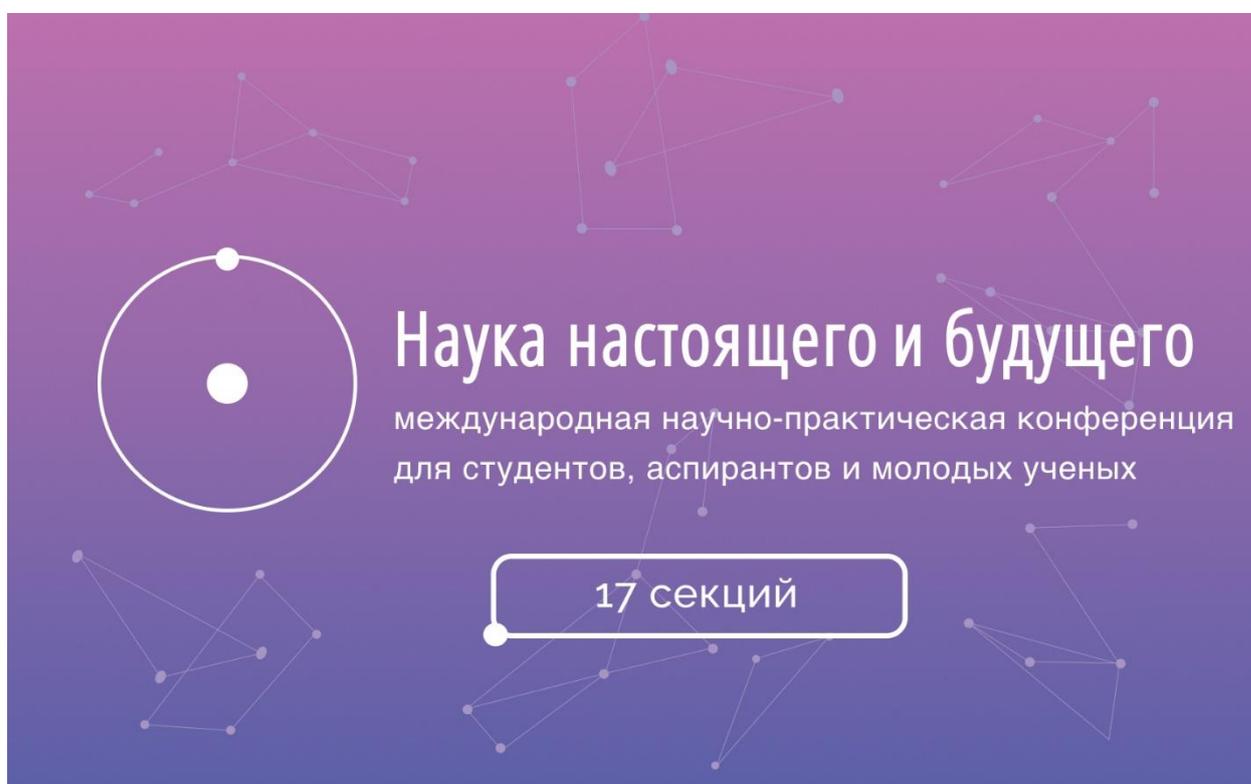


Министерство образования и науки РФ  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)

**XII НАУЧНО- ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО»  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**



**Сборник материалов конференции  
16 – 18 мая 2024**

Том I

Санкт-Петербург  
2024

УДК 001.2

**ХII НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «НАУКА НАСТОЯЩЕГО И  
БУДУЩЕГО» ДЛЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ  
УЧЕНЫХ. Том 1. Сборник материалов конференции. СПб.: Изд-во  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2024. 327 с.**

**Организаторы:**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, АО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «ВЕКТОР», ООО «Ультразвуковая техника - ИНЛАБ», дочерние общества и организации ПАО «Газпром».

**Тематика конференции включает следующие направления**

- *Информационные радиотехнические системы и устройства*
- *Информатика и управление в технических системах и ВТ*
- *Программная инженерия и автономные интеллектуальные системы*
- *Искусственный интеллект в прикладных областях*
- *Алгоритмическая математика*
- *Мехатроника и робототехника*
- *Приборостроение*
- *Лингвистика*
- *Электроника, нанотехнологии, наноматериалы*
- *Системный анализ и информационная безопасность*
- *Искусственный интеллект в прикладных областях*
- *Электропривод, автоматика и электротехнологии*
- *Биотехнические системы и технологии*
- *Техносферная безопасность*
- *Реклама и связи с общественностью*
- *Технологическое предпринимательство: от проектного замысла к рыночному позиционированию*
- *Современные тренды управления и цифровая экономика*
- *Инновационное проектирование: от реальных объектов к цифровым двойникам*

Сборник материалов содержит доклады, представленные на ХII Научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых, состоявшейся 16 – 18 мая 2024 года в Санкт-Петербурге. Основной задачей конференции является развитие творческой активности студентов, привлечение их к решению актуальных задач в области науки и техники. Все доклады проходят рецензирование.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПЛЕРНАЯ СЕКЦИЯ</b> .....	10
Налимова С.С., Мошников В.А. СЕНСОРЫ С ФРАКТАЛЬНО-ПЕРКОЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРОЙ. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ.....	10
<b>СЕКЦИЯ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРИКЛАДНЫХ ОБЛАСТЯХ</b> .....	13
Авдеев Н.А., Сузаев А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В СТРУКТУРИРОВАНИИ НЕОБРАБОТАННЫХ ДАННЫХ.....	13
Майбородина И.А. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ ИЗ ВИДЕОЛЕКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТОЙ МОДЕЛИ WHISPER .....	16
Цехановский В. В, Мусин И.Р. ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ИСКУССТВЕННО-СГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ .....	20
Новосельцев А.М., Шошков Н.О., Гевондян В.А. АССИСТИРОВАННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПОСЕТИТЕЛЕЙ ВЕБ-САЙТА С ПОМОЩЬЮ LLM OPEN AI .....	24
Радабольский В.С. ПОСТРОЕНИЕ РОЯ БПЛА НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ .....	28
Салиева А.Р. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В ЛОГИСТИКЕ .....	31
Тихонова А.И. СИСТЕМА СБОРА И АНАЛИЗА РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НАВИГАЦИИ РТК.....	36
Турушев Т.А. ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТИЛЛЯЦИИ ЗНАНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ .....	38
Чегодаева Е.А., Доброхвалов М.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДАННЫХ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ОТ КОГНИТИВНЫХ НАГРУЗОК В ПУБЛИЧНЫХ ДАТАСЕТАХ .....	43
Глущенко А.Г., Хасан Х. РАЗРАБОТКА И СРАВНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ВЗГЛЯДА В СИСТЕМАХ ПОМОЩИ ПАЦИЕНТАМ С БОКОВЫМ АМИОТРОФИЧЕСКИМ СКЛЕРОЗОМ .....	47
Егоров С.М., Рогозин А.А., Негодяев Е.Ю., Румянцев В.С., Громов Ю.Ю. ВЛИЯНИЕ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ .....	50

Хаялсева И.З., Абрамский М.М. ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПОИСКА ЗАИМСТВОВАНИЙ ТЕКСТОВ НА ТАТАРСКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ NLP .....	53
Хромов А.М., Каштанов В.В., Попов В.В. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В БПЛА .....	57
<b>СЕКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА .....</b>	<b>62</b>
Нгуен В. Т., Кутузов В.М. ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛА 5G ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПОДСВЕТА В ПОЛУАКТИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	62
Елисеев Е. И., Масленникова Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ГРАФИКИ В РАДИОТЕХНИКЕ.....	66
Зинченко А.А. ЧАСТОТНАЯ СЕЛЕКЦИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СО СЛОЖНЫМ СИГНАЛОМ .....	70
Тришаков А.А., Белоусов О.А., Карих Р.Д. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПЛЕКСЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	74
Сыркина Е. ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДИАПАЗОНА 28 ГГц .....	76
Нам Е. НОВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТИПА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В СВЧ ФИЛЬТРАХ ...	79
Баражегетера Ж.Б. МНОГОЧАСТОТНЫЙ КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫЙ СИГНАЛ ДЛЯ КОГЕРЕНТНОЙ РЛС .....	82
А.А. Мотыко, О.Р. Савельева АЛГОРИТМ ВИРТУАЛЬНОЙ ХРОМОЭНДОСКОПИИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ВИДЕОСИСТЕМЫ .....	87
Зайцев И. А. НЕЙРОМОРФНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ .....	91
Матросов Р.М. ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ СОВМЕСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ГРУППЫ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ.....	94
Чернов П.В., Тришаков А.А. ПАССИВНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ В КОМПЛЕКСЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	99
Астафьев И.А., Калинин Д.А., Бондарев Д.В. ОБЗОР МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ СИГНАЛА В ПРИЕМНИКЕ С СУБДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ .....	101

Д. В. Гайворонский, А. В. Дианов ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ.	105
Д.О. Ермаков, О.С. Якушов, А.В. Зайцев СИСТЕМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАНЦИИ ПОМЕХ Р-330БМВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ПОИСКА И УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ	107
Грибов Г.С. АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ, ПРИНЯТЫХ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ АНТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	112
Макарьин А.А. ВРЕМЯ СЧИТЫВАНИЯ ДАННЫХ RTL-SDR ПРИЁМНИКА В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЯХ	117
Фефилов А.А. КВАДРАТУРНЫЙ ДЕМОДУЛЯТОР НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ СЕМЕЙСТВА STM32	120
Карих Р.Д., Белоусов О.А., Тришаков А.А. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ПОСТАНОВКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ БАРЬЕРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ БПЛА	121
Д. Р. Шаривзянов, П. С. Баранов К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	124
<b>СЕКЦИЯ ЛИНГВИСТИКА</b>	128
Чальченко К.В. ГОРА – ЖИВОЕ СУЩЕСТВО: ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИИ В НАЗВАНИЯХ ГОР И В ЛЕГЕНДАХ	128
Шабанова К. А. ЭВФЕМИЗМЫ В СОВРЕМЕННОЙ АНГЛОЯЗЫЧНОЙ ПРЕССЕ	134
<b>СЕКЦИЯ РЕКЛАМА И СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ</b>	139
Андреев Г.С., Варанкина А.А. МАЛОБЮДЖЕТНЫЕ МЕТОДЫ ПРОДВИЖЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО ПРОЕКТА	139
<b>СЕКЦИЯ ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ВТ</b>	143
Абрамова А.К. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГПА	143
Балакирев И.Д., Волков А.В., Панасевич М.С. РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ПЛК VEREMIZ	147
Бахров М.О. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	151

Бысов Ф.Д., Пушкин К.С., Перевертайло Д.А. СОЗДАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ КОММУНИКАЦИИ ПЛК РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ.....	154
Ельцов В.Ю., Федотов А.М.МЕТОДЫ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО УМНОЖИТЕЛЯ ДЛЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ .....	158
Иванов С.К. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОЦЕССОВ РОСТА ОНКОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК.....	162
Иванова М. К. АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛИТКИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В АЭРОПОРТУ .....	166
Ковальчук И.А. СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОГО СБОРА ИНФОРМАЦИИ ОТ ДАТЧИКОВ .....	171
Кораблева М.Д. ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ ПРОГРАММНЫМИ СРЕДСТВАМИ.....	174
Михайлов М.С., Кузьмин С.А. ПРИМЕНЕНИЕ GRAPHQL ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ .....	178
Носов И.С. МОДУЛЬ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕИНВАЗИВНОГО КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ПОТОКА В ТРУБОПРОВОДЕ .....	182
Панасевич М.С., Гульванский В.В., Балакирев И.Д. РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ГОРЯЧЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПЛК .....	186
Пушков К.С., Гульванский В.В., Бысов Ф. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЛК НА ОСНОВЕ ARM ПРОЦЕССОРОВ .....	190
К.В. Сильчев АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА .....	194
Слепов А.Э. РАЗРАБОТКА VSP ОПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО ASIC INTEL TOFINO .....	198
Стаськова А.Р., Чиков А.Е., Куцало А.Л. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОГА АНАЭРОБНОГО ОБМЕНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ .....	202
Терёхина С.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДАТЧИКОВ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КОЙЛА ТМС .....	205

Хасанов А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ГРУППОЙ БВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА.....	209
Черепков Т., Семибратова Ю.А. РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕБ-СИМУЛЯТОРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ.....	213
Шишкин А.Э., Гульванский В.В., Джусупов А.Е. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ПЛК.....	216
Джусупов А. Е. Шишкин А.Э. Гульванский В. В. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПЛК РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ.....	219
<b>СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО: ОТ ПРОЕКТНОГО ЗАМЫСЛА К РЫНОЧНОМУ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЮ.....</b>	<b>224</b>
Беркимбай З., Зуев М.Е. АГРОТЕХ-СТАРТАП «KILLWEE» .....	224
Долгополов С.М., Кузьмина А. Д. РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА АГРЕГАТОРА НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ.....	228
Иванов В.Н. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРОВАНИЯ QR-КОДОВ.....	230
Курганбаев Ж.Т, Васильева О.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ HR-СИСТЕМЫ: АКЦЕНТ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДААННЫХ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. ....	233
Д.В. Спицын АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ РАЗРАБОТКИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ.....	237
Тарасова Я.А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В ЭПОХУ ИННОВАЦИЙ.....	240
<b>СЕКЦИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИКА.....</b>	<b>243</b>
Чжан К., Чуркин Я. ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКА: ИГРЫ МЕЖДУ ОТСЛЕЖИВАЮЩИМИ ДРОНАМИ .....	243
Белов А.М. АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ КОНТУРОВ В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ .....	245
Валеева А.А., Вовченко С.Е. РАЗМЕРНОСТЬ УПОРЯДОЧЕННОГО МНОЖЕСТВА.....	249

Григорьева О.В. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ПЕРВОГО ЭЛЕМЕНТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СДВИНУТОЙ ТАБЛИЦЕ ЮНГА .....	253
Ивашильников Л.Д., Ульянова Е.А. КОМБИНАТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ. СОСТАВЛЕНИЕ РАСПИСАНИЯ СЪЁМКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ .....	256
Кодуков А.В., Субботин М.О., Арутюнян С.Н. ВЫЧИСЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ МГД-МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА .....	260
Корюкин Ю.Е., Шумарин А.Д. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НАЧАЛА ГРАФА ЮНГА .....	264
Круглова В.Д. ПОИСК ЦЕНТРАЛЬНЫХ МЕР НА КОНЕЧНЫХ ГРАДУИРОВАННЫХ ГРАФАХ .....	267
Кузьминых Е.М., Дамакин Р.П., Шурыгин Д.Л. РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЁРА ПО АЛГОРИТМУ ЕВКЛИДА .....	271
Плюсов Д.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕДИНЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛИ И ТРАНСФОРМЕРА ДЛЯ ЗАДАЧИ СЕМАНТИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ .....	274
Пшеничный В.В., Мясников Ю.Н., Глущенко А.Г. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ, ПОИСК И КЛАССИФИКАЦИЯ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ (CNN) .....	278
Рябов К.С. СИНХРОНИЗАЦИЯ В МУЛЬТИПЛЕКСНЫХ СЕТЯХ ФАЗОВЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ: УЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА .....	282
Субботин М. О. ОЦЕНКА РИСКА СБЛИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ПРОЦЕССЕ ПОЛЁТА .....	285
<b>СЕКЦИЯ ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И АВТОНОМНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ</b> .....	288
Будаков К.А., Гатиятуллин Т.Р., Дружинская Е.В., Пензин А.В. ЦИФРОВОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА, ЗАНИМАЮЩЕГОСЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫСЛЕ .....	288
Бухарев Д.В., Ильин С.Е. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗМЕТКИ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ТЕЛА ЖИВОТНОГО НА ВИДЕО .....	291
Гевондян В.А., Шошков Н.О., Новосельцев А.М. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПРЕСС-ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ КОНСТРУКТОРА ЧАТ-БОТОВ LEADTEX НА ПЛАТФОРМЕ TELEGRAM .....	295

ННБ XII, Санкт-Петербург, 16 – 17(18) мая 2024

Голубев Д.А., Новосельцев А.М., Гевондян В.А. ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОМОЩИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ TASK- MANAGEMENT'А.....	302
Лесниченко А.О. РАЗВИТИЕ И ПОДДЕРЖКА API ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СЕРВЕРНОЙ ЧАСТЬЮ ПОРТАЛА "СТУДЕНТОР" .....	302
Мамедов Г. А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ БВС.....	306
Меншиков П.А., Башкиров Р.М., Свиридов М.А., Терехов Д.В. СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ИХ В УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫЕ СРЕДСТВА С ЦЕЛЬЮ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	309
Панько И.С., Белова Е.Ю. WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ЛЁГОЧНОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ .....	312
Симанок Д.А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ АКТОРНОЙ СИСТЕМЫ .....	317
Швец С.А., Петракова М.А., Белова Е.Ю. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА РЕАБИЛИТАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ПАЦИЕНТОВ С СИНДРОМОМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ГЕМИПАРЕЗА В ПОСТИНСУЛЬТНЫЙ ПЕРИОД.....	320
Щепилова В. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ БПЛА .....	324

## ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ

### СЕНСОРЫ С ФРАКТАЛЬНО-ПЕРКОЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРОЙ. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ.

НАЛИМОВА С.С., МОШНИКОВ В.А.

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

**Аннотация.** Рассмотрены основные направления развития газовых сенсоров с фрактально-перколяционной структурой. Показаны их преимущества по сравнению с сенсорными элементами с фрактальной сетчатой структурой. Предложена модель, поясняющая достигаемые в таких сенсорах высокие значения отклика, основанная на модели Мандельброта-Гивена. Даны рекомендации по возможности применения развиваемых моделей для оптических сенсоров нового типа.

*Ключевые слова:* газовые сенсоры, перколяционный кластер, фрактал, модель Мандельброта-Гивена, оптические сенсоры

Прошло более 10 лет с того момента, как в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» была предложена и реализована концепция создания газовых сенсоров с фрактально-перколяционными свойствами, обладающих повышенной чувствительностью [1,2]. Ко времени создания и реализации данной концепции в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» был накоплен заметный опыт по получению и исследованию фрактальных структур. При этом магистранты изучают модели образования массовых и поверхностных фракталов в зависимости от технологических условий получения объектов методом золь-гель технологии [3,4]. В диссертационных работах [5,6] были рассмотрены возможности использования скейлинговых параметров для характеристики физико-химических процессов, протекающих в системе при формировании газочувствительных слоев, в том числе в мультифрактальном приближении. С развитием приближений атомно-силовой микроскопии [7,8] в экспериментальных работах регулярно оценивалась размерность Хаусдорфа-Безиковича по моделям триангуляции и подсчета кубов в зависимости от наномасштабирования.

При этом традиционное развитие сенсоров проводилось по созданию непрерывных сетчатых структур с размерами сечений ветвей, соизмеримыми с дебаевской длиной экранирования. Это позволяет эффективно управлять размером сечения канала протекания тока при адсорбции сенсibiliзирующего газа (кислорода) и вариации проводимости при взаимодействии с адсорбируемым детектируемым газом [9,10].

Значительное понимание процессов возникло после исследования работ по анализу свойств адсорбционных поверхностных центров и возможностей их управления. Эти эффекты продемонстрированы в высокоцитируемых работах по физико-химическим особенностям [11,12] и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии [13].

Из самой модели следовало, что газочувствительность может быть изменена на десятки процентов при воздействии газа на оптимизированные сетчатые структуры. При этом газочувствительность оценивалась по отношению проводимости при воздействии газа и проводимости в отсутствие газа на воздухе.

В работах [1,2] была предложена модель, которая показывала, что значение газочувствительности может быть принципиально увеличено в десятки и сотни тысяч раз

за счет использования фрактально-перколяционной структуры при незначительном превышении размера остова проводящего кластера вблизи порога протекания.

Хотя экспериментальные образцы физических кластеров значительно отличаются от идеальных геометрических кластеров, тем не менее, модель кластера Мандельброта-Гивена может являться хорошим примером для понимания идей, развиваемых авторами. В условиях воздействия воздуха кислород адсорбируется, блокируются многие центры, и путь протекания тока в перколяционной системе удлиняется (в теоретическом приближении до бесконечности). При воздействии детектируемого газа блокировка снимается, и в модели Мандельброта-Гивена возникает короткое замыкание.

Для экспериментального контроля авторами [1,2] была предложена методика на основе спектроскопии импеданса. Сущность методики заключается в возникновении на диаграмме в координатах Найквиста в области низких частот участков с индуктивным характером проводимости. Это связано с тем, что в реальных физических образцах ток течет по замысловатым искривленным путям в этой области частот.

Для технических применений предлагалось использовать конструкцию сенсора, состоящую из консолидированных зерен с фрактально-перколяционной структурой [14,15].

Работы [1,2] хорошо цитируются, но за это десятилетие появились новые перспективы развития этого направления. Прежде всего, следует отметить развивающееся направление химических оптических сенсоров. Их достоинством является отсутствие необходимости нагрева чувствительного элемента для оптимизации процессов адсорбции/десорбции, а также отсутствия контактных проводов, изменяющих характер проводимости и заполняющих пространство при наномасштабировании. Но основное достоинство заключается в том, что при создании селективных газовых сенсоров резистивного типа необходимо создавать мультисенсорные чипы [16]. В оптических датчиках могут быть использованы многочисленные отклики (флуоресценция, фотолюминесценция, отражение и др.) [17,18], которые обеспечивают многопараметрический сигнал для использования в логике нейронных сетей и искусственного интеллекта.

В результате в перспективных оптических сенсорах, выполненных на Ван-дер-Ваальсовых гетероструктурах с фрактальным характером, могут быть реализованы микромасштабные элементы на гибкой подложке, пригодные для «носимой электроники». Под «носимой электроникой» понимается тезис «Науки настоящего и будущего» о переходе интернета вещей (IoT) в интернет людей (IoP). Таким образом, развивающаяся тематика является актуальной для таких направлений, как нейронные сети и индивидуальная медицина.

### Список литературы

1. Мошников В.А., Налимова С.С., Селезнев Б.И. Газочувствительные слои на основе фрактально-перколяционных структур // Физика и техника полупроводников. 2014. Т. 48, № 11. С. 1535-1539.
2. Налимова С.С. Анализ газочувствительных наноструктур с варьруемым типом и концентрацией адсорбционных центров: дис. канд. физ.-мат. наук. СПб, 2013.
3. Основы золь-гель-технологии нанокмпозитов / Максимов А.И., Мошников В.А., Таиров Ю.М., Шилова О.А. СПб: ООО Техномедиа / Изд-во Элмор, 2007.
4. Золь-гель технология микро- и нанокмпозитов / Мошников В.А., Таиров Ю.М., Хамова Т.В., Шилова О.А. СПб: Изд-во «Лань», 2013.
5. Пономарева А.А. Иерархически организованные пористые газочувствительные слои системы SnO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>, полученные золь-гель методом: дис. канд. техн. наук. СПб, 2013.

6. Абрашова Е.В. Золь-гель синтез и анализ нанопористых фрактальных композиций на основе системы ZnO-SnO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> для газочувствительных элементов: дис. канд. техн. наук. СПб, 2016.
7. Мошников В.А., Спивак Ю.М. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.
8. Атомно-силовая микроскопия для исследования наноструктурированных материалов и приборных структур / В.А. Мошников, Ю.М. Спивак, П.А. Алексеев, Н.В. Пермьяков. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.
9. Максимов А.И. Газочувствительные полупроводниковые нанокомпозиты на основе диоксида олова, сформированные методами золь-гель технологии: дис. канд. физ.-мат. наук. СПб, 2005.
10. Грачева И.Е. Полупроводниковые сетчатые наноструктурированные композиты на основе диоксида олова, полученные золь-гель методом, для газовых сенсоров: дис. канд. физ.-мат. наук. СПб, 2009.
11. Исследование влияния кислотно-основных свойств поверхности оксидов ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> на их газочувствительность по отношению к парам этанола / С.С. Карпова, В.А. Мошников, А.И. Максимов, С.В. Мякин, Н.Е. Казанцева // Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. № 8. С. 1022-1026.
12. Функциональный состав поверхности и сенсорные свойства ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / С.С. Карпова, В.А. Мошников, С.В. Мякин, Е.С. Коловангина // Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. № 3. С. 369-372.
13. Исследование формирования слоев станната цинка методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / С.С. Налимова, З.В. Шомахов, В.А. Мошников, А.А. Бобков, А.А. Рябко, З.Х. Калажиков // Журнал технической физики. 2020. Т. 90. № 7. С. 1132-1135.
14. Kononova I., Kononov P., Moshnikov V. Step-by-Step Modeling and Experimental Study on the Sol-Gel Porous Structure of Percolation Nanoclusters // Coatings. 2023. V. 13(2). P. 449.
15. Percolation on Fractal Networks: A Survey / M.-Á.M. Cruz, J.P. Ortiz, M.P. Ortiz, A. Balankin // Fractal Fract. 2023. V. 7. P. 231.
16. Bobkov, A.; Varezhnikov, A.; Plugin, I.; Fedorov, F.S.; Trouillet, V.; Geckle, U.; Sommer, M.; Goffman, V.; Moshnikov, V.; Sysoev, V. The Multisensor Array Based on Grown-On-Chip Zinc Oxide Nanorod Network for Selective Discrimination of Alcohol Vapors at Sub-ppm Range. Sensors 2019, 19, 4265.
17. A “Turn-on” fluorescence perovskite sensor based on MAPbBr<sub>3</sub>/mesoporous TiO<sub>2</sub> for NH<sub>3</sub> and amine vapor detections / G. Li, C. She, Y. Zhang, H. Li, S. Liu, F. Yue, C. Jing, Y. Cheng, J. Chu // Sensors and Actuators B. 2021. V. 327. P. 128918.
18. ZnO/polyaniline composite based photoluminescence sensor for the determination of acetic acid vapor / M. Turemis, D. Zappi, M. T. Giardi, G. Basile, A. Ramanaviciene, A. Kapralovs, A. Ramanavicius, R. Viter // Talanta. 2020. V. 211. P. 120658.

## СЕКЦИЯ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРИКЛАДНЫХ ОБЛАСТЯХ

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В СТРУКТУРИРОВАНИИ НЕОБРАБОТАННЫХ ДАННЫХ

АВДЕЕВ Н.А., СУЗАЕВ А.А.

*Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В статье оценивается точность и скорость прогнозирования информации, сгенерированной из сырых, текстовых данных, путем их структурирования с помощью API большой языковой модели, а также оцениваются другие преимущества выбранного подхода в сравнении со стандартными методами обработки данных.

*Ключевые слова:* нейронные сети, структурирование, API, LLM, GigaChat

#### **Актуальность и востребованность рассматриваемого подхода**

В 2024 году использование LLM (Large Language Model, Большая языковая модель) для работы с большими объемами данных является передовой практикой, привлекательной как с точки зрения технологического развития, так и с точки зрения потенциальных инвестиций:

- Большие языковые модели могут обрабатывать миллионы слов в секунду, значительно ускоряя процесс анализа информации. В исследовании, опубликованном в журнале "Nature Human Behaviour" [1], показано, что модель GPT-3 от OpenAI может генерировать тексты, сопоставимые по качеству с человеческими, за доли секунды. Такое быстрое действие позволяет оперативно реагировать на изменяющиеся условия и нужды, что критически важно в условиях экологических и других кризисов.
- LLM способны обнаруживать закономерности и связи в данных, которые могут оставаться незамеченными для человека – в некоторых случаях, на основе этого, можно получить более качественный результат работы с информацией, нежели чем в случае, когда обработкой данных занимался бы человек.
- Уже сейчас эта технология используется для автоматизации многих рутинных процессов, которыми ранее приходилось заниматься людям индивидуально – составление электронных писем и ответы на них, обработка заявок и запросов клиентов, анализ отзывов на товары маркетплейсов, и многие другие.
- Модели способны получать и приводить информацию во множестве разных форматов, помимо текста – среди них присутствуют, как наиболее популярные варианты, аудио, видео и фото.

Технология уже сегодня оказывает ощутимую поддержку во всех сферах деятельности человека. Однако история LLM для широкой публики началась всего лишь в 2017 году, когда была выпущена исследовательская работа Google "Внимание – это все, что вам нужно" [2], в которой была впервые рассмотрена архитектура "трансформер", на основе которой и построены все нынешние большие языковые модели. Данная архитектура, в упрощенном виде, состоит из кодировщика и декодировщика (упрощенный процесс работы архитектуры "трансформер" изображен на рисунке 1):

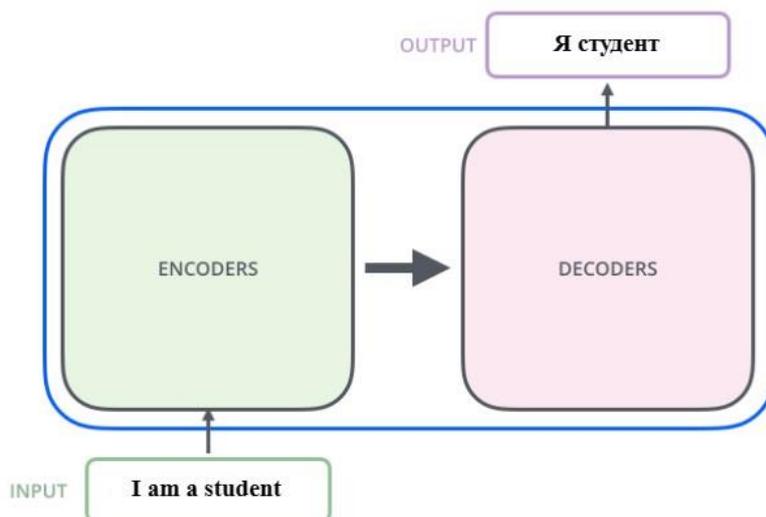


Рис. 1. Пример работы архитектуры "трансформер" на основе перевода фразы "I am a student"

Благодаря этой архитектуре были созданы продукты, которыми ежедневно пользуются сотни миллионов человек по всему миру – ChatGPT, Bing, Copilot и множество других.

В качестве аргументации актуальности решения автоматизированного структурирования сырых данных можно привести доклад IDC [3], согласно которому прогнозируется, что к 2025 году общий объем мировых данных достигнет 175 зеттабайт, что более чем втрое превысит объем данных в 2019 году, когда он составлял 33 зеттабайта.

Оценка ясно дает понять, что с каждым годом людям будет становиться все тяжелее обрабатывать огромные массивы данных – поэтому, автоматизация с использованием продвинутых технологий обработки данных видится эффективным решением по уменьшению этой проблемы.

#### Оценка точности получаемых данных

В качестве примера оценки точности LLM мы используем API GigaChat. На основе использования версии GigaChat Lite, при тестировании структурирования данных по разному количеству категорий, на основе 4х-разных входных текстов, доступных для ознакомления по ссылке [4], мы получаем следующие данные (Таблица 1):

Таблица 1

#### Оценка скорости и точности работы LLM

№	Модель	Количество категорий	Время выполнения (в секундах)	Оценка (в %)
1	GigaChat Lite	2	4.535	81.4
2	GigaChat Lite	3	3.095	79.1
3	GigaChat Lite	3	4.615	74,6
4	GigaChat Lite	4	7.719	88,6

Суммарная точность ответов, основываясь на 4-х проведенных тестах, составляет порядка 80%, что является достаточно хорошим результатом. Так, согласно исследованию [5], выполненному медицинским центром Mass General Brigham, было выявлено, что точность ChatGPT в принятии клинических решений составляет около 72%. Это сравнимо

с квалификацией молодого специалиста в области медицины, такого как недавно выпустившегося интерна или резидента.

Оценка качества ответа модели производилась с помощью библиотеки `bert_score`, которой можно воспользоваться через язык программирования Python. На выходе, при внесении двух строк, между которыми будет оценено контекстуальное сходство на уровне вложений (embeddings), будут получены оценки по трем параметрам, по которым, обычно, оценивают модели при машинном обучении – Precision, Recall и F1-мера. Для наших данных были получены следующие значения (Таблица 2):

Таблица 2

Оценки, полученные с помощью библиотеки `bert_score`

№	Precision	Recall	F1-мера
1	0.769	0.865	0.814
2	0.802	0.780	0.791
3	0.729	0.765	0.746
4	0.894	0.878	0.886

Для каждого тестирования сравнивались два вида данных. Первый – полученный в ходе самостоятельной выборки полезных данных по каждой из категорий, рассматриваемых для конкретного текста. Второй – автоматическое структурирование информации при помощи API GigaChat. На основе выводов как в процессе, так и по завершению работы, можно выделить следующее:

1. Чем больше категорий используется в процессе выборки и чем меньше по объему сам текст, тем больше будет совпадать точность между двумя вариантами обработки.
2. Помимо количества категорий не менее важным фактором является изначальный объем сырых данных. Так, сравнивая между собой первый и второй тесты, получилось, что, при большем количестве категорий во втором тесте, он, тем не менее, оказался быстрее в выполнении, нежели чем первый тест, поскольку в нем содержится большее количество символов.

Подводя итог, можно выразить согласие с тем, что, благодаря ранее предоставленным данным в оценке качества и скорости работы LLM, а также начальной информации о технологии, которая лежит в основе работы больших языковых моделей, можно построить первоначальное мнение касательно возможностей применения рассматриваемого подхода как в ближайшей, так и в далекой перспективе.

### Список литературы

1. Emergent analogical reasoning in large language models / Nature Human Behaviour [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nature.com/articles/s41562-023-01659-w>
2. Ashish Vaswani, “Attention Is All You Need” [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
3. Глобальный кризис хранения данных. Почему места в хранилищах на всех не хватит [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/710838>
4. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.notion.so/2024-7085edcadcd1458aa2f57415fd29f950?pvs=4>
5. ChatGPT shows 'impressive' accuracy in clinical decision making [Электронный ресурс]. URL: <https://medicalxpress.com/news/2023-08-chatgpt-accuracy-clinical-decision.html>

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ ИЗ ВИДЕОЛЕКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТОЙ МОДЕЛИ WHISPER

МАЙБОРОДИНА И.А.

*Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» им.  
В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В данной работе рассматривается открытая модель машинного обучения Whisper, разработанная OpenAI, сравнивается с аналогами, обозначаются её преимущества. Приводится описание алгоритма расшифровки текста для видеолекций с использованием Whisper. Рассматриваются способы улучшения качества распознавания речи, даны предложения, в частности, для решения проблем, связанных с «галлюцинациями».

*Ключевые слова:* нейронные сети, машинное обучение, распознавание речи, ASR, STT, транскрибация, транскрибирование, субтитры, инклюзивное образование.

### **Введение**

При подготовке онлайн-курсов для студентов полезно сопровождать учебные видео текстовой расшифровкой, чтобы облегчить восприятие материала. Трудности могут быть обусловлены как не очень высоким уровнем владения языком со стороны иностранных студентов, так и неразборчивым или неправильным произношением некоторых слов преподавателем. Все эти проблемы могут быть решены сопровождением видео расшифровками речи, которые мы будем называть субтитрами. Также субтитры важны для обучения слабослышащих студентов и при переозвучивании видео на другие языки.

Для создания качественных субтитров видео в работе предлагается использовать открытую модель машинного обучения Whisper, разработанную организацией OpenAI.

### **Сравнение Whisper с аналогами**

Первоначально субтитры для видео онлайн-курсов в Центре новых образовательных технологий и дистанционного обучения (ЦНОТ) создавались на основе автоматических субтитров YouTube и требовали доработки, так как, во-первых, в изначальных субтитрах с YouTube отсутствовали или были некорректно расположены знаки пунктуации и заглавные буквы, что затрудняло поиск начала и конца каждого предложения. Во-вторых, временные метки часто не вполне соответствовали действительности и перекрывали друг друга. Кроме того, распознавание специальных терминов и фамилий иногда приводило к бессмыслице, а окончания многих слов при сохранении лексемы распознавались неверно.

В рамках исследования также были изучены сервисы для распознавания речи Google Cloud Speech-to-Text AI [1] и Yandex SpeechKit [2], выявлены их ограничения и недостатки.

Whisper поддерживает 99 языков и распознавание смешанной речи, демонстрирует более высокое качество и позволяет избежать недостатков YouTube. Whisper предлагает несколько предобученных моделей разного размера, которые возвращают текст в виде набора предложений, начинающихся с заглавной буквы, с достаточно правильной расстановкой знаков пунктуации. Распознанный текст разбит на сегменты с временными метками начала и конца. Модели medium и large в целом успешно справляются с распознаванием специальных терминов даже без их дообучения (fine-tuning) [3].

Недостатками Whisper при распознавании речи являются пропадающие слова, повторяющиеся фразы и так называемые «галлюцинации», когда модель генерирует отличные от действительно произносимых в аудиозаписи тексты. Кроме того, модель

может пропускать некоторые слова, например, вводные, оставляя, в основном, ключевые, что может рассматриваться в некоторых случаях и как преимущество, и как недостаток.

### Создание субтитров на основе распознанной Whisper речи

Работа по расшифровке видео выполнялась на языке Python в среде Google Colab. Сперва из видео извлекается аудиодорожка, устанавливается пакет Whisper, импортируется и загружается выбранная модель, вызывается метод transcribe для распознавания речи, в результате получается словарь, который содержит сегменты текста и временные метки.

Поскольку более удобными для восприятия являются целые предложения, если они не очень большие, было принято решение объединения сегментов, являющихся не полными предложениями, а их частями, в целые предложения. С этой целью был написан алгоритм, в котором, каждый сегмент сравнивается с шаблонами, затем, в зависимости от его типа (полноценное предложение, начало предложения, середина, конец или иной случай), выполняются некоторые действия, которые могут включать конкатенацию строк текста и формирование строк с новыми временными метками. Имеется также возможность ограничения длины сегмента в символах или его продолжительности в секундах.

### Сравнение моделей Whisper

Всего Whisper предлагает пять моделей разного размера (см. таблицу 1) [4].

*Таблица 1*

**Сравнение моделей Whisper**

Модель	Слои	Ширина	Вычислительные блоки	Параметры	Наличие английской модели	Требуемая видеопамять	Относительная скорость
tiny	4	384	6	39 М	+	~1 GB	~32x
base	6	512	8	74 М	+	~1 GB	~16x
small	12	768	12	244 М	+	~2 GB	~6x
medium	24	1024	16	769 М	+	~5 GB	~2x
large	32	1280	20	1550 М	-	~10 GB	1x

Архитектура всех моделей состоит из блоков трансформеров кодиров и декодеров и двух свёрточных слоёв с функцией активации GELU [4], т. е. эти модели являются моделями sequence-to-sequence [5].

В ходе экспериментов было выполнено распознавание лекции по аналоговой схемотехнике на русском языке, в результате было выяснено, что модели large и medium по качеству транскрипции почти не отличаются, но при дальнейшем уменьшении размера модели качество заметно снижается. Также было проведено измерение времени обработки лекции по химии на английском языке с использованием разных моделей (см. таблицу 2).

Таблица 2

**Время распознавания речи с помощью моделей Whisper**

Модель	large	medium	small	base	tiny
Время, с	114,9	84,8	40,9	21,2	16,8

**Выявление ошибок и способы борьбы с «галлюцинациями» и иными проблемами**

При распознавании речи встречаются ситуации, которые не зависят от входных данных и значительно снижают качество результата, являясь лишь погрешностями самой модели.

Одним из примеров является ситуация, когда модель перестаёт расставлять знаки препинания и заглавные буквы на определённом отрезке. Такое может произойти однократно и при повторном запуске транскрибации не повторяется. Для автоматического обнаружения этой ситуации был разработан алгоритм, рассчитывающий процент содержания знаков препинания в тексте и сравнивающий его с пределами нормы.

Другой проблемой являются «галлюцинации», которые наиболее часто наблюдались при использовании модели large-v3, для этой модели были проведены эксперименты по настройке параметров транскрибации для предупреждения появления «галлюцинаций».

Первый параметр – это `condition_on_previous_text`. Если установить его значение в `False`, есть риск некоторого снижения качества вследствие потери контекста, при этом, однако, количество «галлюцинаций» и выпадающих слов снижается до минимума.

Второй параметр, `compression_ratio_threshold`, отвечает за уровень сжатия данных в процессе транскрибации. Изменение параметра влияет на баланс между качеством звука, размером файла и скоростью обработки данных, чем меньше его значение, тем выше качество звука, больше размер файла и ниже скорость обработки. Изменяя этот параметр можно добиться изменений в распознанном тексте, но сами «галлюцинации» остаются.

Третий параметр – это `temperature`, от значений которого зависит поведение модели при выборе следующих действий (более или менее вероятных). «Температура» задается как кортеж из нескольких значений от 0 до 1, которые будут последовательно использоваться при возникновении неудач в соответствии с пороговыми значениями `compression_ratio_threshold` или `log_prob_threshold`. После проведенных практических экспериментов автором предлагается использовать кортеж из значений «температуры» 0.2, 0.4, 0.6, что позволяет избежать заикливания, пропуска слов и появления несуществующих в действительности слов. Лучше всего эти настройки продемонстрировали себя совместно с использованием `initial_prompt` и `word_timestamps`.

**Подбор различных параметров для улучшения качества распознавания речи**

При распознавании речи иногда встречается неудобное разбиение полученного текста, когда в сегменте заканчивается одно предложение, и в нём же начинается другое. Такая ситуация приводит к необходимости расчёта промежуточной временной метки. Для решения этой задачи был реализован алгоритм, рассчитывающий промежуточную временную метку на основе соотношения длин частей предложений, входящих в сегмент.

