычислительной техникой, инженерией, технологиями, философией, медициной, образованием, журналистикой, недвижимостью и даже музыкой [20].

Флагманом школьного математического образования в Юго-Восточной Азии и в мире по праву считается Сингапур, поэтому соответствующая модель образования перенимается многими странами, включая и Малайзию. В работе [21] 2014 года сравниваются системы обучения математике в России и в Сингапуре. Подчеркивается, что основными целями обучения математике в России являются формирование представлений, овладение математическими знаниями и умениями, развитие навыков (анализа, синтеза, сравнения, аналогии, индукции, дедукции, обобщения, конкретизации, моделирования, классификации) и качеств (математической интуиции, пространственного воображения, сообразительности, наблюдательности, памяти), воспитание (формирование мировоззрения, осознанности). В сингапурской системе обучения основными целями преподавания математики являются проектирование условий для формирования учебной самостоятельности учащихся, умений эффективно сотрудничать в процессе обучения со сверстниками и учителем, развитие критического мышления, оказание помощи в развитии талантов учащихся и в самостоятельном овладении математическими знаниями. Традиционное обучение математике в России предполагает трансляцию знаний и небольшое количество отвечающих учеников. В Сингапуре урок математики облечен в игровую форму, и в активные, как правило, командные, действия обычно вовлечен весь класс.

Сближению ситуаций, связанных с обучением математике в России и в Малайзии, способствует общемировой тренд, проявляющийся в широком разнообразии образовательных программ, от предметно-специализированных, соответствующих наиболее высоким стандартам и требующих уже на входе определенного высокого уровня знаний, умений и навыков, до программ дополнительного образования и авторских методик, направленных, прежде всего, на повышение интереса к овладению предметом, более персонализированных и формирующих востребованные компетенции [22]. Разнообразные LMS позволяют организовать само-

стоятельное изучение предмета или его раздела в требуемом объеме и с нужной глубиной. Стоит упомянуть и о внедрении новых средств обучения. Россия сейчас является одной из немногих стран, которые уже применяют в обучении виртуальную реальность VR и дополненную реальность AR. VR-технология не должна полностью вытеснить традиционные формы обучения, но может эффективно их дополнять [22].

В работе [23] 2009 года, посвященной высшему образованию в Малайзии, приводится краткое описание и других ступеней образования, в частности, школьного, являющегося основой для обучения в университетах. В Малайзии как центре первоклассного образования в Юго-Восточной Азии находится множество детских садов, частных школ, международных и иностранных школ, а также колледжей и университетов, часто связанных с ведущими зарубежными университетами и даже кампусов иностранных университетов. О школьной математике говорится, что там, где она изучается, ее преподают, как правило, на английском языке. Во всех государственных (или национальных) школах Малайзии учащиеся изучают малайский и английский языки, а математика, наука и информационные технологии преподаются именно на английском языке, чтобы подготовить студентов к сдаче общих экзаменов для получения необходимых сертификатов, например, UPSR (Ujian Pencapaian Sekolah Rendah – «Тест на успеваемость в начальной школе») и STPM (Sijil Tinggi Persekolahan Malaysia – «Малайзийский сертификат о высшем образовании», подтверждающий прохождение программы довузовской подготовки. В частных школах указанные выше предметы также в основном изучаются на английском языке. Примерно такая же картина наблюдается в международных и иностранных (эмигрантских) школах. Более того, английский язык является универсальным средством обучения и используется как основной язык обучения как в частных школах, частных колледжах и университетах, так и в большинстве государственных университетов Малайзии. Подавляющее большинство международных школ в Малайзии работает по британскому национальному учебному плану или по Кембриджской учебной программе. Например, международная школа «Гибискус» (“Hibiscus International School”) [24], в которой бийскими преподавателями были проведены мероприятия Недели математики и точных наук (включая первый этап олимпиады “Math Stories”), обучает школьников порядка 30 национально-

стей и имеет сертификаты соответствия учебных планов программе “Cambridge Assessment International Education”.

Результаты решения задач олимпиады “Math Stories” учениками национальной школы “SMK Seri Ampang” и учениками частной международной школы “Hibiscus International School”, а также личные наблюдения за решением задач показали, что общий уровень математической подготовки школьников, обучающихся по стандартному учебному плану, не является высоким, хотя отдельные ученики показали неплохие знания материала основных разделов математики. Приятно удивило, что все участвовавшие в олимпиаде учащиеся были ответственными и старательными и были достаточно высоко мотивированы на выполнение заданий.

Ученики школы “SMK Seri Ampang” на открытой лекции о математике в Русском доме активно включились в решение предложенных на слайдах задач. Были верно решены задачи из «Арифметики» Магницкого (рис. 13) и, после небольшой подсказки, было выполнено задание на добавление двух мостов к имеющимся семи кёнигсбергским мостам для построения требуемых в условии маршрутов (рис. 16). Таким образом, малайзийские школьники продемонстрировали наличие развитых математических способностей и желание заниматься математикой.

Подводя итог, следует отметить, что и в России, и в Малайзии математическое образование ценят за его роль в интеллектуальном развитии и возможности карьерного роста. В то время как российский подход делает упор на теоретическую подготовку и навыки решения задач, малайзийский подчеркивает универсальную применимость математического образования. Общей для двух стран является растущая тенденция обучения математике и использования математических знаний в проектной деятельности в рамках STEM-образования в школах, колледжах и университетах.

#### **ОПРОС МАЛАЙЗИЙСКИХ УЧИТЕЛЕЙ ОБ ИНТЕРЕСЕ ШКОЛЬНИКОВ К РУССКОМУ ЯЗЫКУ И ПОЛУЧЕНИЮ ОБРАЗОВАНИЯ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ**

Для сбора сведений относительно представлений педагогов малайзийских школ о русском образовании, потребности школьников в изучении русского языка и их заинтересованности в образовании на русском языке была составлена анкета, в которую, наряду с общими социально-

демографическими сведениями (пол, возраст, место работы, специальность, родной язык, какие языки знает респондент), были включены следующие ниже вопросы.

1. Был ли у Вас опыт взаимодействия с носителями русского языка?
2. Если да, то какой опыт?
3. Какие ассоциации вызывает у Вас российское образование?
4. Приходилось ли Вам пользоваться опытом или методиками российских педагогов или ученых?
5. Если приходилось, то что можете сказать об этом?
6. Как Вы оцениваете качество образования в российских университетах?
7. Как Вы считаете, в университетах каких стран, включая Россию, молодежь Малайзии может получить более качественное образование?
8. Есть ли, по Вашему мнению, преимущества в получении образования на русском языке для молодежи из Малайзии?
9. Если есть, то какие это преимущества?
10. Какие, по Вашему мнению, предметы или области знаний могут быть интересны молодежи из Малайзии для изучения в российских университетах на русском языке?
11. Есть ли среди Ваших учащихся лица, интересующиеся русским языком, российской наукой и культурой?
12. Существует ли в Малайзии, по Вашему мнению, спрос на школы с изучением русского языка?
13. Хотели бы Вы, чтобы Ваши учащиеся изучали русский язык?
14. Какова причина Вашего желания/нежелания?

Опрос участников исследования проводился на английском языке. Ответы на анкету были получены от девяти учителей (трех женщин и шести мужчин в возрасте от 32 до 44 лет) школ г. Куала-Лумпура, принявших участие в международной математической олимпиаде школьников “Math Stories”. Из их числа 2 человека были выходцами из России (татары по национальности) и 3 человека – выходцы из стран СНГ (Кыргызстана и Таджикистана).