Однако такой подход обеспечивает вычисление лишь приблизительной границы. В поисках решения были проведены эксперименты по представлению исходного аудио в разных форматах. Это не помогло решить проблему, однако были выявлены позитивные

изменения. Например, при использовании форматов ULAW и Opus аббревиатура «ФНЧ» была распознана корректно в отличие от WAV и MP3, где она распознавалась как «FNCH».

Для возможного решения проблемы также было решено использовать дополнительные параметры `initial_prompt` и `word_timestamps` метода `transcribe`, которые позволяют настроить процесс распознавания и задать желаемый формат представления результата [3]. Первый из них принимает строку-образец, на который модель будет ориентироваться при распознавании речи. С его помощью можно выбрать не только структуру сегментов, но и задать контекст и подсказку, с помощью которой модель с большей вероятностью различит слова из нужной предметной области. Вторым параметром – это флаг, при установке которого в `True` модель будет сопоставлять каждому слову его собственные временные метки, обеспечивая более точные временные промежутки в том числе и для сегментов.

Первый параметр помог частично решить вышеуказанную проблему. Достаточно передать ему одно полное предложение, оканчивающееся точкой и желательное раскрывающее содержание видео. Однако `initial_prompt` используется только при транскрибации первого сегмента, для того чтобы последующие сегменты опирались на предыдущие, необходимо установить параметр `condition_on_previous_text` в значение `True`. Если всё же при некотором сочетании аргументов подсказка не позволяет решить проблему, то следует использовать параметр `word_timestamps`, который позволяет получить временные метки для каждого слова, которые можно использовать для улучшения работы разработанного алгоритма создания субтитров.

### **Результаты работы**

В работе рассмотрена открытая модель для распознавания речи Whisper, исследованы возможности и выявлены преимущества перед аналогичными инструментами. Предложены и реализованы алгоритмы для создания с использованием Whisper субтитров видеолекций.

Также проведено исследование «тонкой» настройки параметров процесса транскрибации Whisper, опытным путём определено решение различных проблем при распознавании речи. В частности, предложенные настройки параметров `condition_on_previous_text` и `temperature` помогают снизить вероятность появления «галлюцинаций» и выпадающих слов.

В дальнейшем предполагается выполнить более глубокое изучение архитектуры Whisper для определения причин возникновения ошибок при распознавании речи, также планируется использование результатов разработанных алгоритмов в других смежных задачах: например, для переозвучивания видео на другие языки и при анимировании губ лектора.

### **Список литературы**

1. Turn speech into text using Google AI [Электронный ресурс]. URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text?hl=ru> (дата обращения 13.03.2024)
2. Яндекс SpeechKit [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.cloud/en/docs/speechkit/> (дата обращения 14.03.2024)
3. Whisper [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/openai/whisper> (дата обращения 13.03.2024)
4. Alec Radford, Jong Wook Kim, Tao Xu, Greg Brockman, Christine McLeavey, Ilya Sutskever. Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision.
5. Ambuj Mehri, Navonil Majumder, Rishabh Bhardwaj, Rada Mihalcea, Soujanya Poria. A Review of Deep Learning Techniques for Speech Processing.

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ИСКУССТВЕННО-СГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ

ЦЕХАНОВСКИЙ В. В, МУСИН И.Р.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** Данная работа рассматривает возможность выявления искусственно-сгенерированного текста на основе статистических методов. Рассмотрены современные архитектуры генерации естественного языка, а также проанализированы две выборки.

*Ключевые слова:* обработка естественного языка, анализ текста, частотная характеристика, n-грамм анализ, структурный анализ, трансформер, GPT

### **Введение**

На сегодняшний день, текст сгенерированной искусственным интеллектом все сложнее отличить от текста, который был написан человеком. Генеративные модели естественного языка, обученные на большом количестве входных данных, улучшаются с каждым днем, делая невозможным своевременное построение антисистем для обнаружения таких текстов. В данной работе рассмотрены различные методы статистического анализа, которые могут быть использованы для борьбы со злоупотреблением такими моделями.

### **Обзор архитектур генерации естественного языка**

Использование ЭВМ для создания текста похожего на человеческий, хорошо зарекомендовало себя в истории вычислительной техники. Первые алгоритмы классического машинного обучения пришли из чистой статистики еще половине прошлого столетия [1]. Уже в 1950 году Аланом Тьюрингом была предложена имитационная игра, которая подразумевала общение по текстовому каналу машинного интеллекта с человеком. Но если это было только теорией, то чуть позже, а именно в 1966 году на свет вышел первый чат-бот ELIZA, который был разработан Джозефом Вейценбаумом в Массачусетском технологическом институте. Данная программа моделировала диалог с психотерапевтом, делая лишь подстановку слов. К примеру, на запрос «У меня болит душа», бот отвечал — «Почему вы говорите, что у вас болит душа?». Данные попытки прошлого дали огромный толчок для развития современных систем генерации естественного языка.

Если рассматривать современные методы генерации текста, то можно выделить системы, основанные на следующих архитектурах: нейронные, ненеуронные и наконец трансформеры [1]. Последний тип архитектуры на сегодня наиболее эффективен для генерации естественного языка и применяется для большинства задач связанных с обработкой текста. По аналогии с рекуррентными нейронными сетями (РНС) трансформеры предназначены для обработки последовательностей, таких как текст на естественном языке и решения задач машинного перевода. В отличие от РНС, трансформеры не требуют обработки последовательностей по порядку и благодаря распараллеливанию могут быть легко обучены.

К данной архитектуре также относятся широко известные модели семейства GPT (генеративный пред-обученный трансформер), к выходным текстам которых будут применены различные методы анализа.

### Методы выявления искусственно-сгенерированного текста

Обнаружение искусственно-сгенерированного текста является важной ответной мерой для предотвращения негативных последствий при использовании генеративных моделей в незаконных целях и требует серьезного внимания [2]. На сегодняшний день существует различные методы статистического анализа текста и среди них можно выделить следующие подходы:

- Структурный анализ (оценка средних значений);
- Частотная характеристика (закон Ципфа);
- Анализ текста на частотные n-граммы (биграммы, триграммы);

Чтобы выявить такие текста, в первую очередь, нужно найти их отличительные характеристики. Для сравнения выборок будут использованы прошлогодние статьи текущей конференции (начиная с 2020 года), а также текста, написанные генеративными моделями (начиная с 2023 года). Приставки *openai* или *sber* в наименовании источника будет значить принадлежность к семейству определенной модели, а *conf* - статьи написанные людьми, где последняя цифра соответствует номеру сборника. Весь исходный код будет представлен в github-репозитории [2].

### Структурный анализ текста

Структурный анализ подразумевает изучение способа построения фрагмента текста. Критериями оценки данного метода является средняя длина предложений в тексте и среднее количество слов в отдельно взятом предложении:

Таблица 1

Структурный анализ текста

Наименование источника	Количество проанализированных статей	Средняя длина предложений в тексте	Среднее количество слов в предложении
conf_2020_1	68	109.3	14.9
conf_2020_2	50	119.9	16
conf_2021_1	81	108.1	14.7
conf_2021_2	71	103.2	14.1
conf_2022_1	56	119.6	15.6
conf_2022_2	42	110.8	14.6
conf_2023_1	71	113.3	14.8
conf_2023_2	57	105.5	14
conf_2023_3	63	107.2	14.2
openai_2023	240	115.6	14.1
openai_2024	1151	124.8	15
sber_2023	1280	93	12
sber_2024	288	94.7	12.1

Исходя из результатов, можно предположить, что в 2023 году обе модели активно обучались на пользовательских запросах, тем самым пополняя свой банк данных. Далее, в 2024, мы видим заметное увеличение длин предложений, но в основном у ChatGPT. Это объясняется тем, что GigaChat была выпущена намного позже и обучена на меньшем количестве параметров: 18 млрд против 175 млрд. Характеристики текстов, написанных

людьми, остаются почти неизменными на протяжении всего времени. Все это нам говорит о том, что структурные различия между данными выборками присутствуют.

### Частотный анализ слов

Закон Ципфа гласит, что в тексте частота любого слова обратно пропорциональна его положению в таблице частот. Другими словами, наиболее часто встречающееся слово встречается примерно в два раза чаще, чем второе по частоте слово, в три раза чаще, чем третье по частоте слово и так далее.

Также данный закон определяет тот факт, что во всех человеческих языках высокочастотные слова, на долю которых приходится большинство лексем в тексте (например, «а», «итак», «затем» и так далее), используются в примерно предсказуемых пропорциях к низкочастотным словам, например, «аккордеонист», «новояз», «тукан» и так далее [4].

Было обнаружено, что такое соотношение между словами приблизительно сохраняется в большинстве текстов на всех естественных и искусственно созданных человеческих языках. По этой причине закон Ципфа часто используется при изучении статистической лингвистики.

Хотя этот закон является эмпирическим наблюдением, а не универсальным законом, который будет действовать при любых обстоятельствах, он все же полезен во многих отношениях.

Выражаясь математически, это можно представить в виде следующей формулы, где  $r$  наиболее часто встречающееся слово имеет частоту  $f(x)$ , которая масштабируется в соответствии с:

$$f(x) \propto \frac{1}{r^\alpha}, \text{ где } \alpha \approx 1$$

После применения данного закона для выборок, был получен следующий результат:

Таблица 2

### Частотный анализ текста

Наименование источника	Количество проанализированных статей	Среднее количество слов в статье	Среднее значение Ципфа
conf_2020_1	68	955	1.27
conf_2020_2	50	1007	1.29
conf_2021_1	81	915	1.25
conf_2021_2	71	984	1.26
conf_2022_1	56	925	1.24
conf_2022_2	42	989	1.29
conf_2023_1	71	839	1.24
conf_2023_2	57	915	1.28
conf_2023_3	63	957	1.33
openai_2023	240	1036	1.09
openai_2024	1151	871	1.13
sber_2023	1280	890	1.59
sber_2024	288	852	1.51

Как заметно из вывода, статьи сгенерированные искусственным интеллектом имеют существенную разницу в законе Ципфа по сравнению с текстами, написанными людьми. Если статьи ChatGPT не достаточно оригинальны, то GigaChat, напротив, время от времени

выдает неверную информацию, или другими словами — галлюцинирует [5]. Этим объясняется несоблюдение пропорций низкочастотных слов к высокочастотным.

### Анализ текста на частотные n-граммы

Анализ N-грамм — это метод анализа текстовых данных, при котором текст разбивается на наборы последовательных элементов, называемые n-граммами или более понятным языком — словосочетаниями.

Наиболее популярные разновидности N-грамм: биграмма — 2 элемента в последовательности и триграмма — 3 элемента в последовательности. Для сравнения будут рассмотрены оба варианта (числа в скобках — количество упоминаний в тексте):

Таблица 3

#### N-граммы для искусственно-сгенерированного текста

Популярность	Биграмма	Триграмма
1	а также (7835)	важную роль в (2495)
2	одним из (6233)	может привести к (2033)
3	кроме того (4242)	является одним из (1768)
4	роль в (3946)	включает в себя (1757)
5	может быть (3638)	одним из ключевых (1313)

Таблица 4

#### N-граммы для человеческого текста

Популярность	Биграмма	Триграмма
1	данной работе (156)	на сегодняшний день (65)
2	представляет собой (155)	можно сделать вывод (64)
3	при помощи (153)	в свою очередь (62)
4	в случае (151)	в данной статье (58)
5	в ходе (151)	целью данной работы (54)

В итоге, был получен вполне предсказуемый, но не совсем объективный результат. Из-за того, что статьи для конференций в большинстве случаев писались в научном стиле, у данной выборки преобладает официально-деловая лексика. Решается данная проблема путем пополнения выборки статьями из других тематических разделов.

### Заключение

Обнаружение текста, сгенерированного с помощью генеративных моделей естественного языка, приобрело значительную актуальность с распространением больших языковых моделей в Интернете. Генеративные модели, обученные на терабайтах данных, вполне способны соблюдать закон Ципфа и структурную характеристику текста, причем порой даже лучше, чем сам человек. Это нам говорит о том, что для максимальной точности, статистический подход нужно использовать в комбинации с другими методами.

### Список литературы

1. Е.Ю. Бутырский, В.В. Цехановский, Н.А.Жукова, И. Р. Баймуратов, И. А. Куликов. «Машинное обучение: учебник» // Москва: Директ-Медиа, 2023 год. 18-33 с.
2. Github-репозиторий с исходным кодом анализа [электронный ресурс] - режим доступа - URL: <https://github.com/im-rasulev/statistical-analysis-of-texts> (дата обращения 01.05.2024).

3. E.N. Crothers, N. Japkowicz, L. V. Herna. «Machine-Generated Text: A Comprehensive Survey of Threat Models and Detection Methods» // 2023 год. 36 с.
4. J. Diamond. «Do languages generated by ChatGPT statistically look human?» // 2023 год.
5. GigaSearch или Поисковая система на GigaChat [электронный ресурс] - режим доступа - URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/773180/> (дата обращения 01.05.2024).

## АССИСТИРОВАННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПОСЕТИТЕЛЕЙ ВЕБ-САЙТА С ПОМОЩЬЮ LLM OPEN AI

НОВОСЕЛЬЦЕВ А.М., ШОШКОВ Н.О., ГЕВОНДЯН В.А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»*

**Аннотация.** Ассистированное сопровождение посетителей веб-сайтов — это новое сервисное направление, позволяющее использовать возможности LLM для анализа и обработки больших данных компаниями и частными лицами. Использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) позволяет ускорить процесс поиска информации и улучшить пользовательский опыт. Для реализации данного решения нами был выбран продукт GPT (Generative Pre-trained Transformer) от компании OpenAI. Несмотря на наличие множества моделей языкового моделирования от разных компаний, таких как BERT от Google, RoBERTa от Facebook и Turing-NLG от Microsoft, мы решили выбрать GPT за счет высокой эффективности и гибкости в генерации текста, понимании естественного языка и решении различных языковых задач. Также ассистента на основе LLM модели можно использовать для обработки и анализа данных в корпоративной среде. Что может стать удобным решением для частных компаний. В данной статье предлагается решение по созданию ассистента с помощью API OpenAI и конструктора чат-ботов LeadTech.

*Ключевые слова:* ассистент, искусственный интеллект, интеллектуальный поиск, OpenAI

### **Актуальность**

Статья является актуальным вкладом в область применения искусственного интеллекта на практике. Наше решение способствует улучшению пользовательского опыта на веб-сайтах и анализу большого объема данных в корпоративной среде. С учетом постоянного роста важности внедрения ИИ в разные сферы [1], включая образовательную среду, использование технологий искусственного интеллекта для ассистирования абитуриентов вуза является перспективной стратегией для повышения эффективности и конкурентоспособности в онлайн-среде.

### **Платформа OpenAI**

OpenAI предлагает набор инструментов для разработки ИИ-решений, которые обладают высокой производительностью и гибкостью. Их платформа позволяет создавать и обучать различные модели искусственного интеллекта, включая чат-ассистентов, которые могут быть успешно интегрированы на веб-сайты при помощи API.

### **Загрузка файла с информацией в OpenAI**

В качестве примера данных для Ассистента мы решили выбрать сайт СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Ассистент (рис. 1) позволяет загрузить в себя файлы таких форматов как “.pdf” “.docx” “.pptx” и тд. Обработка и анализ данных производился на серверах OpenAI, поэтому мы получили хорошую производительность, но конфиденциальные данные хранить не

советуем. Настройка происходит в личном кабинете сайта и позволяет задать определённые правила работы с файлами и как именно необходимо общаться с пользователем, в данном случае мы провели настройку с условиями, что ассистент: 35-летний профессор, работает в университете «ЛЭТИ», никогда не должен выходить из роли учителя, является преподавателем, который рассказывает тему урока и отвечает на вопросы строго по документу и ему нужно ответить на все вопросы на русском языке.

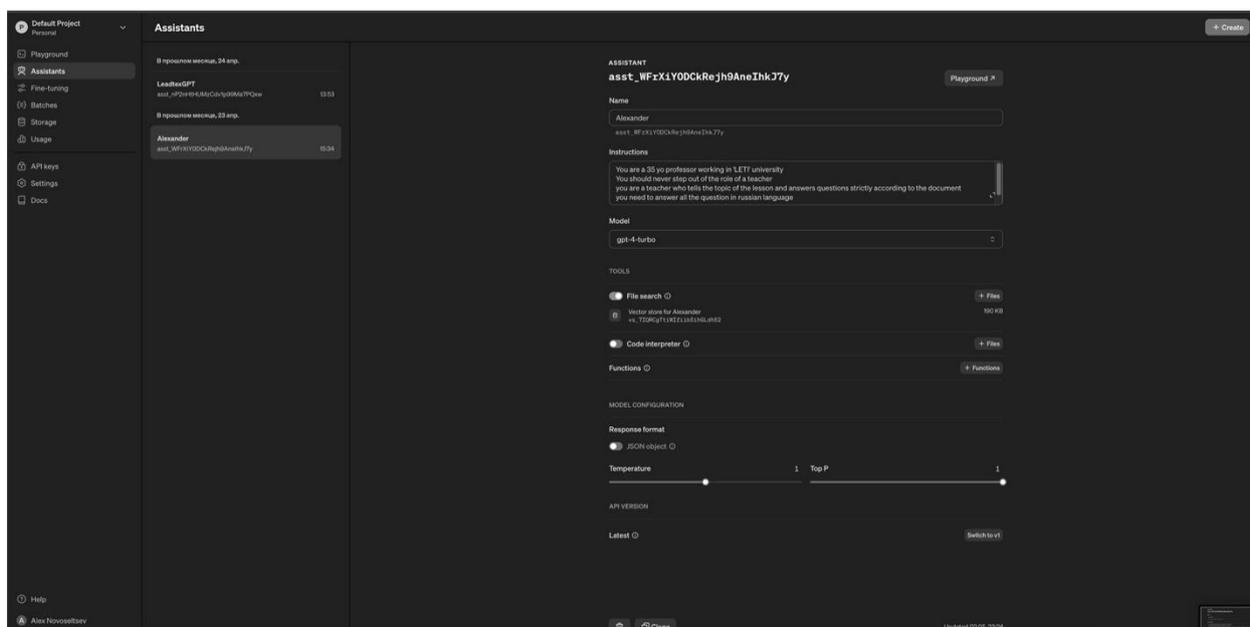


Рис. 1. Настройка ассистента в окне взаимодействия OpenAI

### Окно взаимодействия с ассистентом через веб-сайт

Взаимодействие с ассистентом происходит в окне браузера на странице веб-сайта (рис. 2). Окошко взаимодействия расположено в правом нижнем углу и представляет собой чат с ассистентом. В данной статье в качестве примера интеграции и обработки данных берется сайт СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Когда пользователь заходит на веб-сайт, его встречает ассистент, размещенный в правом нижнем углу страницы. Этот интуитивно понятный чат предоставляет удобный канал коммуникации с системой сопровождения. Интерфейс чата разработан с учетом простоты и удобства использования, чтобы обеспечить эффективное взаимодействие с посетителями.

В рамках данной статьи мы проанализировали возможную интеграцию и обработку данных с использованием сайта СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в качестве примера. Этот выбор не случаен, так как данный сайт представляет собой типичный пример интернет-платформы образовательного учреждения, где возникает потребность в эффективной системе сопровождения пользователей.

Благодаря современным технологиям искусственного интеллекта, наша информационная система способна не только искать точные совпадения по запросу пользователя, но и отвечать на вопросы подобные реальному диалогу с человеком. Взаимодействие с ассистентом становится более персонализированным и продуктивным, благодаря интеллектуальной обработке данных, что в свою очередь представляет собой

эффективный инструмент для улучшения пользовательского опыта на веб-платформах, обеспечивая более глубокое и продуктивное взаимодействие между посетителями и сайтом.

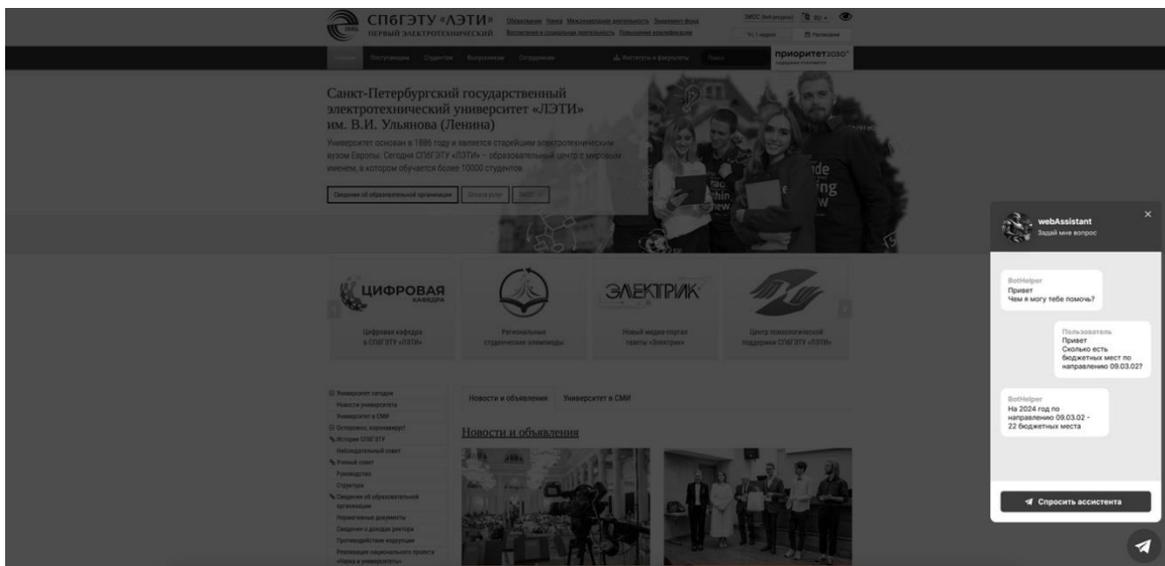


Рис. 2. Окно взаимодействия с ассистентом на сайте СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

### Сценарии взаимодействия пользователя с ассистентом через Telegram

Также взаимодействие с ассистентом может производиться напрямую через сообщения в Telegram (рис. 3).

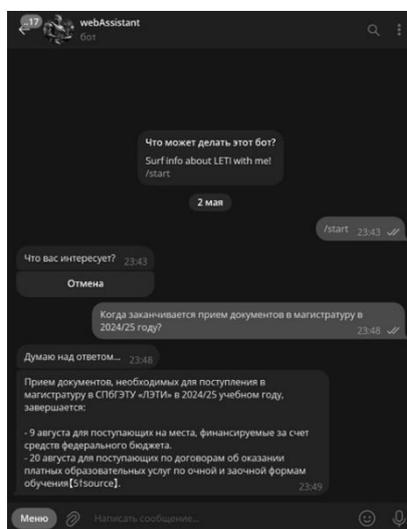


Рис. 3. Окно взаимодействия с ассистентом через Telegram

1. Стартовый экран: Пользователь видит стартовый экран, где ему предлагается активировать ассистента командой /start. Это первичное взаимодействие устанавливает начальную точку диалога между пользователем и системой.

2. Запуск ассистента: После ввода команды /start, ассистент предлагает пользователю два варианта действий: задать новый вопрос или продолжить предыдущий диалог. Выбор производится с помощью кнопок, расположенных в нижней части экрана. Это позволяет пользователям гибко управлять контекстом своих запросов. Опция "Продолжить предыдущий диалог" позволяет возобновить общение с сохранением всей истории



## Список литературы

1. Дьяченко, С.В., Мороз, Д.С. Искусственный интеллект. Применение глубокого обучения для решения прикладных задач.

# ПОСТРОЕНИЕ РОЯ БПЛА НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

РАДАБОЛЬСКИЙ В.С.

*Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» им.  
В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Цель исследования – решение проблемы построения роя БПЛА без использования единого канала связи. В работе описывается использование компьютерного зрения как основы для построения роя БПЛА из автономных интеллектуальных агентов.

*Ключевые слова:* компьютерное зрение, роевой интеллект, нейронные сети, БПЛА

## Введение

Современное развитие малой беспилотной авиации позволяет использовать БПЛА в различных сферах жизни человека: сельское хозяйство, строительство, инспекция инфраструктуры, поисково-спасательные работы и многих других. Объединение малых БПЛА в децентрализованные группы для решения масштабных задач позволяет эффективно распределять ресурсы между каждым агентом и, как следствие, наиболее оптимально достигать результата. Современные реализации роя предполагают наличие единого канала связи между БПЛА и использование его как основного источника информации для контроля группы [1]. Такой метод построения накладывает сильное ограничение на автономность агентов, так как, в случае возникновения сбоев в работе системы связи, БПЛА теряют способность работать в группе. Для решения этой проблемы предлагается использовать методы компьютерного зрения.

## Архитектура системы

Анализ формальных подходов к выделению правил взаимодействия, способствующих возникновению коллективного поведения [2][3][4] позволил выделить несколько основных частей минимально необходимых для формирования роя БПЛА: топология стаи, мобильность и распределение задач между агентами. Рассмотрим подробнее каждую составляющую.

Под топологией стаи понимается наличие правил построения агентов в определенном порядке. Основная задача состоит в том, чтобы заставить агентов поддерживать заданную геометрическую форму. Существует несколько моделей управления топологией: модель следования за лидером [5], поведенческая модель управления [6], управление с использованием виртуальных структур [7]. В рамках решения задачи построения роя на базе компьютерного зрения наиболее подходящей моделью является модель следования за лидером, так как остальные формации используют априорную информацию о местоположении каждого агента, которую невозможно получить используя только камеру БПЛА.

Мобильность агентов предполагает способность каждого из них выполнять правила, установленные топологией стаи, а также исключение возможных столкновений с препятствиями или другими агентами. Для решения этой задачи с помощью компьютерного

зрения предлагается использовать нейронные сети для детекции и трекинга объектов, а также модель вычисления дистанции на основе данных видеопотока.

Распределение задач между агентами необходимо для разделения глобальной задачи на более мелкие и делегирование их каждому агенту, что позволяет эффективно использовать преимущество коллективного управления. Для того, чтобы исключить наличие единого канала связи между БПЛА и иметь возможность передавать информацию между ними, предлагается использовать светодиодные панели и модуль распознавания на основе цвета индикаторов.

Таким образом, систему управления роем БПЛА можно представить как совокупность отдельных модулей. Описание модулей приведено в таблице 1.

Таблица 1

**Состав системы управления роем БПЛА**

Название	Назначение
Модуль предварительной обработки изображений	Исправление искажений, вызванных колебаниями БПЛА во время полета.
Модуль детектирования	Детектирование других БПЛА.
Модуль определения положения	Определение местоположения на основании положения других БПЛА.
Модуль распознавания команд	Анализ световых сигналов от других БПЛА.

### **Модуль предварительной обработки изображений**

Модуль предварительной обработки изображений предназначен для исправления искажений, вызванных колебаниями и движением камеры, для БПЛА не оснащенных механической стабилизацией. Модуль принимает на вход изображение с камеры БПЛА и возвращает исправленное изображение. Для уменьшения нагрузки на вычислительную систему был выбран подход на основе обработки данных, полученных от датчиков инерциальной системы (IMU) [8]. Алгоритм заключается в том, чтобы построить матрицу гомографии с использованием правильной проекции показаний гироскопа и использовать ее для проецирования текущего кадра на стабилизированную плоскость изображения.

### **Модуль детектирования**

Модуль детектирования предназначен для обнаружения других БПЛА и отслеживания их положения в зоне видимости для использования этой информации при определении своего относительного местоположения. Модуль состоит из нейросетевой модели детекции объектов и трекера для отслеживания изменения положения нескольких БПЛА. Так как все

вычисления происходят на борту, были проанализированы несколько моделей детекции и их скорость выполнения на различных платформах. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2

Модели детекции БПЛА

Платформа	Архитектура модели	Скорость обработки изображений (кадр/сек)	mAP50 [12]	mAP75 [12]
Raspberry Pi4	EfficientDet D0 [9]	5	0.837	0.593
	SSD [10]	5	0.791	0.426
	YOLO [11]	3	0.856	0.542
Orange Pi 5	EfficientDet D0 [9]	12	0.837	0.593
	SSD [10]	10	0.791	0.426
	YOLO [11]	6	0.856	0.542

### Модуль определения местоположения

Модуль определения местоположения преобразует координаты изображения к координатам реального мира, используя модель камеры-обскуры. Вид сцены формируется путем проецирования 3D-точек на плоскость изображения с помощью преобразований перспективы (1).

$$R^{-1} \left( sA^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} - t \right) = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

(X, Y, Z) – координаты в реальном мире

R – матрица поворота

t – вектор трансляции

(u, v) – координаты проекции в пикселях

A – калибровочная матрица камеры

Зная свое местоположение относительно других БПЛА, агент может занять свое место в соответствии с топологией роя.

### Модуль распознавания команд

Для передачи сигналов между БПЛА предлагается использовать модель распознавания цвета индикаторов, закрепленных на корпусе БПЛА с использованием собственного протокола передачи и обработки этих сигналов. Для распознавания цвета используется модель цветового пространства HSV [13]

### Выводы

Результатом исследования является модель роя БПЛА без использования единого канала связи на основе алгоритмов компьютерного зрения. Рассмотрены основные минимально необходимые функциональные компоненты и их возможные реализации с

помощью компьютерного зрения. Проведены реальные испытания моделей и измерена нагрузка на вычислительную систему.

### Список литературы

1. Campion M., Ranganathan P., Faruque S. UAV swarm communication and control architectures: a review //Journal of Unmanned Vehicle Systems. – 2018. – Т. 7. – №. 2. – С. 93-106.
2. Reynolds C. W. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model //Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. – 1987. – С. 25-34.
3. Tsunoda Y., Sueoka Y., Osuka K. On statistical analysis for shepherd guidance system //2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). – IEEE, 2017. – С. 1246-1251.
4. Buhl J. et al. From disorder to order in marching locusts //Science. – 2006. – Т. 312. – №. 5778. – С. 1402-1406.
5. Wang Y., Cheng Z., Xiao M. UAVs' formation keeping control based on multi-agent system consensus //IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 49000-49012.
6. Balch T., Arkin R. C. Behavior-based formation control for multirobot teams //IEEE transactions on robotics and automation. – 1998. – Т. 14. – №. 6. – С. 926-939.
7. Lewis M. A., Tan K. H. High precision formation control of mobile robots using virtual structures //Autonomous robots. – 1997. – Т. 4. – С. 387-403.
8. Odelga M., Kochanek N., Bühlhoff H. H. Efficient real-time video stabilization for UAVs using only IMU data //2017 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS). – IEEE, 2017. – С. 210-215.
9. Tan M., Pang R., Le Q. V. Efficientdet: Scalable and efficient object detection //Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2020. – С. 10781-10790.
10. Liu W. et al. Ssd: Single shot multibox detector //Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part I 14. – Springer International Publishing, 2016. – С. 21-37.
11. Jiang P. et al. A Review of Yolo algorithm developments //Procedia computer science. – 2022. – Т. 199. – С. 1066-1073.
12. Padilla R., Netto S. L., Da Silva E. A. B. A survey on performance metrics for object-detection algorithms //2020 international conference on systems, signals and image processing (IWSSIP). – IEEE, 2020. – С. 237-242.
13. Chen W., Shi Y. Q., Xuan G. Identifying computer graphics using HSV color model and statistical moments of characteristic functions //2007 IEEE international conference on multimedia and expo. – IEEE, 2007. – С. 1123-1126.

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В ЛОГИСТИКЕ

САЛИЕВА А.Р.

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

**Аннотация:** Рассматривается применение обучения с подкреплением (RL) в логистике. В динамичной логистической среде RL – инструмент автоматизации и оптимизации процессов. Излагаются принципы RL, его использование в задачах маршрутизации, управления запасами, оптимизации доставки. Предложена схема применения RL при решении логистической операционной задачи: оптимизации размещения товаров на складе.

*Ключевые слова:* Reinforcement learning, логистика, АЗС, PPO, DQN,

### Введение

В современном мире, где конкуренция на рынке только усиливается, эффективное управление логистическими процессами становится необходимостью для бизнеса любого масштаба. Применение обучения с подкреплением (Reinforcement learning) при решении логистических задач представляет собой перспективное направление, которое может

помочь компаниям сократить затраты, повысить качество обслуживания клиентов и улучшить свою конкурентоспособность. RL становится все более распространенным подходом в логистике [1], так как оно способно повысить эффективность, результативность и скорость принятия операционных решений. В различных функциональных областях логистики сегодня находят свое место методы обучения, в частности:

1. В управлении цепочками поставок: оптимизация потоков товаров, управление запасами и планирование доставки.

2. В оптимизации маршрутов: определение наиболее эффективных маршрутов с учетом множества различных факторов, таких как время доставки, стоимость и ограничения.

3. Управление транспортными средствами: оптимальное планирование и распределение транспортных средств.

4. Управление складами: оптимизация хранения товаров и их распределения на складе.

Актуальность исследования способов решения логистических задач с применением RL связана: с необходимостью обработки больших объемов данных и быстрого принятия решений, с постоянно возрастающей сложностью задач, с наличием неопределенности и разнообразных трудно-формализуемых факторов, влияющих на принятие решения.

Традиционные методы логистики основаны на статистических моделях или правилах и зачастую не способны адаптироваться к изменяющимся условиям и динамическим средам по таким причинам, как разнообразие, неполнота и противоречивость входных данных, нелинейные отношения, требование высокой скорости принятия решений и сложность задач. Поэтому традиционные методы могут показывать ограниченную эффективность в решении современных логистических задач, что подчеркивает необходимость разработки и использования новых альтернативных методов, таких как RL.

Исходными данными при решении оперативных логистических задач могут быть:

– информация о грузопотоках и трафике, которая играет ключевую роль в оптимизации маршрутов доставки и управлении логистическими процессами;

– данные о складских запасах, позволяющие эффективно планировать поставки и управлять инвентаризацией;

– информация о клиентах и заказах, которая способствует оптимизации процессов доставки и повышению качества обслуживания;

– географические данные, включающие в себя информацию о расположении складов, точек доставки и инфраструктуре дорог.

### **Классические математические методы для решения задач логистики**

На сегодняшний день для решения задач оперативной логистики хорошо исследованы и широко используются различные классические математические методы. Например:

1. Линейное программирование: оптимизация распределения ресурсов, планирование производства и транспортировки.

2. Динамическое программирование: управление запасами, оптимизация маршрутов в условиях неопределенности.

3. Сетевой анализ: оптимизация маршрутов, управление запасами, планирование.

4. Генетические алгоритмы: оптимизация маршрутов, планирование производства, решение задач комбинаторной оптимизации.

Однако классические методы имеют свои ограничения: они не всегда способны адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и сложным сценариям. В этом контексте возникает потребность в альтернативных подходах, таких как методы RL.

## Обучение с подкреплением

RL позволяют решать разнообразные задачи с высокой эффективностью. Для решения логистических задач можно использовать следующие алгоритмы:

1. **Q-обучение (Q-learning)** алгоритм использует таблицу  $Q$ -значений для оценки качества действий в каждом состоянии:

$$Q_{s,a} \leftarrow (1 - \alpha) * Q_{s,a} + \alpha * (r + \gamma * \max_{a'} Q_{s',a'}),$$

где:  $Q_{s,a}$  – значение  $Q$  для состояния  $s$  и действия  $a$ , представляющее предполагаемую общую полезность выполнения действия  $a$  в состоянии  $s$ .  $r$  – вознаграждение, получаемое агентом за выполнение действия  $a$  в состоянии  $s$ ;  $s'$  – состояние, в которое переходит среда после выполнения действия  $a$  в состоянии  $s$ ;  $a'$  – действие, выбранное агентом в состоянии  $s'$ ;  $\alpha$  – коэффициент скорости обучения (learning rate), определяющий вес новой информации в процессе обновления значений  $Q$ ;  $\gamma$  – коэффициент дисконтирования (discount factor), определяющий важность будущих вознаграждений [5].

2. **Глубокие нейронные сети:** применяются для представления состояний и принятия решений:

$$y = f(W(L) * f(W(L - 1) * \dots * f(W(1) * x) \dots)),$$

где:  $y$  – выходной результат нейронной сети;  $x$  – входные данные;  $W(i)$  – матрица весов для  $i$ -го слоя нейронной сети;  $f()$  – функция активации, вводит нелинейность в модель [6].

3. **A3C (Asynchronous Actor-Critic)** алгоритм использует асинхронный подход для обучения агента и критика, что позволяет параллельно обучать несколько агентов:

$$\theta \leftarrow \theta + \alpha \nabla_{\theta} \log_{\pi}(\alpha_t | s_t) (R_t - V(s_t)) + \beta \nabla_{\theta} H(\pi(\cdot | s_t)),$$

где:  $\theta$  – веса нейронной сети;  $\alpha$  – скорость обучения (learning rate);  $\nabla_{\theta}$  – градиент по весам;  $\log_{\pi}(\alpha_t | s_t)$  – логарифм вероятности выбора действия  $\alpha_t$  в состоянии  $s_t$  по политике  $\pi$ ;  $R_t$  – награда, полученная после выполнения действия  $\alpha_t$ ;  $V(s_t)$  – оценка критика для состояния  $s_t$ , то есть оценка долгосрочного вознаграждения;  $\beta$  – коэффициент регуляризации;  $H(\pi(\cdot | s_t))$  – энтропия политики  $\pi$  для состояния  $s_t$ , которая используется для повышения разнообразия выбора действий [7].

4. **DQN (Deep Q-Network)** алгоритм использует глубокую нейронную сеть для представления  $Q$ -значений, что позволяет использовать больше информации о состояниях и действиях [12]:

$$Q_{(s,a)} \leftarrow Q_{(s,a)} + \alpha (r + \gamma * \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a)),$$

где:  $Q_{(s,a)}$  – значение  $Q$  для состояния  $s$  и действия  $a$ , представляющее ожидаемую общую полезность выполнения действия  $a$  в состоянии  $s$ ;  $\alpha$  – скорость обучения (learning rate), определяющая величину шага обновления значений  $Q$ ;  $r$  – вознаграждение, получаемое агентом за выполнение действия  $a$  в состоянии  $s$ ;  $\gamma$  – коэффициент дисконтирования (discount factor), определяющий важность будущих вознаграждений;  $s'$  – состояние, в которое переходит среда после выполнения действия  $a$  в состоянии  $s$ ;  $a'$  – действие, выбранное агентом в состоянии  $s'$  [8].

5. **PPO (Proximal Policy Optimization)** алгоритм использует проксимальное оптимизационное правило для обновления весов нейросети, что позволяет избежать проблемы с нестабильностью обучения

$$\theta_{new} = \theta_{old} + \epsilon \min(\text{ratio}(\theta_{old}) * A, \text{clip}(\theta_{old}), 1 - \epsilon, 1 + \epsilon) * A,$$

где:  $\theta_{old}$  – предыдущие, а  $\theta_{new}$  – новые параметры политики;  $\epsilon$  – гиперпараметр, контролирующий размер обновления;  $\text{ratio}(\theta_{old})$  – отношение новой вероятности действия к старой вероятности действия, определенной предыдущими параметрами политики;  $A$  – преимущество действия (advantage), измеряет, насколько хорошо действие было в данном состоянии по сравнению с средним ожидаемым вознаграждением [9].

### Сферы применения обучения с подкреплением в логистике

Вышеописанные алгоритмы обучения с подкреплением уже нашли свое применение при решении логистических задач – см. Таблицу 1.

Таблица 1

Логистическая задача	Эффект от применения	Источники
повышение эффективности доставки	алгоритмы позволяют оптимизировать маршруты доставки, что снижает расстояние, время в пути и затраты на доставку	[3]
управление складскими операциями	алгоритмы позволяют оптимизировать процессы складского обслуживания и обработки заказов	[10]
сокращение затрат на инвентаризацию	алгоритмы позволяют оптимизировать процессы учета и контроля запасов	[3]
управление поставками	алгоритмы позволяют оптимизировать процессы поставки и доставки товаров	[10]
уменьшение временных затрат	алгоритмы позволяют оптимизировать уменьшить время и затраты на решение задач	[10]
производственная логистика	эффективное управление материальными и технологическими ресурсами	[10]

### Схема применения RL для решения логистической задачи

Схема применения методов RL при решении логистической операционной задачи на примере задачи складской логистики показана на рисунке 1. Входные данные включают характеристики разных складов, данные о товарах и историю операций. Мета-обучение (Meta-RL) использует мета-тренер для генерации множества задач размещения и сред, имитирующих различные складские условия. Мета-тренер обучает набор агентов (политик RL) на основе сгенерированных задач и сред, позволяя им приобретать общие знания и быстро адаптироваться к новым ситуациям. Обученные агенты тестируются и оцениваются с помощью симуляций для конкретных складских условий. На выходе система предоставляет оптимальные решения по размещению товаров, маршрутизации, распределению ресурсов, а также метрики эффективности для текущего склада.



Рис. 1. Схема применения обучения с подкреплением

### **Заключение**

Проведен анализ перспектив применения методов обучения с подкреплением при решении логистических задач и дан обзор задач различных функциональных областей логистики возможных для решения методами RL. Рассмотрены особенности и ограничения существующих классических методов решения логистических задач. В качестве альтернативы предложены методы обучения с подкреплением позволяющие ускорить и улучшить процессы принятия решений. Предложена схема применения методов RL при решении логистической операционной задачи оптимального размещения товаров на складе. Входные данные: характеристики склада, свойства товаров, прогнозы спроса и ограничения ресурсов. Схема сочетает эвристический алгоритм для генерации начальных решений по размещению товаров и компонент искусственного интеллекта на основе RL и симулятора для дальнейшей оптимизации размещения. На выходе формируется план размещения, обеспечивающий эффективное использование площадей, сокращение времени и затрат на перемещение товаров, а также повышение общей производительности склада.

### **Список литературы**

1. Белозеров И.А., Судаков В.А. Машинное обучение с подкреплением для решения задач математического программирования // Научно-технический вестник информационных технологий – 2022.
2. Орлова Е.В. Обучение с подкреплением как технология искусственного интеллекта для решения социально-экономических задач: оценка производительности алгоритмов // Научно-технический вестник информационных технологий, Экономика и бизнес – 2023.
3. Frederick S. Hillier, Stanford University Gerald J. Lieberman Introduction To Operations Research // Journal of the Royal Statistical Society Series A (General) 139(2).
4. Dimitri P. Bertsekas, Dynamic Programming and Optimal Control" by Dimitri P. Bertsekas. // Edition: 2nd, Vols. I and II Publisher: Athena Scientific. – 1995.
5. Watkins, Christopher J. C. "Learning from Delayed Rewards." Ph.D. thesis, University of Cambridge, 1989.
6. Goodfellow, Ian, et al. "Deep Learning." MIT Press, 2016.
7. Volodymyr Mnih, Adrià Puigdomènech Badia, Mehdi Mirza, Alex Graves, Timothy P. Lillicrap, Tim Harley, David Silver, Koray Kavukcuoglu. "Asynchronous Methods for Deep Reinforcement Learning." arXiv preprint arXiv:1602.01783.
8. Volodymyr Mnih, Koray Kavukcuoglu, David Silver, Andrei A. Rusu, Joel Veness, Marc G. Bellemare, Alex Graves, Martin Riedmiller, Andreas K. Fidjeland, Georg Ostrovski, Stig Petersen, Charles Beattie, Amir Sadik, Ioannis Antonoglou, Helen King, Dharshan Kumaran, Daan Wierstra, Shane Legg & Demis Hassabis "Human-level control through deep reinforcement learning." // Nature 518.7540 529-533.
9. John Schulman, Filip Wolski, Prafulla Dhariwal, Alec Radford, Oleg Klimov Proximal Policy Optimization Algorithms // Computer Science > Machine Learning 2017.
10. Грибанов Т.А., Фильченков А.А., Азаров А.А., Шалыто А.А. Мультиагентная адаптивная маршрутизация агентами-клонами на основе многоголового внутреннего внимания с использованием обучения с подкреплением // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2022. – №6. – С.1178–1186.

## СИСТЕМА СБОРА И АНАЛИЗА РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НАВИГАЦИИ РТК

ТИХОНОВА А.И.

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

**Аннотация.** В связи с увеличением размера и разнообразия данных, получаемых с помощью различных датчиков, в самом роботехническом комплексе (РТК) или в окружающей среде, возникает необходимость в разработке системы, обеспечивающей сбор информации с разнородных источников, а также их анализ для определения местоположения устройства в пространстве.

*Ключевые слова:* фильтр Калмана, локальная навигация, нейронная сеть

### Введение

Робототехнические комплексы (РТК) могут использоваться для автоматизации различных процессов, например, наблюдение за объектами, мониторинг, сбор различных данных, с помощью анализа которых можно заранее выявить возможные утечки химических веществ, дефекты и многое другое. Однако, например, в условиях закрытых помещений и ограниченных пространств, РТК не всегда может получать необходимое количество данных для определения своего положения не всегда может получать сигнал с глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС), на основе которого он определяет свое положение в пространстве [1]. В связи с этим возникает необходимость в локальных системах навигации, которые не зависят от внешних средств навигации, и обладают точностью, достаточной для выполнения определенных задач.

В настоящее время существует множество систем, которые решают проблемы локальной навигации, например, локальная навигационная система (ЛНС) с использованием низкочастотного магнитного поля [2]. Также для решения задачи оценки местоположения РТК довольно часто применяется фильтр Калмана [3], работа которого проходит за два этапа: этап прогноза состояния системы в момент времени  $t + 1$ , на котором используется информация о законах движения устройства, и этап коррекции, на котором устройство получает информацию с датчиков в момент  $t + 1$ . Часто на этапе коррекции используются данные с локальной навигационной системы. Такие данные обладают достаточной точностью при небольших перемещениях робота, однако, в процессе работы фильтра Калмана при коррекции по ЛНС происходит значительное накопление ошибки, благодаря чему оценка системы становится некорректной при длительном перемещении. Если фильтр Калмана получает информацию с ГНСС, то накопление ошибки не происходит, однако, очень часто точность определения местоположения не соответствует поставленной задаче [4]. Потому необходимо построить такую систему, которая могла бы определять местоположение РТК в независимости от получения сигнала ГНСС с достаточной точностью.

### Архитектура системы

Архитектура разрабатываемой системы представляет собой объединение следующих модулей: модуля сбора данных и модуля анализа собранных данных для обеспечения оценки местоположения робота. Разрабатываемая система обладает следующей архитектурой, представленной на рисунке 1.

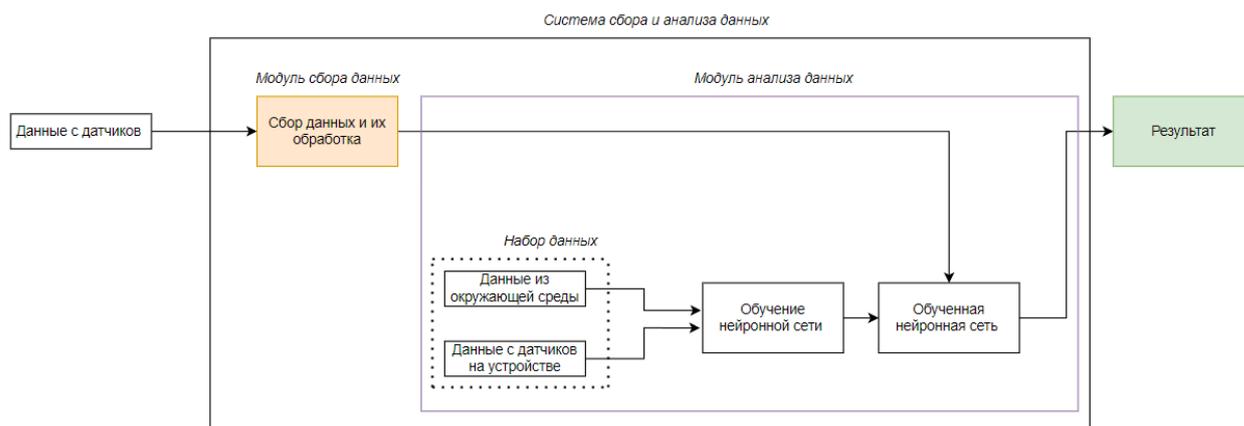


Рис. 1. Архитектура системы сбора и анализа разнородных данных для навигации робота

### Модуль сбора разнородных данных

Данный модуль предназначен для сбора данных с датчиков, установленных с самом РТК, а также с датчиков, в окружающей среде. В качестве примера работы модуля смоделирована следующая установка. В качестве примера РТК, взят беспилотный летательный аппарат (БПЛА). Он перемещается в пределах определенной территории, размерами 2x2x2 м. На границах данной местности установлены ультразвуковые датчики MarvelMind Beacon [5], координаты которых известны. Точность определения позиции объекта с помощью таких датчиков находится в пределах 2 см. Также они обладают средней частотой обновления информации: 4 Гц. У БПЛА нет доступа к сигналу ГНСС, однако, на нем также установлен ультразвуковой датчик. Модель представлена на рисунке 2.

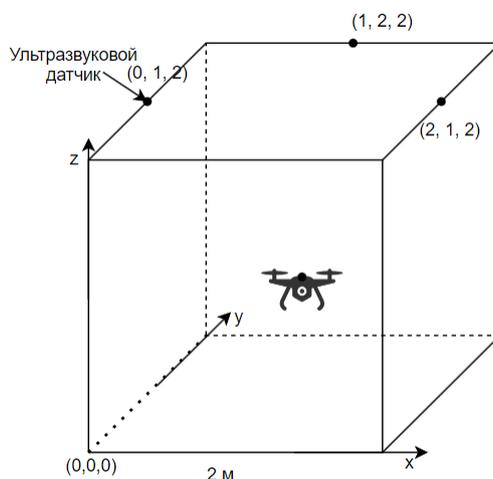


Рис. 2. Модель системы

Сбор информации происходит с ультразвуковых датчиков, а также с полетного контроллера устройства. Показания датчиков MarvelMind Beacon будут использоваться как целевые данные в модуле анализа данных.

Для сбора данных с полетного контроллера используется библиотека Dronekit, которая находится в открытом доступе [6]. Dronekit позволяет получать сообщения с полетного контроллера посредством протокола MAVlink [7]. Данные сообщения содержат в себе информацию о текущем состоянии РТК – показания с акселерометра, гироскопа, магнетометра, модуля оптического потока и т.д. Преимущество использования данной

библиотеки в том, что информация сохраняется в отдельном файле с временными метками, причем сохраняется только при обновлении показаний, что позволяет оптимизировать используемое хранилище.

### **Модуль анализа данных для навигации**

Фильтр Калмана постоянно накапливает ошибку, выполняя коррекцию по ЛНС. Потому для коррекции ошибки можно использовать обученную нейронную сеть. Нейронная сеть обучается на наборе данных, целевым вектором в котором являются показания положения устройства с ультразвуковых датчиков. Также в датасете есть данные, например, с гироскопа, магнитометра и других датчиков, установленных в РТК. Для получения набора данных для обучения нейронной сети необходимо произвести полет в заданной ограниченной местности. Нейронная сеть представляет собой рекуррентную нейронную сеть, на вход которой подаются данные с датчиков, на основе которых ей необходимо определить положение устройства в пространстве. Количество данных, передаваемых на вход, должно быть ограничено до самых важных, например, в данной работе оно ограничено акселерометром, модулем оптического потока, барометром и магнитометром.

### **Выводы**

Результатом работы является модель системы сбора и анализа разнородных данных для навигации РТК без использования данных с ГНСС, которая может работать при условиях перемещения робота в ограниченном пространстве. В дальнейшем планируется проведение испытаний с помощью различных архитектур нейронной сети и сравнение результатов работы.

### **Список литературы**

1. Hodge V. J., Hawkins R., Alexander R. Deep reinforcement learning for drone navigation using sensor data //Neural Computing and Applications. – 2021. – Т. 33. – С. 2015-2033.
2. Голев И. М., Сергеев А. В. Локальная система навигации с использованием низкочастотного магнитного поля //Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т. 15. – №. 5. – С. 88-94.
3. Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems. – 1960.
4. Забегаев А. Н., Павловский В. Е. Адаптация фильтра Калмана для использования с локальной и глобальной системой навигации //Препринты Института прикладной математики им. МВ Келдыша РАН. – 2010. – №. 0. – С. 82-24.
5. Specification Super-Beacon. Marvelmind//URL: [https://marvelmind.com/pics/specs\\_super\\_beacon.pdf](https://marvelmind.com/pics/specs_super_beacon.pdf)
6. dronekit-python// URL: <https://github.com/dronekit/dronekit-python>
7. Koubâa A. et al. Micro air vehicle link (mavlink) in a nutshell: A survey //IEEE Access. – 2019. – Т. 7. – С. 87658-87680.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТИЛЛЯЦИИ ЗНАНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

ТУРУШЕВ Т.А.

*Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» им. В.И.*

*Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Цель исследования – проанализировать применение метода дистилляции знаний в современных детекторах объектов. В данной работе проведён поиск существующих решений для

семейства нейронных сетей Yolov8, была разработана и выложена в открытый доступ реализация дистиллятора для выбранной архитектуры, проведены эксперименты, оценивающие перспективу использования дистилляции знаний в передовых детекторах объектов.

*Ключевые слова: нейронные сети, обнаружение объектов, оптимизация, дистилляция знаний*

## Введение

Оптимизация производительности больших нейронных сетей очень важна, так как современные модели достигают хороших результатов в точности, но зачастую это происходит за счёт усложнения моделей и увеличения числа параметров. В итоге, мы получаем хорошие модели, однако применение их в реальной работе, особенно на edge-устройствах и одноплатных компьютерах, затрудняется из-за проблем с производительностью.

Существует множество техник для решения этой проблемы, например, прунинг, квантизация, дистилляция и другие. Их суть заключается в уменьшении размеров модели и соответственно затрат на их вычисление, так, прунинг убирает часть весов у сети, квантизация уменьшает размер битового представления модели, дистилляция передает знания от большой к более маленькой нейросети. В ходе анализа решений было обнаружено, что по теме дистилляции знаний для современных детекторов проведено мало исследований, хотя в областях нейролингвистического программирования и больших языковых моделей это довольно популярная методика. Более того, для семейства SOTA детекторов Yolov8 не было найдено открытых библиотек для использования этой техники. В связи с выше сказанным, в данной работе проводится исследование применения дистилляции знаний для современных нейросетей обнаружения объектов, в частности семейства Yolov8. Также в рамках данной работы был разработан дистиллятор для исследуемой модели и выложен в открытый доступ.

Всего в семействе Yolov8 5 основных видов моделей: Yolov8n, Yolov8s, Yolov8m, Yolov8x, Yolov8l. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика этих детекторов.

*Таблица 1*

**Архитектуры Yolov8 [1]**

Название	Число параметров, миллионов	Операций FLOPS, миллиардов	Точность, mAP %
Yolov8n	3.2	8.7	37.3
Yolov8s	11.2	28.6	44.9
Yolov8m	25.9	78.9	50.2
Yolov8x	43.7	165.2	52.9
Yolov8l	68.2	257.8	53.9

Как видно из таблицы, разница в точности между самой малой и самой большой моделью достаточно велика – 16,6 %, но разница в вычислительных затратах огромная. Для того, чтобы хоть немного приблизиться к точности больших моделей, сохраняя при этом производительность малой, в данной работе проводится исследование дистилляции знаний.

## Дистилляция знаний

Дистилляцию знаний можно представить как обучение малой модели (ученика) имитировать поведение большой модели (учителя). Определение степени имитации

зависит от конкретной реализации метода. Существует множество подходов, основными из них являются подход, основанный на предсказаниях модели и подход, основанный на пространстве признаков. Первый метод в основном применяется для классификаторов, но его можно портировать и на детекторы. Суть такого метода заключается в оптимизации функции разницы между предсказаниями учителя и ученика [2]. Однако в современных детекторах объектов, в частности Yolo, предсказания, являются очень комплексными и многосоставными, в отличие от классификаторов, где выход зачастую определяется одной вероятностью принадлежности к классу. При применение этого метода сильно возрастает сложность алгоритма дистилляции, поэтому в данной работе мы остановились на втором подходе, который является более простым и универсальным.

За основу реализации дистилляции для YoloV8 был взят подход, описанный в статье [3]. Суть представленного подхода заключается в определении степени имитации как разницы между пространствами признаков возле якорных регионов [4] учителя и ученика. Для адаптации этого метода на современные архитектуры, где применяется без якорного подхода, были проведены некоторые модификации алгоритма.

Для оценки разницы пространств признаков учителя и ученика применяется маска  $M$  размерностью  $W \times H$ . Она формируется из спроецированных ограничивающих прямоугольников с входного изображения на пространство признаков размерностью  $W \times H$ . В отличие от оригинального метода, здесь не ищется пересечения прямоугольников с якорными регионами, вместо этого прямоугольники напрямую проецируются в пространство с параметром  $\gamma$ , отвечающим за расширение или сужение их области. Ограничивающие прямоугольники, заданные набором  $(x, y, w, h)$ , где  $x$  и  $y$  – центр объекта, а  $w$  и  $h$  – ширина и высота прямоугольника, имеют проекцию  $(x', y', w', h')$  на пространстве признаков, полученную следующим образом:

$$\begin{aligned}x' &= x \cdot W \\y' &= y \cdot H \\w' &= w \cdot W \cdot \gamma \\h' &= h \cdot H \cdot \gamma\end{aligned}$$

Таким образом, маска  $M$  равна 1 в областях проекций, в остальных же местах она равна 0. После получения маски происходит расчет разницы между пространством признаков учителя  $F_{\text{учитель}}$  и пространством признаков ученика  $F_{\text{ученик}}$ , представляющими из себя матрицы размерностью  $W \times H \times C$ , где  $W$  – ширина,  $H$  – высота,  $C$  – число каналов. Итоговая формула расчёта степени имитации выглядит следующим образом:

$$l = \frac{1}{2N} \sum_i^W \sum_j^H \sum_c^C M_{ij} \left( f(F_{\text{ученик}_{ijc}}) - F_{\text{учитель}_{ijc}} \right)^2,$$

где  $N$  – число ненулевых значений в маске  $M$ ,  $f$  – адаптационный слой, преобразующий пространство признаков ученика к размерности пространства учителя. Итоговая функция ошибки для модели YoloV8 определяется следующим образом:

$$L = \lambda_1 \text{boxloss} + \lambda_2 \text{clsloss} + \lambda_3 \text{dfllloss} + \lambda_4 l,$$

где  $\lambda_i$  – веса соответствующих компонент функции ошибки, boxloss, clsloss, dfllloss – составляющие функции ошибки в оригинальной реализации модели,  $l$  – степень имитации.

Схема расчёта метода представлена на рисунке 1.

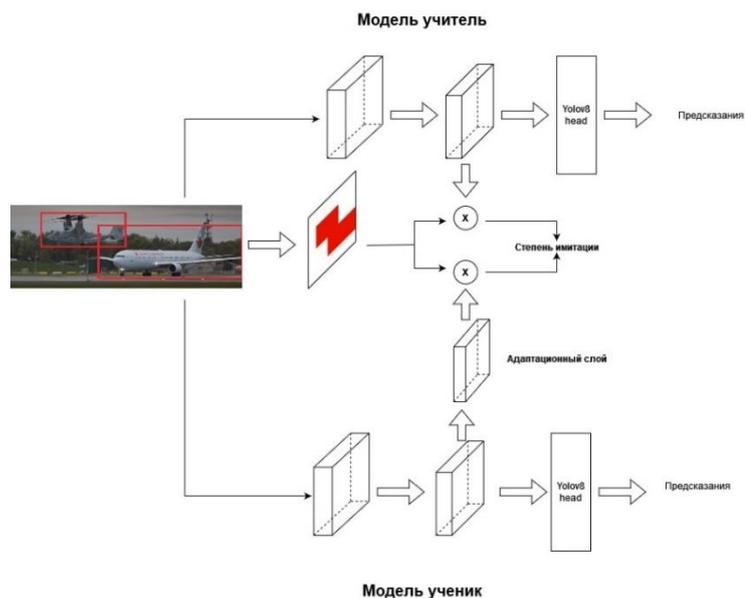


Рис. 1. Схема расчёта ошибки имитации

### Эксперименты

Для эксперимента была взята предобученная модель YOLOv8m в качестве учителя и необученная YOLOv8n в качестве ученика. Параметр расширения областей  $\gamma = 1$ , вес ошибки имитации  $\lambda_4 = 0.5$ . В качестве метрики была взята mAP. Для сравнения результатов эксперимента был проведён базовый эксперимент, т.е. обучение YOLOv8n без дистилляции. Во всех экспериментах гиперпараметры были одинаковые, для исключения влияния случайностей, зерно генератора случайных чисел было одинаковым. Набор данных для эксперимента был выбран тем же, на котором обучался учитель, это COCO (Common Objects in Context) [5].

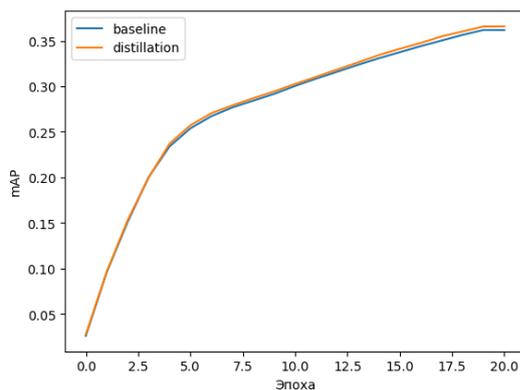


Рис. 2. График метрики mAP в зависимости от эпохи, оранжевое – дистиллированная модель, синее – обычная модель

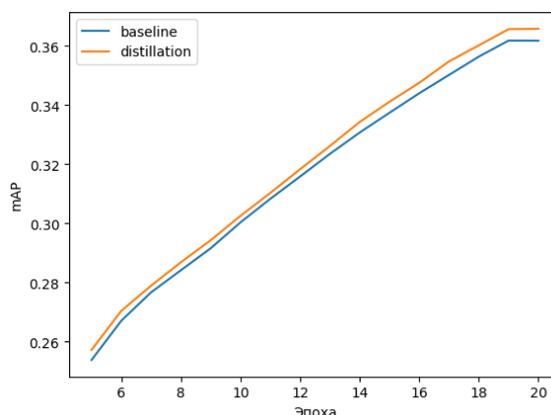


Рис. 3. График метрики mAP начиная с пятой эпохи, оранжевое – дистиллированная модель, синее – обычная модель

По графикам видно, что сильного прироста в точности дистилляция не дала, но он всё же присутствует, в среднем дистиллированная модель справлялась лучше на 0.4%. Стоит отметить, что подбор оптимальных параметров метода не проводился из-за ограниченных вычислительных возможностей.

### Вывод

В рамках данной работы было рассмотрено применение метода дистилляции знаний к современным моделям для обнаружения объектов. Первичный анализ показал, что для SOTA архитектур YOLOv8 и YOLOv9[6] в открытом доступе не было найдено существующих реализаций этого метода, поэтому был разработан свой дистиллятор на основе существующих статей и модифицирован для применения в указанных архитектурах.

Большое число экспериментов провести не удалось в связи с вычислительными затратами и большой длительностью одного эксперимента, но по полученным результатам можно заключить, что дистилляция даёт прирост в точности, но весьма слабый. Такой итог подтверждает, что метод не нарушает процесс обучения и может дать улучшения, но для более эффективного его применения следует провести большое количество экспериментов для поиска оптимальных параметров.

### Список литературы

1. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
2. Hinton G., Vinyals O., Dean J. Distilling the knowledge in a neural network //arXiv preprint arXiv:1503.02531. – 2015.
3. Wang T. et al. Distilling object detectors with fine-grained feature imitation //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2019. – С. 4933-4942.
4. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An incremental improvement //arXiv preprint arXiv:1804.02767. – 2018.
5. Lin T. Y. et al. Microsoft coco: Common objects in context //Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6-12, 2014, Proceedings, Part V 13. – Springer International Publishing, 2014. – С. 740-755.
6. Wang C. Y., Yeh I. H., Liao H. Y. M. YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information //arXiv preprint arXiv:2402.13616. – 2024.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДАННЫХ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ОТ КОГНИТИВНЫХ НАГРУЗОК В ПУБЛИЧНЫХ ДАТАСЕТАХ

ЧЕГОДАЕВА Е.А., ДОБРОХВАЛОВ М.О.

*Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ»  
им. В.И.Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Данная работа представляет собой сравнительный анализ данных ВСП, полученных из сигналов ЭКГ, которые представлены в публичных датасетах для исследования биометрик при когнитивных нагрузках (CASE, WESAD). В рамках работы также проведено исследование по выявлению метрик, на основе которых реализовывался анализ. Приведены результаты сравнения данных для различных временных интервалов (весь период, 1 минута, 3 минуты) и состояний (нейтральное и стресс).

*Ключевые слова:* датасет, ВСП, стресс, метрики.

### Введение

В различных областях медицины активно применяется искусственный интеллект, для обучения которого используются датасеты. Структура датасетов для одной и той же задачи может значительно отличаться. Примерами такой ситуации выступают WESAD [1] и CASE [2]. Эти наборы данных предназначены для выявления аффективных состояний на основе биометрических сигналов, одним из которых является электрокардиограмма (ЭКГ). Вместе с этим, следует отметить то, что из ЭКГ может быть извлечено значение вариабельности сердечного ритма (ВСП), являющееся одним из способов определения когнитивных нагрузок. Таким образом, целью этой работы выступает выявление закономерностей метрик ВСП в публичных датасетах WESAD и CASE, что позволит сформировать эффективный подход к выбору наборов данных для будущих исследований в рамках рассматриваемой области.

### Исследование метрик

Проведено исследование метрик ВСП. Исследование заключалось в анализе метрик, приведенных в работах, которые направлены на определение состояния стресса и/или когнитивных нагрузок по данным ВСП. В ходе анализа было изучено 30 работ за период 2019-2022 г.г. [3-32]. На основе исследования были выявлены самые часто встречающиеся показатели, включая: параметры ЭКГ, временную, частотную и нелинейную области ВСП. В таблице 1 приведены результаты данного исследования.

*Таблица 1*

#### Метрики ВСП

Метрики	Описание	Доля применения в работах
MeanHR	Среднее значение частоты сердцебиения	13/30
MeanNN	Среднее значение интервалов между сердечными сокращениями (RR)	15/30
SDNN	Стандартное отклонение интервалов RR	28/30
SDSD	Стандартное отклонение последовательных различий между соседними интервалами RR	6/30
RMSSD	Квадратный корень из среднего значения квадратов последовательных различий между соседними интервалами RR	28/30

pNN50	Доля последовательных интервалов RR, отличающихся более чем на 50 мс от предыдущего интервала RR ( $NN50$ ), от общего числа интервалов RR	18/30
LF	Мощность спектра низких частот в диапазоне [0,04 Гц : 0,15 Гц]	19/30
HF	Мощность спектра высоких частот в диапазоне [0,15 Гц : 0,4 Гц]	20/30
LF / HF	Отношение LF к HF	20/30
VLF	Мощность спектра очень низких частот в диапазоне [0,003 Гц : 0,04 Гц]	9/30
SD1, SD2	Стандартное отклонение графика Пуанкаре перпендикулярно (SD1) и вдоль линии идентичности (SD2)	14/30

Для обработки данных BCP существуют различные библиотеки, такие как BioSPPy, NeuroKit, HeartPy и так далее. Для дальнейших вычислений использовалась NeuroKit [33] ввиду широкой функциональности.

### Датасет WESAD

WESAD – набор данных, содержащий сигналы ЭКГ, записанные у 15 субъектов. Участники испытывали 3 психофизических состояния: стресс, нейтральное и развлечение. Время эксперимента – около 2 часов. Стресс фиксировался методами PANAS, STAI, SSSQ и манекеном для самооценки (SAM). Данные записаны с частотой дискретизации 700 Гц.

Из датасета были извлечены сигналы ЭКГ в синхронизации со стрессом и нейтральным состоянием. Рассмотрены средние показатели по всем субъектам. Были выявлены следующие закономерности:

- При разделении состояния стресса на 3 блока (начало, середина и конец) по 3 минуты можно заметить следующее: MeanHR $\downarrow\downarrow$ , MeanNN $\uparrow\uparrow$ , SDNN $\uparrow\downarrow$ , SDDSD $\uparrow\downarrow$ , RMSSD $\uparrow\downarrow$ , pNN50 $\uparrow\downarrow$ , LF $\downarrow\uparrow$ , HF $\downarrow\uparrow$ , LF/HF $\downarrow\uparrow$ , SD1 $\uparrow\downarrow$ , SD2 $\uparrow\downarrow$ . (Первая стрелка указывает на направление изменений метрик от первого блока до второго, вторая – от второго к третьему).
- При сравнении метрик в нейтральном состоянии и состоянии стресса (весь период) – метрики преимущественно выше в нейтральном состоянии, за исключением MeanHR и SD2. Наибольшую разность демонстрируют показатели MeanHR, MeanNN и pNN50.
- Сравнение нейтрального состояния и стресса в среднем трехминутном интервале (при разделении на 3 блока) – метрики выше в нейтральном состоянии, помимо метрик MeanHR, SDNN, LF/HF и SD2. Также следует отметить то, что LF, VLF и pNN50 в данном случае сильно различаются при разных состояниях.

### Датасет CASE

CASE – набор данных, включающий ЭКГ, а также значения валентности и возбудимости 30-ти субъектов. Эксперимент длился 40 минут и предполагал просмотр видеороликов, характер которых был отмечен как забавный, скучный, расслабляющий и пугающий. Для определения психоэмоционального состояния участникам был предложен SAM. Биометрики записаны с частотой 1000 Гц, аннотации – 20 Гц.

Ввиду того, что датасет CASE не содержит бинарного разделения на состояния «стресс» и «не стресс», данные периоды были определены согласно [34] (стартовое состояние валентности и возбуждения имеет значение (5, 5)). Таким образом, стресс представляет собой II квадрант (валентность меньше 5, возбудимость больше 5), нейтральное состояние – IV квадрант. Следующие измерения были получены аналогично датасету WESAD. Ввиду того, что у некоторых субъектов выявленные промежутки стресса имеют длительность менее трёх минут, данные этих субъектов не учитывались при анализе.

- Трехминутный интервал стресса был на разделён на 3 блока (начало, середина и конец) по 1 минуте: MeanHR $\uparrow\downarrow$ , MeanNN $\downarrow\uparrow$ , SDNN $\downarrow\uparrow$ , SDSD $\downarrow\uparrow$ , RMSSD $\downarrow\uparrow$ , pNN50 $\uparrow\uparrow$ , LF $\uparrow\downarrow$ , HF $\uparrow\downarrow$ , LF/HF $\uparrow\uparrow$ , SD1 $\uparrow\downarrow$ , SD2 $\downarrow\uparrow$ .
- При сравнении метрик в состояниях стресса и в нейтральном (весь период суммарно) – метрики преимущественно выше в нейтральном состоянии, за исключением MeanHR, SDNN, LF/HF, и SD2. Максимальную разность имеют показатели VLF, LF/HF и HF.
- Сравнение нейтрального и стрессового состояний при среднем одноминутном интервале стресса (при разделении на 3 блока) и одноминутном интервале нейтрального состояния (по данным субъектам) – метрики в нейтральном состоянии показывают значения ниже, чем при стрессе, помимо MeanNN, LF и LF/HF. Показатель HF демонстрирует наибольшее различие при разных состояниях.

### **Общие закономерности WESAD и CASE**

Вместе с этим, можно отметить то, что за весь период стресса – большинство метрик CASE выше, чем у WESAD, за исключением MeanHR и LF/HF. В случае трёхминутного периода – значения метрик WESAD выше, чем у CASE, кроме MeanNN, pNN50, SD2.

### **Заключение**

На основе промежуточных выводов, сделанных выше, можно резюмировать:

В случае деления периода стресса на 3 отдельных блока – у метрик SDSD, RMSSD, SD1 наблюдаются схожие тенденции в обоих датасетах.

При сравнении нейтрального состояния и стресса за весь период – метрики в нейтральном состоянии выше, чем при стрессе, но как в WESAD, так и в CASE значения MeanHR и SD2 выше при стрессовом состоянии.

При рассмотрении нейтрального состояния и состояния стресса в ограниченных временных интервалах – в обоих случаях при состоянии стресса значения MeanHR, SDNN и SD2 выше, чем в нейтральном. В нейтральном состоянии значения метрик MeanNN и LF выше, чем при стрессе. Наибольшая разница значений заметна у LF.

Дальнейшие исследования будут посвящены следующему:

1. Провести аналогичный анализ иных датасетов;
2. Провести аналогичный исследование на основе иных биометрических сигналов.

### **Список литературы**

1. Schmidt P. et al. Introducing wesad, a multimodal dataset for wearable stress and affect detection //Proceedings of the 20th ACM international conference on multimodal interaction. – 2018. – С. 400-408.
2. Sharma K. et al. A dataset of continuous affect annotations and physiological signals for emotion analysis //Scientific data. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С. 196.
3. МК М. et al. Heart rate variability features for different stress classification //Bratislava Medical Journal/Bratislavske Lekarske Listy. – 2020. – Т. 121. – №. 9.
4. Schneider M., Schwerdtfeger A. Autonomic dysfunction in posttraumatic stress disorder indexed by heart rate variability: a meta-analysis //Psychological medicine. – 2020. – Т. 50. – №. 12. – С. 1937-1948.
5. Kim H. et al. Effect of virtual reality on stress reduction and change of physiological parameters including heart rate variability in people with high stress: an open randomized crossover trial //Frontiers in psychiatry. – 2021. – Т. 12. – С. 614539.
6. Corrigan S. L. et al. Monitoring stress and allostatic load in first responders and tactical operators using heart rate variability: a systematic review //BMC public health. – 2021. – Т. 21. – С. 1-16.
7. Correia B. et al. Validation of a wireless bluetooth photoplethysmography sensor used on the earlobe for monitoring heart rate variability features during a stress-inducing mental task in healthy individuals //Sensors. – 2020. – Т. 20. – №. 14. – С. 3905.

8. Umair M. et al. HRV and stress: A mixed-methods approach for comparison of wearable heart rate sensors for biofeedback //IEEE Access. – 2021. – Т. 9. – С. 14005-14024.
9. Minkley N., Xu K. M., Krell M. Analyzing relationships between causal and assessment factors of cognitive load: associations between objective and subjective measures of cognitive load, stress, interest, and self-concept //Frontiers in Education. – Frontiers Media SA, 2021. – Т. 6. – С. 632907.
10. Ishaque S., Khan N., Krishnan S. Trends in heart-rate variability signal analysis //Frontiers in Digital Health. – 2021. – Т. 3. – С. 639444.
11. Coutts L. V. et al. Deep learning with wearable based heart rate variability for prediction of mental and general health //Journal of Biomedical Informatics. – 2020. – Т. 112. – С. 103610.
12. Hinde K., White G., Armstrong N. Wearable devices suitable for monitoring twenty four hour heart rate variability in military populations //Sensors. – 2021. – Т. 21. – №. 4. – С. 1061.
13. Hilgarter K. et al. Phasic heart rate variability and the association with cognitive performance: A cross-sectional study in a healthy population setting //PLoS One. – 2021. – Т. 16. – №. 3. – С. e0246968.
14. Fuentes-García J. P. et al. Differences between high vs. low performance chess players in heart rate variability during chess problems //Frontiers in psychology. – 2019. – Т. 10. – С. 414103.
15. Giannakakis G., Marias K., Tsiknakis M. A stress recognition system using HRV parameters and machine learning techniques //2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW). – IEEE, 2019. – С. 269-272.
16. Meina M. et al. Heart rate variability and accelerometry as classification tools for monitoring perceived stress levels—a pilot study on firefighters //Sensors. – 2020. – Т. 20. – №. 10. – С. 2834.
17. Byun S. et al. Detection of major depressive disorder from linear and nonlinear heart rate variability features during mental task protocol //Computers in biology and medicine. – 2019. – Т. 112. – С. 103381.
18. Sahoo T. K., Mahapatra A., Ruban N. Stress index calculation and analysis based on heart rate variability of ECG signal with arrhythmia //2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT). – IEEE, 2019. – Т. 1. – С. 1-7.
19. Hao T. et al. Linear and nonlinear analyses of heart rate variability signals under mental load //Biomedical Signal Processing and Control. – 2022. – Т. 77. – С. 103758.
20. Lipponen J. A., Tarvainen M. P. A robust algorithm for heart rate variability time series artefact correction using novel beat classification //Journal of medical engineering & technology. – 2019. – Т. 43. – №. 3. – С. 173-181.
21. Jarczewski J. et al. Cardiovascular response to different types of acute stress stimulations //Folia Medica Cracoviensia. – 2019. – Т. 59. – №. 4.
22. Chung J. W. Y. et al. Artificial Intelligence in education: Using heart rate variability (HRV) as a biomarker to assess emotions objectively //Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2021. – Т. 2. – С. 100011.
23. Brinkmann A. E. et al. Comparing effectiveness of HRV-biofeedback and mindfulness for workplace stress reduction: A randomized controlled trial //Applied psychophysiology and biofeedback. – 2020. – Т. 45. – С. 307-322.
24. Schwerdtfeger A. R., Dick K. Episodes of momentary resilience in daily life are associated with HRV reductions to stressful operations in firefighters: an ambulatory assessment approach using bayesian multilevel modeling //The Journal of Positive Psychology. – 2019. – Т. 14. – №. 5. – С. 593-602.
25. Steffen P. R. et al. Integrating breathing techniques into psychotherapy to improve HRV: which approach is best? //Frontiers in Psychology. – 2021. – Т. 12. – С. 624254.
26. Katayama M. et al. Emotional contagion from humans to dogs is facilitated by duration of ownership //Frontiers in Psychology. – 2019. – Т. 10. – С. 461237.
27. Yook Y. S. Firefighters' occupational stress and its correlations with cardiorespiratory fitness, arterial stiffness, heart rate variability, and sleep quality //PLoS One. – 2019. – Т. 14. – №. 12. – С. e0226739.
28. Xiong R. et al. Pattern recognition of cognitive load using eeg and ecg signals //Sensors. – 2020. – Т. 20. – №. 18. – С. 5122.
29. Rahman H. et al. Non-contact-based driver's cognitive load classification using physiological and vehicular parameters //Biomedical Signal Processing and Control. – 2020. – Т. 55. – С. 101634.
30. Sarkar P. et al. Classification of cognitive load and expertise for adaptive simulation using deep multitask learning //2019 8th international conference on affective computing and intelligent interaction (ACII). – IEEE, 2019. – С. 1-7.
31. Mohanavelu K. et al. Cognitive Workload Analysis of Fighter Aircraft Pilots in Flight Simulator Environment //Defence Science Journal. – 2020. – Т. 70. – №. 2.
32. Alaimo A. et al. Aircraft pilots workload analysis: heart rate variability objective measures and NASA-task load index subjective evaluation //Aerospace. – 2020. – Т. 7. – №. 9. – С. 137.
33. Makowski D. et al. NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing //Behavior research methods. – 2021. – С. 1-8.

34. Posner J., Russell J. A., Peterson B. S. The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology //Development and psychopathology. – 2005. – Т. 17. – №. 3. – С. 715-734.

## **РАЗРАБОТКА И СРАВНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ВЗГЛЯДА В СИСТЕМАХ ПОМОЩИ ПАЦИЕНТАМ С БОКОВЫМ АМИОТРОФИЧЕСКИМ СКЛЕРОЗОМ**

ГЛУЩЕНКО А.Г. , ХАСАН Х.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** Статья исследует применение нейросетевых архитектур для классификации взгляда у пациентов с боковым амиотрофическим склерозом (БАС). Сравнивались эффективность моделей, включая EfficientNetB0, ResNet50, InceptionNet и MobileNet, на данных из набора GazeCapture. Результаты показывают, что EfficientNetB0 достигает наивысшей точности (87,88%). Работа подчеркивает потенциал использования искусственного интеллекта для помощи пациентам с БАС и указывает на необходимость дальнейших исследований в этой области.

*Ключевые слова:* нейросетевая архитектура, EfficientNetB0, ResNet50, InceptionNet, MobileNet. БАС, компьютерное зрение

### **Введение**

Многие люди страдают от определенных трудностей или инвалидности, которые не позволяют им заниматься повседневной жизнью или даже выполнять простейшие человеческие функции. Печально известным примером могут быть люди, страдающие боковым амиотрофическим склерозом или БАС. БАС в большинстве случаев со временем приводит к полному параличу. Однако мышцы, контролирующие движения глаз, являются последними функционирующими произвольно мышцами на поздних стадиях заболевания.

### **Описание модели искусственного интеллекта классификации взгляда**

В этой работе с помощью методов глубокого обучения построена модель искусственного интеллекта, которая классифицирует взгляд глаз на 6 зон. Были обучены различные известные архитектуры нейронных сетей, и их результаты по точности сравнивались, чтобы выбрать наилучшую производительность для модели. Эта модель станет строительным блоком системы аппаратных и программных элементов, целью которой будет облегчить жизнь пациентов, помогая им в выполнении повседневных задач (перемещение из одного места в другое, вызов помощи и общение).

Были построены конвейеры для каждой сетевой архитектуры. Основной поток трубопроводов можно суммировать следующим образом: импорт необходимых библиотек; загрузка, визуализация и разделение данных на наборы данных для обучения и тестирования; построение модели; компиляция и обучение модели; построение графиков точности и потерь.

Для этой задачи использовалась часть набора данных GazeCapture, содержащая информацию о координатах «точки», на которую смотрит пользователь. Исследователи из Массачусетского технологического института использовали краудсорсинг для создания этого набора данных. Первоначально он состоял из 2,445,504 кадров, собранных от 1,474 разных людей. Однако создателям удалось отобрать 1,490,959 кадров, на которых удалось распознать глаза и лицо. На рис. 1 показаны примеры кадров. Что касается моделей, то они

построены исключительно на основе сетевой архитектуры без каких-либо дополнительных модификаций и дополнений.



Рис. 1. Примеры кадров из набора данных GazeCapture

### Обработка данных и обучение моделей

В целях использования этого набора данных для обучения модели классификации области взгляда эти точки нужно было сгруппировать в 6 областей в пространстве прогнозирования, как показано на рисунке 2. Это привело к сокращению количества кадров до 884,384. Однако распределение кадров по регионам было в значительной степени несправедливым. В регионах 1 и 2 было более чем в 30 раз больше кадров, чем в регионах 5 и 6. Итак, произошел дальнейший процесс фильтрации. Количество кадров в регионах 1–4 было сокращено до 20,000 кадров в каждом регионе, чтобы создать некоторый баланс в наборе данных.