В ответ на вопрос об опыте взаимодействия с носителями русского языка четыре человека ответили, что не имеют такого опыта, ещё пять – что имеют. В ответе на второй вопрос двое респондентов пояснили, что это за опыт: «мои коллеги из России, также я читаю новости и слушаю песни на русском», «учился в русскоязычной школе». Один из

респондентов подчеркнул, что «русские очень дружелюбны и всегда готовы помочь». Отвечая об ассоциациях с российским образованием, пять ответивших перечислили преимущественно позитивные: «математика, технологии, наука и инновации», «сильное образование, начиная с младших групп и заканчивая университетами, ресурсы», «слишком много теории, сильная академическая база в медицине», «академическое, фундаментальное, глубокое». Большинство ответивших (семь из девяти) никогда не использовали опыт или методики российских педагогов или ученых. Один из респондентов, который использовал такой опыт, в ответе на пятый вопрос пояснил, что, по его мнению, «методики Выготского могут быть полезны в преподавании».

Оценивая качество российского образования, трое из ответивших дали такие характеристики: «Хороший, высокий уровень, фундаментальное и качественное образование». Ещё один респондент дал такую оценку: «Студент-центрированное, очень качественное, студенты много учатся самостоятельно, в отличие от Малайзии». Остальные затруднились дать оценку. Говоря о странах, в которых молодежь Малайзии может получить более качественное образование, респонденты отвечали: «Англия, США, Германия, Россия», «Австралия, Англия, Германия», «В основном, в англоязычных странах», «Англия, Канада, Германия, Австралия». При этом два участника опроса указали не страны, а вузы России: «РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, СПбГУ», «МГУ».

Говоря о преимуществах российского образования (вопрос 8), двое респондентов решили, что таковых нет, остальные полагают, что они есть. Среди таких преимуществ они указали: «культурный обмен, знакомство с русской культурой и людьми», «продвижение в технологиях, знакомство с экономикой и политикой России», «изучение новой культуры и языка», «Малайзия и Россия имеют сильные связи, и много малайзийских врачей имеют российское образование», «доступ к информации на русском языке, взаимодействие с русскими университетами», «малайзийцы могут изучить русский язык и посмотреть Россию своими глазами, найти новые возможности для карьеры». Среди дисциплин и областей знаний, которые могут быть интересны для молодежи из Малайзии для изучения в российских университетах, опрошенные указали математику и физику; медицину, космические технологии; естественные науки и культуру; образование, инженерию, есте-

ственные науки; добычу полезных ископаемых, органическую химию, сельское хозяйство.

Два респондента ответили, что в числе их учащихся нет лиц, интересующихся русским языком, наукой и культурой, в то время как остальные заявили, что такие лица есть. Однако, большинство респондентов (восемь из девяти) полагают, что спроса на школы с изучением русского языка в Малайзии нет. При этом все они ответили, что хотели бы, чтобы их учащиеся изучали русский язык. В ответ на вопрос о причинах для этого они продемонстрировали широкий спектр мнений: «всегда лучше знать несколько языков», «язык всегда полезен, русский полезен ещё тем, что можно общаться со всеми жителями бывшего СССР», «российские университеты дают хорошее образование, а Россия – хорошее место для учебы», «потому что это мой второй родной язык», «глобальное мировоззрение (global mindedness)». Особого интереса заслуживает ответ директора школы, расположенной недалеко от Русского дома в г. Куала-Лумпуре. Она пишет: «Мои ученики из семей с невысоким уровнем дохода и большинство из них не может оплатить изучение иностранного языка. Однако наша школа находится рядом с Русским домом, и это лучшее место для того, чтобы мои ученики изучили русский язык. Надеюсь, что освоение русского языка откроет им яркие перспективы в России».

В целом, результаты опроса указывают наличие определенного интереса к русскому языку, культуре и образованию, однако, такой интерес, по-видимому, не является широким и по единодушному экспертному мнению спрос на школы с изучением русского языка в Малайзии отсутствует. При интерпретации этих результатов важно также учитывать ограниченную репрезентативность выборки опрошенных учителей, включающей небольшое число педагогов, причем большинство из них представляли хорошие международные школы г. Куала-Лумпура.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря ответственной подготовке всех заинтересованных сторон, Неделя математики и точных наук в Малайзии была проведена на высоком уровне и стала ярким событием для ее участников. Состоялись методические семинары и круглые столы со школьными педагогами образовательных учреждений г. Куала-Лумпура, лекции для учителей и учащихся, проведенные в различ-

ных форматах, мероприятия, непосредственно связанные с математической олимпиадой школьников “Math Stories”. Все участники мероприятий пришли к заключению о важности в современном мире глобального образовательного сотрудничества и развития математических способностей. В статье описаны мероприятия Недели, приведены примеры олимпиадных заданий, материалов для изучения математики и точных наук и слайдов лекций. Все предложенные методические разработки вызвали интерес малайзийских учеников и педагогов.

Сравнивая концепции математического образования в России и в Малайзии, следует отметить, что российский подход к преподаванию школьной математики ориентирован на более основательную теоретическую подготовку, а малайзийский – на применение математики как универсального инструмента.

Результаты опроса учителей г. Куала-Лумпура о потребности школьников в изучении русского языка и заинтересованности в образовании на русском языке показали, что хотя спрос на школы с изучением русского языка в Малайзии отсутствует, интерес к русскому языку, культуре и образованию существует.

Этот интерес может быть повышен путем организации совместных проектов российских университетов и малайзийских школ, особенно в области STEM-образования. При этом в педагогических университетах Министерством просвещения РФ по программе «Учитель будущего поколения России» открыты педагогические технопарки и технопарки универсальных педагогических компетенций, поэтому такие проекты не потребуют чрезмерных дополнительных затрат государства и, несомненно, должны быть им поддержаны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SOCHI DECLARATION of the ASEAN-Russian Federation Commemorative Summit to Mark the 20<sup>th</sup> Anniversary of ASEAN-Russian Federation Dialogue Partnership “Moving Towards a Strategic Partnership for Mutual Benefit” / Министерство экономического развития Российской Федерации: [сайт]. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/ea5ceb5c6a892098ec20dba23afb7204/Declaration\\_Sochi\\_2016.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/ea5ceb5c6a892098ec20dba23afb7204/Declaration_Sochi_2016.pdf) (дата обращения: 04.10.2024).

2. Joint Statement of the 3<sup>rd</sup> ASEAN-Russian Federation Summit on Strategic Partnership / Министерство экономического развития Российской Федерации: [сайт]. – URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d38bfabf579>

88d029de89931efc52bd1/Declaration3\_2018.pdf (дата обращения: 04.10.2024).

3. ASEAN-Russia Trade and Investment Cooperation Roadmap / Министерство экономического развития Российской Федерации: [сайт]. – URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/a6feb6841f147d971be22b63961be9f9/ASEAN-Russia%20Trade%20and%20Investment%20Cooperation%20Roadmap%202021-2025.pdf> (дата обращения: 04.10.2024).

4. Еремеев, Е.А. Центры открытого образования как инновационная среда для изучения математики на русском языке [Электронный ресурс] / Е. А. Еремеев // Интеграция педагогической науки и практики в контексте вызовов XXI века: сб. науч. ст. III международной научно-практической конференции, Калуга, КГУ им. К.Э. Циолковского, 19 апреля 2024 г. – Калуга: Издательство КГУ им. К.Э. Циолковского, 2024. – С. 148-151. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_66183481\\_39508950.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_66183481_39508950.pdf) (дата обращения: 04.10.2024).