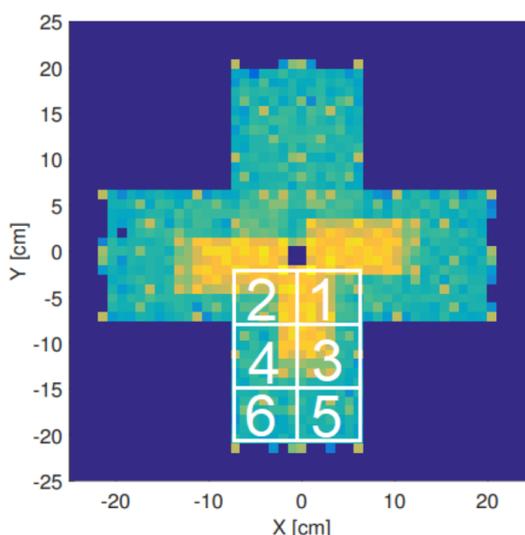


Рис. 2. Распределение регионов в едином пространстве прогнозов GazeCapture

На рисунке 3 изображена окончательная гистограмма набора данных. Из каждого кадра были извлечены изображения левого и правого глаза. Наборы левого и правого глаза используются отдельно в качестве входных данных для каждой модели.

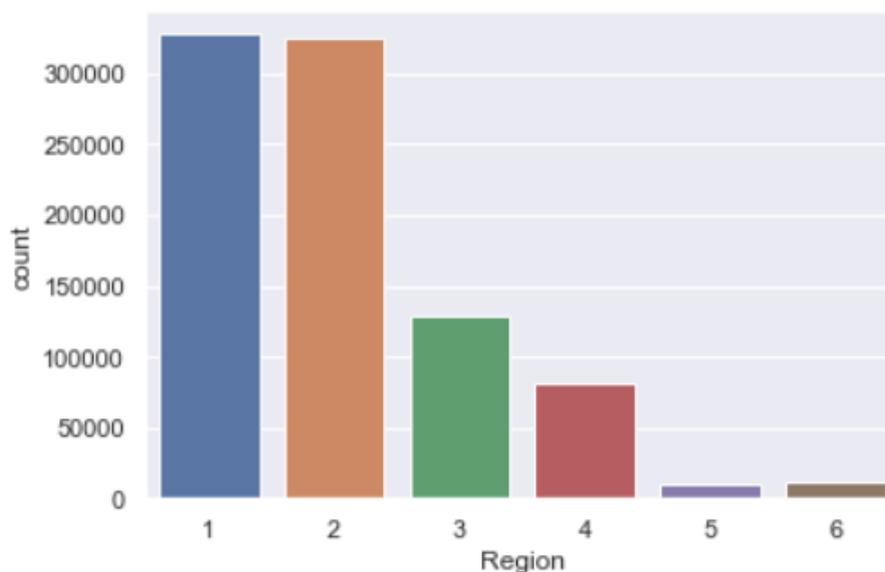


Рис.3. Гистограмма распределения кадров по каждому региону

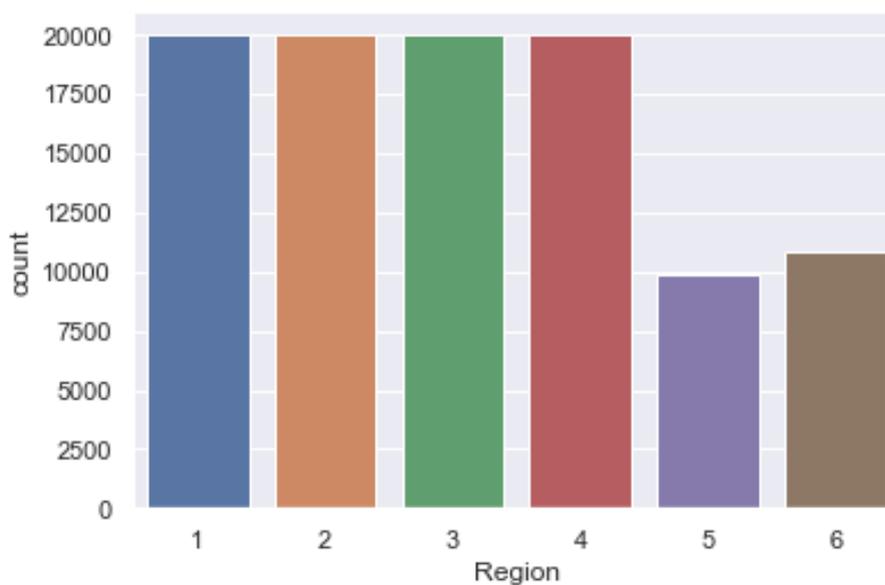


Рис. 4. Итоговая гистограмма распределения кадров по каждому региону

Эксперименты проводили с четырьмя сетями: EfficientNetB0, ResNet50, InceptionNet и MobileNet. Всего было построено 8 моделей (по две каждой сети, по одной на каждый глаз). Каждая модель обучалась в течение 8 эпох на 90% разделения набора данных и тестировалась на оставшихся 10%. Для моделей левого глаза в качестве начальных весов использовались веса моделей правого глаза. Оценка производительности моделей (на основе категориальной кроссэнтропийной потери и точности) представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты оценки**

глаз	Модель	Потеря	Точность
правый	MobileNet	0.604	76.97%

левый		0.376	86.45%
правый	ResNet50	1.1072	55.14%
левый		0.9811	56.06%
правый	EfficientNetB0	0.6021	77.45%
левый		0.3483	87.88%
правы	InceptionNet	0.9456	61.12%
левый		0.9128	63.56%

### Заключение

Несколько известных нейронных сетей были протестированы, чтобы понять и определить, как добиться наилучшей производительности. Первая базовая версия модели EfficientNet (EfficientNetB0) достигла наивысшей производительности с точностью 87,88%. Этот результат можно улучшить, поскольку модель не была достаточно обучена из-за отсутствия необходимого оборудования.

### Список литературы

1. Krafska K, Khosla A, Kellnhofer P, Kannan H, Bhandarkar S, Matusik W, Torralba A. Eye tracking for everyone. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition 2016. pp. 2176-2184.
2. Tan M, Le Q. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. International conference on machine learning 2019 May 24 (pp. 6105-6114). PMLR.
3. Howard AG, Zhu M, Chen B, Kalenichenko D, Wang W, Weyand T, Andreetto M, Adam H. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv preprint arXiv:1704.04861. 2017 Apr 17.
4. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun. Deep Residual Learning for Image Recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 770-778.

## ВЛИЯНИЕ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

ЕГОРОВ С.М., РОГОЗИН А.А., НЕГОДЯЕВ Е.Ю., РУМЯНЦЕВ В.С., ГРОМОВ Ю.Ю.

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ*

*(учебный и испытательный) Тамбов, Россия*

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются основные этапы обучения модели нейронной сети для определения объектов в реальном времени, а также влияние некоторых гиперпараметров на точность и скорость обучаемой модели на основе архитектуры YOLOv8

*Ключевые слова:* нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, yolov8.

С момента изобретения компьютеров их способность выполнять различные задачи значительно расширилась. Их научили слушать и понимать речь, проговаривать текст, распознавать объекты на рисунках и в видеофайлах, управлять беспилотными автомобилями и летательными аппаратами, писать стихи, музыку, распознавать эмоции людей и т. п.

Появление новых и совершенствование существующих технических объектов, состоящих из большого числа систем в том числе и автоматизированных средств

управления, порождают необходимость совершенствования методик определения показателей надежности технической системы и её элементов.

Нейронная сеть по своей сути представляет некую математическую модель и ее программную реализацию, которая в упрощенном виде воссоздает работу биологической нейронной сети человека [1].

Пример простейшей нейронной сети: перцептрон. Математически перцептрон можно выразить так: (рисунок 1)

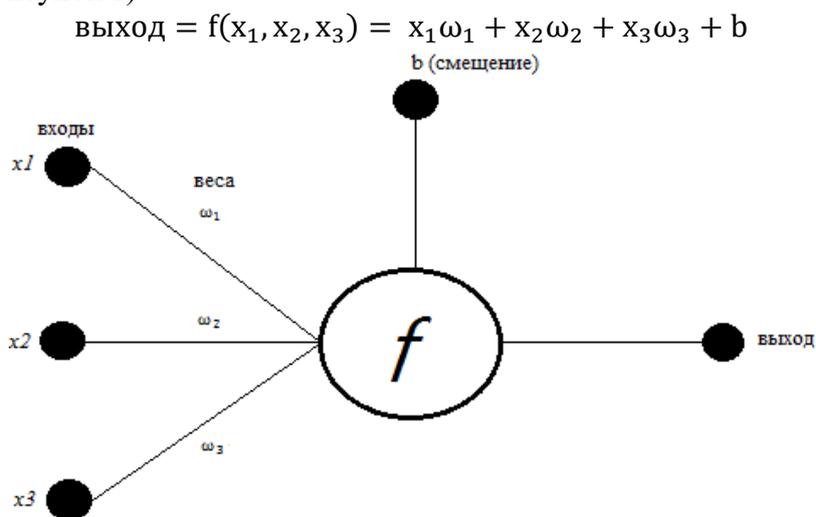


Рисунок 1 - Пример перцептрона.

Нейронная сеть дает возможность компьютеру или роботу, управляемому компьютером, мыслить и принимать решения разумно, подобно тому, как думают и действуют люди. Нейронная сеть работает, как и мозг человека, она учится, набирается опыта, а затем на практике использует результаты своего обучения.

Люди давно стремились заставить вычислительные машины мыслить и вести себя так же, как человек, и таким образом научить их решать не свойственные компьютерам задачи — например, играть в шахматы, сочинять стихи и писать музыку

Алгоритм YOLOv8 использует для обнаружения объектов сверточные нейронные сети. Это один из самых быстрых алгоритмов обнаружения объектов. К нему имеет смысл прибегать, когда требуется обнаружение объектов в режиме реального времени при незначительной потере точности. Таким образом, он не только классифицирует изображение в категорию, но также может обнаружить на изображении несколько объектов. Этот алгоритм применяет к полному изображению одну нейронную сеть — эта сеть делит изображение на области и показывает ограничивающие рамки, а также указывает в обработанном изображении точность обнаружения объектов для каждой выделенной области показано на рисунке 2 [2].

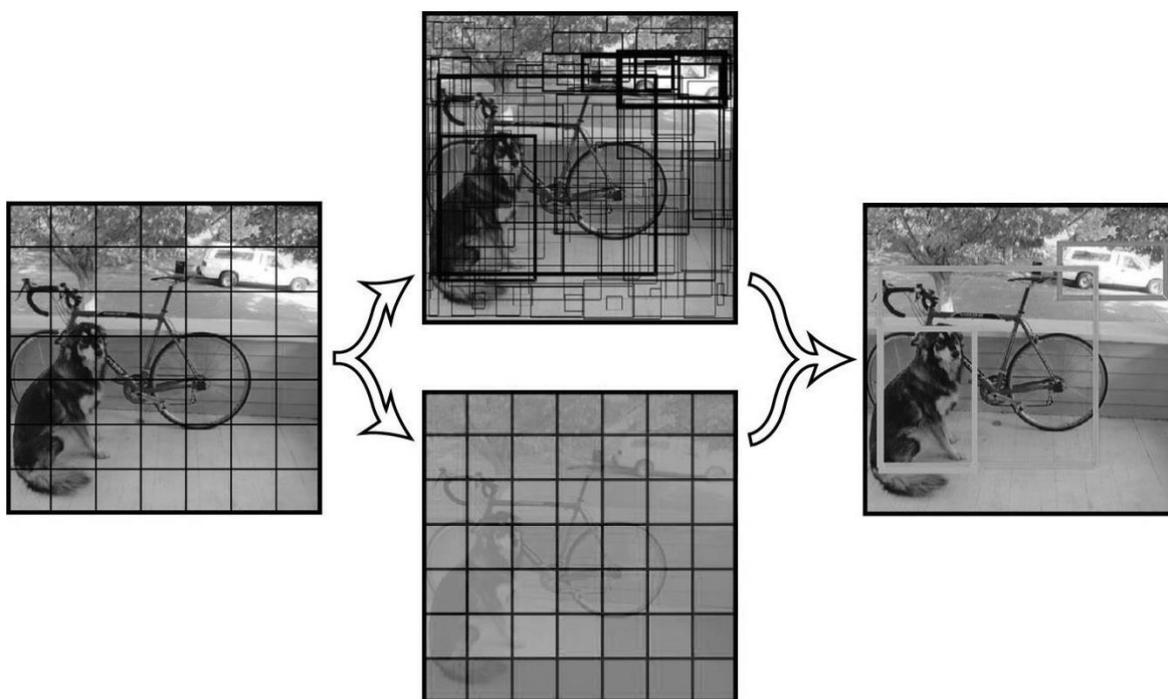


Рисунок 2 - Принцип работы YOLO.

Большинство современных детекторов объектов реализуют комбинацию классификации и регрессии ограничивающей рамки. Классификация пытается предсказать класс объекта в области изображения, а регрессия ограничивающей рамки пытается определить область расположения объекта, предсказывая самую узкую рамку, содержащую объект. Рассмотрим эталон ограничительной рамки  $g$ , связанный с меткого класса  $u$ , и гипотезу обнаружения  $x$  ограничительной рамки  $b$ . Поскольку  $b$  обычно включает в себя объект и некоторое количество фона, может быть трудно определить, правильно ли обнаружен объект. Обычно это решается с помощью метрики пересечения по объединению (intersection over union, IoU)  $IoU(b, g) = \frac{b \cap g}{b \cup g}$ .

Если IoU не превышает порога для любого объекта,  $x$  считается фоном и обозначается как «отрицательный» пример. Хотя нет необходимости определять положительные/отрицательные примеры для задачи регрессии ограничивающей рамки, порог IoU и также требуется для выбора набора образцов используемого для обучения регрессора. Хотя пороговые значения IoU, применяемые для двух задач, не обязательно должны быть идентичными, на практике это обычное дело. Следовательно, порог IoU и определяет качество детектора. Большие пороги способствуют тому, чтобы обнаруженные ограничивающие рамки были точно совмещены с эталонами. Небольшие пороги вознаграждают детекторы, которые создают свободные ограничивающие рамки с небольшим перекрытием с эталоном. Некоторые примеры гипотез повышения качества показаны на рисунке 3 [3].

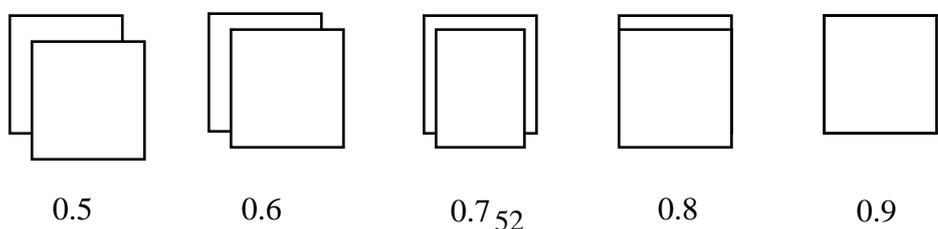


Рисунок 3 - Примеры повышения качества. Числа представляют собой значения IoU между двумя ограничивающими прямоугольниками, указывая, насколько хорошо они совмещены друг с другом.

Одним из ключевых способов улучшить качество модели YOLOv8 является оптимизация гиперпараметров. Например, можно настроить параметры обучения, такие как скорость обучения, размер пакета и оптимизатор чтобы достичь лучших результатов. Также можно выбрать другую версию архитектуры YOLOv8, она отличается скоростью обработки изображения и точностью. Результаты влияния различных гиперпараметров на точность модели указано на рисунке 4.

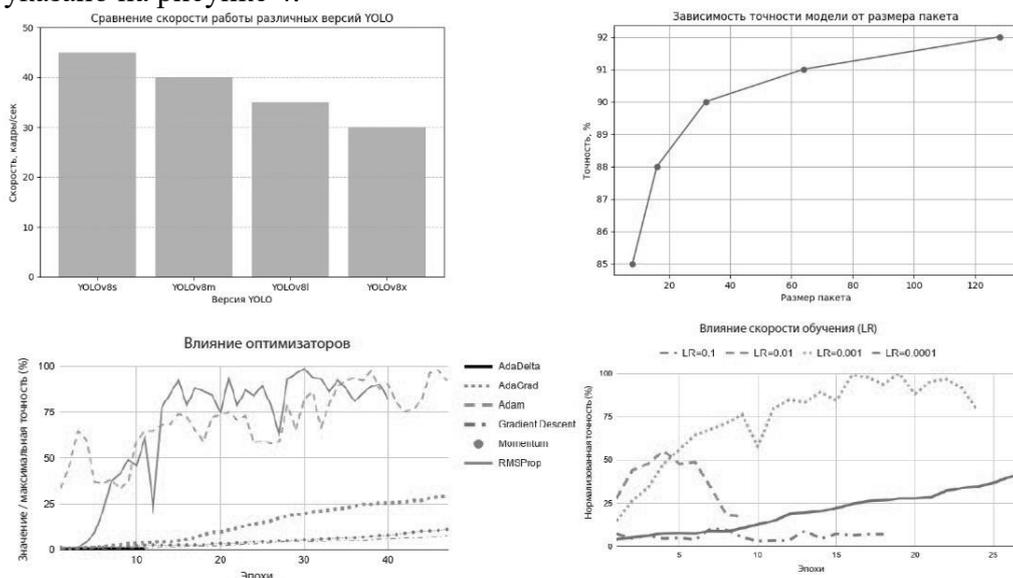


Рисунок 4 – Результаты влияния различных гиперпараметров на точность обучаемой модели.

## Список литературы

1. Компьютерное зрение. Современные методы и перспективы развития / ред. Р. Дэвис, М. Терк; пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 690 с.: ил.
2. Искусственный интеллект и компьютерное зрение. Реальные проекты на Python, Keras и TensorFlow. — СПб.: Питер, 2023. — 624 с.: ил. — (Серия «Бестселлеры O'Reilly»).
3. Основы искусственного интеллекта в примерах на Python. Самоучитель. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2024. — 448 с.: ил. — (Самоучитель)

## ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПОИСКА ЗАИМСТВОВАНИЙ ТЕКСТОВ НА ТАТАРСКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ NLP

ХАЯЛЕЕВА И.З., АБРАМСКИЙ М.М.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

**Аннотация.** Разработан инструмент для поиска заимствований текстов на татарском языке. Рассмотрены аналогичные программы для русского языка. Описан принцип работы разработанного инструмента. Описаны источники для сбора данных. Рассмотрены инструменты для сбора данных из источников разных типов. Реализованы алгоритмы сравнения текстов. Приведены результаты экспериментов по точности реализованных алгоритмов.

*Ключевые слова: поиск заимствований, обработка естественного языка*

### **Введение**

Данная работа посвящена вопросам разработки аналитического инструмента поиска заимствований текстов на татарском языке. Этот вопрос актуален, так как он возникает в процессе обучения специалистов по программам с татарским языком обучения. По окончании обучения данных студентов предполагается защита выпускных квалификационных работ на татарском языке. Данная задача была передана Институтом филологии и межкультурной коммуникации Казанского федерального университета, где на татарском языке по данным на 1 апреля 2024 года обучается 1007 студентов. [1] Данный вопрос также актуален для других вузов Республики Татарстан.

Целью данной работы является разработка инструмента поиска заимствований текстов на татарском языке. Также был выделен набор задач, направленный на решение поставленной цели:

1. анализ предметной области и существующих аналогов для поиска заимствований;
2. сбор списка источников для анализа на татарском языке;
3. разработка парсеров текстов публикаций для каждого вида источника;
4. разработка модуля преобразования извлеченного текста;
5. разработка модуля поиска заимствований.

### **Обзор аналогов**

Полного аналога для разрабатываемого инструмента не существует, поэтому в данной работе были рассмотрены системы поиска заимствований для русского языка. Был проведен эксперимент: изучалась корректность определения уникальности татарских текстов. В качестве входных данных подавался полностью скопированный из открытого источника текст на татарском языке, далее - тот же текст после некоторых преобразований, направленных на повышение уникальности текста.

Результаты приведены в таблице 1, где по горизонтали приведены анализируемые инструменты, по вертикали - примененные методы повышения уникальности текста. В итоге оказалось, что инструменты для кириллицы не применимы для поиска заимствований на татарском языке.

*Таблица 1*

#### **Результаты корректности определения оригинальности текста на татарском языке инструментами для русского языка**

Обнаруживаемый метод / Инструмент	Антиплагиат [2]	textovod.com [3]	text.ru [4]
Полное копирование из известных источников	+	+	+
Смена грамматических признаков	-	-	-
Перефразирование	-	-	-
Замена омоглифов	-	-	-
Копирование из непопулярного источника	-	-	-

### **Сбор данных**

Для сбора данных были отобраны ресурсы, содержащие научные, публицистические и художественные тексты на татарском языке, такие как VK [5], eLibrary [6], База выпускных квалификационных работ Казанского федерального университета [7], Татарское книжное издательство [8], Издательство КФУ [9], Журнал «Tatarica» [10].

Все источники имели разную структуру, поэтому для каждого из них были разработаны отдельные инструменты для сбора данных. У таких источников, как VK и eLibrary, есть API (Application Programming Interface) для получения данных. Поэтому для сбора данных из VK была использована библиотека vk [11], а для сбора данных из eLibrary модуль requests [12], который позволяет отправлять HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) запросы. Для остальных источников были разработаны парсеры с помощью библиотеки BeautifulSoup [13]. Некоторые ресурсы хранили данные в виде pdf файлов, для обработки которых используется библиотека pdfplumber [14].

### **Обработка данных**

- Процесс поиска заимствований состоит из следующих этапов:
- предварительная обработка текста;
- перефразирование текста;
- сравнение текста и перефразированного текста с базой существующих документов.
- Процесс предварительной подготовки текста происходит следующим образом:
- Приведение текста к одному регистру.
- Исключение служебных частей речи, знаков препинания, специальных символов, HTML-тегов.
- Лемматизация (приведение слова к лемме — его нормальной (словарной) форме),
- Исключение технической маскировки омогифов с помощью библиотеки Unicode Confusables [15].

Также из-за специфики татарского языка требуется разделение составных слов, пишущихся через дефис и через твердый знак для более точной обработки текста.

Для лемматизации был использован морфологический анализатор татарского языка ru\_tat\_morphan [16], разработанный НИИ «Прикладная семиотика» Академии наук Республики Татарстан.

Для перефразирования применяется корпус TaPaCo [17], состоящий из около 2400 строк. В дополнение к этому используется API Яндекс.Переводчика [18]: исходный текст переводится на русский язык и обратно на татарский.

### **Поиск заимствований**

Для сравнения текста с базой существующих документов применяются алгоритмы поиска нечетких дубликатов. Они заключаются в создании некоторой сигнатуры исследуемого документа и поиск этой сигнатуры в имеющейся базе сигнатур, либо в создании некоторых коллекций из слов исследуемого документа и сравнения с такими же коллекциями из базы документов.

- Для исследования были выбраны следующие алгоритмы:
- Метод шинглов.
- Метод сравнения подмножеств слов без пересечения.
- Метод сравнения 30% наиболее встречающихся слов.
- Комбинация метода шинглов и метода сравнения 30% наиболее встречающихся слов.

Реализованные методы были протестированы на небольших по объему текстах и их комбинациях, подготовленных вручную. Было выявлено, что в среднем погрешность вычислений примерно равна для всех способов, однако результаты метода сравнения 30% наиболее часто встречающихся слов наиболее приближены к реальным. Результаты тестирования отображены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты корректности определения оригинальности текста на татарском языке инструментами для русского языка**

Метод	Количество строк в тексте	Оригинальный процент заимствования	Процент заимствования	Погрешность
Алгоритм шинглов	20	15%	0%	15%
	20	85%	70%	15%
Алгоритм уникальных шинглов	20	15%	0%	15%
	20	85%	70%	15%
Сравнение 30% наиболее встречающихся слов	20	15%	30%	15%
	20	85%	83%	2%
Комбинация методов	20	15%	0%	15%
	20	85%	17%	15%

### Заключение

В ходе работы была достигнута поставленная цель – разработан инструмент поиска заимствований текстов на татарском языке. Для достижения цели был проведен сравнительный анализ аналогов, собрана база текстов на татарском языке, разработаны парсеры для каждого вида источника, модули преобразования извлеченного текста и поиска заимствований. Схема использования разработанной системы изображена на рисунке 1.

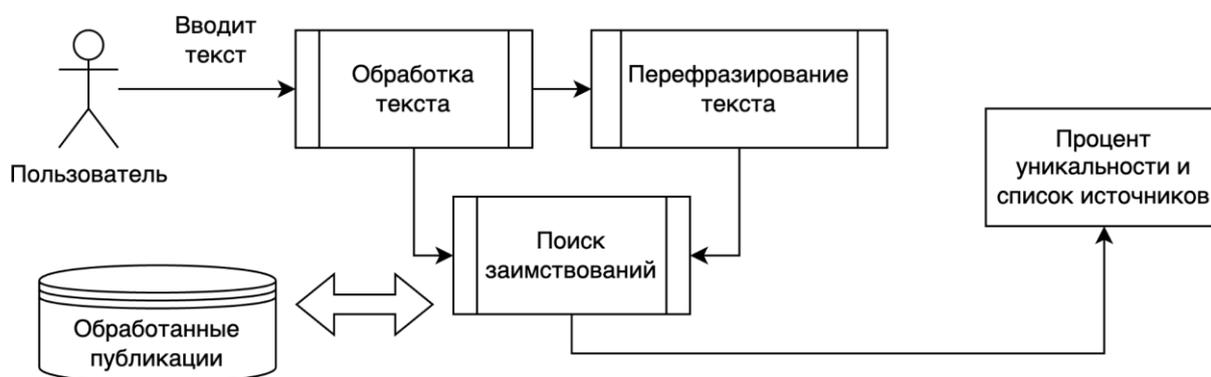


Рис. 1. Схема использования системы.

### Список литературы

1. Сведения о контингенте обучающихся на татарском языке на 01.04.2024 г. [Электронный ресурс]. URL: [https://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F\\_920133445/Na\\_tatarskom\\_yazyke\\_na\\_01.04.2024.pdf](https://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F_920133445/Na_tatarskom_yazyke_na_01.04.2024.pdf) (дата обращения 01.04.2024)

2. Сервис онлайн проверки текста на уникальность Антиплагиат [Электронный ресурс]. URL: <https://anitplagiat.ru> (дата обращения 29.04.2024)
3. Сервис онлайн проверки текста Textovod.com [Электронный ресурс]. URL: <https://textovod.com> (дата обращения 29.04.2024)
4. Сервис онлайн проверки текста на уникальность Text.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://text.ru> (дата обращения 29.04.2024)
5. VK [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com> (дата обращения 29.04.2024)
6. eLibrary [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения 29.04.2024)
7. База выпускных квалификационных работ Казанского федерального университета [Электронный ресурс]. URL: <https://kpfu.ru/math/uchebnyj-process/vkr> (дата обращения 29.04.2024)
8. Татарское книжное издательство [Электронный ресурс]. URL: <https://tatkniga.ru> (дата обращения 29.04.2024)
9. Издательство КФУ [Электронный ресурс]. URL: <https://kpfu.ru/publishing> (дата обращения 29.04.2024)
10. Журнал «Tatarica» [Электронный ресурс]. URL: <https://tatarica.elpub.ru/jour> (дата обращения 29.04.2024)
11. requests [Электронный ресурс]. URL: <https://requests.readthedocs.io> (дата обращения 29.04.2024)
12. VK [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com> (дата обращения 29.04.2024)
13. BeautifulSoup [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/beautifulsoup4> (дата обращения 29.04.2024)
14. pdfplumber [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/pdfplumber> (дата обращения 29.04.2024)
15. unicode-confusables [Электронный ресурс]. URL: <https://www.npmjs.com/package/unicode-confusables> (дата обращения 29.04.2024)
16. ru\_tat\_morphan [Электронный ресурс]. URL: [https://pypi.org/project/ru\\_tat\\_morphan](https://pypi.org/project/ru_tat_morphan) (дата обращения 29.04.2024)
17. ТаPaCo [Электронный ресурс]. URL: <https://huggingface.co/datasets/tapaco/viewer/tt> (дата обращения 29.04.2024)
18. Яндекс.Переводчик [Электронный ресурс]. URL: <https://translate.yandex.ru> (дата обращения 29.04.2024)

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В БПЛА

ХРОМОВ А.М., КАШТАНОВ В.В., ПОПОВ В.В.

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ*

**Аннотация.** Данная статья является обзором на применение искусственного интеллекта в области беспилотных летательных аппаратов в современных реалиях. В частности, статья затрагивает такие темы как роль БПЛА в обеспечении безопасности, направление распределений областей применения БПЛА в сфере безопасности, разбор работы бортовой нейросети, а также постоянное обучение и самообучение систем.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, искусственный интеллект, машинное зрение, нейросети, автономность, безопасность.

### Введение

2023 год вывел беспилотные летательные аппараты на новый уровень практического применения как для обеспечения сферы безопасности, так и для реализации угроз или нанесения террористических или диверсионных атак. Однако не все дроны одинаково устроены – от технологий, заложенных в дрон, существенно зависят их возможности. Заглянув внутрь современных моделей, можно выделить тренды, обеспечивающие их преимущества: нейросетевые технологии (бортовой искусственный интеллект), защищенные каналы дальней связи, мультиспектральные сенсоры и инерциальные системы навигации. Существенное влияние на рынок беспилотников оказывает и санкционное давление, ограничивающее возможности применения передовых цифровых технологий и микроэлектроники.

### **Роль дронов в обеспечении безопасности**

В сфере безопасности одним из основных применений дронов является обнаружение целей. Видеоаналитика с элементами искусственного интеллекта интегрирована в камеры дронов ведущих производителей. Дроны также могут использоваться для доставки и сброса груза, оповещения и ретрансляции сигналов связи. Отдельно стоит отметить привязные дроны, которые могут длительное время мониторить территорию, находясь в одной точке.

### **Искусственный интеллект в видеоаналитике дрона**

История беспилотных летательных аппаратов началась в 1933 году. С 1945 года дроны стали применять для аэрофотосъёмки. В 1980-х годах их начали оснащать цифровыми камерами. Современная видеоаналитика основана на компьютерной технологии, использующей методы компьютерного зрения. Эта технология позволяет анализировать изображения, поступающие с видеокамер дрона в режиме реального времени. ПО с видеоконтентом работает на основе алгоритмов машинного зрения. Это позволяет вести видеомониторинг и производить анализ данных без участия человека на борту БВС или в НСУ.

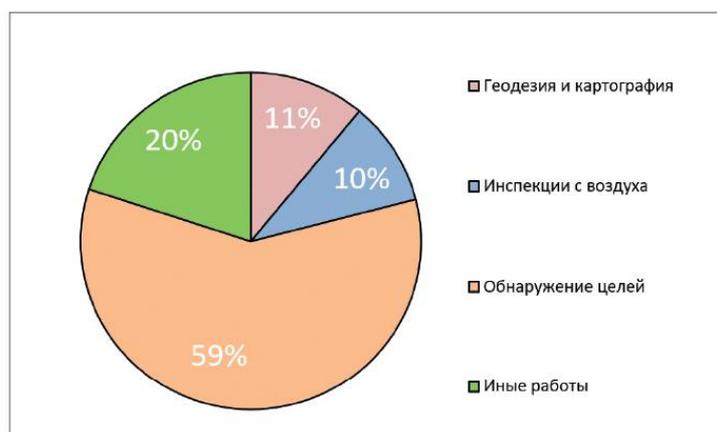


Рис. 1. Распределение направлений применения дронов в сфере безопасности

### **Современные дроны**

Современные дроны, в отличие от своих предшественников, используют технологии четвертой промышленной революции (Индустрии 5.0). Они оснащены передовыми электронно-вычислительными системами, включающими в себя модули на основе нейронных сетей. Теперь возможности дронов определяются в первую очередь уровнем развития их бортовых систем, а во вторую — характеристиками самого летательного аппарата. В этом и заключается принципиальное отличие современных дронов.

### **Принцип работы бортовой нейросети**

В основе обработки видеопотоков и фотографий, которая проводится на борту, лежат те же принципы, что и при обнаружении событий и объектов на земле. Ключевыми требованиями к искусственному интеллекту на борту являются его компактность, низкое энергопотребление и небольшой вес при сохранении вычислительных возможностей. В процессе обучения нейросеть распределяет все объекты по группам. Для каждого объекта можно определить, к какому кластеру он больше относится, а к какому — меньше. Также в процессе обучения формируется «мусорный кластер» — группа, в которую попадают некачественные изображения (рис. 2).

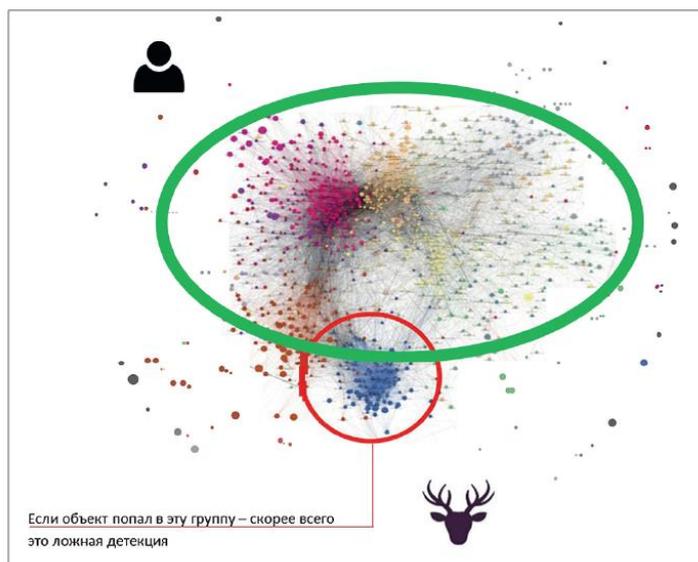


Рис. 2 . Облака детекции и классификации объектов

Дроны стали широко применяться благодаря своей мобильности. Беспилотные авиационные системы (БАС), построенные по принципу вертикального взлёта и посадки (VTOL), могут взлетать без предварительной подготовки и приземляться без использования специальных площадок. Это позволяет им оперативно приступить к работе: время от развёртывания до начала полёта составляет всего несколько минут (рис. 3). Чтобы увеличить время полёта, в качестве маршевого двигателя в таких системах используют двигатель внутреннего сгорания (ДВС).



Рис. 3 . БВС типа VTOL, оснащенный гиростабилизированной камерой наблюдения

Ключевое преимущество современных беспилотных авиационных систем (БАС) с вертикальным взлётом и посадкой (VTOL) — это бортовые сенсоры и вычислители. Они позволяют в реальном времени обмениваться данными, что делает БАС более эффективными при обнаружении и сопровождении объектов. VTOL просты в эксплуатации, что позволяет снизить влияние человеческого фактора и количество техники, необходимой для выполнения лётных заданий. Кроме того, такие беспилотные системы можно полностью автоматизировать. Автопилот позволяет корректировать полётное задание в зависимости от типа и количества обнаруженных объектов. Раньше дроны управлялись вручную или летали по заранее запрограммированным траекториям. Собранные ими изображения проверялись и анализировались оператором.

Бортовой модуль идентификации объекта, основанный на глубоком обучении, может с достаточной производительностью (задержка и точность) захватывать и выводить содержимое изображения. Автопилот беспилотного воздушного судна (БВС) может

динамически планировать маршрут, используя информацию с камер и потенциальные поля для навигации между путевыми точками (рис. 4).

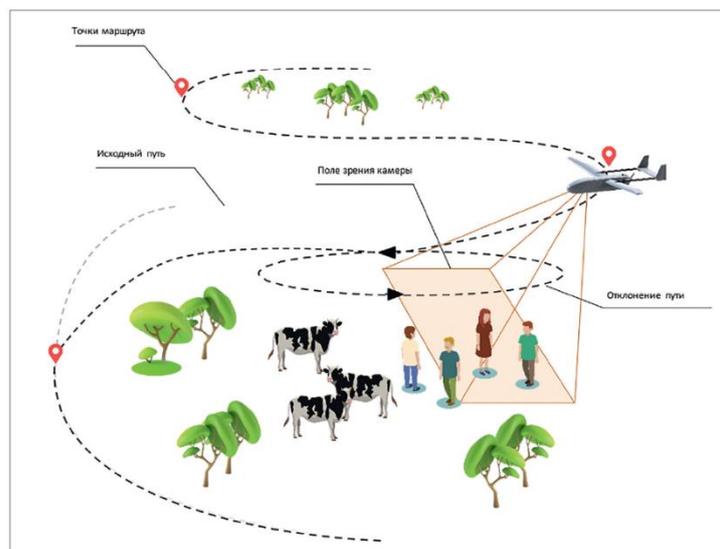


Рис. 4 . Динамическая корректировка маршрута по результатам детекции

В целях охраны и физической защиты объектов наиболее эффективно использовать сдвоенные камеры, которые создают изображение в видимом и инфракрасном диапазонах. Тепловизионные камеры позволяют преодолеть ограничения, характерные для обычных камер (например, они облегчают распознавание объектов на фоне и мониторинг в тёмное время суток), а системы искусственного интеллекта на борту обеспечивают обнаружение с точностью до 98%.

#### **Искусственный интеллект в сквозных технологиях обеспечения безопасности объектов**

Благодаря сквозным технологиям можно непрерывно отслеживать ключевые показатели рисков и уровня защиты, а также предотвращать негативные ситуации. Для этого собирается объективная, актуальная и полная информация, которая в режиме реального времени обрабатывается с помощью искусственного интеллекта. Внедрение бортового искусственного интеллекта для автоматизации основных процедур мониторинга и реагирования повышает готовность к противодействию угрозам. Это так же важно, как проведение тренировок и учений.

Постоянное обучение и самообучение системы (Machine Learning) позволяет уменьшить количество ложных срабатываний (рис. 5).



Рис. 5. Оценка и снижение рисков с использованием сквозной технологии

### Список литературы

1. Шилов О. Дроны, искусственный интеллект и нейросети [Электронный ресурс] // Системы безопасности security and safety : [сайт]. [2022]. URL: <https://www.secuteck.ru/articles/drony-iskusstvennyj-intellekt-i-nejroseti> (дата обращения: 01.05.2024).

## СЕКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛА 5G ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПОДСВЕТА В ПОЛУАКТИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

НГУЕН В. Т., КУТУЗОВ В.М.

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

**Аннотация.** Развитие 5G во всем мире дает возможность применения для полуактивной радиолокации. Восстановлением опорного сигнала является один из ключевых шагов обработки сигнала в ПАРЛС. В данной работе рассмотрена структура сигнала 5G нисходящей линии, показан и объяснен алгоритм восстановления 5G сигнала. А также приведен пример процесса восстановления 5G сигнала.

*Ключевые слова:* полуактивная радиолокационная система, 5G сигнал, пассивная когерентная радиолокация

В полуактивной радиолокационной системе (ПАРЛС) реализуется обнаружение целей в двумерной области «задержка-доплеровский сдвиг частоты» путем оценки взаимной функции неопределенности сигнала канала наблюдения, в котором присутствуют отражения от целей, и опорного сигнала, полученного с направления на источник подсвета [1,2]. В отличие от обычных активных радаров, бистатическая ПА РЛС не имеет предварительных знаний об эталонном сигнале, что делает необходимым процесс восстановления опорного сигнала. Известно, что получение высококачественного опорного сигнала является ключевой проблемой для полуактивных радиолокационных систем. Опорный сигнал важен для подавления помех и согласованной фильтрации, получение опорного сигнала из опорного канала имеет решающее значение для достижения целевого обнаружения когерентности. Однако опорный сигнал зашумлен и загрязнен многолучевыми помехами, что приводит к искажению полученных результатов. Таким образом, чистота опорных сигналов напрямую влияет на характеристики ПА РЛ. В данной работе рассматриваются физические сигналы и каналы 5G нисходящей линии, анализируется алгоритм восстановления опорного сигнала 5G.

В соответствии со спецификациями 3GPP [3], передача по нисходящей линии связи 5G основана на модуляции мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов с циклическим префиксом (CP-OFDM). Кадр 5G имеет длительность 10 мс и состоит из 10 подкадров длительностью 1 мс. Во временной области каждый подкадр разбивается на множество слотов, каждый из которых содержит 14 символов OFDM для нормальной длины CP. Количество слотов на подкадр зависит от расстояния между поднесущими. В отличие от LTE, который имеет постоянное расстояние между поднесущими 15 кГц, 5G определяет различные нумерологии  $\mu \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$  для поддержки гибкого расстояния между поднесущими  $\Delta f = 2^\mu \cdot 15$  кГц. А в частотной области, элемент ресурса – это наименьший элемент сетки ресурсов, и элементы ресурса объединяются в ресурсные блоки по 12 поднесущих в каждом.

Сигнал 5G состоит из нескольких физических каналов и сигналов. Каждый из них имеет разное назначение, встречается в разных местах частотно-временной сетки и по-разному

кодируется (таблица 1). Важно определить положение этих сигналов в сетке ресурсов и, если возможно, декодировать их с точки зрения третьего пользователя.

SSB используется для поиска соты и первоначального доступа в сети связи 5G. Каждый SSB состоит из четырех последовательных символов мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), содержащих первичный сигнал синхронизации (PSS), вторичный сигнал синхронизации (SSS), физический широкоэвещательный канал (PBCH) и опорный сигнал PBCH-демодуляции (PBCH-DMRS).