5. Макарова, О.Н. Задания с культурно-исторической фабулой в международных математических олимпиадах [Электронный ресурс] / О.Н. Макарова // Интеграция педагогической науки и практики в контексте вызовов XXI века: сб. науч. ст. III международной научно-практической конференции, Калуга, КГУ им. К.Э. Циолковского, 19 апреля 2024 г. – Калуга: Издательство КГУ им. К.Э. Циолковского, 2024. – С. 71-75. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_66183453\\_16688973.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_66183453_16688973.pdf) (дата обращения: 04.10.2024).

6. Mathematics Genealogy Project: [сайт]. – URL: <https://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/> (дата обращения: 04.10.2024).

7. Математические истории: международная олимпиада по математике и точным наукам в Малайзии: [сайт]. – URL: <https://sites.google.com/view/olympiadmaths-without-borders/> (дата обращения: 04.10.2024).

8. Шилинг, Г.С. Организация единого образовательного пространства по изучению математики и точных наук на русском языке: методические рекомендации [Электронный ресурс] / Г. С. Шилинг, Е. В. Дудышева, О. Н. Макарова, М. С. Влазов, О. А. Сычев, Н. Н. Лопаткин, Е. А. Еремеев, О. В. Торопчина; Бийский филиал им. В.М. Шукшина Алтайского гос. пед. ун-та. – Бийск: Бийский филиал им. В. М. Шукшина АлтГПУ, 2024. – 123 с. – 1 электрон. опт. диск (CD R). – 300 экз. – Загл. с титул. экрана.

9. Commemorating the Day of Remembrance and Sorrow at the Russian House in Kuala Lumpur / Russian-House-In-Kuala-Lumpur Malaysia: [сайт]. – URL: [https://vk.com/russianhousekualalumpurmalaysia?w=wall715394115\\_535%2Fall](https://vk.com/russianhousekualalumpurmalaysia?w=wall715394115_535%2Fall) (дата обращения: 04.10.2024).

10. Гнеденко, Б.В. Очерки по истории математики в России / Б. В. Гнеденко. – Изд. 4-е. – Москва: URSS, Либроком, 2009. – 292 с.

11. Бронникова, Л.М. История математики: учебное пособие [Электронный ресурс] / Л. М. Бронникова. – Барнаул: АлтГПУ, 2016. – 118 с. – ISBN 978-5-88210-810-5. // Цифровой образова-

тельный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/102729.html> (дата обращения: 04.10.2024).

12. Перельман, Григорий Яковлевич / Энциклопедия Руниверсалис: [сайт]. – URL: <https://xn--h1ajim.xn--p1ai/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD,%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B9%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87> (дата обращения: 04.10.2024).

13. Турбина, М.И. «Задача тысячелетия» и Григорий Перельман / М. И. Турбина // Наука и техника в Якутии. – 2020. – № 2 (39). – С. 107-114. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachatyasyacheletiya-i-grigoriy-perelman> (дата обращения: 04.10.2024); – 2021. – № 1 (40). – С. 98-104. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachatyasyacheletiya-i-grigoriy-perelman-1> (дата обращения: 04.10.2024); – 2021. – № 2 (41). – С. 110-116. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachatyasyacheletiya-i-grigoriy-perelman-2> (дата обращения: 04.10.2024); – 2022. – № 1 (42). – С. 105-110. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachatyasyacheletiya-i-grigoriy-perelman-nachalo-v-2-39-za-2020-g-2-41-za-2021-g> (дата обращения: 04.10.2024); – 2022. – № 2 (43). – С. 107-112. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachatyasyacheletiya-i-grigoriy-perelman-okonchanie-nachalo-v-2-39-za-2020-g-1-42-za-2022-g> (дата обращения: 04.10.2024).

14. Высоцкий, И.Р. Теория вероятностей и статистика в Малайзии / И. Р. Высоцкий, Ю. А. Тюрина, К. Х. Тех. // Математика – 2019. – № 7 (сентябрь). – С. 4-17, 21. – URL: [https://ptlab.mccme.ru/sites/ptlab.mccme.ru/files/teoriya\\_veroyatnostey\\_i\\_statistika\\_v\\_malayzii\\_0.pdf](https://ptlab.mccme.ru/sites/ptlab.mccme.ru/files/teoriya_veroyatnostey_i_statistika_v_malayzii_0.pdf), <https://ptlab.mccme.ru/sites/ptlab.mccme.ru/files/literatuga.pdf> (дата обращения: 04.10.2024).

15. Результаты международного исследования TIMSS-2015. 8 класс / Управление образования администрации Собинского района: [сайт]. – URL:

[http://www.sbnedu.ru/Docs/metod/TIMSS/Report\\_TIMSS2015\\_GR8.pdf](http://www.sbnedu.ru/Docs/metod/TIMSS/Report_TIMSS2015_GR8.pdf) (дата обращения: 04.10.2024).

16. Денищева, Л.О. Оценка учебных достижений учащихся 8-го класса по математике в рамках международного сравнительного исследования TIMSS-2015 [Электронный ресурс] / Л. О. Денищева, К. А. Краснянская // Педагогические измерения. – 2017. – № 2. – С. 46-55.

17. Результаты исследования TIMSS-2019 / Федеральный институт оценки качества образования» (ФИОКО): [сайт]. – URL: <https://fioco.ru/Media/Default/Documents/%D0%9C%D0%A1%D0%98/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8B%20TIMSS%202019.pdf> (дата обращения: 04.10.2024).

18. PISA 2018 Results (Volume I). What Students Know and Can Do. Report / OECD: [сайт]. DOI: 10.1787/5f07c754-en – URL: <https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2018->

[results-volume-i\\_5f07c754-en.html](results-volume-i_5f07c754-en.html) (дата обращения: 04.10.2024).

19. Международная Математическая Олимпиада: [сайт]. – URL: <http://www.imo-official.org/> (дата обращения: 04.10.2024).

20. IMO Malaysia: [сайт]. – URL: <https://imo-malaysia.org/> (дата обращения: 04.10.2024).

21. Тимербаева, Н.В. О системе обучения математике в России и за рубежом (на примере Татарстана и Сингапура) / Н. В. Тимербаева, Э. И. Галимова // Математическое образование в школе и ВУЗе: теория и практика (MATHEDU - 2014): материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 210-летию Казанского университета и Дню математики, 28 – 29 ноября 2014 года. – Казань: КФУ, 2014. – 340 с., с. 214-219. – URL:

<https://libweb.kpfu.ru/publication/papers/978-5-00019-310-5/214-219.pdf> (дата обращения: 04.10.2024).

22. Авторские методики преподавания год за годом вытесняют традиционное образование. Статья, 18 июля 2019. / Школа управления SKOLKOVO: [сайт]. – URL: <https://www.skolkovo.ru/expert-opinions/avtorskie-metodiki-prepodavaniya-god-za-godom-vytesnyayut-tradicionnoe-obrazovanie/> (дата обращения: 04.10.2024).

23. Жанузакова, Л.Т. Высшее образование в Малайзии / Л. Т. Жанузакова, Ж. О. Кулжабаева. // Вестник Института законодательства и правовой информации Республики Казахстан – 2009. – № 1 (13). – С. 182-187. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysshee-obrazovanie-v-malayzii> (дата обращения: 04.10.2024).

24. Hibiscus International School: [сайт]. – URL: <https://hibiscus.edu.my/> (дата обращения: 04.10.2024).

**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);

**Макарова Ольга Николаевна** – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры математики, физики, информатики Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ (г. Бийск), e-mail: [fmfmak.on@mail.ru](mailto:fmfmak.on@mail.ru);

**Еремеев Евгений Алексеевич** – старший преподаватель кафедры математики, физики, информатики Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ (г. Бийск), e-mail: [engkent007eu@gmail.com](mailto:engkent007eu@gmail.com);

**Шилинг Галина Сергеевна** – кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий кафедрой, доцент кафедры математики, физики, информатики Бийского филиала им. В.М. Шукшина АлтГПУ (г. Бийск), e-mail: [shilinggs@mail.ru](mailto:shilinggs@mail.ru).

## ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

В. Г. Курцева, Д. Г. Митрошин

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

*Кондитерские изделия в современное время являются неотъемлемой частью питания. В данной работе рассматриваемым объектом является овсяное печенье, произведенное из алтайской овсяной муки с добавлением плодов паслёна и цельнозерновой пшеничной муки. Разработка уникальной технологии овсяного печенья путем внедрения переработанных плодов паслёна имеет стратегический смысл, так как позволяет существенно обогатить продукт пищевыми качествами и придать ему неповторимые вкусо-цветовые характеристики.*

**Ключевые слова:** кондитерские изделия, пищевая ценность, овсяное печенье.

Кондитерские изделия в современное время являются неотъемлемой частью питания, ведь в наш век избытка информации, скорости, отсутствия времени сладкие продукты придают силы, поднимают настроение, и в какой-то момент даже улучшают гормональный фон человека, особенно у женщин. Они обладают высокой калорийностью и поэтому идеально подходят для экстремальных условий, когда одновременно присутствуют физическая нагрузка (энергетические траты), но в тоже время отсутствует возможность полноценно поесть. К тому же, они легко усваиваются и очень хорошо хранятся длительное время.

И несмотря на то, что за последнее время цены на кондитерские изделия растут, покупать меньше их не стали, а наоборот замечается небольшой ежегодный рост спроса на кондитерскую продукцию. Между тем, кондитерские изделия - это продукт вторичной потребности и покупатели при отсутствии финансовой возможности могут значительно сократить их потребление.

Несмотря на всю ту радость, которую приносят нам сладости, компоненты, которые используют при производстве кондитерских изделий, содержат минимальное количество минеральных веществ и витаминов, которые в основном в процессе технологической переработки разрушаются. Вследствие снижения питательной и витаминной составляющей продуктов возрастает необходимость внедрения технологий обогащения в кондитерском производстве. Такой подход особенно актуален, поскольку включение растительного сырья обычно приводит к уменьшению энергетической насыщенности изделий. Кондитерские

изделия традиционно имеют высокий процент сахара и жиров, однако часто в них не хватает необходимых организму полезных компонентов. Это обуславливает особую значимость процесса их обогащения, который не только улучшает эстетические характеристики и вариативность ассортимента, но, прежде всего, существенно повышает пользу для здоровья человека. Ключевым направлением в модернизации кондитерских изделий является интеграция нетрадиционных видов сырья. Такие ингредиенты способствуют значительному улучшению пищевой ценности продукции, обеспечивая организм необходимыми микроэлементами и витаминами. Для поддержания интереса потребителей к кондитерским изделиям предприятия активно внедряют инновационные подходы. Это включает разработку новых видов продуктов, расширение ассортимента за счет оригинальных рецептов, что способствует динамичному развитию и укреплению позиций на рынке.

В данной работе рассматриваемым объектом является овсяное печенье, произведенное из алтайской овсяной муки с добавлением плодов паслёна и цельнозерновой пшеничной муки.

Разработка уникальной технологии овсяного печенья путем внедрения переработанных плодов паслёна имеет стратегический смысл, так как позволяет существенно обогатить продукт пищевыми качествами и придать ему неповторимые вкусо-цветовые характеристики. Особое внимание заслуживает наличие в паслёне органических кислот – это важнейший биохимический аспект, который не только определяет особый оттенок

вкуса, но и активно способствует улучшению пищеварительных процессов за счет стимуляции перистальтики кишечника. Научно подтверждено: ключевую роль играет лимонная кислота (0,64%), составляющая основу органических кислот в плодах пасленовых наряду с яблочной (0,13%), молочной (0,1%) и янтарной (0,05%). Отличительная особенность этих культур заключается в том, что даже при высоком содержании органических кислот их плоды не обладают выраженным кислым привкусом – это уникальное качество делает пасленовые идеальными для создания сбалансированного овсяного печенья. Кроме того, применение в рецептуре плодов паслена обусловлено их гиперлипидемическим воздействием на организм – свойство, которое может быть использовано для разработки продуктов с дополнительной пользой для здоровья потребителей.

Эксперименты показали, что экстракты плодов паслена предотвращают повреждение сосудов у больных диабетом. Эксперименты показали, что плоды паслена предотвращают повреждение органов и тканей при хронической алкогольной интоксикации. Исследования выявили, что спиртовые экстракты из всех частей растения обеспечивают защиту почечных клеток от негативных последствий гентамицинового воздействия. В научной сфере установлено: полисахариды в составе плодов паслена демонстрируют иммуностимулирующие и противоопухолевые функции. Так, экстракты из незрелых фруктов и листьев данного растения способны уничтожать раковые клетки различных органов за счет подавления метастазирования в случаях карциномы и меланом благодаря содержанию стероидных гликоалкалоидов. К противоопухолевому эффекту черного паслена также причастны специфические аминокислоты, такие как линамарин, и гликопротеин.

Исследования в научном сообществе подтверждают: плоды паслена отличаются высоким белковым содержанием (2,6%) среди других овощей – этот показатель заслуживает особого внимания учёных. Многочисленные биохимические исследования систематически демонстрируют исключительную пищевую ценность свежих плодов паслена: выделяется его мощное антиоксидантное действие – 229,4 мг/100 г; значительная концентрация клетчатки (4,2 г), обеспечивающая здоровье кишечника; богатство витаминами и микроэлементами: Р-витамин, рутин, каротиноиды в сочетании с важными макро- и микроэлементами – магнием (Са), марганцем (Mn). Особо выде-

ляется наличие витамина С - аскорбиновой кислоты на уровне 48,2 мг/100 г. В составе присутствуют гликоалкалоиды, органические кислоты, дубящие вещества и гликозиды. Эти уникальные свойства делают паслен не просто овощной культурой, а настоящим кладом полезных компонентов для здорового питания. Ко всему прочему, можно указать на высокое содержание антоцианов в плодах паслена (887,1 мг на 100 г), которые также благоприятно влияют на пищевую ценность и уникальный цвет готового продукта.

Но при употреблении паслена есть и противопоказания, в частности это наличие заболеваний печени, поджелудочной, аллергия. Нежелателен этот продукт в детском возрасте, для беременных и кормящих мам. Главная причина опасности употребления плодов паслена в наличии в незрелых плодах сильного яда – соланина, который, к счастью, практически не оставляет следов после полного созревания плодов.

Пищевая ценность свежих плодов паслена представлена в таблице 1.

По результатам этой таблицы можно сказать, что паслен по содержанию калия превосходит все известные овощные культуры, а по содержанию йода уступает немногим культурам. Также в плодах паслена содержится достаточно большое количество магния (8,0% от суточной нормы), цинка (7,0% от суточной нормы) и железа (7,5% от суточной нормы).

Что касается биологической активности, также было определено содержание в плодах паслена 10 аминокислот, включая незаменимые. Из незаменимых аминокислот, которые не образуются в организме человека и поэтому должны поступать с пищей, преобладают треонин (5,27 мг/100 г) и валин (1,64 мг/100 г). Аминокислотный состав плодов паслена указан в таблице 2 [2, 4].

В качестве контрольного образца мы выбрали печенье «Овсяное», в которое было добавлено пюре из плодов паслена, а часть муки (в состав овсяного печенья входит овсяная и пшеничная мука высшего сорта) была заменена на муку пшеничную цельнозерновую. Проведенные нами органолептические и физико-химические испытания показали, что наиболее благоприятным образцом оказался образец с полной заменой рецептурной пшеничной муки высшего сорта на цельнозерновую пшеничную муку и добавлением 20% пюре из паслена, именно такая дозировка улучшила все показатели.

ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ  
АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Таблица 1 – Пищевая ценность плодов свежего паслена

Пищевые вещества	Значение
Белки, г	2,60
Жиры, г	0,00
Углеводы, г	0,20
Пищевые волокна, г	4,20
Органические кислоты, г	0,96
Витамины:	
Аскорбиновая кислота, мг	48,20
Антоцианы (красящие вещества), мг	900,00
Антиоксидантная активность, мг	229,40
Минеральные вещества, мг:	
K	890
Na	2,9
Ca	27
Fe	1,1
Mg	24
Mn	0,15
Cu	0,006
Zn	0,7
I	0,006
Энергетическая ценность, ккал	14

Таблица 2 – Аминокислотный состав паслена на 100 г продукта

Аминокислоты	Содержание, мг
Лейцин	0,71
Валин	1,64
Треонин	5,27
Метионин	0,66
Аланин	0,08
Аргинин	0,70
Тирозин	0,31
Глицин	0,12
Пролин	22,72
Серин	0,08

Заключительным этапом нашей работы была оценка пищевой ценности разработанного образца. Пищевая значимость определяется как совокупность незаменимых для жизнедеятельности компонентов продуктов, способствующих формированию энергетического резерва тела и поддержанию баланса ключевых нутриентов.

Пищевая ценность напрямую определяется химическим составом продуктов; его оценка производится за 100 граммов съеданного изделия, учитывая ключевые органические компоненты: протеины, углеводы и липиды вкпе с витаминно-минеральным комплексом и кислотами. Ключевым аспектом станет биологическая значимость продукта – показатель качества содержащихся белков. И хотя добавляемое пюре паслена не является

глобальным источником белка, но, тем не менее, его добавление, в совокупности с введением цельнозерновой муки, благоприятно сказывается на аминокислотном спектре разработанного нами продукта.

В таблице 1 представлено сравнение контрольного образца овсяного печенья и печенья «Овсяное с пасленом» по основным незаменимым аминокислотам, чье нахождение в продукте является желательным, так как незаменимые аминокислоты поступают к нам только через пищу. Исходя из диаграммы мы можем наблюдать, что возрос уровень всех незаменимых аминокислот, таким образом и выросла эффективность использования белка, одним из основных факторов которой является сбалансированность белка по незаменимым аминокислотам.



В таблице 2 представлено сравнение витаминно-минерального состава контрольного образца и разработанного овсяного печенья с добавлением в него 20 % пюре из

плодов паслёна и полной заменой пшеничной муки на цельнозерновую муку. Здесь мы тоже наблюдаем, что пищевые ингредиенты для здорового питания в печенье увеличиваются.

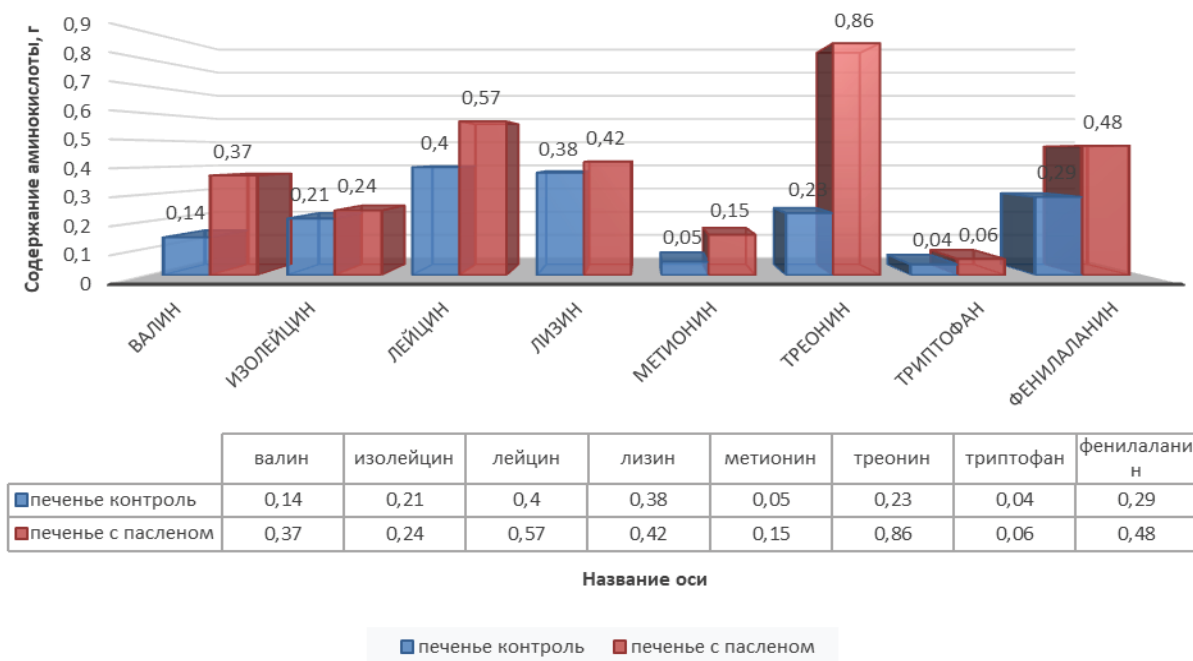


Рисунок 1 – Сравнение аминокислотного состава контрольного образца и разработанного печенья

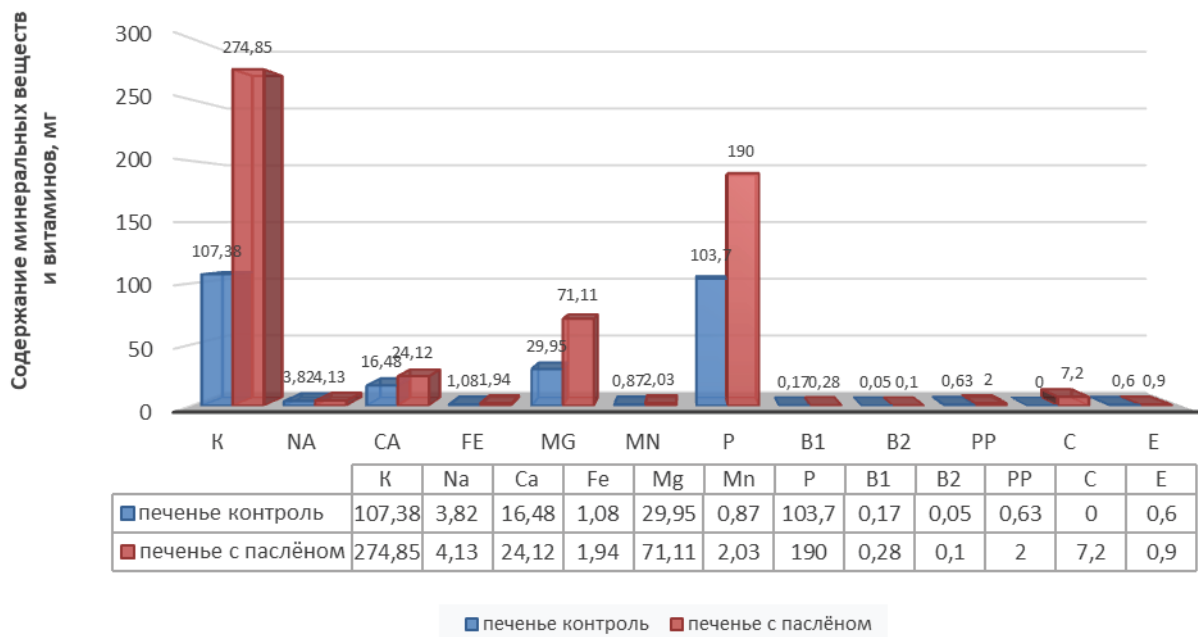


Рисунок 2 - Сравнение витаминно-минерального состава контрольного образца и разработанного печенья

## ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Таким образом, разработанное нами овсяное печенье имеет благоприятное изменение пищевой ценности по сравнению с контрольным образцом. Избыток сахара мы нивелируем введением в рецептуру печенья продукта с высоким содержанием биологически активных веществ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акишин Д.В. и др. Функциональная и пищевая ценность свежих и переработанных плодов паслена Санберри / Акишин Д.В., Винницкая В.Ф., Ветров М.Ю., Причко Т.Г., Дрофичева Н.В. // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания, № 2, 2017.
2. Биохимическая характеристика плодов садового паслена / Причко Т.Г., Дрофичева Н.В., Акишин Д.В. и др. // Главный агроном. – 2019. - № 2. – с. 17.
3. Применение нетрадиционных видов сырья в производстве печенья: [Электронный курс]. – URL: <https://research-journal.org/archive/11-113-2021-november/primeneniye-netradicionnyx-vidov-syrya-v-proizvodstve-ovsyanogo-pechenya> (дата обращения 18.10.2024)
4. Свойства паслена черного. Польза и вред паслена: [Электронный курс]. – URL: <http://findfood.ru/product/paslen-chernyj> (дата обращения 18.05.2024)
5. Паслен черный: [Электронный курс]. – URL: <https://herbana.world/plant/paslyon-chyornyj.html> (дата обращения 18.10.2024).
6. Технический регламент Таможенного союза 021/2011.
7. Сборник технических нормативов. Сборник рецептов на продукцию кондитерского производства / Составитель Могильный М.П., 2011. – 560 с.
8. Лечебные свойства растения паслен черный: [Электронный курс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lechebnye-svoystva-rasteniya-paslyon-chernyy/viewer> (дата обращения 18.10.2024)
9. Паслен черный: полезные свойства и противопоказания: [Электронный курс]. – URL: <https://prosad.ru/paslen-chernyj-poleznye-svoystva-i-protivopokazaniya/> (дата обращения 18.10.2024)

*Курцева Вера Геннадьевна – к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: vera5399@mail.ru;*

*Митрошин Д. Г. – студент ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

VOLUME 1

Part 1

VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS  
IN SCIENCE AND TECHNOLOGY

T. E. Shlyahina, V. Yu. Trubitsin, K. A. Shlyahin  
DEVELOPMENT, LEARNING AND ANALYSIS  
OF THE SPIKE NEURAL NETWORK.....4

In this article we have developed a model of a spiking neural network in Python, using the library for parallelization of calculations Numba and the graphic library Matplotlib for visualization of the model and results of calculations. A library for spiking neural network computations was created. The architecture of classes for the library is developed. It is proposed to use a sequence of spikes as signal patterns. The results of signal recognition quality using the developed network with different number of spikes in the sequence and different number of neurons in the network are shown.

Keywords: spike neural network, spikes, neurons, dendrites, axons, neurotransmitters.

A. A. Savluk, D. A. Savluk, G. V. Lysak, I. A. Lysak  
DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL  
FOR SHAPING TITANIUM PRODUCTS  
BY ELECTRON BEAM WELDING OF METAL  
IN VACUUM.....9

The article considers the task of developing a mathematical model for shaping titanium products by electron beam welding of wire in vacuum. The calculated areas and boundary conditions for describing the thermophysical processes occurring during the deposition of a titanium alloy are established.

Keywords: electron beam wire additive technology, mathematical modeling, titanium alloy, layered surfacing, computer engineering.

A. A. Piletsky  
DEVELOPMENT OF FILTERING AND SORTING  
SYSTEM FOR SOFTWARE COMPLEX OF WHEAT  
GRAIN SIGNALS PROCESSING..... 12

The article deals with the creation of a C# library for filtering and sorting by basic parameters of signals of bioelectric potential of wheat grains using reflexion and Linq Expressions. Reflexion allows to work dynamically with objects and their properties, and LINQ Expressions, in turn, allow to optimise the process of building filters and sorting based on the client's request.

Keywords: C#, Entity Framework, wheat grain, data filtering, data sorting.

T. E. Shlyahina, K. A. Shlyahin, K. S. Ermolin,  
A. I. Kirillov

SOFTWARE ANALYSIS FOR NANOPARTICLE  
SEGMENTATION IN STM IMAGES .....16

The paper considers various software packages for processing STM-images. Their advantages and disadvantages are given, a comparative analysis of the quality of segmentation of the same STM-image is performed by counting the number of particles in the image and measuring the particle sizes. Segmentation of nanoparticles is performed in the program developed by the authors. It is shown that the developed software is not inferior to analogues.

Keywords: scanning tunneling microscopy, filtration, segmentation, software, nanoparticles.

S. P. Pronin, S. V. Veiber

MODELING THE CRITERION FOR MEASURING  
THE SIZE OF AN OBJECT BY THE SHADOW  
METHOD UNDER INCOHERENT ILLUMINATI....21

The article presents a simulation of the formation of image boundaries based on two functions – the rectangular pulse function and the Gaussian line spread function. As a result of solving the equation, a contour of illumination change is obtained that is different from the rectangular pulse function. As calculations show, the size of a real image at a level of 0.5 of the maximum illumination value coincides with the size of an ideal image under a certain condition. The criterion for equality of sizes is the ratio of the blur parameter to the size of an ideal image. The ratio should not exceed 0.27.

Keywords: measurement, shadow method, image, size, function convolution, threshold level, size equality criterion.

K. S. Korobkov, V. I. Mosorov, N. B. Khaptakhaeva  
METHODS OF DEEP LEARNING FOR  
CLASSIFICATION OF CARBON STEELS  
MICROSTRUCTURES .....24

In this study, we address the task of classifying the microstructure of carbon steels using convolutional neural networks (CNNs). The neural network has a sequential architecture consisting of alternating convolutional and pooling layers, which allows for effective feature extraction from images. After training on 270 images, the model achieved an accuracy of 96.67% on the validation set after 50 epochs of training. The results indicate that the proposed neural network architecture successfully handles the task of microstructure classification, achieving high accuracy and minimal error (val\_loss = 0.05).

Keywords: convolutional neural networks (CNN), metallography, automation, carbon steels, microstructure.

I. A. Sutorikhin, B. A. Soloviev, G. A. Priymak  
 MEASURING COMPLEX FOR MONITORING  
 THE HYDROPHYSICAL PARAMETERS  
 OF FRESHWATER RESERVOIRS..... 29

The description of a measuring complex for monitoring spectral underwater illumination, temperature and low speeds of water movement in reservoirs and water-courses is given. The complex was tested during the expeditions of 2023-24 on Lake Teletskoye. The results of the measurements are presented and the data obtained are discussed.

Keywords: spectral underwater illumination, temperature, water velocity, measuring complex, 3D model, registration unit, data processing unit.

---

**Part 2**

**VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS  
 IN PRODUCTION AND PRODUCT CONTROL**

---

N. A. Otstavnov, A. A. Glebov  
 IMPROVEMENT OF STANDARD METHODS  
 PRODUCTION USING ARTIFICIAL  
 INTELLIGENCE ..... 34

The relevance of modernization of technological lines and equipment at a modern food enterprise using elements of artificial intelligence is substantiated. A method for implementing an artificial intelligence system to improve the production process is proposed, and the choice of the most appropriate method is justified. The results of industrial tests of upgraded equipment using artificial intelligence on the basis of an existing production site are presented.