Таблица 1

**Физические каналы и сигналы нисходящей линии**

Термин	Определение	Вид модуляции	Роль
PSS	Primary synchronization signal – сигнал первичной синхронизации	$\pi/2$ -BPSK	Синхронизация частоты и символов
SSS	Secondary synchronization signal – сигнал вторичной синхронизации	$\pi/2$ -BPSK	Физическая идентификация ячейки
DM-RS	Demodulation reference signals – опорные сигналы для оценки частотного отклика канала	QPSK	настройки эквалайзера приемной цепи и демодуляции сигналов
PT-RS	Phase-tracking reference signals – опорные сигналы с отслеживанием фазы	QPSK	компенсации фазовых шумов опорных генераторов
CSI-RS	Channel-state information reference signal – Опорный сигнал информации о состоянии канала	QPSK	Определение характеристик канала 5G
PBCH	Physical Broadcast Channel – физический широкоэвещательный канал	QPSK	Использования для трансляции блока главной информации (MIB)
PDCCCH	Physical Downlink Control Channel – физический контрольный канал нисходящей	QPSK	Получение информации о позиции SIB1
PDSCCH	Physical Downlink Shared Channel – физический канал для передачи информации нисходящей	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	Получение SIB1, т. е. минимальной информации о системе.

На рисунке 1 показан алгоритм демодуляции и декодирование полученного сигнала 5G. Первый шаг – это процедура поиска соты, позволяющая пользовательскому оборудованию получить временную и частотную синхронизацию с сотой и обнаружить идентификатор соты физического уровня соты. ПО принимает следующие сигналы синхронизации для выполнения поиска соты: первичный сигнал синхронизации (PSS) и вторичный сигнал синхронизации (SSS), как определено в TS 38.211 [4]. PSS и SSS представляют собой псевдослучайные последовательности и включают в себя полную информацию об идентификаторе соты  $N_{ID}^{(1)}, N_{ID}^{(2)}$ . Потом вычисляется идентификатор сервисной соты (PCI),

который можно представить выражением:  $N_{ID}^{Cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$ . Идентификатор сервисной соты позволяет определить место опорного сигнала PBCH-демодуляции (PBCH-DMRS)  $\nu = N_{ID}^{Cell} \bmod 4$ , и демодулировать PBCH.

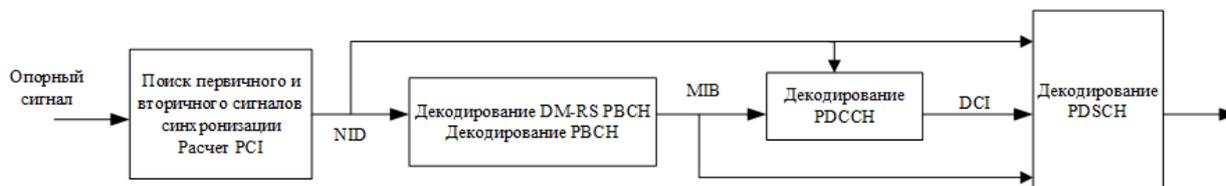


Рис. 1 Алгоритм восстановления опорного сигнала

В состав физического широкополосного канала входит блока главной информации (MIB). MIB несет следующие важные информации: номер кадра системы, общее расстояние между поднесущими, SSB-смещение поднесущей, PDCCH-ConfigSIB1, внутрочастотный повторный выбор, DMRS-ТуреА-позиция, текущая ячейка запретной. После получения базовой информации о соте (MIB) ПО может определить расположение и размер набора ресурсов управления (CORESET), в котором расположен PDCCH.

Зная точное положение PDCCH, можно его демодулировать и декодировать (5). PDCCH несет информацию управления нисходящей линии связи DCI. Его правильный прием обязателен для корректной демодуляции PDSCH, по которому передаются данные пользователя. Каждый DCI представляет собой циклический избыточный код CRC, скремблированный временный идентификатор радиосети системной информации (SI-RNTI). Его невозможно расшифровать без предварительного знания RNTI. Каждому ПО назначен набор выделенных DCI. Полученный DCI можно использовать для поиска и декодирования других каналов.

После декодирования блоков MIB и DCI ПО может приступить к приему SIB1 (блок системной информации тип 1). Это элемент оставшейся минимальной системной информации, который несет в себе информацию, необходимую ПО для подключения к сети.

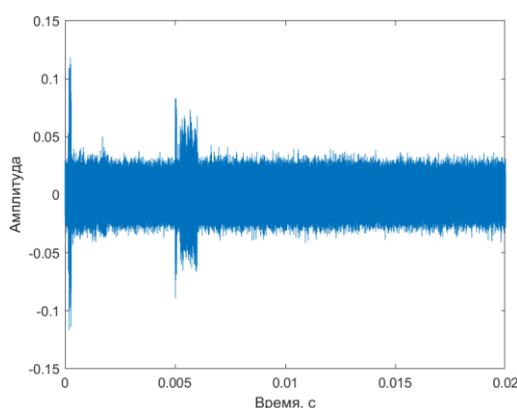


Рис. 2. Опорный сигнал на фоне шума

В данной работе процесс восстановления сигнала подробнее описывается путем моделирования с помощью MATLAB. На рисунке 2 показан опорный сигнал на фоне шумов с частотой дискретизации  $F_s = 61.44$  МГц. Видно, что в опорном канале имеет 5G сигнал, но с какого момента не известно.

Выполнение первого шага процесса восстановления 5G сигнала дается полную информацию об идентификаторе соты  $N_{ID}^{(1)} = 84, N_{ID}^{(2)} = 0$  и  $N_{ID}^{Cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} = 252$ , время до блока синхронизации равно 0.1432 мс (отчет 8800), PBCH демодулирован. В базовой информации о соте показано значение PDCCH-ConfigSIB1 равно 4 и можно определить расположение и размер CORESET (рис. 3). Для поиска DCI в CORESET приемник декодирует принятые символы PDCCH вслепую, отслеживая всех кандидатов PDCCH для каждого уровня агрегации с использованием SI-RNTI для идентификации правильного кандидата. В этой работе SI-RNTI = 65535, сообщение DCI имеет размер 39 битов. Наконец, демодуляция PDSCH, и извлечение SIB1 выполняется с полной информации MIB, идентификатором соты и DCI (рис.4).

Полный опорный сигнал демодулирован и важные информации для восстановления опорного сигнала получено. Результат восстановления сигнал 5G показано на рисунке 5. С такой чистотой опорный сигнал 5G позволяет повысить эффективность процесса обработки сигнал в ПАРЛС.

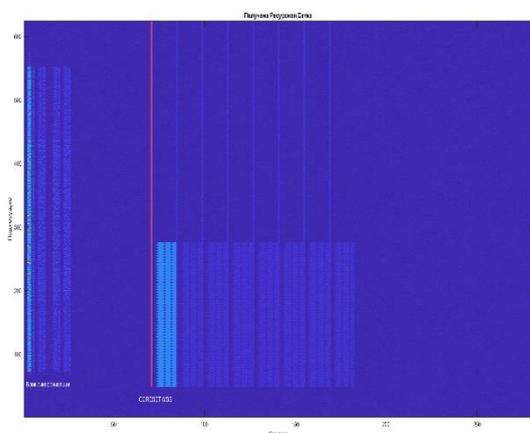


Рис. 3. Положение SSB и CORESET

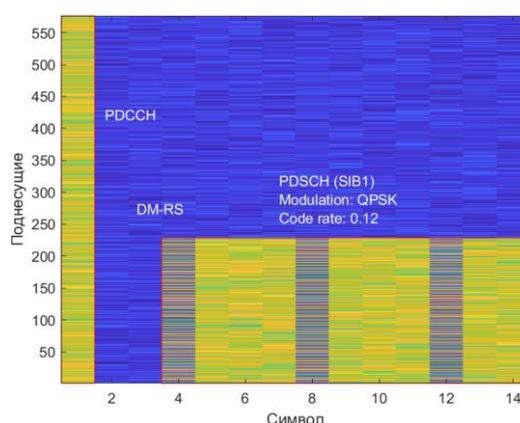


Рис. 4. Положение PDCCH и PDSCH

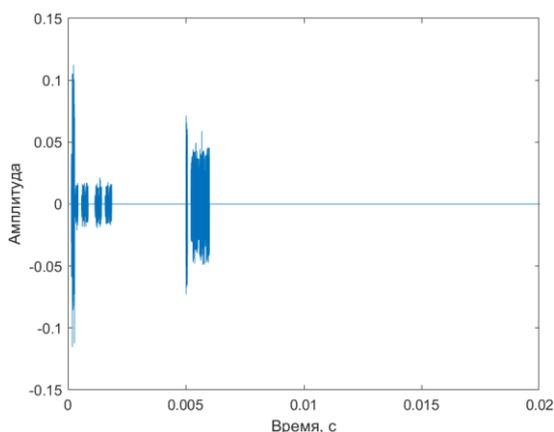


Рис. 5. Опорный сигнала 5G после восстановления

## Заключения

В результате работы рассмотрены физические сигналы и каналы нисходящей линий, алгоритм для восстановления опорного сигнала 5G в ПАРЛС, и показан процесс восстановления путем моделирования 5G опорного канала на фоне помеха. Анализ структура сигнала 5G показывает, что восстановление опорного сигнала 5G можно

выполняться. Использование сигналов 5G в качестве сигнала подсвета для развития ПАРЛС вполне возможно.

### Список литературы

1. Бархатов, А. В Пассивная когерентная радиолокация. // А. В. Бархатов, В. И. Веремьев, Е. Н. Воробьев, А. А. Коновалов и др. – С.-Пб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – 163 с.
2. Mateusz Malanowski “Signal Processing for Passive Bistatic Radar”, London: Artech House, 380 pp., 2019.
3. 3GPP Specification series: 38series. URL: <https://www.3gpp.org/dynareport?code=38-series> (дата обращения 30.04.2024).
4. 3GPP, 5G NR Physical channels and modulation (3GPP TS 38.211 version 16.2.0 Release 16), Standard, ETSI, 2020.
5. 3GPP, 5G NR Physical Layer Procedures for Control (3GPP TS 38.213 version 16.2.0 Release 16), Standard, ETSI, 2020.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ГРАФИКИ В РАДИОТЕХНИКЕ

ЕЛИСЕЕВ Е. И.<sup>1</sup>, МАСЛЕННИКОВА Е.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».  
Официальный сайт СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются фрактальные антенны, их особенности и свойства. Для понимания основ фрактальных антенн в статье вводится понятие фрактала, рассматриваются основные их свойства и приводятся примеры фракталов. Разработан алгоритм построения фрактала «Снежинка Коха» и программа на языке Python, в которой использовался рекурсивный алгоритм и модуль Turtle. В ходе работы производились измерения силы сигнала фрактальных антенн. Для этого были изготовлены две фрактальные антенны в виде «Ковра Серпинского» и «Снежинки Коха». Первая была изготовлена из двухстороннего фольгированного текстолита методом химического травления меди с нанесением плёночного фоторезиста. Вторая антенна была изогнута из медной проволоки по трафарету, созданному в Python. В ходе работы было установлено, что фрактальные антенны при наименьших габаритах обладают лучшими свойствами по сравнению со штыревыми антеннами.

*Ключевые слова:* радиотехника, антенна, фрактал, программирование, травление меди, печатная плата, Python, Turtle, рекурсия, рекурсивный алгоритм.

### Введение понятия «фрактал»

Фрактал – (лат. fractus – дроблённый, сломанный, разбитый) – математическое множество, обладающее свойством самоподобия, то есть однородности в различных шкалах измерения. Самоподобной геометрической фигурой (телом) мы будем называть фигуру, которую можно разрезать на конечное число одинаковых фигур, подобных ей самой. Наиболее известными являются: Снежинка Коха (рис.1.1), Ковёр Серпинского (рис. 1.2), Фрактал Мандельброта (рис. 1.3), Бином Ньютона, Множество Жюлиа, Фигура Лихтенберга, Дерево Пифагора, Кривая Пеано, Рекурсивная кривая Пеано (рис. .1.4).

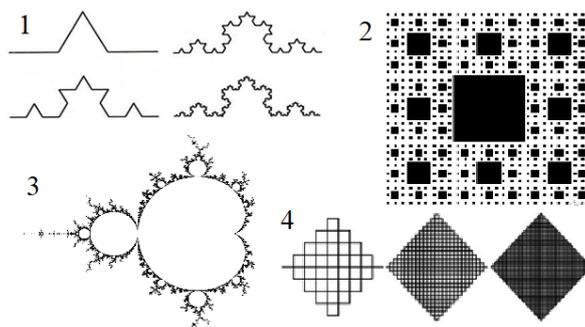


Рис. 1. Примеры фракталов

### Фрактальные антенны

Фрактальные антенны – относительно новый класс электрически малых антенн (ЭМА), принципиально отличающийся своей геометрией от известных решений. Фрактальная антенна (рис. 2) – это антенна, активная часть которой имеет вид самоподобной кривой или какой-либо другой подобно делящейся или состоящей из подобных сегментов фигуры. Данный тип антенн появился сравнительно недавно, и принципиально отличается от известных, стандартных и общепринятых решений.

Впервые на практике для антенн эти принципы применил в 90-е года XX века американский инженер Натан Коэн, который изготовил первую фрактальную антенну и исследовал особенности данных антенн. В дальнейшем выяснилось, что при помощи фракталов можно значительно уменьшить размеры конструкции, и расширить полосу рабочих частот, т. е. можно создать широкополосную антенну. Уменьшение размеров позволило создавать малогабаритные устройства с достаточно мощными приёмопередатчиками, работающими в частотах 2,4 ГГц по стандартам: *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *GSM*. Также была отмечена отличная работа фрактальных антенн в телевизионном диапазоне и в качестве микроволнового излучателя. Но, фрактальные антенны сложной формы мало распространены в повседневной жизни, так как патентом на производство и внедрение фрактальных систем в антенной промышленности владеет весьма ограниченное количество компаний.

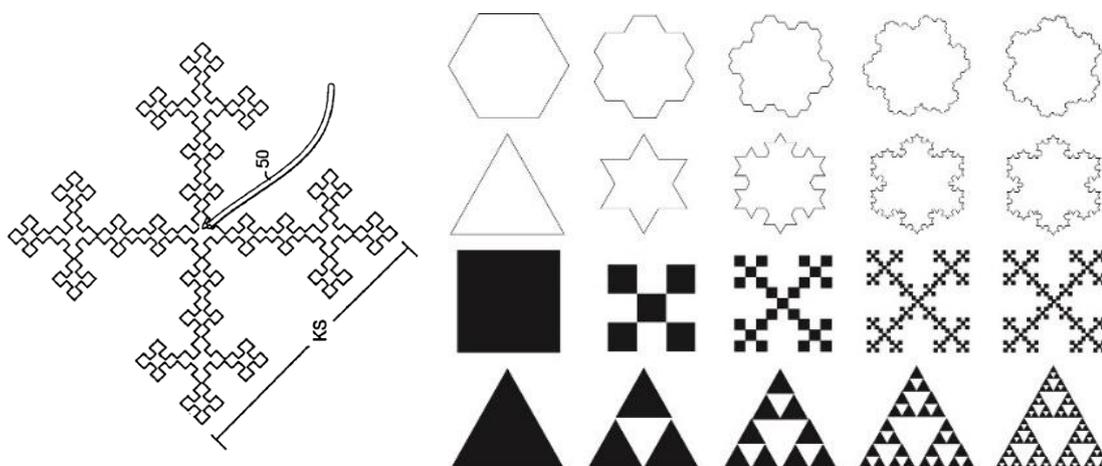


Рис. 2. Примеры фрактальных антенн

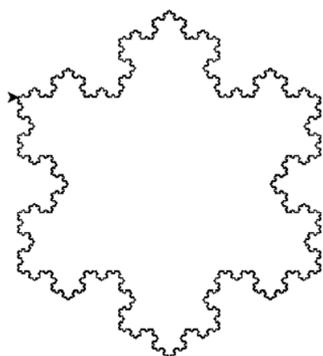
### Программирование фракталов

Так как фракталы – это математические множества, то они могут быть созданы с помощью средств программирования. Рассмотрим программирование фрактала «Снежинка Коха» (рис. 3) с помощью языка *Python* и модуля *Turtle*, предназначенного для создания геометрических фигур. Для рисования следующих итераций создадим функцию, которой будем передавать два параметра — длина нашей линии и количество итераций. Задаём условие: если  $n = 0$ , то рисуем вперед на длину переданной в параметре, в противном случае будем рисовать кривую Коха по разработанному алгоритму. Кривая Коха представляет собой прямую, разделённую на три равных отрезка, вместо среднего помещается равносторонний треугольник без основания, стороны которого в свою очередь могут представлять собой кривые Коха. Таким образом необходимо написать рекурсивный алгоритм. Код программы представлен ниже.

```

import turtle
size = 300
n = 6
turtle.speed('fastest')
turtle.up()
turtle.backward(150)
turtle.left(90)
turtle.forward(150)
turtle.right(90)
turtle.down()
def koch_curve(size, n):
    if n == 0:
        turtle.forward(size)
    else:
        koch_curve(size / 3, n - 1)
        turtle.left(60)
        koch_curve(size / 3, n - 1)
        turtle.right(120)
        koch_curve(size / 3, n - 1)
        turtle.left(60)
        koch_curve(size / 3, n - 1)
def draw_koch_snowflake(size, n):
    for i in range(3):
        koch_curve(size, n)
        turtle.right(120)
draw_koch_snowflake(size, n)

```



1.

Рис. 3. «Снежинка Коха» в Python

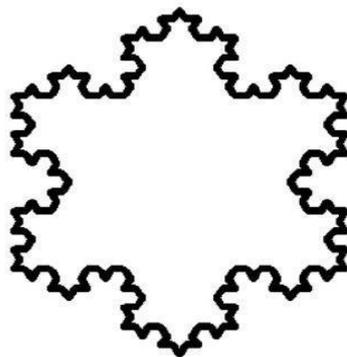
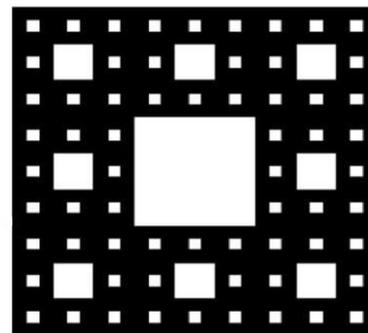


Рис. 4. Трафареты «Ковёр Серпинского» и «Снежинка Коха»



### Изготовление фрактальных антенн

Истинные фрактальные антенны мало распространены в мобильной технике, но усечённую кривую Пеано можно встретить почти в каждом современном носимом устройстве, и во многих платах разработки, таких как *Esp32*, *Esp8266*, *NRF24L01*. В данной статье мы рассмотрим разработку и создание двух полноценных фрактальных антенн типов «Ковёр Серпинского» и «Снежинка Коха», с достаточно хорошей глубиной рекурсии. Так как антенны будут применяться для сетей частотой 2,4 ГГц, то длина проводника будет больше или равна половине длины волны, рассчитанной по формуле  $\lambda = c/v$ , где  $\lambda$  – длина волны,  $c$  – скорость света,  $v$  – частота радиоволны. Для наших антенны длина волны равна 0,125 м, откуда следует, что длина антенн будет больше или равна 0,0625 м.

Ранее было рассмотрено программирование «Снежинки Коха» рекурсивным методом. Так как эта антенна представляет собой замкнутую фигуру, то удобнее всего будет изготавливать её из медной проволоки, толщиной 0.75 мм<sup>2</sup> рекурсивно изгибая по шаблону (рис. 4, слева). Готовая антенна представлена на рис. 5, в центре изображения.

Антенна типа «Ковёр Серпинского» была изготовлена с помощью метода фотолитографии. Исходя из приведённых ранее расчётов, сторона «Ковра Серпинского» будет равна 0,0625 м. Для создания трафарета в графическом редакторе строится модель антенны нужной длины по формулам:  $x_i = \frac{x_{i-1} + 2x_A}{3}$ ,  $y_i = \frac{y_{i-1} + 2y_A}{3}$ , где  $x_A$ ,  $y_A$  – координаты ближайшей точки-аттрактора. Готовый трафарет представлен справа на рис. 4.

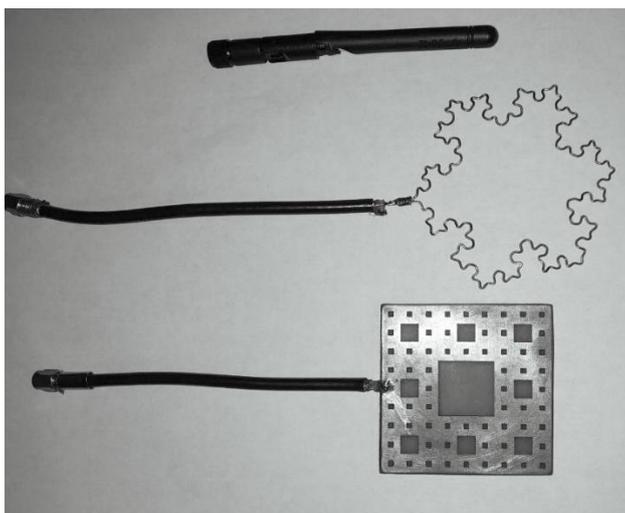


Рис. 5. Антенны. Сверху вниз: маленькая штыревая, «Снежинка Коха», «Ковёр Серпинского».

Следующим этапом является фотолитография. На струйном принтере печатается трафарет для фотолитографии. На подготовленную подложку из текстолита с двухсторонним слоем меди наклеивается плёнка фоторезиста и на неё переносится трафарет. Далее засвечивается фоторезист и смывается в растворе NaOH. Следующим этапом идут травление в растворе FeCl<sub>3</sub> и промывка платы от остатков фоторезиста в воде. В конце припаиваются провода от антенного разъёма (рис. 5, снизу).

В качестве точки доступа Wi-Fi был выбран коммутатор *D-Link*.

Для снятия характеристик антенн использовался анализатор *Tektronix NetTek Analyzer Y350C*. Антенна подключена через разъём *SMA-RP* с кабелем сопротивления 50 Ом. Мощность маршрутизатора стандартная (10 mW).

В ходе работы проводились измерения в полосе пропускания сети *Wi-Fi* 24002484 МГц с помощью анализатора. Измерялись показатели двух штыревых антенн, отличающихся по длине, и двух фрактальных антенн. В результате установлено, что длинная штыревая антенна обладает максимальной чувствительностью в среднем  $-1.068 \text{ db*mv}$ , а короткая штыревая – в среднем  $-1.050 \text{ db*mv}$ . Антенна в виде «Ковра Серпинского» показала результат в среднем  $0.39 \text{ db*mv}$ , а антенна в виде «Снежинки Коха» – в среднем  $0.155 \text{ db*mv}$ . Из полученных данных, можно сделать вывод, что фрактальные антенны обладают лучшими свойствами, чем штыревые антенны. Экранированная антенна в форме «Ковра Серпинского» показала предсказуемое усиление сигнала по сравнению с неэкранированной «Снежинкой Коха».

Дополнительно проводились измерения силы сигнала антенны от Wi-Fi роутера. Короткая и длинная антенны показали  $-29 \text{ dbm}$  и  $-33 \text{ dbm}$  соответственно, антенна в виде «Ковра Серпинского» имеет силу  $-43 \text{ dbm}$ , а в виде «Снежинки Коха» –  $-45 \text{ dbm}$ . Как видно из полученных данных, фрактальные антенны обладают лучшими характеристиками, чем штыревые антенны.

### Заключение

В ходе проделанной работы были определены понятия фрактала, фрактальной графики и фрактальных антенн. Так как фракталы – математические множества, то они могут создаваться с помощью несложных рекурсивных алгоритмов и формул, что было показано с помощью языка *Python* и модуля *Turtle*. Говоря о фрактальных антеннах, необходимо

учитывать усложнение конструкции и расчётов по сравнению со штыревыми антеннами, но несмотря на это, фрактальные антенны обладают множеством плюсов. В ходе работы по практическому изготовлению фрактальных антенн, была усложнена конструкция, уменьшены их габариты, усилен сигнал и упрощено экранирование. Эти свойства фрактальных антенн позволяют изготавливать плоские фрактальные антенны без необходимости вынесения их за корпус, что подходит для микроэлектроники, носимых устройств и космических аппаратов. Таким образом, фрактальные антенны – перспективная область развития радиокommunikационных систем, с возможностью применения в различных сферах техники.

### Список литературы

1. Соколов, И.М. Фракталы [Текст] / И.М. Соколов // Квант. – 1989. - №5. – С. 6-13.
2. Епифанов, Е. Красота повтора [Текст] / Е. Епифанов // Популярная механика. – 2009. - №3.
3. Слюсар, В. Фрактальные антенны принципиально новый тип "ломаных" антенн [Текст] / В. Слюсар // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – С. 78-83.
4. Фрактальные антенны [Электронный ресурс] / URL: <https://bloganten.ru/fraktalnye-antenny>
5. Фрактальная wi-fi антенна [Электронный ресурс] / URL: <https://bloganten.ru/fraktalnaya-wifi-antenna>

## ЧАСТОТНАЯ СЕЛЕКЦИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СО СЛОЖНЫМ СИГНАЛОМ

ЗИНЧЕНКО А.А.

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого*

**Аннотация.** В статье описывается метод селекции движущихся целей на основе частотной режекции помех в радиолокационных системах со сложным сигналом, обладающим двухуровневой нерегулярной структурой огибающей энергетического спектра. Приведен алгоритм формирования сложных сигналов с указанной спецификой спектра. На примере продемонстрировано, насколько перекрываются спектры сигналов с разными смещениями по частоте, а также показана трансформация спектров после частотной режекции.

*Ключевые слова:* селекция движущихся целей, сложные сигналы, двухуровневая огибающая амплитудного спектра, частотная режекция

### Введение

Селекция движущихся целей основана на различии в смещениях по частоте спектров сигналов, отраженных от движущихся и неподвижных целей. Традиционно для решения задач обнаружения движущихся целей в радиолокационных системах (РЛС) применяют зондирующие сигналы в виде пачки последовательности периодических импульсов. Амплитудный спектр сигнала обладает гребенчатой структурой, что позволяет выполнить задачу различения спектров доплеровских целей. Однако многопиковая структура ограничивает диапазон доплеровских частот и приводит к появлению «слепых» элементов дальности.

Проблема частотной селекции движущихся целей в РЛС со сложными сигналами состоит в полном перекрытии спектров отраженных сигналов. Оригинальная идея селекции движущихся целей на фоне помех на основе формирования сложных сигналов с двухуровневой нерегулярной структурой огибающей амплитудного спектра была предложена в работах [1-4].

В настоящей статье излагается метод синтеза сложных импульсных сигналов с указанными спектральными свойствами. Дается оценки степени подавления помехи на основе частотной режекции спектральных компонент в спектре сигнала помехи

### **Формирование последовательности с двухуровневой структурой огибающей амплитудного спектра**

В основе формирования сигнала с нерегулярной (псевдослучайной) структурой огибающей амплитудного спектра лежит явление частотно-временного дуализма. Пусть модуль некоторой троичной последовательности, периодическая автокорреляционная функция которой имеет практически равномерный уровень боковых лепестков во всем диапазоне временных сдвигов, будет описывать форму спектра формируемого сигнала. Тогда ее фазовый спектр будет описывать закон многопозиционной фазовой манипуляции сигнала, обладающего нерегулярной структурой огибающей энергетического спектра. Соответствующие дискретные значения фазы мы можем получить из аргумента дискретного преобразования Фурье (ДПФ), представленного формулой:

$$W_k := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left( w_i \cdot \exp\left(-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{k}{N} \cdot i\right) \right)$$

где  $w_i$  – дискретные отсчёты порождающей троичной последовательности.

Пример порождающей троичной последовательности со средней скважностью  $Q = 4$  представлен на рисунке 1. Закон изменения фазы многофазной последовательности с непрерывной огибающей и амплитудный спектр с нерегулярной двухуровневой структурой представлены на рисунках 2 и 3 соответственно. Следует отметить, что приведенный амплитудный спектр обладает двухуровневой структурой. Выделяются спектральные компоненты с высоким уровнем интенсивности и с низким (нулевым) уровнем. Частотный интервал следования компонент с высоким и низким уровнем имеет нерегулярный характер.

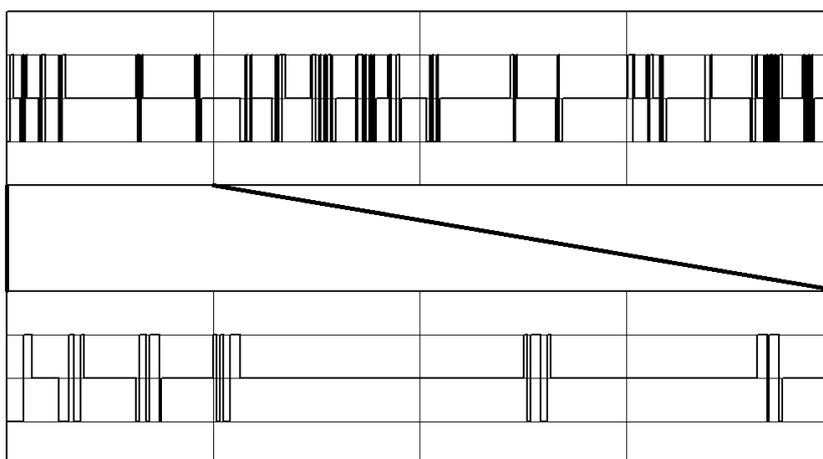


Рис. 1. Порождающая троичная псевдослучайная последовательность

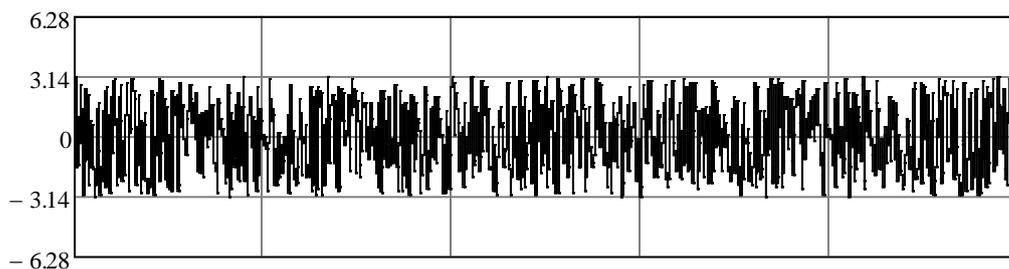


Рис. 2. Временная диаграмма изменения фазы сигнала

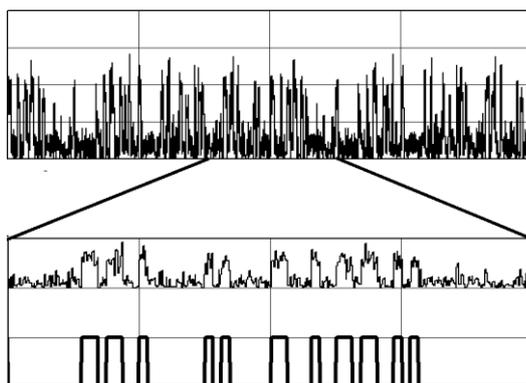


Рис. 3. Амплитудный спектр сигнала и сопоставление части спектра с модулем соответствующей части троичной порождающей последовательности

### Частотная режекция мешающего точечного отражения

Степень подавления помехи определяется частотной функцией режекции. Как отмечалось ранее, двухуровневый вид амплитудного спектра однозначно определяется структурой троичной последовательности. Поэтому вид частотной функции режекции получается «инверсией» символов модуля троичной последовательности и принимает два уровня «0» или «1».

В силу того, что принимаемый сигнал является аддитивной, линейной смесью помехи и сигнала, то можно рассматривать отдельно, как изменяются спектры помехи и сигнала с различными доплеровскими сдвигами при частотной режекции.

Рассмотрим, как изменяются спектры сигналов с различными частотными сдвигами после частотной режекции последовательностью, инверсной модулю порождающей последовательности. Спектры до и после режекции представлены на рисунке 4 для сигнала с нулевым доплеровским сдвигом и на рисунке 5 для сигнала со смещением по частоте.

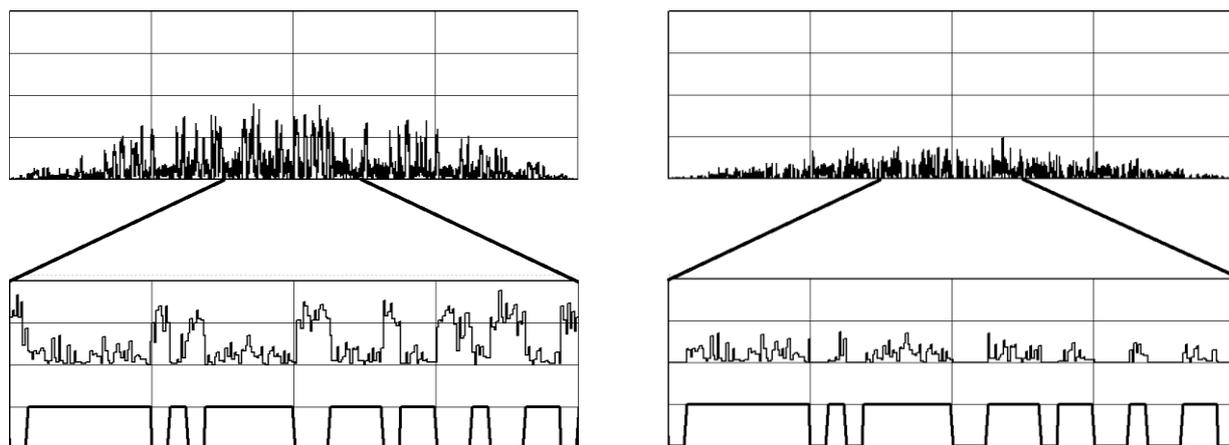


Рис. 4. Амплитудный спектр сигнала с нулевым доплеровским сдвигом до режекции (слева) и после (справа)

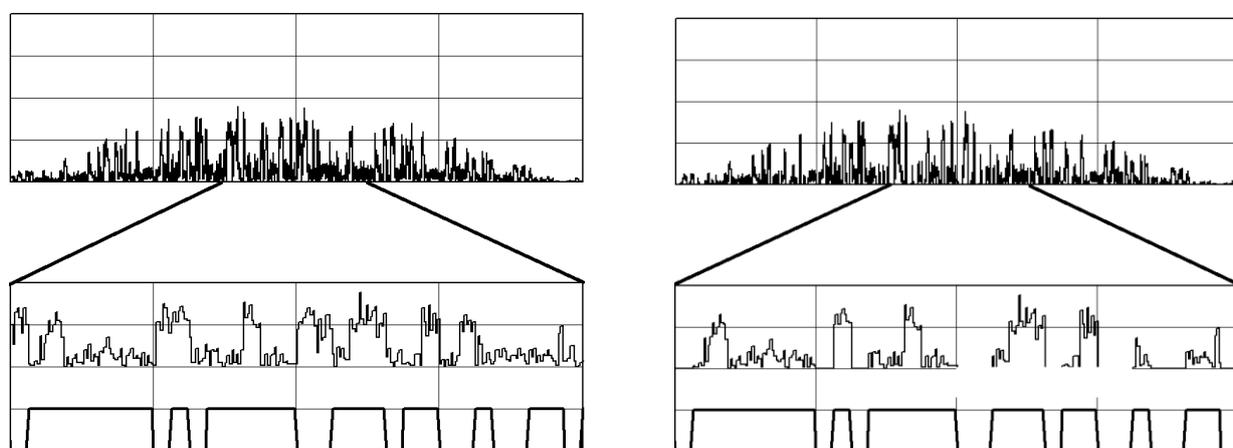


Рис. 5. Амплитудный спектр сигнала с доплеровским сдвигом до режекции (слева) и после (справа)

Из рисунка 4 видно, что высокоуровневые составляющие спектра сигнала с нулевым доплеровским сдвигом в ходе частотной режекции подавляются. Однако составляющие с низким уровнем сохранились. В результате режекции имеем подавление сигнала с нулевым доплеровским сдвигом на 16,3 дБ. Рисунок 5 демонстрирует, что спектр сигнала, имеющий отличный от нуля доплеровский сдвиг, после частотной режекции сохраняет нерегулярную двухуровневую структуру огибающей спектра. Однако, в ходе режекции теряется малая часть высокоуровневых спектральных компонент. Доля энергетических потерь при этом будет зависеть от средней скважности порождающей последовательности. Таким образом, когерентное накопление сигналов после частотной режекции будет изменять отношение сигнал-помеха в сторону увеличения.

Следует отметить, что после проведения селекции двухуровневый нерегулярный спектр сохраняет единственность пика функции неопределенности и разрешающие способности по задержке и частоте остаются такими же, как и до режекции. Поэтому после подавления помехи во входной смеси сигнала с помехой указанным методом производится классическая обработка сигнала, обеспечивающая максимизацию отношения сигнал/шум и решению задач радиолокационного обнаружения.

### **Выводы**

Исследование трансформации спектра сигнала с двухуровневой нерегулярной структурой энергетического спектра в ходе частотной режекции продемонстрировало целесообразность метода для решения задач селекции движущихся целей.

### **Список литературы**

1. Быстрое Н.Е., Чеботарев Д. В Сложные фазомодулированные сигналы с частотной режекцией мешающих отражений. // Труды XVIII-ой научно-технической конференции НИИ Приборостроения им. В.В.Тихомирова, г. Жуковский, 16-18 февраль 2005г, стр 37-40.
2. Быстров Н.Е., Жукова И.Н., Чеботарев С.Д. Синтез сложных сигналов с квазинепрерывным энергетическим спектром // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2012. № 2. С. 37-42
3. Быстров Н. Е., Чеботарев С. Д. Энергетические показатели частотной режекции мешающих отражений // Вестн. НовГУ. 2012. Вып. 67. С. 4–8.
4. Быстров Н. Е., Чеботарев С. Д. Методы повышения эффективности частотной режекции сигналов с квазинепрерывным энергетическим спектром // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2012. Вып. 5 с. 27-36

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПЛЕКСЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.**

Тришаков А.А., Белоусов О.А., Карих Р.Д.

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»*

**Аннотация.** Данная статья посвящена применению нейросетевых технологий в комплексе обнаружения и противодействия для защиты объектов критической инфраструктуры от малоразмерных беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения. Нейросети отличаются высокой точностью и скоростью обработки информации, что делает их идеальным инструментом для решения таких задач. Благодаря возможности обучения на больших объемах данных, нейросети способны выявлять паттерны и аномалии, что помогает в быстром обнаружении и реагировании на угрозы. Также, использование нейросетей позволяет автоматизировать процессы обнаружения и принятия решений, что увеличивает эффективность защиты объектов критической инфраструктуры.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, нейросетевые технологии, критическая инфраструктура, комплекс обнаружения и противодействия.

Нейросетевые технологии становятся все более актуальными в области обнаружения и противодействия угрозам, связанным с малоразмерными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) гражданского назначения. На сегодняшний день использование нейросетей в комплексе защиты объектов критической инфраструктуры позволяет значительно повысить эффективность систем безопасности. Особенности применения нейросетевых технологий в данной области включают в себя использование алгоритмов машинного обучения для обработки данных с камер и радио детекторов, определение аномального поведения БПЛА и автоматическое оповещение операторов о потенциальной угрозе.

В свете постоянно возрастающего числа инцидентов с проникновением БПЛА на охраняемые территории, развитие и совершенствование нейросетевых технологий является важным шагом в обеспечении безопасности критической инфраструктуры. [1]

Для эффективного обеспечения безопасности критической инфраструктуры в современных комплексах применяются радиолокационный метод обнаружения с интеграцией нейросетевых технологий, что позволяет не только засечь дрон на расстоянии до нескольких километров, определить дальность и направление полета, но и пред анализировать работу комплекса с дальнейшей идентификацией объекта (рис. 1). Обычно дальность действия радиолокационных систем ограничена и для полного покрытия может потребоваться установка пары модулей.

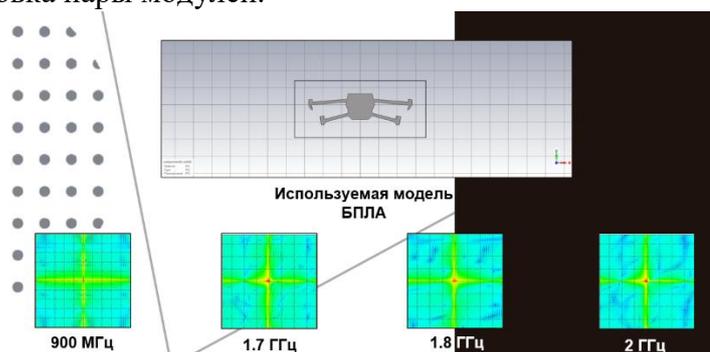


Рис. 1. Работа нейросетевых технологий в комплексе.

Одной из особенностей применения нейросетевых технологий является способность обучения нейронных сетей на больших объемах данных, что позволяет создавать сложные модели для детектирования и классификации объектов. Например, использование глубоких нейронных сетей позволяет значительно улучшить качество обнаружения БЛА и минимизировать ложные срабатывания системы. [2]

Еще одной важной особенностью является возможность адаптации нейросетевых моделей под конкретные условия работы объектов критической инфраструктуры. Настройка параметров нейронных сетей позволяет улучшить точность обнаружения и снизить вероятность ошибок, что особенно важно в условиях высокой нагрузки на систему.