Keywords: artificial intelligence, food production, modernization of production, equipment breakdowns, machine learning.

V. S. Afonin, A. N. Chubov, N. A. Pushkov,  
 E. S. Kranin  
 INVESTIGATION OF GEOMETRIC PARAMETERS  
 A CAPACITIVE TRANSDUCER FOR THE CONTROL  
 OF BULK MATERIALS ..... 39

The description of the study of the dependence of the electrical capacitance of the electrode system on their geometry is given. The optimal parameters for the grain material sensor were selected numerically.

Keywords: capacitive converter, static characteristic, geometric parameters of a CC.

A. V. Balashov, D. S. Rakhmatulin  
 SIMULATION MODELING OF TECHNOLOGICAL  
 PROCESSES MANUFACTURING PROCESSES  
 OF MACHINE PARTS..... 44

The article highlights the approach to the description of the technology of mechanical processing of machine parts and devices, examines the theoretical and practical aspects of simulation, computer modeling to improve the processes of their manufacture. An example of using the COMPASS-3D solid-state modeling CAD system to describe the technological process of machining a part is given. The work shows the individual stages necessary to build a model that simulates technological operations, transitions and installations on which parts are formed, including in automated production conditions. The considered model allows the designer to visually obtain information about the shaping of the product at that (th) or another transition (operation), significantly reduce the time for processing technological documentation, sketching operations and reduce the number of errors of the technologist.

Keywords: simulation modeling, CAD system, technology, process, machining, COMPASS-3D, processing route, execution, operation, sketch.

---

**Part 3**

**VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS  
 IN PROCESS MODELING AND  
 MANAGEMENT**

---

B. S. Pervukhin, D. E. Krivobokov, A. A. Klyushanov  
 ESTIMATION OF THE SYSTEMATIC ERROR FOR  
 VARIOUS OPTIONS FOR OBTAINING  
 A MEASURING SIGNAL FROM A THERMAL  
 SENSOR ..... 47

The article considers the sources of systematic errors of contact contactometers. The evaluation of various methods for measuring specific electrical conductivity, taking into account mathematical models of errors, has been carried out. Based on the results obtained, the optimal measurement method was selected, which ensures the minimization of errors.

Keywords: graphite electrodes, contact conductometer, systematic error, mathematical model.

D. E. Krivobokov, I. E. Matushenko  
DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE UAV  
CONTROL SYSTEM BASED ON NEURAL  
NETWORKS ..... 54

The basic principles and algorithm of a quadcopter flight controller are presented. A methodology for creating a training data set has been developed. The principle of controlling a quadcopter using a neural network based on the basic principles of the flight controller is discussed.

Keywords: quadcopter, neural network, PID controller, adaptive control system, UAV.

S. S. Zemskaya, A. U. Andreeva  
MODELING OF TRAFFIC FLOWS FOR  
THE GENERATION OF A REINFORCEMENT  
LEARNING ENVIRONMENT ..... 58

The article describes the technology of creating a model of an existing transport interchange using SUMO, JOSM and OSM tools. These models can be used for various aspects of traffic modeling, including reinforcement training for autonomous vehicle agents.

Keywords: SUMO, JOSM, OSM, transport networks, OktyabryaPloshchad.

V. M. Ryzhikh  
DEVELOPMENT OF A VIRTUAL INSTRUMENT  
SIMULATOR OF A ROBOTIC PLATFORM BASED  
ON THE UNITY ENGINE ..... 62

The article is devoted to the development of a simulator for training and testing robotic platforms, which is an important aspect of training specialists in the field of robotics. The development of robotic platforms requires comprehensive knowledge in programming and hardware. The introduction of simulators reduces the risks of equipment damage and reduces training costs. This work presents the development of a software environment for simulating the operation of a robotic platform based on the STM32 microcontroller using the Unity Engine. The stages of creating a 2D robot model and simulator interface are considered, including support for writing and executing code in C, visualization of the robot in pixel style and convenient display of program execution logs.

Keywords: robotic platform, microcontroller programming, spatial sampling, UnityEngine, STM32, distance learning, user interface, code interpretation, interaction simulation systems, remote selection.

B. S. Pervukhin, D. E. Krivobokov, B. R. Yakovlev  
COMPARISON OF METHODS FOR MEASURING  
THE SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF A  
LIQUID USING CAPACITIVE PRIMARY TRANS-  
DUCERS ..... 68

The article compares methods for measuring the specific electrical conductivity of liquids using capacitive primary transducers. Models of systematic measurement errors were used as a comparison criterion.

Keywords: nominal static characteristic, real static characteristic, absolute measurement error, relative measurement error.

B. S. Pervukhin, D. E. Krivobokov, D. E. Puzik  
DESIGN DEVELOPMENT OF A TUNING FORK-  
TYPE LOW-FREQUENCY VIBRATING VISCOMET-  
TER-DENSITY METER WITH ELECTROMAGNETIC  
EXCITATION ..... 74

The article discusses the design of a low-frequency primary measuring transducer for measuring the viscosity and density of a liquid using an electromagnetic field generated by an electromagnet as an excitation. An equivalent substitution scheme has been theoretically substantiated and constructed. Based on the substitution scheme, the impedance equation of the system is determined. Frequency and time characteristics of the impedance and current are obtained for an equivalent substitution scheme.

Keywords: analytical instruments, measurement, viscosity, density, tuning fork, viscometer, density meter, electromagnetic excitation, magnetic flux, magnetic resistance.

V. M. Ryzhikh, N. M. Ryzhikh  
SPATIAL DISCRETIZATION OF 3D OBJECTS:  
METHODS, APPLICATIONS, AND SOFTWARE FOR  
MODELING AND PHOTOGRAMMETRY ..... 78

The article discusses methods of spatial discretization of 3D objects, their role and application in the tasks of modeling, creating game assets, 3D scanning and preserving cultural heritage. Spatial discretization makes it possible to transform continuous physical objects into digital form, creating models with high accuracy and level of detail, which is relevant in medicine, architecture and the entertainment industry. The main approaches to sampling are described, such as polygonal and voxel models, photogrammetry, and lidar scanning methods. An overview of popular software solutions is provided, including Photoscan (Agisoft), MVE, Autodesk 123D Catch, as well as the OpenMVG and OpenMVS libraries. Each of them has unique functions

and limitations, which allows you to choose the optimal software depending on the user's tasks and resources. Particular attention is paid to the use of discretization to create game assets and accelerate development in the computer game industry. In conclusion, the prospects of spatial discretization, its importance in various fields and its role in the development of 3D modeling technologies are discussed.

Keywords: spatial sampling, 3D modeling, photogrammetry, polygonal models, voxel models, 3D scanning, game assets, lidar scanning, digital reconstruction.

D. Y. Kozlov, Z. V. Tikhomirova  
USING STATISTICAL METHODS TO ANALYZE ATTACKS ON WIRELESS SENSOR NETWORKS ..... 84

The article presents statistical methods for analyzing attacks on wireless sensor networks and their software implementation in the Python programming language using the libraries scipy, seaborn, matplotlib, pandas and numpy. It is important to understand when the sensor readings began to differ from those that it gave before, since sensor failure can lead to losses. The developed program is being tested on real data.

Keywords: wireless sensor networks, sensors, nonparametric matching criteria, comparison of random variable distribution laws, programming.

B. S. Pervukhin, D.E. Krivobokov, K. D. Kandaurov, D. A. Gulyaev, D. S. Lozheshnikov  
THE POSSIBILITY OF USING THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A CONTACT MEASURING TRANSDUCER ..... 89

The article considers the possibility of determining the parameters of an equivalent measuring circuit based on transient analysis.

Keywords: contact primary converter, active resistance, reactance, polarization resistance, capacity of the double electric layer.

P. A. Zryumov, V. V. Kraft  
CALCULATING THE DEPTH MAP FROM A STEREO PAIR OF IMAGES USING OPENCV ..... 93

An algorithm for analyzing the results of calculating a map based on a stereo pair of images using OpenCV is presented. As a result of the analysis, the SGBM parameters were obtained based on the image resolution. Conclusions were drawn based on the results of the study.

Keywords: stereo vision, mismatch, depth map, median filter, Gaussian blur, stereo pair.

---

**Part 4**

**VIRTUAL AND INTELLIGENT SYSTEMS  
IN STUDENT WORKS**

---

A. G. Zrumova, K. V. Stepchenko  
POWER SUPPLY MANAGEMENT USING A SMART PLUG AND A MOBILE APPLICATION ..... 96

A description of a power supply management system based on a smart plug and a mobile application is provided. This system enables remote monitoring and control of power consumption for individual devices and small groups of equipment. The article analyzes the main components and structure of the system, describes the technology selection process, and provides justification for its advantages in environments with low and medium loads. The results of functionality testing on various types of loads are presented, and the prospects for implementing the system under different operating conditions are discussed.

Keywords: power supply management, information system, smart plug, mobile application, automation, power consumption monitoring.

T. V. Kotlubovskaya, A. I. Agarin  
DEVELOPMENT OF THE PROJECT FOR AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR SORTING MEDICINAL PLANTS ..... 100

The article is devoted to development of the project for a system for automated control of sorting medicinal plants in a small enterprise.

Keywords: the system of the automated control, Raspberry Pi, color sensor, tensometric scales, sorting, medicinal plants.

E. S. Zherdev  
REVIEW OF OBSTACLE DETECTION METHODS FOR UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES ..... 103

This article is devoted to modern approaches to detecting and preventing obstacles in the flight of unmanned aerial vehicles. The article discusses various obstacle detection methods, such as methods based on computer vision, laser rangefinders and radar sensors, as well as their advantages and disadvantages.

Keywords: obstacle detection, UAVs, infrared sensors, computer vision, time measurement.

I. Yu. Alyshev, N. V. Erofeeva  
VIDEO SURVEILLANCE AS SECURITY TOOL  
FOR COAL MINE .....107

The authors in the article showed the use of video cameras in underground mine workings in order to control and prevent emergencies when performing production tasks. They noted the possibility of using video control to prevent personnel from entering the danger zone. They showed the possibility of using thermal imaging cameras in order to ensure safety in coal mines.

Keywords: video camera, thermal imaging camera, shaft, control, safety.

T. V. Kotlubovskaya, A. S. Karpov  
DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE INSTALLATION  
FOR STUDYING THE NOISE INSULATION  
PROPERTIES OF FOAM COMPOSITE  
MATERIAL.....109

The article is devoted to the development of a model of the installation for studying the noise insulation properties of foamed composite material.

Keywords: tumbling, soundproofing, installation model, foamed composite material.

A. A. Chepushtanov, A. A. Yassenkov  
RESEARCH OF THE DISTINCTIVE CAD SYSTEMS  
FROM RUSSIAN DEVELOPERS IN COMPARISON  
WITH FOREIGN ANALOGUES IN THE CONDI-  
TIONS OF IMPORT SUBSTITUTION .....111

The research and analysis of existing computer-aided design systems from Russian developers and their analogues from foreign developers have been carried out.

Keywords: computer-aided design systems, import substitution, CAD, CAM, CAE, PLM.

A. V. Malyshev A. G. Zryumova  
THE ROLE OF DATABASES IN IMPROVING THE  
EFFICIENCY OF THE TOW TRUCK SERVICE.....113

The influence of databases on the optimization of tow truck service processes is considered. The analysis of the current system has been carried out, the main shortcomings and problems affecting the quality of service have been identified. The requirements for the new information system are discussed, and the architecture and structure of the solution are described, including the choice of technologies and tools that will help improve the efficiency of the service.

Keywords: tow truck service, database, efficiency, control system, IT services.

## VOLUME 2

M. Yu. Sarychev, O. G. Kuzmina  
THE PROCESS OF CREATING AN INNOVATIVE  
TOURISM PRODUCT ON THE EXAMPLE OF AN  
AUTHOR'S TOUR ..... 118

Currently, tourism development largely depends on the introduction and application of new technologies aimed at improving tourist services and increasing service capabilities for tourist services. To achieve efficiency and profitability in the tourism sector, it is necessary to involve all stakeholders, including business, science and management, students and teachers, in innovative technologies and tools for creating innovative tourist products in domestic markets. Without knowledge of modern technologies, it is impossible to create an innovative tourist product at unique tourist sites in Russia. Commitment to progress is manifested in the introduction of new or improved technologies and equipment in the process of providing a service, which is an innovation. The article presents the experience of creating a tourism product based on the innovative methodology of unit economics, the marketing tool "sales funnel", the information and marketing technology Cust Dev, etc. Attention is focused on developing the abilities and desire to develop business, as well as creating innovative domestic tourism.

Keywords: author's tours, unit economics, sales funnel, domestic tourism, innovative tourism product, modern technologies, tourism cluster, development in tourism, innovative approach in tourism, tourism industry.

N. N. Lopatkin, O. N. Makarova, E. A. Ereemeev, G. S. Shiling  
EXPERIENCE OF THE WEEK OF MATHEMATICS  
AND EXACT SCIENCES IN MALAYSIA ..... 121

The promotion of the Russian language, Russian culture, and Russia's scientific and engineering achievements is now more necessary than ever in countries that hold potential for cooperation with Russia in the economic, cultural, and educational spheres, as well as in executing joint scientific and technical projects. This is why the organization of the Mathematics and Exact Sciences Week in Malaysia received support from the Ministry of Education of Russia as part of a project aimed at creating a unified educational space for studying mathematics and exact sciences in Russian in Malaysia. The article describes the events held during the Week in Kuala Lumpur, providing examples of Olympiad tasks and lecture slides. It also notes some similarities and differences in approaches to teaching school mathematics in Russia and Malaysia. The results of a survey conducted among Malaysian teachers regarding

## CONTENTS & ABSTRACTS & KEYWORDS

students' needs for learning the Russian language and their interest in education in Russian are presented. It is highlighted that while there is currently no demand for schools teaching the Russian language in Malaysia, there exists an interest in the Russian language, culture, and education, which can be enhanced through joint projects that should undoubtedly receive government support.

Keywords: school mathematics, exact sciences, unified educational space, mathematical olympiad, Russian language, Russian education, interest in learning, social survey, international cooperation, Malaysia.

V. G. Kurtseva, D. G. Mitroshin

NUTRITIONAL VALUE OF OATMEAL COOKIES  
WITH THE ADDED PLANT RAW MATERIALS OF  
THE ALTAI REGION ..... 141

Confectionery products are an integral part of the diet in modern times. In this paper, the object under consideration is oatmeal cookies made from Altai oat flour with the addition of nightshade fruits and whole grain wheat flour. The development of a unique technology for oatmeal cookies by introducing processed nightshade fruits has a strategic meaning, since it allows to significantly enrich the product with nutritional qualities and give it unique taste and color characteristics.

Keywords: confectionery, nutritional value, oatmeal cookies.



## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объёмом от 3 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объёмом 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 (учёной 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 фамилия автора («Arial», 10 пунктов, прописные); на нечётных 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 (объёмом 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\_sta@mail.ru

Степанова Анна Александровна – тел. 89967044850, e-mail: editor.altgtu@mail.ru



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