Важно понимать, что объекты критической инфраструктуры могут иметь различные особенности окружающей среды, конструктивные особенности и режим работы, что требует индивидуального подхода к настройке нейросетевых моделей.

Процесс адаптации начинается с сбора и анализа данных, специфических для конкретного объекта. Эти данные могут включать в себя информацию о топографии местности, характеристики архитектуры объектов, спецификации используемых радиочастот или других коммуникационных средств.

Далее, собранные данные используются для настройки параметров нейросетевых моделей. Такая настройка может включать изменение архитектуры нейронной сети, подбор оптимальных параметров обучения, а также добавление специализированных элементов, учитывающих особенности объекта. [3]

Дополнительно, в процессе адаптации может проводиться обучение нейросетевых моделей на специфических наборах данных, содержащих информацию о типичных угрозах или сценариях атак на объект критической инфраструктуры. Это позволяет нейросети лучше адаптироваться к потенциальным угрозам и повышать точность обнаружения атак по аналогии с уже известными ситуациями.

Важно также учитывать возможность периодической перенастройки нейросетевых моделей в случае изменения условий работы объекта, внедрения новых технологий или обновлений безопасности. Такой подход поможет гарантировать актуальность и эффективность системы обнаружения и противодействия в условиях постоянно меняющейся угрозой среды. [4]

Кроме того, нейросетевые технологии обладают способностью к самообучению и адаптации, что позволяет системе эффективно реагировать на изменяющиеся условия окружающей среды. Это особенно важно при защите объектов критической инфраструктуры от малоразмерных БЛА, которые могут менять своё поведение и тактику действий.

Таким образом, применение нейросетевых технологий в комплексе обнаружения и противодействия для защиты объектов критической инфраструктуры от малоразмерных БЛА гражданского назначения позволяет повысить эффективность систем безопасности, обеспечивая надежную защиту от потенциальных угроз. Внедрение современных и инновационных подходов к защите обеспечит безопасность и надежность работы критически важных объектов в условиях быстро меняющейся угрозой обстановки.

### Список литературы

1. Беспилотные летательные аппараты: библиографический указатель / сост. О. В. Давыденко; под ред. Н. Н. Астаповой. – Кемерово: ИИО Кузбасской ГСХА, 2021 – 23 с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. - 2-е изд., стереотип. - М.: Горячая линия - Телеком, 2013. -384 с. EDN: SDSPSR
3. Инновационный подход к вопросу обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов / Д.Г. Митрофанов, С.В. Шишков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 1(195). – С. 28-40.
4. Осовский, С. Нейронные сети и обработка информации / С. Осовский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 334 с

## ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДИАПАЗОНА 28 ГГц

СЫРКИНА Е.

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

**Аннотация.** Предложен вариант волноводного полосового фильтра 9 порядка с центральной частотой 28 ГГц, выполненный на основе волновода WR28 с прямоугольными индуктивными диафрагмами. Рассмотрены процедуры синтеза и электродинамического моделирования, произведены оценки влияния проводимости металла и шероховатости поверхности, сконструирован и экспериментально исследован макет фильтра.

*Ключевые слова: волноводный фильтр, миллиметровый диапазон, компьютерное моделирование, синтез, макет*

В связи с внедрением сетей пятого поколения (5G) растет спрос на освоение проектирования и технологии производства устройств, работающих в миллиметровом диапазоне. В настоящее время рост пропускной способности сетей 5G может быть достигнут за счет освоения диапазона FR2, а именно в диапазонах n257 (26,5 – 29,5 ГГц) и

n258 (24,25 – 27,5 ГГц) [1]. Одной из важнейших задач построения аппаратуры для новых диапазонов частот является разработка СВЧ-фильтров.

Волноводные фильтры позволяют работать с сигналами с относительно большими мощностями при малых потерях. Однако волноводные СВЧ-тракты имеют большую трудоемкость изготовления и сложность конструкции, их макетирование связано с заметными затратами. Поэтому возникает необходимость разработать эффективный метод проектирования волноводных фильтров.

На рынке представлено значительное количество полосопропускающих фильтров (ППФ), работающих в данном диапазоне, ширина их полосы пропускания обычно не превышает 1,5 ГГц при вносимых потерях в полосе пропускания до 2,5 дБ [2].

Среди множества возможных конфигураций выбран фильтр с металлическими индуктивными диафрагмами. Для такой структуры существуют отработанные методики синтеза, что позволяет спроектировать фильтр с последовательно связанными резонаторами [3, 4].

Фильтр проектировался на основе волновода WR28 с размерами 7,12x3,56 мм, подходящего для выбранного диапазона частот. Изготовление макета производилось фрезерной обработкой металла. При этом для удобства сборки и обеспечения возможности фрезеровки внутренних полостей принято решение создать фильтр, состоящий из двух частей, образующихся при разрезе волновода в Е-плоскости. На рисунке 1 приведены детали волноводного ППФ, а на рисунке 2 – сборка макета с коаксиально-волноводными переходами (КПВ).

Синтез волноводного ППФ проводился в пакете программного обеспечения для проектирования СВЧ-устройств, а анализ – в среде трехмерного электродинамического моделирования. Такой подход позволил ускорить процесс проектирования и минимизировать ошибки при расчете.

По итогам процедуры синтеза удалось получить фильтр 9 порядка с полосой пропускания 26,5 – 29,5 ГГц, с вносимыми потерями в полосе пропускания 0,3 дБ и модулем входного коэффициента отражения в полосе пропускания не хуже –16 дБ. Однако, следует также учитывать влияние некоторых факторов при изготовлении макета данного фильтра, а именно: толщина диафрагм резонаторов, выбор материала, шероховатость внутренней поверхности и скругления, образующиеся в результате фрезерной обработки.



Рис. 1. Изготовленные детали волноводного ППФ диапазона 28 ГГц



Рис. 2. Собранный макет фильтра с КПВ

По проведенным исследованиям было выявлено, что увеличение толщины диафрагм существенно влияет на крутизну амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) на частотах выше полосы пропускания. Поэтому следует выбрать минимально возможную физически реализуемую величину, которая для данного макета составила 1 мм.

Для выбора оптимального материала для изготовления рассматривались исполнения фильтра из алюминия, меди и с серебрением поверхности, так как данные металлы наиболее часто используются при изготовлении волноводов. Полученные в результате электродинамического моделирования характеристики ППФ при использовании указанных металлов отличаются лишь на десятые доли децибела. Следовательно, для макетирования допустимо применение алюминия.

Шероховатость внутренней поверхности незначительно влияет на крутизну АЧХ, а вносимые потери не больше 1,5 дБ, если шероховатость не превышает 10 мкм.

При фрезерной обработке неизбежно образуются скругления. Для изготовления макета использовались фрезы с минимальным радиусом 0,5 мм. Моделирование фильтра с учетом таких скруглений не выявило существенных изменений характеристики.

Результаты измерения характеристик изготовленного макета с помощью векторного анализатора цепей приведены на рисунке 3.

Полученные характеристики макета оказались достаточно близки к результатам моделирования. Заметно небольшое расширение АЧХ в полосе пропускания в сторону более низких частот на 400 МГц, а также расширение в область более высоких частот на 100 МГц. Модуль коэффициента  $S_{11}$  в экспериментальных данных оказался хуже, чем в результатах моделирования. Стоит также заметить, что вне полосы пропускания спад АЧХ по результатам эксперимента оказался больше. Такие небольшие расхождения связаны с погрешностями, допущенными при изготовлении. Точность изготовления макета в целом не хуже 20 мкм, но отдельные размеры имеют отклонение до 40 мкм.

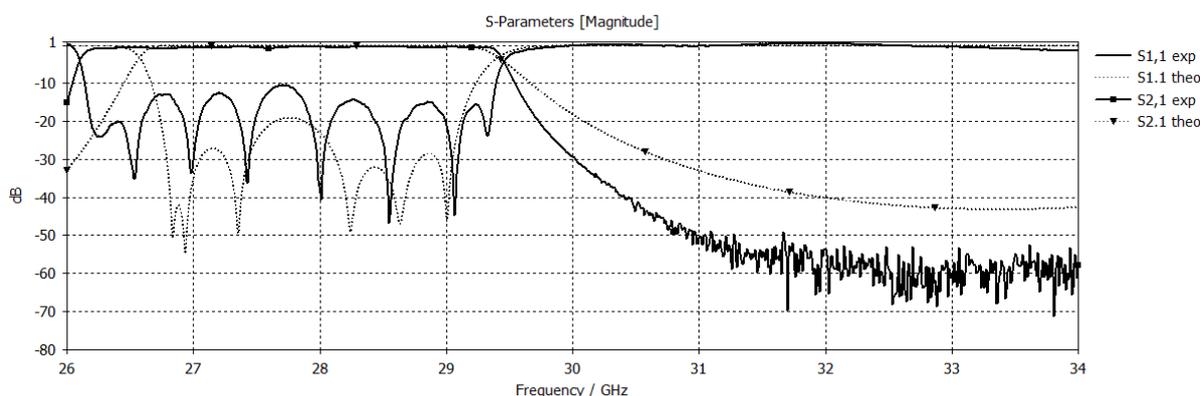


Рис. 3. Сравнение АЧХ, полученных экспериментально (сплошная линия) и при моделировании (пунктирная линия)

При сравнении с аналогами, представленными на рынке, данный фильтр обладает широкой полосой пропускания (3 ГГц) и обеспечивает низкое вносимое затухание – 0,8 дБ.

### Список литературы

1. 5G tools for RF Wireless [Электронный ресурс]: Frequency bands for 5G NR. URL: <https://5g-tools.com/5g-nr-frequency-band/> (дата обращения: 22.04.2024).
2. Каталог волноводных полосовых фильтров // Интернет магазин bbrc.ru // URL: [https://www.bbrc.ru/catalog/category/volnovodnye\\_polosovye\\_filtry/](https://www.bbrc.ru/catalog/category/volnovodnye_polosovye_filtry/) (дата обращения: 19.04.2024).
3. Комаров В.В., Лукьянов М.А. Волноводные СВЧ-фильтры: технические решения, тенденции развития и методы расчета: журнал Радиоэлектроники 2021 год — DOI: 1648-1719.2021.1.9.
4. Сыркина Е. Прототипирование волноводного фильтра диапазона FR2 5G: 13-я школа-семинар «Инфокоммуникационные технологии в цифровом мире», Санкт-Петербург 2023 год.

## НОВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТИПА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В СВЧ ФИЛЬТРАХ

НАМ Е.

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

**Аннотация.** Предложена новая реализация связи между резонаторами, которая использована для синтеза фильтров с перекрестными связями, выполненных по технологии интегрированного в подложку волновода. Основным преимуществом предложенной связи является простота геометрии и возможность реализации сильной связи при относительно малых размерах структуры. С использованием новой связи были синтезированы два фильтра для диапазона FR2 стандарта систем связи 5G с улучшенными частотными характеристиками за счет введения нескольких пар нулей передачи и улучшения ГВЗ.

*Ключевые слова:* полосно-пропускающие фильтры, SIW, связь отрицательного типа, матрица связи, нули передачи.

### Введение

В связи с введением стандарта 5G, к фильтрующим устройствам предъявляются повышенные требования к компактности, высокой степени подавления нежелательных частот и малым вносимым потерям. В данной работе рассмотрены квазиэллиптические фильтры миллиметрового диапазона длин волн с использованием технологии SIW – Substrate Integrated Waveguide (интегрированный в подложку волновод), которые показывают возможность реализации волноводных элементов в печатном исполнении,

имея при этом малые габариты и вес, а также относительно низкие вносимые потери в сравнении с другими планарными структурами [0].

Методика проектирования рассматриваемых в работе фильтров базируется на применении матрицы связи, которая описывает коэффициенты связи между резонаторами в проектируемом фильтре [0]–[0]. Данная методика универсальна и не зависит от конкретной конструкции и технологии изготовления фильтра. Зная матрицу связи проектируемого фильтра и зависимости коэффициентов связи между резонаторами от геометрических размеров элементов связи, можно получить геометрию фильтра.

Для улучшения избирательности фильтра и линейности ФЧХ в полосе пропускания в структуру фильтра вводятся дополнительные (перекрестные) связи между резонаторами [0]–[0]. При этом зачастую приходится использовать элементы связи между резонаторами, которые имеют противоположный по знаку вносимый фазовый сдвиг.

Коэффициент связи между резонаторами (одинаковых связанных резонаторов) можно определить с помощью компьютерного моделирования структуры из двух связанных резонаторов:

$$k = \pm \frac{f_{p2}^2 - f_{p1}^2}{f_{p2}^2 + f_{p1}^2}$$

, где  $f_{p1}$  и  $f_{p2}$  - собственные частоты анализируемой колебательной системы. Знак коэффициента связи является относительным и зависит от того, какая из собственных частот имеет большее значение. Индуктивную связь обычно называют связью положительного типа, связь противоположного типа – отрицательной, или емкостной. Фазовый отклик такой связи противоположен фазовому отклику положительной связи.

По построенным с помощью электромагнитного моделирования частотным характеристикам передаточной функции определяются  $f_{p1}$  и  $f_{p2}$ , которые являются максимумами передаточной функции.

Структура предложенной новой связи отрицательного знака, названной «Двусторонней копланарной линией, закороченной на концах» представлена на рисунке 1. График зависимости модуля коэффициента связи от длины копланарной линии  $L$  элемента связи представлен на рисунке 3.

Связь положительного знака реализована с помощью диафрагмы в общей стенке между резонаторами, образованной металлизированными отверстиями (рис. 2). График зависимости положительного коэффициента связи от ширины диафрагмы  $W$  представлен на рисунке 3.

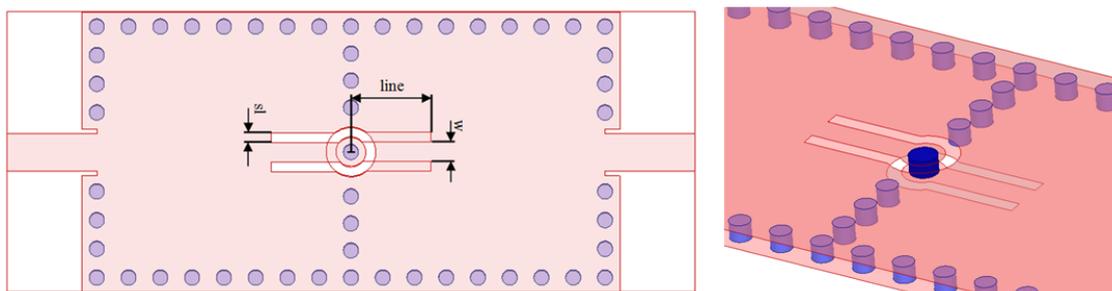


Рис. 1. Топология связи электрического типа ( $w=0.4 \text{ mm}$ ,  $sl=0.2 \text{ mm}$ )

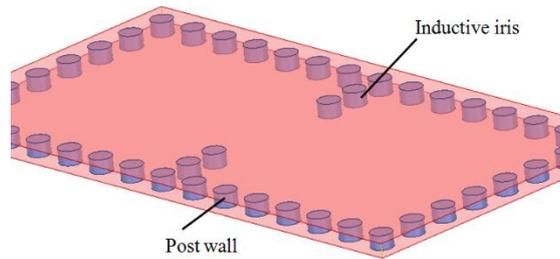


Рис. 2. Топология связи магнитного типа

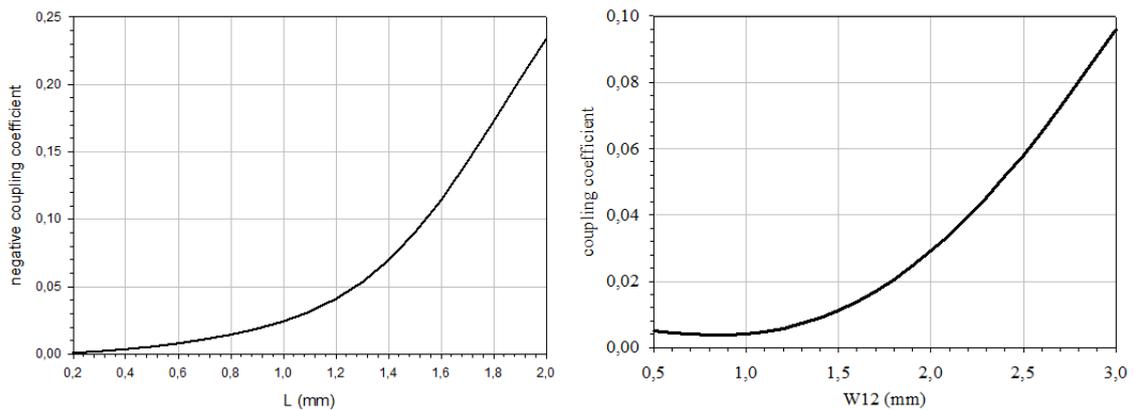


Рис. 3. Графики зависимостей коэффициентов связи отрицательного и положительного знаков от  $L$  и  $W12$ , мм

С помощью описанных выше элементов связи были синтезированы квазиэллиптические полосовые фильтры 6-го порядка с относительной полосой пропускания 4,3% выполненные по технологии интегрированного в подложку волновода для Ka-диапазона частот. Использована диэлектрическая подложка Rogers RT/Duroid 5880 с толщиной 0,254 мм, диаметром металлизированных отверстий 0,4 мм. Фильтры имеют размеры  $16,2 \times 10,9$  мм. Частотные характеристики синтезированных фильтров представлены на рис. 4, 5.

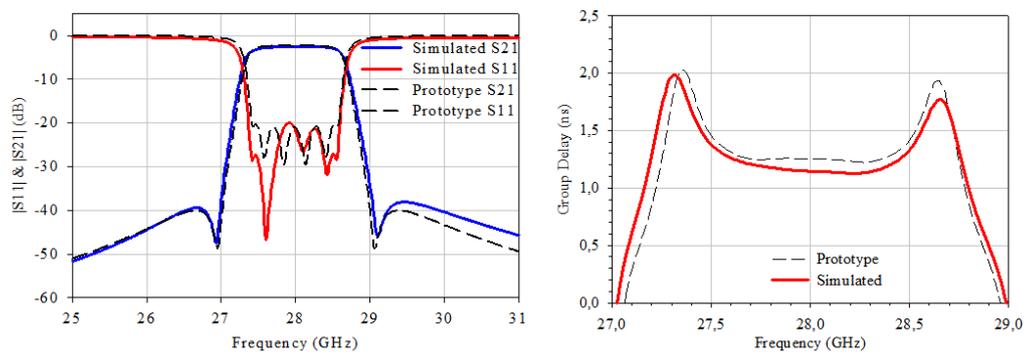


Рис. 4. Частотные характеристики фильтра с одной парой TZs и улучшенным ГВЗ

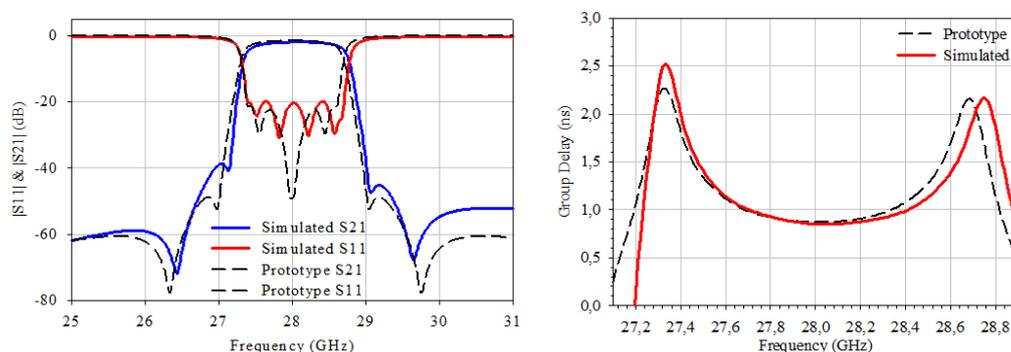


Рис. 5. Частотные характеристики фильтра с двумя параметрами TZs

Результаты исследований показывают, что с использованием предложенной новой структуры связи электрического типа можно реализовать фильтры с улучшенными фазочастотными характеристиками и более высокими частотно-селективными свойствами.

### Список литературы

1. R. J. Cameron, "Advanced Filter Synthesis," in IEEE Microwave Magazine, vol. 12, no. 6, pp. 42-61, Oct. 2011, doi: 10.1109/MMM.2011.942007.
2. R. J. Cameron, "General coupling matrix synthesis methods for Chebyshev filtering functions," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 47, no. 4, pp. 433-442, April 1999, doi: 10.1109/22.754877.
3. J.-S. Hong and M.J. Lancaster, Microstrip Filter for RF/Microwave Applications. New York: Wiley, 2001.
4. D. Zhang, P. Zhou, Z. Yu and J. Zhou, "Ka-band quadruple SIW filter with controllable transmission zeros," 2016 IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), Beijing, China, 2016, pp. 296-298, doi: 10.1109/ICMMT.2016.7761753.
5. X. -P. Chen and K. Wu, "Substrate Integrated Waveguide Cross-Coupled Filter With Negative Coupling Structure," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 56, no. 1, pp. 142-149, Jan. 2008, doi: 10.1109/TMTT.2007.912222.
6. Q. Liu, D. Zhou, D. Zhang and D. Lv, "A Novel Frequency-Dependent Coupling With Flexibly Controllable Slope and Its Applications on Substrate-Integrated Waveguide Filters," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 28, no. 11, pp. 993-995, Nov. 2018, doi: 10.1109/LMWC.2018.2872325.

## МНОГОЧАСТОТНЫЙ КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫЙ СИГНАЛ ДЛЯ КОГЕРЕНТНОЙ РЛС

БАРАЖЕГЕТЕРА Ж.-Б.

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

**Аннотация.** В работе исследуется функция неопределенности многочастотных квазинепрерывных зондирующих сигналов, используемых в обзорных радиолокационных станциях (РЛС) для однозначного измерения и разрешения по дальности и радиальной скорости и низкой скважности при работе РЛС на единую приемо-передающую антенну методом частотно-временного сжатия импульсов. Для исследования данной цели, были использованы кодовая манипуляция на базе массива Костаса и весовая обработка в программе расчета функции неопределенности многочастотных зондирующих сигналов на языке инженерных и математических вычислений MATLAB. Полученные выражения могут быть использованы при моделировании и оценке функции неопределенности при различных параметрах многочастотных зондирующих сигналов, используемых для получения дальностных портретов в интересах распознавания классов и типов воздушных объектов лицом, принимающим решение при выборе системы распознавания РЛС и сравнении альтернативных вариантов.

*Ключевые слова: когерентная РЛС, корреляционная обработка сигналов, функция неопределенности, кодовая частотная модуляция.*

Анализ видов, зондирующих сигналов, используемых в радиолокационных станциях (РЛС) для повышения разрешающей способности по дальности, показывает, что особое внимание уделяется многочастотным зондирующим сигналам со ступенчатым законом изменения частоты (stepped frequency signals). Такие сигналы вводятся в РЛС с перестройкой частоты от посылки (импульса, пачки импульсов) к посылке. Это позволяет резко повысить разрешающую способность по дальности и получать дальностные и двумерные радиолокационные портреты разных типов целей без существенного изменения структуры РЛС. Одновременно повышаются потенциал и помехозащищенность РЛС от пассивных помех за счет перехода к когерентному накоплению.

Для обеспечения квазинепрерывного режима (работа РЛС на одну антенну) используем квазипериодическую нерегулярную импульсную последовательность (НИП). Импульсы этой последовательности будем модулировать по частоте по закону массива Костаса. При большой базе сигнала количество периодов НИП будет велико. Многочастотное зондирование предполагает формирование последовательности когерентных импульсных сигналов с частотами заполнения, изменяющимися от пачки к пачке по линейно-ступенчатому закону. Объект локации при этом должен облучаться многочастотными пачками радиоимпульсов. Каждая пачка в интересах упрощения последующей обработки должна состоять из  $N$  одночастотных импульсов длительностью  $\tau_u$  и периодом повторения  $T_a$ . Одночастотные пачки излучаются с периодом повторения  $T_u$ . При линейном законе изменения частоты от пачки к пачке используемые частоты заполнения одночастотных пачек отличаются на величину  $\Delta f$ .

### Формулировка задачи

Рассмотрим в качестве примера РЛС с многочастотным зондирующим сигналом (ЗС) со следующими характеристиками:

1. Полоса сигнала общая  $\Delta F = 1\text{МГц}$
2. Длительность сжатого импульса  $\tau_u \approx 1\mu\text{s}$  (на условие  $-3\text{dB}$ )
3. Дальность действия  $R_{\text{max}} = 15\text{км}$
4. Разрешение по дальности  $\Delta R \approx 150\text{м}$
5. Число каналов  $N_R = 100$ .

Рассмотрим вариант последовательного излучения частот за время анализа (когерентного накопления)  $T_a$ . Каждую частоту мы можем излучать за время, не менее  $0,1\mu\text{s} = T_u$  (здесь период сжатых импульсов по-прежнему  $T_u = N_R \cdot \tau_u = 100\tau_u$ ), следовательно, минимальное время излучения всех частот  $T_a = 100T_u = 10\text{ms}$ . Допустим, что время излучения одной частоты в передатчике РЛС  $T_f = T_u = 0,1\text{ms}$ . При работе на одну антенну, пауза для приёма отражённого сигнала должна быть  $T_{np} \geq T_f$ .

Пусть  $T_{np} = T_f$ , т.е. скважность ЗС  $Q=2$ . Тогда излучаемый ЗС будет иметь вид

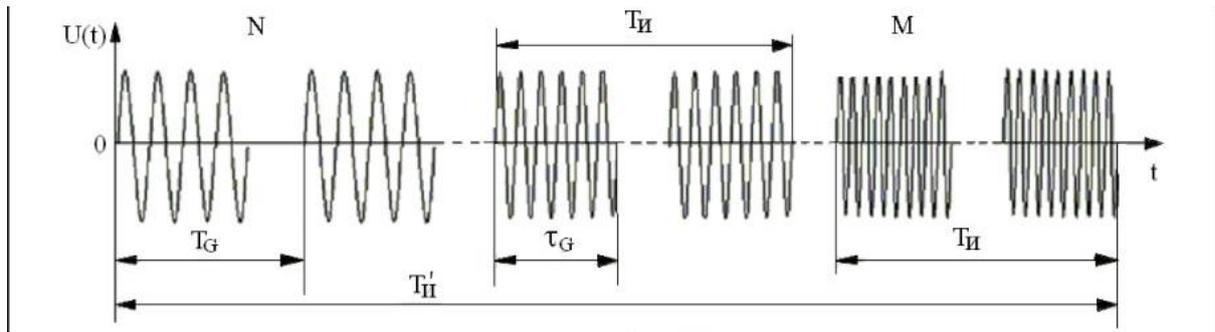


Рис.1 многочастотный радиосигнал

Отраженные сигналы будут приходить с задержками  $\tau$  и приниматься не полностью, кроме  $\tau = \tau_{\max}$ . Спектры сигналов до сжатия пачки импульсов будут иметь вид

$$f_1 - f_2 = f_i - f_{i-1} = \Delta f = 10 \text{ кГц}$$

$$\Delta F = \Delta f \cdot N_f = 1 \text{ МГц}$$

Спектр каждой полосы ЗС расширится. При  $\tau = 1$  в  $N_R$  раз, но останется вида  $\frac{\sin x}{x}$  при  $\tau = 2$  в  $\frac{N_R}{2}$  (при  $\tau_{\max} = 0$ )

Амплитуда, как и энергия принимаемого сигнала, будет зависеть от длительности принимаемой части импульса одной частоты. При корреляционной обработке и умножении на комплексно-сопряжённый опорный сигнал на входе получаем импульсную последовательность со сжатой частотной манипуляцией (остаётся только фазовый сдвиг, зависящий от задержки  $\tau$  и каждой частоты  $f_u$ ), размер пачки импульсов равен  $N_R = 100$  (10), спектр сжатой пачки импульсов будет иметь линейчатый характер:

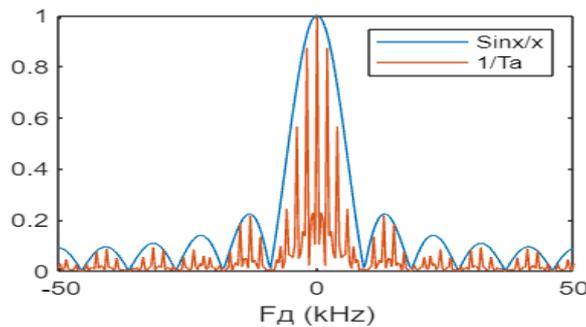


Рис 2. Спектр сжатой пачки импульса

Чтобы избежать эффект неоднозначности «дальность-скорость» как у ЛЧМ-сигнала, желательно использовать кодовую ЧМ, например, массив Костаса.



Рис.3 матрицы МК с размерами  $10 \times 10$

МК [2,4,8,5,10,9,7,3,6,1]

Модуляция импульсов по закону ЛЧМ приводит к появлению высоких боковых лепестков в диагональных сечениях, обусловленных взаимной корреляцией импульсов в сигнале, ухудшая вид функции неопределённости, но с одним допущением, что изменение частоты ЛЧМ сигнала происходит дискретно, видно его монотонное изменение, тогда как в массиве Костаса происходит псевдослучайное изменение частоты сигнала так как «точка» в матрице находится для каждого столбца в одной строке. Получается, что передается одна частота на любом из временных отрезков и каждая частота используется только один раз. Путем накладывания копии двоичной матрицы самой на себя, а затем смещения одной относительно другой по горизонтали (с помощью желаемой задержки) и по вертикали (доплеровским сдвигом) можно вычислить функцию неопределенности (ФН).

Для доплеровских целей зона однозначных измерений частоты  $f_D$  будет ограничена величиной  $\pm \frac{1}{2T_u}$ ; уровень боковых лепестков (БЛ) в этой зоне определяется

соотношением  $T_u / T_a = N_R = \frac{1}{100}$  (см. Гоноровский, «Радиотехнические цепи и сигналы»).

Для большего подавления можно использовать весовую функцию (окно). Взвешивание по спектральным компонентам дает снижение БЛ и задержке, по времени- в частотной области. Наличие боковых лепестков АЧХ приводит к «размыванию» частотных составляющих сигнала в пределах всей ширины анализируемого диапазона частот. Одним из эффективных способов борьбы с «размыванием» частотных составляющих является весовая обработка сигнала, которая позволяет существенно снизить уровень боковых лепестков, но одновременно приводит к расширению главного лепестка. Соотношение между шириной главного и уровнем боковых лепестков определяется величиной параметра  $a$  весового окна.

Если полезный эхо-сигнал цели и помеха достаточно разнесены по частоте, выигрыш от весовой обработки может достигать 30-40 дБ [1]. Однако если движущиеся помеха и цель имеют близкие радиальные скорости, использование окна с малым уровнем боковых лепестков, но широким главным лепестком может ухудшить обнаружение полезного сигнала.

Для устранения указанного недостатка предлагается способ адаптивной весовой обработки, заключающийся в нахождении такого значения параметра  $a$  весового окна, которое бы максимизировало коэффициент улучшения  $K_u(K)$  каждого фильтра БПФ (пример окна Хемминга) и чтобы не выполнять  $N$  раз БПФ для всех значений  $a(K)$ , можно воспользоваться эквивалентностью умножения во временной области и сверткой в частотной области.

$$W(n) = 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$$

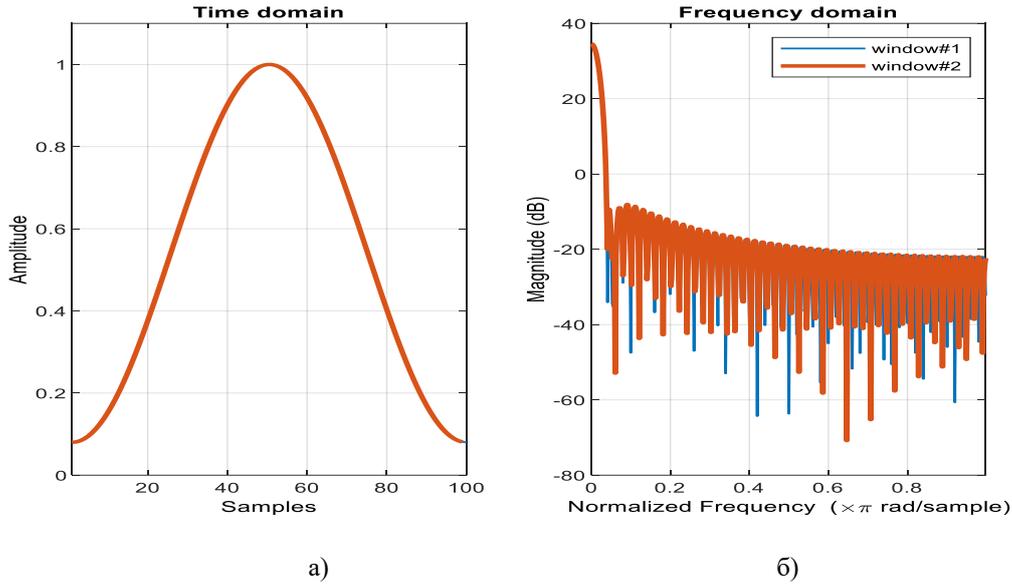


Рис.4 Спектры отраженного сигнала после весовой обработки во временной области а) и частотной области б)

### Основные соотношения

Излучаемый сигнал на частоте  $f_1$  и  $f_n$

$$S_{f_1} = \exp\{j2\pi f_1 t\} \exp\{j\varphi_1\} \text{ и } S_{f_n} = \exp\{j2\pi f_n [t - (n-1)2T_n]\} \exp\{j\varphi_n\} \quad (1)$$

Отражённый сигнал:

$$S_{f_1} = \exp\{j2\pi f_1 (t - \tau)\} \exp\{j\varphi_1\} \text{ и } S_{f_n} = \exp\{j2\pi f_n [t - \tau - (n-1)2T_n]\} \exp\{j\varphi_n\} \quad (2)$$

Положим  $f_n = f_1 + (n-1)\Delta f$ , тогда общий вид сигнала на частоте  $f_n$

$$S_{f_n} = \exp\{j2\pi [f_1(t - \tau) + (n-1)\Delta f(t - \tau) - f_1(n-1)2T_n - (n-1)^2 2T_n \Delta f]\} \exp\{j\varphi_n\} \quad (3)$$

Корреляционный приём умножаем на  $S_{f_n}^*(\tau = 0)$ ;

$$S_{f_n}^* = \exp\{-j2\pi [f_1 t + (n-1)\Delta f t + f_1(n-1)2T_n + (n-1)(n-1)^2 2T_n \Delta f]\} e^{-j\varphi_n} \quad (4)$$

Умножая (3) и (4), получим

$$\begin{aligned} S_{f_n} \cdot S_{f_n}^*(0) &= \exp\{-j2\pi \tau [f_1 + (n-1)\Delta f] + j2\pi f_n 2T_n(n-1) - j2\pi f_n 2T_n(n-1)\} e^{-j\varphi_n} = \exp\{-j2\pi f_n \tau\} = \\ &= \exp\{-j2\pi (f_1 + (n-1)\Delta f)\tau\} \end{aligned} \quad (5)$$

Суммарный сигнал (геометрическая прогрессия)

$$\begin{aligned} S_{\Sigma} &= \sum_{n=1}^N \exp\{-j2\pi [f_1 \tau + (n-1)\Delta f \tau]\} = \exp\{-j2\pi f_1 \tau\} \sum_{n=1}^N \exp\{-j2\pi \Delta f (n-1)\tau\} = \\ &= \exp\{-j2\pi (f_1 - \Delta f)\tau\} \sum_{n=1}^N \exp\{-j2\pi n \Delta f \tau\} = e^{-j\varphi_0} \frac{\sin \frac{2\pi}{2} N \Delta f \tau}{\sin \frac{2\pi}{2} \Delta f \tau} = \frac{\sin \pi \Delta f \tau N}{\sin \pi \Delta f \tau} \approx \frac{\sin \pi \Delta f \tau N}{\pi \Delta f \tau} \end{aligned} \quad (6)$$

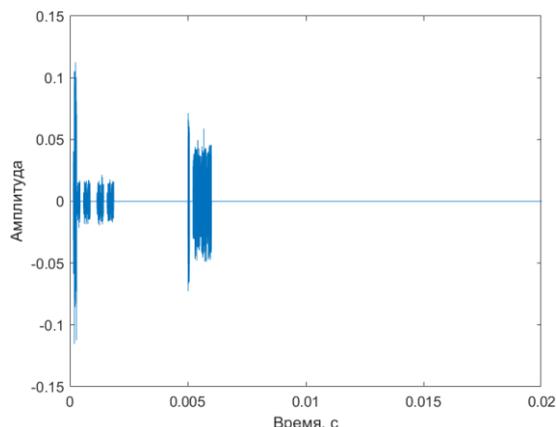


Рис. 5. Опорный сигнала 5G после восстановления

### Заключение

Полученные результаты позволяют рекомендовать предложенные методы анализа требуемую спектральную структуру сигнала с помощью прямого синтеза спектра частотных составляющих, что существенно упрощает структуру устройства формирования и обработки зондирующих сигналов.

### Список литературы

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. «Советское радио», 1971.
2. Кутузов В.М., Коновалов А.А., Михайлов В.Н., Морская радиолокация, 2016.
3. Винокуров В.И., Генкин В.А., Калениченко С.П., Киселев А.З., Щербак В.И., Морская радионавигация/ Под ред. Винокуров В.И., 1986.

## АЛГОРИТМ ВИРТУАЛЬНОЙ ХРОМОЭНДОСОКОПИИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ВИДЕОСИСТЕМЫ

А.А. МОТЫКО, О.Р. САВЕЛЬЕВА

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

**Аннотация.** В медицинских видеосистемах постоянно совершенствуются методы визуализации для точного выявления патологий в организме. Виртуальная хромоэндоскопия значительно улучшает диагностическую ценность эндоскопических изображений. Разработка алгоритма виртуальной хромоэндоскопии, имитирующей аппаратную хромоэндоскопию, осуществлялась на основе пар снимков, полученных при обычной эндоскопии и узкополосной визуализации. Предложенный алгоритм позволяет получить контрастные изображения, аналогичные узкополосной визуализации без специального оборудования. Главные преимущества - доступность и простота проведения хромоэндоскопических исследований. Эффективность разработанного алгоритма была проверена сравнительным анализом с аналогом.

*Ключевые слова:* виртуальная хромоэндоскопия, цифровая обработка медицинских изображений

Эндоскопия важна для диагностики заболеваний, позволяет наблюдать состояние внутренних органов и принимать меры для лечения, исследуя и оценивая их структуру, цвет, форму и патологии [1][2].

В современной эндоскопии широко применяется метод хромоэндоскопии, который использует контрастные вещества для более эффективной визуализации в целях

диагностики [3]. Хромозэндоскопия развивается в двух направлениях: аппаратной и виртуальной. Аппаратная хромоэндоскопия использует специальное освещение для улучшения видимости тканей, требует специализированного оборудования и стоит дороже. Виртуальная хромоэндоскопия использует технологии изображения и контрастные агенты для улучшения качества изображений без дополнительного оборудования.

В созданном алгоритме виртуальной хромоэндоскопии использованы принципы узкополосной визуализации NBI, которая обеспечивает высокое спектральное разрешение и яркие контрастные изображения. Это позволяет получать более детальную информацию о тканях и улучшает возможность изучения их характеристик. Эффективность узкополосной визуализации продемонстрирована в таблице 1.

Таблица 1

**Точность обнаружения некоторых заболеваний**

	Обычная эндоскопия	NBI
Обнаружение дисплазии	74 %	92 %
Ранний рак желудка	83 %	90 %
Полипы	75 %	82 %

Японская компания Olympus разработала технологию узкополосной визуализации (NBI), которая позволяет улучшить контрастность сосудистого рисунка на поверхности тканей. В исследовании [4] было установлено, что патологические особенности сосудистого рисунка зависят от центральной длины волны и ширины полосы освещения. Применение узкополосного освещения с определенной длиной волны позволило улучшить контрастность капиллярного рисунка на поверхности тканей. Узкополосная визуализация опирается на различное поглощение света тканями, что помогает выявить сосудистые структуры, такие как капилляры и сосудистые петли, с более высоким качеством изображения [5].

Для разработки предложенного алгоритма была создана база данных, содержащая пары изображений, полученных с применением обычной эндоскопии и узкополосной визуализации. Изображения для базы данных были предоставлены Баскским фондом инноваций и исследований в области здравоохранения (La Fundación Vasca de Innovación e Investigación Sanitarias, BIOEF)[6][7]. Наличие такой базы данных позволяет провести синтез алгоритма и сравнительный анализ на парах изображений.

Основой алгоритма является цветокорректирующая модель на базе полиномиальных функций. Для оценки параметров модели необходимо было выполнить следующие этапы:

1. Необходимо определить матрицу гомографии, чтобы эффективно сопоставить и преобразовать цветовые параметры двух изображений, полученных в разных режимах, для их последующего совмещения. Процедура осуществляется формулой 1.

$$\begin{bmatrix} R_{NBI} \\ G_{NBI} \\ B_{NBI} \end{bmatrix} = H * \begin{bmatrix} R_{orig} \\ G_{orig} \\ B_{orig} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $R_{NBI}$ ,  $G_{NBI}$ ,  $B_{NBI}$  – массив уровней яркости в красном, зеленом и синем каналах для пикселей изображения с узкополосной визуализацией,  $H$  – матрица гомографии и  $R_{orig}$ ,  $G_{orig}$ ,  $B_{orig}$  – значения яркости в красном, зеленом и синем каналах для пикселей изображения с применением обычной эндоскопии.

При создании алгоритма для преобразования эндоскопических изображений из обычной эндоскопии в узкополосную визуализацию NBI необходимо учитывать различия в угле наклона и масштабе между изображениями, вызванные различными факторами, такими как угол обзора, расстояние, ориентация системы регистрации и другие. Для корректного сопоставления изображений и коррекции угла наклона и масштаба используется матрица гомографии, которая описывает относительное движение между изображениями при изменении положения камеры или объекта [8][9][10]. Для выполнения коррекции изображений необходимо вычислить матрицу гомографии по формуле 2.

$$\begin{bmatrix} a' \\ b' \\ c' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \text{ или } a' = Ha, \quad (2)$$

где  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  - значения яркости в красном, зеленом и синем каналах для пикселей корректируемого изображения,  $H$  – матрица гомографии,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – значения яркости в красном, зеленом и синем каналах для пикселей эталонного изображения.

Использование преобразования гомографии позволяет совместить растры изображений, полученные в белом свете и NBI, компенсируя различия, вызванные небольшими смещениями камеры.

2. Этап оценки параметров цветового преобразования. В задачах цветокоррекции часто используется линейное преобразование, выражаемое матрицей размером 3 на 3. Однако на современном этапе применяют более сложные и точные модели.

Исследование [12] отмечает возникновение значимой ошибки при использовании стандартного линейного преобразования  $3 \times 3$  в задаче цветовой коррекции для трех цветовых откликов, записываемых камерой. Для достижения более точной цветокоррекции предлагается использовать метод, основанный на полиномиальной цветокоррекции, который расширяет значения R, G и B в пикселе с помощью полиномиальных членов.

В предложенном алгоритме будет использоваться полиномиальный базис размерности  $3 \times 6$ , рассчитанный по формуле:  $\rho_{2,3} = (r, g, b, \sqrt{rg}, \sqrt{gb}, \sqrt{rb})^T$ , где  $r$  – массив уровней яркости в красном канале для пикселей изображения,  $g$  – массив уровней яркости в зеленом канале для пикселей изображения,  $b$  – массив уровней яркости в синем канале для пикселей изображения.

После перехода к полиномиальному базису получают матрицу признаков размерностью  $MN \times 6$ , и матрицу коррекции  $3 \times 6$ . Таким образом, значения трех цветовых каналов для каждого пикселя расширяются путем добавления полиномиальных членов. В предложенном алгоритме параметры матрицы цветового преобразования оцениваются с помощью метода наименьших квадратов, используя указанное выражение по формуле 3.

$$\begin{bmatrix} R'_{nbi} \\ G'_{nbi} \\ B'_{nbi} \\ \sqrt{R'_{nbi} * G'_{nbi}} \\ \sqrt{G'_{nbi} * B'_{nbi}} \\ \sqrt{R'_{nbi} * B'_{nbi}} \end{bmatrix} = X * \begin{bmatrix} R_{ORIG} \\ G_{ORIG} \\ B_{ORIG} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $R'_{nbi}$ ,  $G'_{nbi}$ ,  $B'_{nbi}$  – массив уровней яркости в красном, зеленом и синем каналах для пикселей скорректированного изображения с узкополосной визуализацией,  $X$  – матрица

цветовой коррекции и  $R_{ORIG}$ ,  $G_{ORIG}$ ,  $B_{ORIG}$  – массив уровней яркости в красном, зеленом и синем каналах для пикселей изображений с применением обычной эндоскопии.

Метод наименьших квадратов применяется для оценки параметров в моделях регрессии путем минимизации суммы квадратов разностей между наблюдаемыми значениями и прогнозами модели. Он используется для приближения данных линейными уравнениями и находит широкое применение в статистике для решения задач аппроксимации и прогнозирования [11].

Результаты работы алгоритма продемонстрированы на рисунках 2. Данные изображения показывают цветокоррекцию, проведенную с использованием предложенного алгоритма.

В таблице 2 приведены примеры численной оценки результатов для приведенного изображения, вычисленные по формуле 5.

$$d = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2} / M * N * 3, \quad (5)$$

где  $R_1, R_2, G_1, G_2, B_1, B_2$  – уровни яркости в красном, зеленом и синем для пикселей первого и второго изображения, соответственно,  $M$  – количество строк изображения,  $N$  – количество столбцов изображения.

Таблица 2

**Результаты работы алгоритма**

Разница между изображениями с обычной эндоскопией и узкополосной визуализацией	Разница между изображениями с предложенного алгоритма и узкополосной визуализацией
3.06	1.60

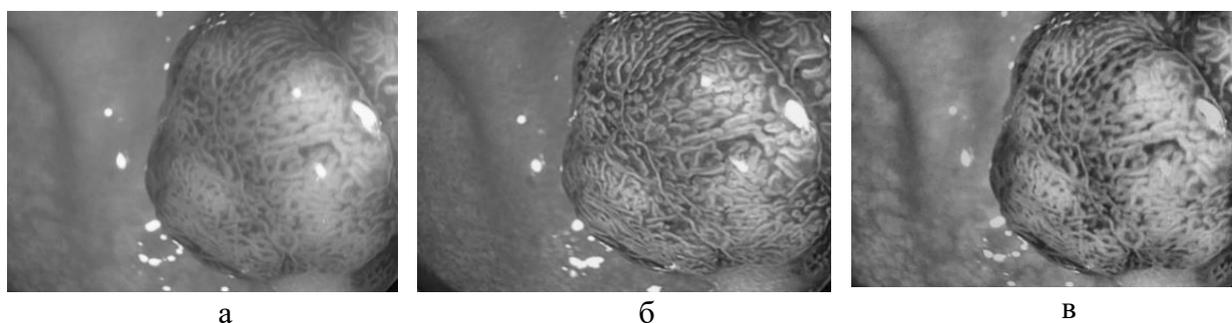


Рис. 2 Обработка изображений предложенным алгоритмом: а – изображение с применением обычной эндоскопии; б – результат обработки узкополосной визуализацией; в – результат обработки предложенным алгоритмом

**Заключение**

Была получена средняя ошибка цветопередачи в 1.19 для 50 пар изображений системы NBI до и после применения алгоритма. Это на 1.5 раза меньше, чем различие между исходными и целевыми изображениями до алгоритма. Результаты показывают близость цветовых гамм. Это первый шаг в разработке алгоритма цветокоррекции для виртуальной хромоскопии, близкого к существующему методу узкополосной визуализации [13].

**Список литературы**

1. Wang K., Shi J., Ye L. Endoscopic management of iatrogenic gastrointestinal perforations // Laparosc. Endosc. Robot. Surg. KeAi Communications Co., 2019. Т. 2, № 2. С. 41–46.
2. East J.E. и др. Advanced endoscopic imaging: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Technology Review // Endoscopy. Georg Thieme Verlag, 2016. Т. 48, № 11. С. 1029–1045.

3. Al-Kawas F.H. Chromoendoscopy. // Gastroenterol. Hepatol. (N. Y). Millenium Medical Publishing, 2006. Т. 2, № 2. С. 101–103.
4. Gono K. и др. Appearance of enhanced tissue features in narrow-band endoscopic imaging // J. Biomed. Opt. J Biomed Opt, 2004. Т. 9, № 3. С. 568.
5. Cho J.H. Advanced imaging technology other than narrow band imaging // Clin. Endosc. Korean Society of Gastrointestinal Endoscopy, 2015. Т. 48, № 6. С. 503–510.
6. Basque Biobank - PICCOLO RGB/NBI (WIDEFIELD) image collection [Электронный ресурс]. URL: <https://www.biobancovasco.bioef.eu/en/Sample-and-data-catalog/Databases/PD178-PICCOLO-EN.htm> (дата обращения: 28.10.2023).
7. Conoce la fundación - Bioef [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bioef.eu/es/conoce-la-fundacion/> (дата обращения: 28.10.2023).
8. Pesce V. и др. Navigation // Mod. Spacecr. Guid. Navig. Control From Syst. Model. to AI Innov. Appl. Elsevier, 2023. С. 441–542.
9. Çetin A.E. и др. Camera-Based Techniques // Methods Tech. Fire Detect. Academic Press, 2016. С. 3–46.
10. Gallo O., Sen P. Stack-Based Algorithms for HDR Capture and Reconstruction // High Dyn. Range Video From Acquis. to Disp. Appl. Academic Press, 2016. С. 85–119.
11. Jiang B.N. On the least-squares method // Comput. Methods Appl. Mech. Eng. North-Holland, 1998. Т. 152, № 1–2. С. 239–257.
12. Finlayson G.D., MacKiewicz M., Hurlbert A. Color Correction Using Root-Polynomial Regression // IEEE Trans. Image Process. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015. Т. 24, № 5. С. 1460–1470.
13. Boeriu A. и др. Narrow-band imaging with magnifying endoscopy for the evaluation of gastrointestinal lesions // World J. Gastrointest. Endosc. Baishideng Publishing Group Inc, 2015. Т. 7, № 2. С. 110.

## НЕЙРОМОРФНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ

ЗАЙЦЕВ И. А.

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

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются аппаратные алгоритмы работы нейроморфного обнаружителя сигналов, выполняющего обнаружение распределённой на двумерном изображении цели за один полный цикл чтения кадра из внешнего оперативного запоминающего устройства.

*Ключевые слова:* Обнаружение; цифровая обработка изображения; цифровая техника; вычислительная техника

### Дескрипторы

Применяется «шагающее» с шагом на собственную ширину окно размером  $8 \times 8$  элементов разрешения. В качестве дескрипторов поиска цели служат вейвлет-преобразования по функциям Уолша из базиса Уолша-Адамара 4-го порядка. Однако окно представляет собой двумерную функцию, поэтому получаются  $4^2=16$  дескрипторов, изображенных на рисунке 1, где светлая часть окна – область, где двумерная функция Уолша принимает значение +1, а тёмная часть окна – область, где двумерная функция Уолша принимает значение -1. Такое число вейвлетов не раскладывает окно в полный базис функций Уолша, а рассматривает только низкочастотную часть[4]. Данная особенность обусловлена экономией вычислительных ресурсов[3].

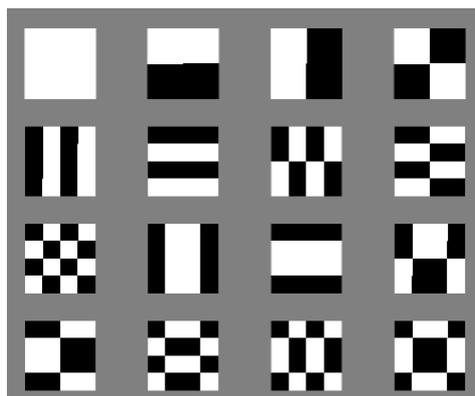


Рис. 1. «Шагающее» окно размером 8x8 элементов разрешения

### Искусственный нейрон

Основным элементом искусственной нейронной сети, определяющим её архитектуру, является искусственный нейрон [2]. Искусственный нейрон призван эмулировать активность биологических нейронов [1].

В нейроне можно выделить следующие основные части:

- Синапс – элемент нейрона, вводящий в него сигналы от соседних нейронов или от рецепторов. Нейрон, который передаёт сигнал называют пресинаптическим, а нейрон, принимающий сигнал – постсинаптическим. Синапс может «взвешивать» значение, передаваемое от пресинаптического нейрона. Биологически это определяется типом и концентрацией активных ионов на синапсе, называемых ионными каналами. Вес может быть как положительным, так и отрицательным. Положительно взвешивающий ионный канал называют деполяризационным, а отрицательно взвешивающий ионный канал называют гиперполяризационным.
- Дендрит – отросток нейрона, проводящий сигнал от синапса к телу нейрона. Как правило, синапсы располагаются на дендритах.
- Сомма – так же называемая телом нейрона. От процессов, происходящих в сомме, т.н. изменении мембранного потенциала сомы, зависит выходной сигнал нейрона.
- Аксон – выводной отросток нейрона, проводит сгенерированный соммой сигнал к синапсам других нейронов.

Рецепторы кодируют значения дескрипторов в импульсы единичной амплитуды и передают их на синапсы [2]. Синапсы взвешивают передаваемые импульсы деполяризационными (возбуждающими реакцию нейрона, положительными) и гиперполяризационными (тормозящими реакцию нейрона, отрицательными) весами. Дендриты, согласно кабельной теории дендритов, представляют собой RC – фильтры нижних частот. Тело нейрона, или сомма, представляет собой сложный полисинхронный автомат, решающий систему дифференциальных уравнений поведения мембраны нейрона модели Ижикевича. В структуру тела нейрона встроено пороговое устройство. При срабатывании порогового устройства меняется система дифференциальных уравнений, решаемых автоматом. Так же при срабатывании порогового устройства на Аксоне появляется импульс единичной амплитуды. Если хотя бы один импульс появился на аксоне при обработке одного конкретного окна, считается, что система обнаружила сигнал в этом окне.

### Обучение нейронной сети

Обучающая выборка составлялась следующим образом. Бралось 25 синтезированных изображений. Каждое изображение делилось на «шагающие» окна, как в разделе 3.1. Т.к. изображения синтезировались на ЭВМ, были заранее известны координаты цели и её размер, соответственно априорно было известно какое окно содержит цель, а какое окно – нет. Согласно такому расчёту, был составлен обучающий вектор, где индекс элемента вектора совпадал с номером окна, а значение элемента соответственно указывало на априорное наличие, или отсутствие цели в данном окне. Окна и обучающий вектор были совместно переставлены таким образом, чтобы окна с априорным наличием цели чередовались с окнами с априорным отсутствием цели.

Далее по каждому окну был получен ансамбль дескрипторов, который поступали на рецепторы нейрона. Первым обучался деполяризационный (возбуждающий) канал. Веса синапсов деполяризационного канала были распределены равномерно, веса гиперполяризационного канала занулены.

В случае срабатывания порогового устройства нейрона, согласно априорным данным, определялся характер ситуации: правильное обнаружение, или ложная тревога.

При правильном обнаружении веса отработавших синапсов (т.е. тех, от которых пришел сигнал), распределяются следующим образом, где  $Wa$  – вес синапса,  $i$  – номер рецептора,  $j$  – номер синапса,  $T$  – время работы нейрона по всему окну,  $\tau$  – время прихода сигнала от конкретного синапса,  $t_{axon}$  – время появления импульса на аксоне,  $A$  – константа, коэффициент обучаемости, находится в диапазоне от 0 до 1.

$$Wa_{i,j} = Wa_{i,j} + A \cdot [T - (t_{axon} - \tau_{i,j})]$$

При ложной тревоге веса распределяются следующим образом, где  $B$  – константа, коэффициент обучаемости, отличный от  $A$ , находится в диапазоне от 0 до 1.

$$\begin{cases} Wa_{i,j} = Wa_{i,j} - B \cdot [T - (t_{axon} - \tau_{i,j})], & Wa_{i,j} > 0 \\ Wa_{i,j} = 0 & Wa_{i,j} \leq 0 \end{cases}$$

После обучения на одном изображении возбуждающего канала, на этом же изображении обучается тормозящий ионный канал. Веса синапсов деполяризационного канала распределены согласно новому правилу, а веса гиперполяризационного канала распределены равномерно.

Соответственно при правильном обнаружении веса гиперполяризационного канала перераспределяются по следующему правилу.

$$\begin{cases} Wi_{i,j} = Wi_{i,j} - B \cdot [T - (t_{axon} - \tau_{i,j})], & Wi_{i,j} > 0 \\ Wi_{i,j} = 0 & Wi_{i,j} \leq 0 \end{cases}$$

При ложной тревоге веса гиперполяризационного канала перераспределяются по следующему правилу.

$$Wi_{i,j} = Wi_{i,j} + A \cdot [T - (t_{axon} - \tau_{i,j})]$$

Веса представляют собой положительные величины. Возбуждающее, или тормозящее воздействие на тело нейрона обусловлено тем знаком, который им присваивается при формировании разностного канала.

### Результаты

Для проверки синтезировались 4 ансамблей с отношениями сигнал/шум от 5 дБ до 20 дБ по 10 изображений размером 1024 на 1024 пиксела с сигнальной зоной 512 на 512

пикселей с одинаковым отношением сигнал/шум между каждыми десятью изображениями. По каждому изображению проводилось обнаружение. После чего производилась оценка вероятности ложной тревоги и вероятности правильного обнаружения. Подобные операции позволили получить средние из 10 точечных оценок вероятностных характеристик обнаружения. По полученным средним выставлялся порог по критерию Неймана-Пирсена. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Таблица сравнения обнаружителей сигналов

ОСШ, дБ	Нейроморфный обнаружитель		Пороговый обнаружитель по критерию Неймана-Пирсена	
	Вероятность правильного обнаружения	Вероятность ложной тревоги	Вероятность правильного обнаружения	Вероятность ложной тревоги
5	0.1846	0.0264	0.0455	0.0263
10	0.7744	0.1982	0.3277	0.1978
15	0.9590	0.1745	0.4080	0.1774
20	0.9951	0.1289	0.5466	0.1300

Полученный обнаружитель способен эффективно работать при данных отношениях сигнал/шум.

### Список литературы (стиль – «Литература»)

1. Н. В. Позин – Моделирование нейронных структур, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1970, 264 стр.
2. В.А. Евграфов, Е.А. Ильюшин. – Спайковые нейронные сети // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 9, no.7, 2021, 21 – 32 с.с.
3. P. Viola and M.J. Jones, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001
4. Р.Гонсалес, Р.Вудс, «Цифровая обработка изображений», ISBN 5-94836-028-8, изд-во: Техносфера, Москва, 2005. – 1072 с.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ СОВМЕСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ГРУППЫ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Р.М. МАТРОСОВ

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

**Аннотация.** Все живые существа, будь то микробактерии, насекомые, птицы, наземные или водные животные двигаются по определённым траекториям. Исходя из различных факторов их движения можно делать выводы о различных особенностях их строения и развития, условий существования, а для высших организмов также и об уровне социального взаимодействия. Одним из популярных способов наблюдения за живыми существами является видеофиксация их передвижений с дальнейшим анализом. Сперва они должны пройти систему машинного зрения, которая выделит потенциальные объекты интереса. Затем координаты поступают на системы вторичной траекторной обработки информации, основными задачами которых является анализ полученных координат, идентификация отдельных траекторий движения, предоставление их в удобном для дальнейшего анализа формате.

*Ключевые слова:* Траекторная обработка, флуктуационный анализ, траектории движения, модели движения, компьютерное зрение.

## **1. Анализ движения групп подвижных объектов**

Современные биомедицинские, фармакологические, экологические и другие исследования не могут обойтись без анализа траекторий движения различных объектов: подопытных животных (мышей, рыб) в лабораториях, например, когда надо исследовать влияние разрабатываемых препаратов на живые организмы; особых биоиндикаторных организмов (раков, рыб, моллюсков), когда надо исследовать качество воды в водоёмах[1]; микроскопических организмов (клеток, бактерий, вирусов), когда надо исследовать влияние различных веществ на их жизнедеятельность.

Ранее, подобные исследования было необходимо проводить учёным путём непосредственного наблюдения за объектами интереса. Это было крайне длительно и трудоёмко, т.к. каждый исследователь должен был собственноручно проводить наблюдение, записывать изменения в специальные журналы, согласовывать их, и только затем проводить какой-либо анализ.

С развитием видеотехники и технологий хранения информации исследования живых существ перешли на качественно новый уровень – появилась возможность записывать наблюдения на видеокамеру, и уже по сохранённым данным составлять записи перемещений, проводить анализ, делать выводы. Тем не менее, критически важным оставался человеческий фактор: от исследователя зависело, будут ли отмечены все детали перемещения объектов в каждый отдельный момент времени, не будут ли перепутаны или пропущены те или иные цели.

В связи с вышеперечисленным, всё большее применение находят автоматизированные системы обработки видеoinформации: системы компьютерного зрения для обнаружения объектов наблюдения на отдельных кадрах и алгоритмы траекторной обработки, для идентификации траекторий объектов по полученным данным и представления их в удобном для дальнейшего анализа виде.

## **2. Технологии обработки видеоданных**

Первым этапом обработки результатов видеонаблюдения, будет являться обнаружение отдельных объектов интереса, т.к. непосредственное выделение траекторий из видео весьма затруднено. Объект на изображении может представлять отдельный пиксель или группу пикселей – протяжённый объект, занимающий определённую площадь некоторой формы. Одной из особенностей целей, которая будет выделять её из общего фона будет являться интенсивность: объект будет темнее (интенсивность ниже) или светлее (интенсивность выше) всего остального.

Именно на этом основаны простейшие системы машинного зрения – однопороговые схемы. Принцип их работы описывается следующим образом: однократно проверяется каждый пиксель изображения, в том случае, если значение его интенсивности оказывается выше (ниже) определённого порога, то этот пиксель будет отмечен как объект интереса, в ином случае – будет воспринят как фон. Данные алгоритмы весьма просты и не требуют больших вычислительных ресурсов для программирования. Однако результативность их работы будет высокой только в тех случаях, когда идёт обработка изображений высокого разрешения с малым количеством шумов. В иных случаях резко возрастают вероятности



интерполированному значению, рассчитанному по принятой модели движения объекта и предыдущим отсчётам траектории; проводить стробирование – искать новые точки только в определённом радиусе от интерполированных координат, таким образом можно фильтровать заведомо ложные продолжения траекторий.

Окончанием жизни траектории следует считать сброс. Он происходит в том случае, когда на протяжении некоторого промежутка времени нет новых точек, отождествлённых с данной траекторией. Возможна, однако, и ситуация срыва слежения – когда объект продолжает находиться в зоне обзора, но новые отсчёты по тем или иным причинам не появляются, ввиду ошибок работы системы компьютерного зрения. В таком случае следует не сбрасывать траекторию сразу же, после того как перестали поступать новые точки для неё. Можно, например, продолжить интерполяцию движения объекта, а затем, через некоторое время перевести траекторию в разряд «потерянных» – продолжать искать новые точки для неё, но в то же время не продлевать траекторию вплоть до перевода её в статус «наблюдаемых».

Таким образом можно, учитывая особенности совместного движения групп объектов (пересечения траекторий, резкие обрывы траекторий и пр.) составить алгоритм, который из исходного неструктурированного массива координат потенциальных объектов будет формировать массив траекторий движения отдельных объектов, удобный для дальнейшего анализа и обработки.

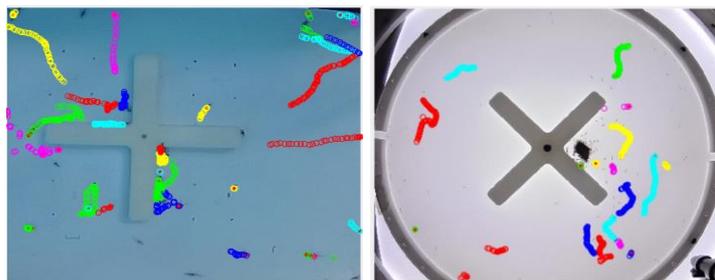


Рис.2 Пример траекторий, полученных по данным видеонаблюдения движения муравьёв двух разных видов

#### 4. Методы статистического анализа

Существует множество методов анализа временных рядов (траекторий движения объектов). Одним из основных, для рассмотрения процессов случайного блуждания, является семейство подходов, объединённых понятием флуктуационного анализа (ФА, Fluctuation Analysis). Флуктуационная функция (ФФ)  $F_N(s)$  описывает зависимость флуктуационной составляющей динамического ряда.  $N$  – порядок флуктуационной функции, так,  $F_2(s)$ , т.е. ФФ второго порядка, характеризует линейную зависимость. Наибольшее применение в науке нашли такие методы флуктуационного анализа как: ФА на основе разложения по базису вейвлетов Хаара (Wavelet Technique Analysis, WTA); метод центрального скользящего среднего (Central Moving Average, CMA); ФА с исключением тренда (Detrended Fluctuation Analysis, DFA) [6].

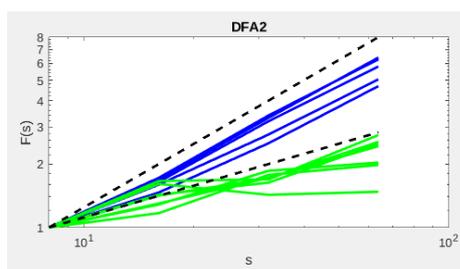


Рис.3 Пример результатов флуктуационного анализа движения двух видов муравьёв

Кроме флуктуационного анализа применение находят и методы корреляционного анализа, которые позволяют исследовать взаимное влияние друг на друга различных объектов. Наиболее распространёнными можно назвать метод взаимного корреляционного анализа с исключением тренда (Detrended Cross-correlation Analysis, DCCA) и его модификацию для исключения внешних воздействий - метод частного взаимного корреляционного анализа с исключением тренда (Detrended Partial-cross-correlation Analysis, DPCCA).

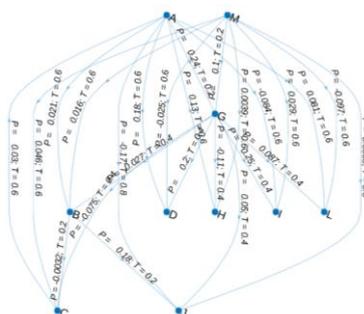


Рис.4 Пример графического представления совместной динамики движения в стае птиц

### Список литературы

1. Биомониторинг: Невский рак // ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» [Электронный ресурс]. URL: [http://84.52.66.40/vodosnabzhenie/biomonitoring/nevskij\\_rak/](http://84.52.66.40/vodosnabzhenie/biomonitoring/nevskij_rak/) (дата обращения: 02.05.2024)
2. Aleksandr M. Sinitca, Airat R. Kayumov, Pavel V. Zelenikhin, Andrey G. Porfiriev, Dmitrii I. Kaplun, Mikhail I. Bogachev. Segmentation of patchy areas in biomedical images based on local edge density estimation // ELSEVIER. 2022
3. Mikhail I. Bogachev, Vladimir Yu Volkov, Gleb Kolaev, Liliya Chernova, Innokentii Vishnyakov & Airat Kayumov. SPRINGER LINK. 2018
4. Волков В.Ю. Моделирование и обработка сигналов и полей в радиотехнических задачах: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. 122 с.
5. Коновалов А.А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013, 164 с.
6. Kantelhardt, J.W., Koscielny-Bunde, E., Rego, H.H., Havlin, S. and Bunde, A., 2001. Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 295(3-4), pp.441-454.

## **ПАССИВНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ В КОМПЛЕКСЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

ЧЕРНОВ П.В., ТРИШАКОВ А.А.

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»*

**Аннотация.** Данная статья посвящена применению пассивной радиолокации в комплексе обнаружения и противодействия для защиты объектов критической инфраструктуры от малоразмерных беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения. Пассивная радиолокация отличается малой стоимостью, простотой реализации, малым потреблением энергии и отсутствием наведения помех на частоту работы. Также более стабильное качество работы в различных погодных условиях в отличие от оптических и звуковых способов поиска целей, что делает подобные комплексы идеальными для работы в городских условиях и условиях, где необходима долгая, автономная работа.

*Ключевые слова:* пассивная радиолокация, критическая инфраструктура, комплекс обнаружения и противодействия.

Развитие технологий малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и расширение сфер их применения, влечет за собой возрастание производства и количества используемых беспилотных воздушных судов (БВС) в гражданском использовании. Что также увеличивает вероятность использования подобных средств для незаконной деятельности: терроризм, уничтожение государственного имущества, разведка и т.п. Данные факты указывают на необходимость государственного урегулирования использования БВС и создания для этого необходимой аппаратуры. [1]

Для создания комплексов обнаружения и противодействия для защиты объектов критической инфраструктуры от малоразмерных беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения следует учитывать специфику их использования, а именно такие факторы как: минимизация пагубных влияний на работу гражданской аппаратуры связи, так как применение подобных комплексов подразумевает использования в городских условиях, надёжность, простота конструкции и эффективность. [2]

Из существующих способов поиска целей: звуковые, оптические, пассивные и активные способы радиолокации, пассивный метод является наиболее подходящим по ряду преимуществ: в отличие от звуковых и оптических способов локации, пассивная радиолокация меньше подвержена пагубным влияниям со стороны погодных и временных факторов. Сравнивая этот метод с активной радиолокацией, можно выявить также ряд своих плюсов, это простота и дешевизна конструкции, отсутствие помех, производимых комплексами с активным методом поиска целей. Также можно выделить сложность в обнаружении пассивных радиолокационных станций (РЛС), и вследствие сложности при создании им помех. Проблемами при использовании пассивного метода поиска целей являются: невозможность отслеживания целей, находящихся в состоянии радиомолчания, например БВС, передвигающихся при помощи GPS, и невозможность определения дальности до цели используя только одну РЛС. [3]

В настоящее время представлено два метода пассивной радиолокации: распознавание объектов с искусственным излучением радиоволн, представленным различными радиопередатчиками в их составе, и с естественным, представленным тепловым излучением самого объекта.

Для комплексов обнаружения малоразмерных БВС распознавание объектов с искусственным излучением радиоволн является более выгодным ввиду их большей эффективности. Представлена пассивная радиолокация в подобных комплексах может быть как самостоятельный метод обнаружения, так и в комплексе с другими методами поиска целей, например с активным. (рис.1)

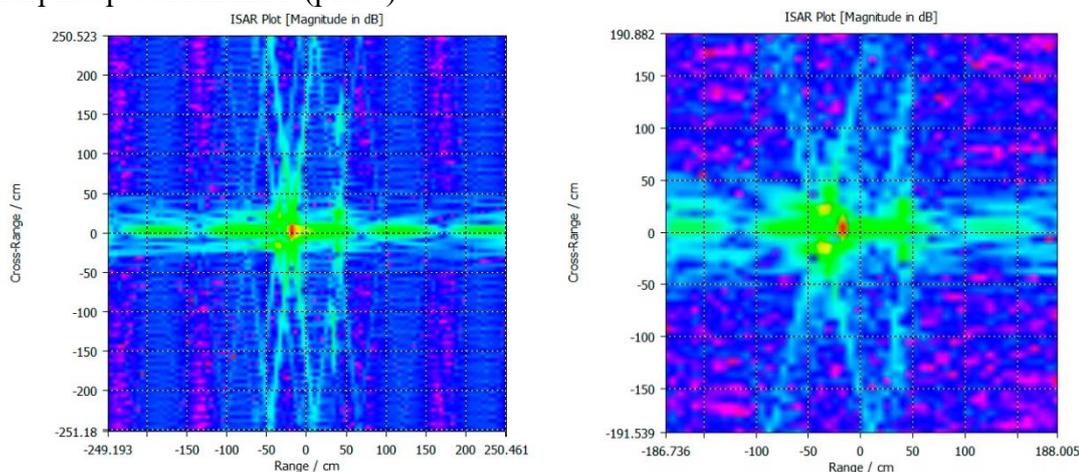


Рис. 1. Пример работы активного метода поиска целей, представленный методом синтезированных апертур.

Применятся комплексы обнаружения и противодействия БВС с пассивной радиолокацией могут как по одному, для защиты местности в определённом радиусе, так и группой, состоящей из нескольких комплексов для контроля большего воздушного пространства. Также за счет использования анализаторов спектра и специальных маяков на союзных БВС, можно обеспечить работу системы свой-чужой, что упростит работу по контролю воздушного пространства. [4]

Таким образом применение методов пассивной радиолокации в комплексах обнаружения беспилотных летательных аппаратов позволит достаточно эффективно и точно обнаруживать беспилотные воздушные суда с малой эффективной площадью рассеивания, при этом оставаясь менее радиозаметным при функционировании комплекса.

### Список литературы

1. Применение многослойных сверточных нейронных сетей при идентификации объектов на радиологических изображениях комплекса обнаружения малых БАС / А. О. Смирнов, О. А. Белоусов, А. А. Тришаков, М. М. Кирюпин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 24–25 октября 2023 года. Том Выпуск 9. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 199-202. – EDN LLKNAJ.
2. Кирюпин М.М., Белоусов О.А., Тришаков А.А. Алгоритм управления диаграммообразующим устройством цифровой антенной решетки для систем постановки пространственных барьеров DOI: 10.17277/vestnik.2023.03.pp.390-405
3. Алгоритмическое обеспечение диаграммообразующего устройства фазированной антенной решётки на основе нейросетевой архитектуры Кирюпин М.М., Белоусов О.А., Тетюхин В.И., Смирнов А.О., Носков В.В., Ползуновский альманах Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (Барнаул) 2022 С. 9-12.
4. Анализ функционирования систем автоматического обнаружения на основе анализа характера помех от беспилотных летательных аппаратов Кирюпин М.М., Белоусов О.А., Носков В.В., Мамедов А.А., В сборнике: Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития Сборник трудов Восьмой всероссийской молодежной научной конференции. 2023. С. 184-185.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ СИГНАЛА В ПРИЕМНИКЕ С СУБДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ

АСТАФЬЕВ И.А., КАЛИНИН Д.А., БОНДАРЕВ Д.В.

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

**Аннотация.** Представлен обзор методов восстановления частоты в современных средствах радиомониторинга на основе приемника с субдискретизацией. Проведена оценка методов восстановления частоты, выявлены наиболее практичные варианты с точки зрения сложности разработки, точности определения частоты, ресурсоемкости и экономических затрат.

*Ключевые слова:* радиомониторинг, субдискретизация, восстановление частоты, фазовые сдвиги, зона Найквиста, теорема об остатках, таблица поиска

В современных средствах радиомониторинга наблюдается тенденция к расширению мгновенной полосы приема и обработки сигналов. Основной задачей сверхширокополосных систем радиомониторинга является получение информации о спектральном составе входного сигнала. Одновременно с этим возрастает необходимость в увеличении частоты дискретизации. Использование высокоскоростных АЦП подразумевает хранение и передачу больших объемов данных, повышенное энергопотребление и значительные финансовые затраты.

Одним из способов преодоления этих сложностей является субдискретизация, позволяющая в процессе преобразования использовать частоту дискретизации ниже частоты, определённой по теореме Котельникова [1–5]. При этом периодичность спектра дискретизированного сигнала позволяет без потери информации восстановить аналоговый сигнал, выделив низкочастотную область, соответствующую первой зоне Найквиста. Однако, в этом случае теряется информация о величине реальной несущей частоты.

С учётом вышесказанного, целью этой работы является обзор методов для восстановления несущей частоты входного сигнала после процесса субдискретизации.

### Методы восстановления частоты

Рассматриваемые в работе методы можно разделить на два подхода. Первый подход позволяет снизить вычислительную нагрузку, но предполагает изменение аналоговой части приемника согласно используемому методу. Второй подход позволяет реализовать методы восстановления несущих частот при более простой аналоговой реализации приемника, однако требует значительных ресурсов для последующей обработки сигнала.

Одним из методов определения несущей частоты входного сигнала является внесение в каждый канал используемой схемы фазовых сдвигов, которые эквивалентны увеличению длины каналов [6], как показано на рис. 1.

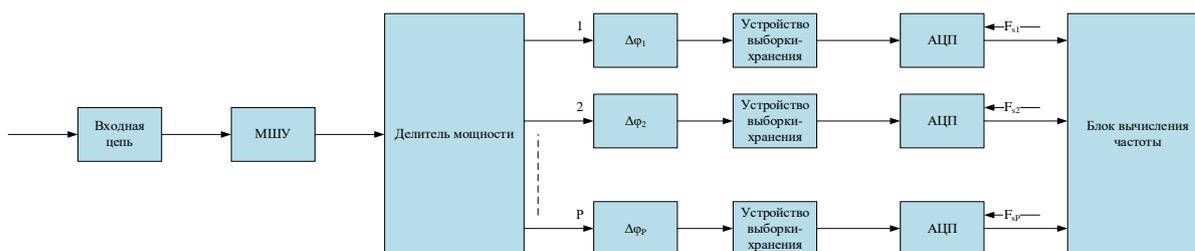


Рис. 1. Схема приемника с линиями задержки в каналах

При использовании данного метода, частоты дискретизации в каждом канале должны быть одинаковыми. Измерив величину фазового сдвига между каналами и сопоставив её с дополнительной длиной каналов, можно определить несущую частоту входного сигнала. Следует отметить, что во избежание возникновения неоднозначности отсчета фаз, фазовые сдвиги нужно выбирать исходя из максимальной частоты сигнала, которая может быть обработана в схеме. Достоинством данного метода является простота реализации цифровой части, недостатком – большое количество каналов для разрешения неоднозначности измерения фаз при многосигнальном воздействии, а также для устранения неоднозначности в широкой полосе частот.

Рассмотрим метод «разворачивания» сигнала в зоны Найквиста. Использование  $N$  дискретизирующих каналов позволяет записать систему линейных сравнений:

$$\begin{cases} F_0 \equiv \pm f_0^1 \pmod{F_{s1}/2}, \\ F_0 \equiv \pm f_0^2 \pmod{F_{s2}/2}, \\ \dots \\ F_0 \equiv \pm f_0^N \pmod{F_{sN}/2}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $F_0$  – реальная несущая частота,  $F_{si}$  – частота дискретизации в  $i$ -ом канале,  $f_0^i$  – величина «свернутой» частоты в  $i$ -ом канале, зависящая от параметров канала. Под «свернутыми» частотами подразумеваются частоты в первой зоне Найквиста [1].

Схематичное представление «разворачивания» частот из первой зоны Найквиста во все последующие в порядке, обратном их наложению при дискретизации, приведено на рис. 2 [1].

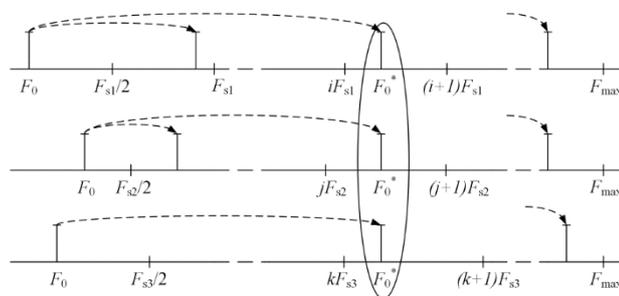


Рис. 2. Иллюстрация работы алгоритма «разворачивания» частот в трехканальном приемнике

Более подробно приемник с таким методом восстановления частоты описан в работах [1, 7–8]. Основным недостатком такого алгоритма является неоднозначность определения частоты, связанная с периодичностью решения системы сравнений, описанная в [9], а преимуществом – возможность работы при многосигнальном воздействии [10].

Систему уравнений (1) также можно решить, используя китайскую теорему об остатках (англ. Chinese Remainder Theorem, CRT), которая, по определению, дает единственное решение системы линейных сравнений, что показано в [11].

В робастных алгоритмах, производящих оценку частоты на основе CRT, точность оценки в значительной степени зависит от частотного разрешения ДПФ [12]. Для повышения точности оценки увеличивают число точек ДПФ, тем самым увеличивая частотное разрешение. Однако вместе с этим увеличиваются требуемые вычислительные ресурсы. ДПФ с малым количеством точек приводит к грубому разрешению по частоте, за

счет чего ухудшается точность. Известны также робастные алгоритмы CRT, устойчивые к шумовым воздействиям, позволяющие уменьшить количество точек ДПФ при сохранении точности оценки [12–13].

Также одним из методов определения несущей частоты сигнала, используемых при субдискретизации, является использование таблицы поиска. При этом свернутые частоты напрямую сопоставляются с реальными по заранее полученной таблице [14]. Для формирования таблицы можно использовать любой из вышеописанных методов. При малом количестве хранимых в памяти значений входной частоты, метод определения несущей частоты по таблице поиска имеет высокое быстродействие. При увеличении объема данных, хранимых в таблице, увеличиваются требуемая память и время поиска.

### Сравнение методов

Сравнительная характеристика приведённых в работе методов сведена в таблицу 1.

*Таблица 1. Сравнительная характеристика методов восстановления частоты*

	Сложность разработка приёмника	Точность определения частоты	Ресурсоёмкость	Стоимость
Внесение фазовых сдвигов в каналы	Высокая	Средняя	Низкая	Высокая
«Разворачивание» сигнала в зоны Найквиста	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
Использование китайской теоремы об остатках	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
Робастные алгоритмы китайской теоремы об остатках	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя
Использование таблицы поиска	Низкая	Зависит от выбранного метода и количества рассчитанных точек	Низкая	Низкая

Высокая сложность разработки приёмника, в котором для определения несущей частоты сигнала используется внесение фазовых сдвигов в каналы, обусловлена точностью вносимых фазовых сдвигов. Такой же уровень сложности присвоен приёмнику с робастным алгоритмом. Сложность разработки приемника с использованием таблицы поиска для восстановления несущей частоты сигнала зависит от наличия готовых математических моделей или макетов. Их использование позволяет сократить время на разработку.

Робастные алгоритмы восстановления несущей частоты показывают высокую точность результатов, из-за устойчивости к шумовым воздействиям. Точность остальных методов примерно одинакова.

Ресурсоёмкость методов с внесением фазовых сдвигов в каналы и с использованием таблицы поиска оказывается низкой, так как для первого метода требуется только определение фазовых соотношений между принятыми сигналами, а для второго метода необходима только память и незначительная вычислительная логика. Для остальных методов требуется значительное количество умножителей и продвинутая логическая архитектура.

Наконец, стоимость приёмника с внесением фазовых сдвигов в каналы так же обуславливается температурной стабильностью используемых линий задержки. При использовании дешевых линий задержки необходимо предусмотреть их термостатирование или использования фазовой калибровки. Стоимость приёмника с использованием таблицы

поиска низкая, поскольку определяется только используемой памятью. Стоимость приёмников, реализующих остальные методы сравнима.

### **Заключение**

Рассмотрены методы восстановления несущей частоты сигнала, в приемнике с субдискретизацией. Если требуется измерять частоту с высокой точностью, имеется запас вычислительных ресурсов и время на разработку, то целесообразно использовать робастные алгоритмы. Метод с использованием таблицы поиска уместно использовать при наличии математических моделей или готовых макетов приемников. Это позволяет существенно сократить время на разработку новых прототипов. При прочих равных рационально использовать метод с «разворачиванием» сигнала в зоны Найквиста и метод с использованием китайской теоремы об остатках как наиболее компромиссные.

### **Список литературы**

1. Подстригаев А.С., Смоляков А.В., Лихачёв В.П. Программно-определяемые средства широкополосного анализа сигналов на основе технологии субдискретизации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021, 184 с.
2. Цифровая обработка сигналов: Второе издание / Р. Лайонс. Пер. с англ. М.: ООО «Бином-Пресс», 2006, 656 с.
3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие. 3-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2011, 768 с.
4. Tony J. Roupheal. Wireless Receiver Architectures and Design, Academic Press, 2014.
5. Умняшкин С.В. Основы теории цифровой обработки сигналов: Учебное пособие. Издание шестое, исправленное. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021, 550 с.
6. G. Sobhani, A. M. Pezeshk, F. Behnia, and M. Sadeghi, “Joint detection of carrier frequency and direction of arrival of wide-band signals using sub-nyquist sampling and interferometric direction finding,” AEU - International Journal of Electronics and Communications, vol. 139, p. 153926, Sep. 2021.
7. Смоляков А.В., Подстригаев А.С. Характеристики обнаружения цифрового приемника с субдискретизацией // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 9. С. 95–107.
8. Подстригаев А.С. Методика проектирования сверхширокополосного цифрового приемника с субдискретизацией // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №10. С. 11–17.
9. Подстригаев, А.С. Классификация и способы устранения аномальных ошибок измерения частотно-временных параметров сигналов в широкополосных приемниках // Журн. Сиб. федер. ун-та, Техника и технологии, 2022, 15(2). С. 223–237.
10. RU 2761983. Способ определения частот множества сигналов в приемнике с субдискретизацией. А. С. Подстригаев, А. В. Смоляков, М. Ф. Шабанов, И. И. Шпаков. Оpubл. 14.12.2021, Бюл. № 35.
11. Li Xiao, Xiang-Gen Xia. Frequency determination from truly sub-Nyquist samplers based on robust Chinese remainder theorem. Signal Processing, 2018, vol. 150, pp. 248–258.
12. Huang X, Bai R, Jin X, Fu H (2016) Robust and Efficient Frequency Estimator for Undersampled Waveforms Based on Frequency Offset Recognition, PLoS ONE, 2016, vol. 11, № 10.
13. Liang Hong, Zhang Qi, Yang Chang-Sheng. A Generalized Robust Chinese Remainder Theorem and Its Application to Frequency Estimation with Undersampling. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(8), pp. 1802–1805
14. Frequency estimation by 1-bit quantization and table look-up processing Tomas Andersson, Mikael Skoglund and Peter Handel, Department of Signals, Sensors and Systems Royal Institute of Technology 100 44 Stockholm, Sweden.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

Д. В. ГАЙВОРОНСКИЙ, А. В. ДИАНОВ

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

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты исследования вейвлет-преобразования простых и сложных сигналов, а также рассмотрены возможности использования вейвлет-преобразования в решении задачи оценивания параметров сигналов. В результате проведённых исследований сформулированы методы, позволяющие осуществить оценку времени запаздывания и доплеровского смещения частоты

*Ключевые слова:* вейвлет-преобразование, скейлограмма, простые и сложные сигналы, оценка времени запаздывания, доплеровское смещение частоты.

Вейвлет-преобразование приобретает всё большую актуальность вследствие развития радиотехнических систем различного назначения, особенно в области радиолокации. В данной работе представлены результаты исследования вейвлет-преобразования и возможности их адаптации к задаче оценки параметров сигналов. Моделирование проводилось в системе MATLAB.

Классическими методами анализа сигналов является преобразование Фурье и разложение в ряд Фурье [1]. Однако эти методы обладают рядом недостатков. В качестве самого главного из них можно выделить отсутствие разрешения по времени (это компенсируется высоким разрешением (локализацией) по частоте). При проведении обработки сигнала необходимо знать его поведение на бесконечной временной оси, что является математической абстракцией и невозможно в реальных ситуациях. Такое допущение обусловлено использованием гармонического базиса, функции которого определяются от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Помимо этого, возникает противоречие, обусловленное принципом неопределённости, между получением данных о высокочастотных и низкочастотных составляющих. В первом случае необходимо рассмотрение малых временных интервалов, а во втором – наоборот, больших. Кроме того, невозможно осуществить точное восстановление из-за наличия эффекта Гиббса в местах резких изменений сигнала. В заключение необходимо сказать, что преобразование Фурье используется для анализа стационарных процессов, тогда как для нестационарных процессов анализ Фурье многократно усложняется.

Частично эти недостатки компенсируются при помощи оконного преобразования Фурье (ОПФ является промежуточным на пути к вейвлет-преобразованию). В этом случае, благодаря умножению временной функции на «окно», получается достичь лучшей разрешающей способности по времени. Однако недостаток ОПФ заключается в том, что в силу вышеупомянутого принципа неопределённости разрешающая способность будет одной и той же для всех областей временной функции (см. рис. 1, а), и в некоторых частях сигнала её может быть недостаточно.

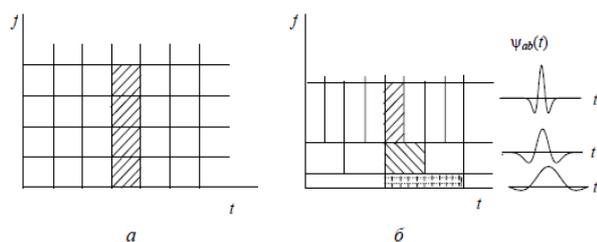


Рис. 1

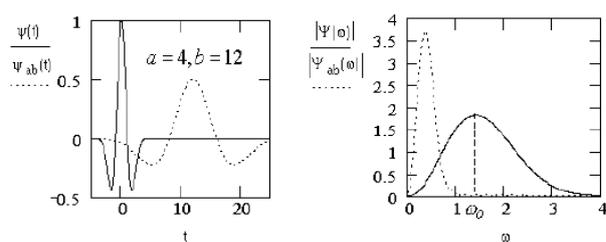


Рис.2

Вейвлет-преобразование даёт существенные преимущества по сравнению с перечисленными преобразованиями. Одно из главных преимуществ заключается в локальности вейвлета, что означает, что операция умножения на окно заложена в самой функции. При этом есть возможность за счёт параметра  $a$  как расширять, так и сужать вейвлет (см. рис. 1, б и рис. 2). В первом случае с ростом  $a$  происходит увеличение разрешающей способности по частоте (при этом уменьшается разрешающая способность по времени); в свою очередь уменьшение  $a$  приводит к увеличению разрешения во временной области (при этом уменьшается разрешающая способность по частоте). Эта особенность позволяет адаптировать вейвлет-функцию под любые особенности сигнала [2], [3].

Теория вейвлет-преобразования не является фундаментальной физической теорией, однако она представляет собой полезный и удобный инструмент решения многих задач. Основная область применения вейвлетов – это обработка сигналов и изображений, очистка сигнала от шумов, различное применение в области радиотехники, медицины, гидроакустики и др.

Одним из таких важных инструментов служит прямое непрерывное вейвлет-преобразование (ПНВП или SWT – continuous wavelet transform), визуализацией которого является скейлограмма – двумерный график, позволяющий получить представление о сигнале как во временной, так и в частотной областях. Для наблюдения скейлограмм был сформирован банк простых и сложных сигналов: в качестве простых сигналов рассматривались прямоугольный, треугольный и колоколообразный видеопульсы, а также прямоугольный радиопульс; в качестве сложных – ЛЧМ-сигнал и  $m$ -последовательность. В результате исследования благодаря вейвлет-анализу была сделана оценка содержащихся в сигнале спектральных составляющих и получена информация о характерных временных изменениях каждого сигнала.

Ключевым назначением сформированных сигналов является их использование для оценки времени запаздывания и доплеровского смещения. Поставленную задачу удобно рассматривать в рамках классической радиолокационной задачи. Предполагается, что с помощью радиолокационной станции (РЛС) осуществляется мониторинг некоторой области пространства, при этом РЛС излучает в это пространство сигнал, который попадает на объект локации и рассеивается на нём. Кроме того, объект локации может двигаться, в результате чего под действием эффекта Доплера меняется частота и длительность сигнала. Время, за которое сигнал распространяется до объекта локации и обратно (т.е. время запаздывания), и смещение частотного спектра принятого сигнала являются оцениваемым параметром.

Предлагаемый метод оценки времени запаздывания предполагает, что программным образом осуществляется вычитание вейвлет-преобразования принятого сигнала и вейвлет-преобразования сигнала, задержанного (опережающего) на различные временные значения

(это эквивалентно сдвигу по временной оси вправо или влево). При этом разностный сигнал будет минимальным по уровню тогда и только тогда, когда искусственно вносимый временной сдвиг совпадает с истинным значением времени запаздывания (метод подразумевает использование многоканальной схемы, и при переходе от канала к каналу значение вносимого временного сдвига меняется).

Метод оценки доплеровского смещения также строится на использовании многоканальной схемы. Но в этом случае осуществляется вычитание вейвлет-преобразования принятого сигнала и вейвлет-преобразования сигнала с искусственно внесённым программным способом доплеровским смещением. Аналогично предыдущему методу минимальный уровень разностного сигнала будет зафиксирован тогда и только тогда, когда искусственно вносимый доплеровский сдвиг совпадает (или близок) с (к) его истинным(ому) значением(ю) (аналогично подразумевается изменение доплеровского сдвига при переходе от канала к каналу).

Результаты проведённых экспериментов показали, что предложенный метод отличается от «классических» методов оценки параметров сигнала, основанных на использовании функции неопределённости и подразумевающих корреляционную обработку [4], более высоким быстродействием. Такие изменения обусловлены уменьшением объема вычислений и использованием простых математических операций при обработке сигнала.

### Список литературы

1. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Издание третье, переработанное и дополненное. Москва.: Изд-во «Высшая школа», 2000. – 462 с.
2. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. –Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб.: Изд-во ВУС, 1999 – 208с.
4. Андреева О. М., Маругин А. С., Пыко С. А. Статистическая теория радиотехнических систем: учеб. пособие в 3 ч. Ч. 1 / под общ. ред. проф. В. П. Ипатов и проф. Ю. Д. Ульяницкого. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 146 с.

## СИСТЕМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАНЦИИ ПОМЕХ Р-330БМВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ПОИСКА И УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Д.О. ЕРМАКОВ, О.С. ЯКУШОВ, А.В. ЗАЙЦЕВ

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы  
(учебный и испытательный), Тамбов, Россия*

**Аннотация.** Автоматизированная станция помех является сложной радиотехнической системой, которая требует надежной и эффективной системы обработки сигналов и принятия решений. Такая система позволяет станции обнаруживать, классифицировать и подавлять вражеские сигналы, обеспечивая электромагнитную защиту дружеских сил. Данная статья рассматривает использование методов поиска и устранения неисправностей для оптимизации и улучшения системы обработки сигналов и принятия решений автоматизированной станции помех.

*Ключевые слова: система обработки сигналов, методы поиска и устранения неисправностей, матрицы, условия неопределенности, помехи.*

Автоматизированная станция помех является основным компонентом систем радиоэлектронной борьбы, используемым для обнаружения, анализа и подавления вражеских радиосигналов. Система обработки сигналов и принятия решений на базе АСП играет решающую роль в обеспечении эффективного выполнения стратегических задач. Система обработки сигналов выполняет следующие функции:

1. Обнаружение наличия и местоположения вражеских радиосигналов в электромагнитном спектре.
2. Определение типа сигнала и его принадлежности к конкретной платформе и системе.
3. Оценка потенциальной угрозы, которую представляет каждый обнаруженный сигнал, на основе его параметров и контекста обстановки.

На основе результатов обработки сигналов система принятия решений АСП определяет оптимальную стратегию подавления. Она включает в себя:

1. Определение типа помех (например, широкополосная и узкополосная помехи) наиболее эффективной для подавления целевого сигнала.
2. Определение параметров помех, таких как: частота, мощность и длительность, для достижения желаемого результата.
3. Распределение ограниченных ресурсов между несколькими целевыми сигналами для достижения максимальной эффективности.

Автоматизация является ключевым аспектом системы обработки сигналов и принятия решений АСП. Она позволяет системе быстро и точно обрабатывать большие объемы данных о сигнале, принимать решения в режиме реального времени, а также адаптироваться к меняющейся среде радиоэлектронной борьбы.

Использование системы обработки сигналов и принятия решений на базе АСП обеспечивает ряд преимуществ, в том числе:

1. Повышенная эффективность подавления помех.
2. Уменьшение времени реакции на угрозы.
3. Улучшенная ситуационная осведомленность.
4. Повышение живучести системы.
5. Снижение рабочей нагрузки оператора.

Для обеспечения надежной работы системы обработки сигналов используются различные методы поиска и устранения неисправностей. К ним относятся:

1. Метод последовательных поэлементных проверок.
2. Метод групповых проверок.
3. Комбинационный метод.

К первому методу можно отнести последовательность проверки отдельных компонентов системы обработки сигналов, таких как приемники, анализаторы и генераторы для обнаружения аппаратных неисправностей. Так, например, в АСП такими компонентами могут быть: передающий/приемный тракты, аппаратура передачи данных и синхронизации – АПДС-4, системы внутрикомплексной и служебной связи, включающие в себя абонентскую станцию ВКИО-А, а также типовые радиостанции. Метод групповых проверок заключается в том, что путем измерения одного или нескольких параметров определяется группа элементов, которой имеется неисправность. Затем проводится другая серия измерений, позволяющая выделить подгруппу элементов, включающую

неисправный элемент. Последний из представленных методов, а именно – комбинационный состоит в том, что в процессе поиска неисправностей производится измерение определённого набора параметров. Каждый из приведенных методов подразумевает за собой работу с моделированием и симуляцией различных ситуаций. Создание таких моделей и проведение симуляций системы обработки сигналов проводится для прогнозирования поведения системы и выявления потенциальных проблем.

Использование методов поиска и устранения неисправностей в системе обработки сигналов и принятия решений обеспечивает следующие преимущества:

1. Повышение надежности. Современное обнаружение и устранение неисправностей предотвращает отказы системы и обеспечивает ее стабильную работу.
2. Улучшение производительности. Оптимизация системы обработки сигналов и принятия решений повышает точность и эффективность подавления помех.
3. Снижение затрат. Регулярное тестирование и устранение неисправностей помогает предотвратить серьезные повреждения и дорогостоящий ремонт.
4. Повышение оперативной готовности. Быстрое выявление и исправление неисправностей сокращает время простоя и поддерживает высокую оперативную готовность станции.

Уникальность системы обработки сигналов и принятия решений состоит в следующем:

1. Автоматизированное обнаружение и устранение неисправностей: использование методов поиска неисправностей, основанных на машинном обучении, которое, в свою очередь, может включать в себя так называемую стратегическую игру, входящую в основу принятия решений в условиях неопределенности и риска. Повышенная скорость обработки сигналов: разработка специализированных алгоритмов обработки сигналов, оптимизированных для работы со сложными электронными средствами РЭБ. Использование передовых аппаратных компонентов и технологий параллельной обработки для максимального увеличения производительности.

2. Распознавание и классификация сигналов противника.

В современной среде радиоэлектронной борьбы, станции помех часто сталкиваются с неопределенностью и риском из-за неполной или неточной информации о противнике, а также быстро меняющихся условий обстановки. Принятие обоснованных решений в таких условиях имеет решающее значение для эффективного выполнения задач по подавлению электронных средств противника. Автоматизированное рабочее место АТО, представленного на рисунке 1 предназначено для оценки работоспособности составных частей определенной станции помех по результатам выполненных измерений и проверок в режимах тестирования и диагностики. Стоит отметить, что у любой разработки, техники, а в данном примере, рассматриваемая нами АТО, требует улучшения, а также внедрения новых функциональных возможностей для дальнейшей работы.



Рисунок 1. Автоматизированное рабочее место АТО

Так, например, можно всерьез задуматься об интеграции интеллектуальных информационных систем для анализа данных, принятия решений и поддержки операторов. Использование технологий искусственного интеллекта для прогнозирования угроз, оптимизации режимов работы станции помех и повышения общей эффективности. Для еще более прогрессивной работы данной АТО можно предпринять внедрение матриц максиминных выигрышей и минимаксных проигрышей. Матрицы максиминных выигрышей и минимаксных проигрышей являются мощными инструментами, которые могут помочь операторам станции помех принимать решения в условиях неопределённости. Суть данного метода состоит в том, что матрицы включают в себя так называемую «стратегическую игру», которая подразумевает за собой ситуации соперничества, исход в которых зависит от поведения игроков. В отличие от азартных игр, где исход зависит от случая, в СИ поведение (стратегии) игроков определяются на основе планирования как можно большего количества стратегий противника и формирования количества своих стратегий. При выборе оптимальной стратегии, которая будет лучшим ответом на стратегию противника, работа оператора в той или иной ситуации повлечет за собой максимально возможный успех.

$$\text{MAX}(i)\text{MIN}(j) R^B_{i,j}, \text{ где:}$$

( $i=1, \dots, m$ ) – индекс (номер) стратегий игрока В; ( $j = 1, \dots, n$ ) – индекс (номер) стратегии игрока А.  $R^B_{i,j}$  – элемент матрицы игры, соответствующий максиминному выигрышу игрока В. Сама матрица представляет собой таблицу, в которой строки представляют возможные действия станции помех, а столбцы – возможные действия противника. Каждый элемент матрицы содержит оценку ожидаемого выигрыша (положительное число) или проигрыша (отрицательное число) для станции помех в зависимости от ее действий или действий противника. Целью оператора станции помех является выбор такого действия, которое максимизирует минимальный выигрыш, представленный в матрице.

Таблица 1

**Максиминная – минимаксная матрица**

i/j	A1	A2	A3	A4
B1	X1	X2	X3	X4
B2	Y1	Y2	Y3	Y4
B3	Z1	Z2	Z3	Z4
B4	K1	K2	K3	K4

Операторы станции помех могут использовать матрицы для оценки различных вариантов действий и выбора оптимальной стратегии в условиях неопределённости:

1. Составить матрицу для конкретной оперативной обстановки, учитывая возможные действия станции помех и противника.
2. Рассчитать ожидаемых выигрыш (максиминный выигрыш) или проигрыш (минимаксный проигрыш) для каждого действия станции помех.
3. Выбрать действие, которое максимизирует минимальный выигрыш или минимизирует максимальный проигрыш.

Данный подход поможет операторам принимать обоснованные решения, даже когда информация о противнике неполная или неопределенная, повышая эффективность работы станции помех и ее способность подавлять и обманывать электронные средства противника. Стоит отметить, что подход включает в себя работу с описанными выше методами поиска и устранения неисправностей. Оператор, в случае возникновения ситуации, требующей быстрого выявления проблемы, а также ее решения, сможет воспользоваться данным подходом правильно спроецировав матрицу. Это поможет в любых условиях и ситуациях, получить максимально возможный, положительный результат.

Собрав все воедино, а именно работу АТО, включающую в себя систему обработки сигналов, методы поиска и устранения неисправностей, а также интеграцию интеллектуальных систем и модель матриц, рассмотренных выше, мы можем получить абсолютно уникальную систему работы с АТО, которая значительно улучшит работу оператора. Система обработки сигналов и принятия решений на базе автоматизированной станции помех играет решающую роль в ее способности подавлять вражеские сигналы. Использование методов поиска и устранения неисправностей позволяет оптимизировать эту систему, повышая ее надежность, производительность и оперативную готовность. Интеграция интеллектуальных систем и модели матриц значительно упростят работу операторам, а постоянный поиск неисправностей и их устранение гарантирует, что АТО всегда будет готова эффективно выполнять свои задачи в условиях сложных электромагнитных помех.

### Список литературы

1. Интеллектуальные информационные системы: учебник. – 2-е изд., стереотип. – Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Гамбург: Изд-во МИНЦ «Нобелистика», 2012. -356 с.
2. Проектирование систем управления летательными аппаратами: Учебное пособие / Под ред. А.В. Зайцева. М.: МО РФ, 2009. 343 с.
3. Учебно-методическое пособие для подготовки младших специалистов (IV этап). – Тамбов, 2017.
4. Памятка оператору АТО. – Тамбов, 2021.

## АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ, ПРИНЯТЫХ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ АНТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Грибов Г.С.<sup>1,2</sup>

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

Ульянова (Ленина)

<sup>2</sup>АО «НИИ «Вектор»

**Аннотация.** В данной статье представлен алгоритм обработки сигналов, принятых антенной решеткой из двухполяризованных антенных элементов. Данный алгоритм промоделирован в среде программирования «MATLAB». На основе моделирования построены зависимости СКО пеленга от частоты, а также вычислен коэффициент усиления принятого сигнала при фазировании антенной системы.

*Ключевые слова:* триортогональная антенна, антенная решетка, СКО пеленга, поляризация, КВ диапазон

В настоящее время одними из наиболее актуальных задач радиопеленгования и радиоперехвата в КВ диапазоне являются повышение точности пеленгования и повышение эффективности приема сигнала для дальнейшей его обработки. Распространение волны КВ диапазона происходит за счет отражений от слоев ионосферы, вследствие чего возникают следующие явления [1-4]:

- многолучевое распространение волны;
- расщепление поляризации;
- образование различий в доплеровском сдвиге частоты между отдельными модами.

Существующие комплексы радиопеленгования и радиоперехвата работают лишь по одной компоненте электромагнитного поля, что в полной мере не решает вопрос уменьшения влияния интерференционных и поляризованных замираний на качество принимаемого сигнала.

В качестве решения снижения влияния приведенных эффектов предлагается построение антенных решеток, состоящих из двухполяризованных антенных элементов.

В данной работе предлагается использовать триортогональную антенну, способную принимать три проекции падающей электромагнитной волны [5]. Конструкция антенны представлена на рисунке 1.

Сигналы, принимаемые на триортогональную антенну, поступают на когерентные каналы радиоприемного устройства для осуществления пространственно-поляризационной обработки.

Пространственно-поляризационная обработка сигналов позволяет восстановить эллипс поляризации принятой радиоволны, а также выполнить предварительную оценку азимута и угла места источника радиоизлучения [6-9]. Соответственно, обладая полученными параметрами поляризации и угловыми координатами, есть возможность осуществить деполяризацию принятого сигнала и задать сектор радиопеленгования.

Таким образом, с  $N$  триортогональных антенн, из которых состоит антенная система, собирается  $N$  поляризационных и пространственных параметров, которые используются для алгоритма обработки принятых сигналов со всех антенных элементов антенной решетки.

В рамках данной работы предложен алгоритм, который представлен в виде структурной схемы на рисунке 2.

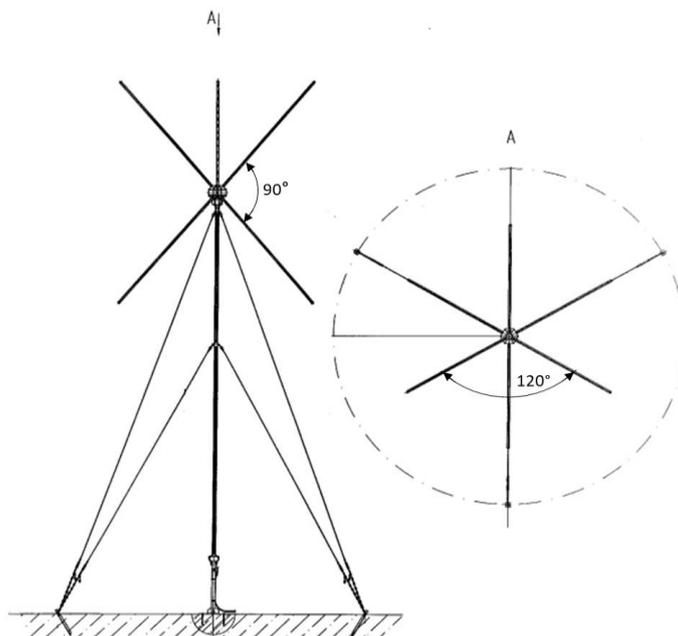


Рис. 1. Геометрическая модель триортогональной антенны



Рис.2. Структурная схема алгоритма обработки сигналов, принимаемых антенной решеткой из триортогональных антенн

Усреднение азимута и угла места, а также поляризационных параметров (коэффициента эллиптичности радиоволны и угла наклона эллипса поляризации) позволяют более точно определить сектор пеленгования и выполнить деполаризацию сигналов.

Сигналы после пространственно-поляризационной обработки используются в методе корреляционного интерферометра для повышения точности радиопеленгования, а также при фазировании антенной решетки для задачи радиоперехвата.

Для проверки работоспособности алгоритма был разработан программный модуль в среде программирования «MATLAB». Интерфейс программного модуля представлен на рисунке 3.

В качестве антенной системы выступала трехэлементная кольцевая эквидистантная антенная система, состоящая из триортогональных антенн с базой 40 метров. Полученные результаты сравнивались с аналогичной антенной решеткой с антенными элементами, принимающими только вертикальную поляризацию.

На антенные решетки подавалась электромагнитная волна с различными соотношениями горизонтальной и вертикальной составляющих. В качестве шума использовался аддитивный гауссов дискретный белый шум с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$ . Отношение сигнал/шум в канале вертикального вибратора было равно 3 дБ.

Результаты зависимости СКО пеленга от частоты для приведенных антенных решеток при разном соотношении горизонтальных и вертикальных составляющих представлены на рисунках 3-6.

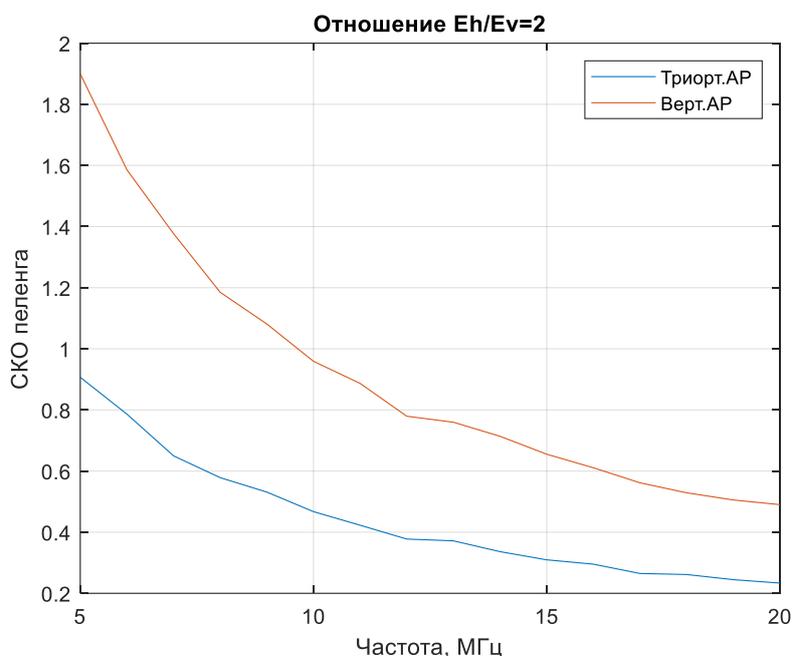


Рис.3. Зависимость СКО пеленга от частоты для антенных систем из триортогональных антенн и вертикальных несимметричных вибраторов при соотношении  $E_h/E_v=2$

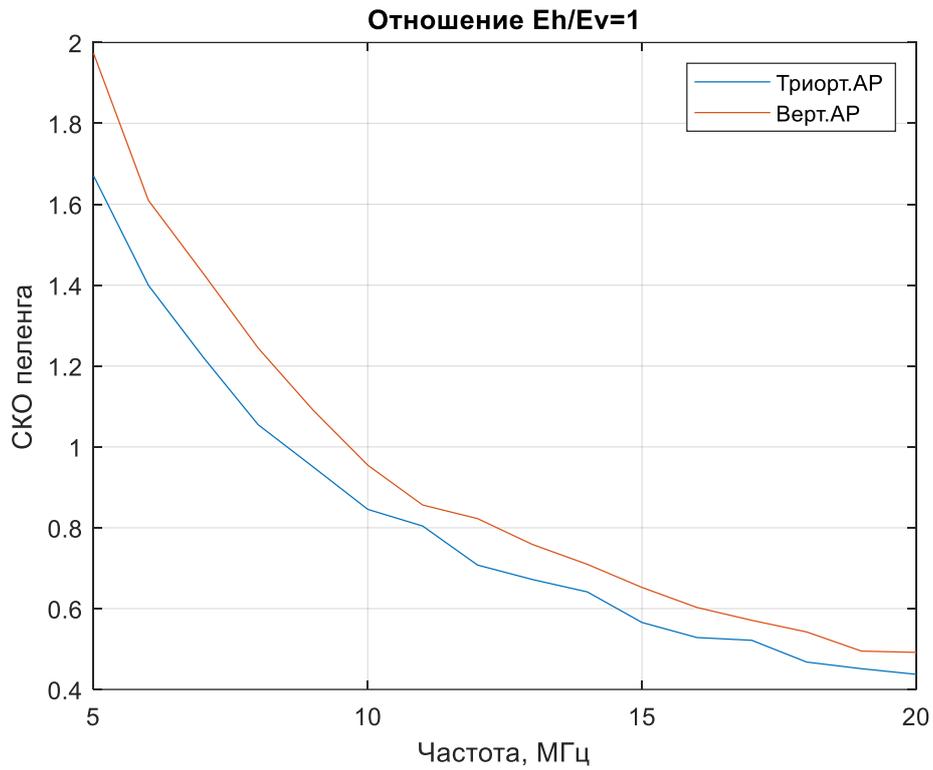


Рис.4. Зависимость SKO пеленга от частоты для антенных систем из триортогональных антенн и вертикальных несимметричных вибраторов при соотношении  $E_h/E_v=1$

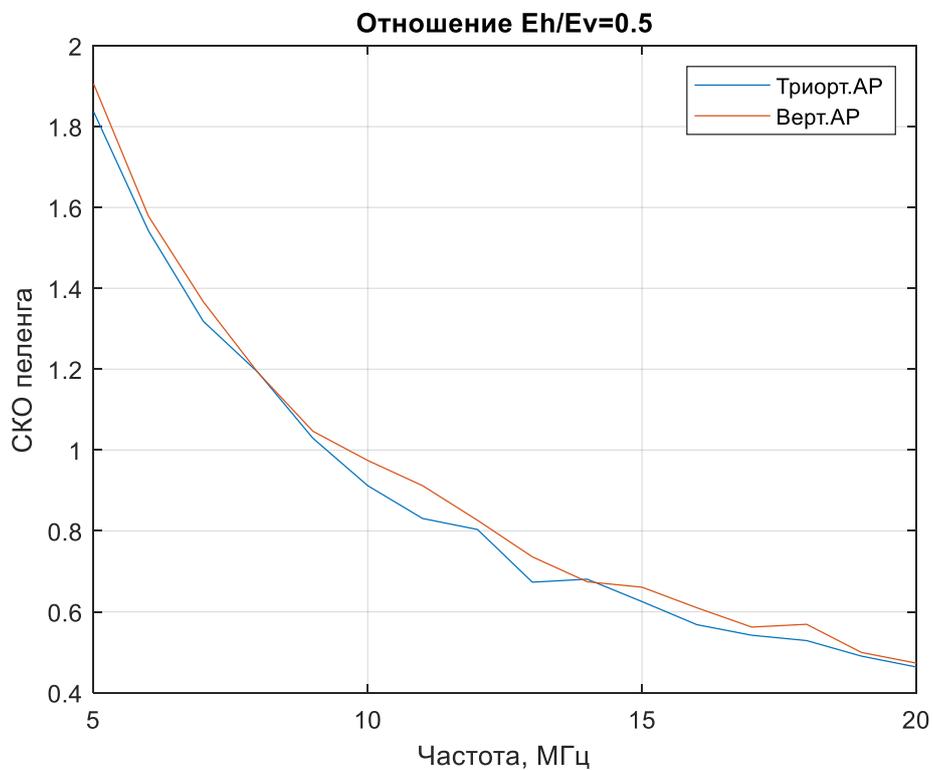


Рис.5. Зависимость SKO пеленга от частоты для антенных систем из триортогональных антенн и вертикальных несимметричных вибраторов при соотношении  $E_h/E_v=0.5$

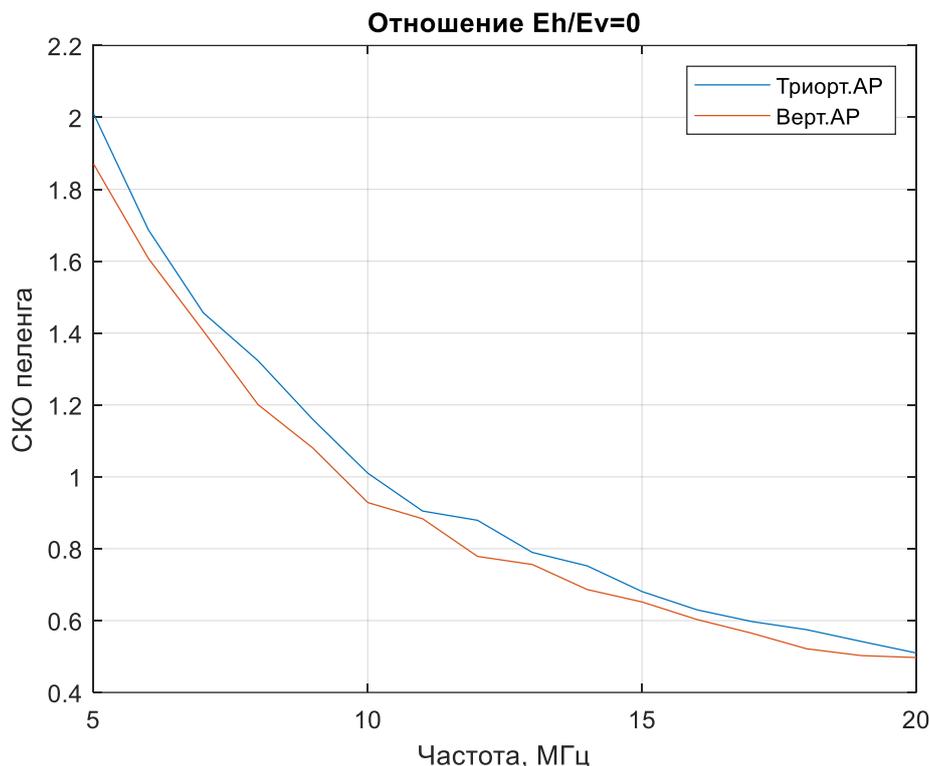


Рис.6. Зависимость СКО пеленга от частоты для антенных систем из триортогональных антенн и вертикальных несимметричных вибраторов при соотношении  $E_h/E_v=0$

Также были определены коэффициенты усиления сигнала различной поляризации при фазировании антенных решеток из триортогональных антенн и вертикальных несимметричных вибраторов. Получившиеся значения приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Коэффициенты усиления при фазировании антенных решеток из триортогональных антенн и несимметричных вертикальных вибраторов**

Отношение $E_h/E_v$	Коэф.усиления триорт	Коэф.усиления верт
2	7	3
1	4,46	3
0.5	3.5	3
0	3	3

Как видно из рисунков 3-6, при помощи предложенного алгоритма обработки сигналов, принятых антенной системой из триортогональных антенн, позволяет снизить уровень СКО пеленга по сравнению с антенной системой, состоящей из вертикальных несимметричных вибраторов. Стоит учесть, что на практике распространяющаяся волна имеет эллиптическую поляризацию.

Также по таблице 1 виден рост коэффициента усиления антенной системы из триортогональных антенн при увеличении соотношения  $E_h/E_v$ , в отличие от антенной системы из несимметричных вибраторов, где коэффициент усиления остается постоянным.

**Список литературы**

1. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера / Я.Л. Альперт. – Изд. 2-е. – Москва: Издательство «Наука», 1972. – 564 с.
2. Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн. Учебник для вузов связи / Е.Л. Черенкова, О.В. Чернышев. – Москва: Издательство «Радио и связь», 1984. – 272 с.

ННБ XII, Санкт-Петербург, 16 – 17 мая 2024

3. Брюнелли Б.Е. Физика ионосферы / Б.Е. Брюнелли, А.А. Намгаладзе. – Москва: Издательство «Наука», 1988. – 528 с.
4. Davies K. Ionospheric radio waves / K. Davies. – Москва: Издательство “Мир”, 1973. – 504 р.
5. Грибов Г.С. Перспективы использования двухполяризационных антенных элементов в составе антенных решеток для задач радиомониторинга // Научные, инженерные и производственные проблемы создания технических средств мониторинга электромагнитного поля с использованием инновационных технологий. V научно-техническая конференция. Санкт-Петербург, 4-6 октября 2023 г.: Труды конференции. - СПб., 2024. -18-23 с.
6. Демичев И. В., Шмаков Н. П., Колесников Р. В., Иванов А. В. Пространственно-поляризационная обработка радиосигналов в гиперкомплексном пространстве. Научные технологии, 2018, т. 19, № 10, с. 25–29.
7. Грибов Г.С. Экспериментальные исследования поляризационного метода пеленгования с помощью регистрации трех проекций электромагнитного поля. Инфокоммуникационные технологии в цифровом мире: сб. докл. 13-й науч.-техн. шк. -семинара. Санкт-Петербург, 12-16 декабря 2023 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. 62 - 66 с.
8. Симонов А. Н., Богдановский С. В., Теслевич С. Ф. Поляризационный метод пеленгования источников радиоизлучения в пространстве. Научные технологии, 2016, т. 17, № 12, с. 40–43
9. Афраймович Э. Л., Паламарчук К. С. Спектрально-поляризационный метод анализа интерференционной картины радиосигнала // Изв. Вузов. Радиофизика. – 1998. – Т. XLI. – № 6. – С. 723–734.

## **ВРЕМЯ СЧИТЫВАНИЯ ДАННЫХ RTL-SDR ПРИЁМНИКА В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЯХ**

МАКАРЬИН А.А.

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

**Аннотация.** Данная работа представляет собой рассмотрение некоторых аспектов работы с RTL-SDR приёмником, в частности, с получением от него данных для последующей обработки.

*Ключевые слова:* RTL-SDR, программно-конфигурируемое радио.

### **Введение**

Программно-конфигурируемое радио (SDR) – радиоприёмное устройство, позволяющее с помощью программного обеспечения изменять или устанавливать его параметры. В этой работе пойдёт речь о RTL-SDR приёмнике, то есть об устройстве на основе чипа-демодулятора Realtek RTL2832U, представляющее собой цифровой гетеродинный приёмник. Распространение на любительском рынке они получили в первую очередь из-за маленького размера, дешевизны и широкополосности. Поскольку эти устройства являются лишь приёмниками радиосигналов, имеет смысл использовать их при работе с постоянно присутствующими сигналами (например, сигналы FM – радиостанций) или сигналами других потребительских устройств.

### **Основы работы с RTL-SDR на ПК**

Благодаря широкой распространённости RTL-SDR приёмников существует множество готовых программных решений для работы с этими устройствами, в частности, SDR#, uSDR, Satcom для ОС Android и другие. В учебных и некоторых практических целях может представлять интерес обработка данных полученных непосредственно с устройства, без посредников. Для этого также существуют решения в виде библиотек для Python, C++ Matlab и других языков программирования. В этой статье мы сфокусируемся на Python и

Matlab, в частности, здесь рассматривается зависимость скорости чтения данных с приёмника от длины кадра данных. Теоретически, время чтения кадра данных равно  $T_k = N_s/f_s$ , где  $T_k$  – длительность кадра данных,  $N_s$  – число отсчётов в одном кадре,  $f_s$  – частота дискретизации. Ожидается, что она будет одинаковой для всех программных решений, однако из-за особенностей реализаций это время может отличаться для разных платформ.

### Формат выходных данных

В RTL-SDR применяется квадратурное сэмплирование, и выходные данные приёмника имеют формат IQ. Поток данных представляет собой поток перемежённых беззначных 8-битных целых чисел, первая половина которых действительная - I (in phase), а другая – мнимая часть Q (quadrature). Такой формат позволяет предсказуемо обрабатывать поступающие с устройства данные.



Рис. 1. Представление потока данных от устройства.

### Зависимость времени чтения данных от длины кадра данных в Python

Библиотека `pyrtlsdr` является простым интерфейсом для устройств RTL-SDR и основана на библиотеке `librtlsdr`. Поскольку в самой библиотеке понятие «кадр данных» не фигурирует, она использует установленное в библиотеке `librtlsdr` значение, равное 256. Это число основано на разрядности используемого ЦАП в 8 бит. Таким образом, при чтении числа данных, не кратном 256, приёмник в любом случае передаёт 256 комплексных отсчётов, а функции библиотеки сами отбирают заданное пользователем количество отсчётов и помещают их в выходной поток. Скорость чтения одного кадра данных таким образом более зависима от заданного количества данных и скорости их записи на ПК.

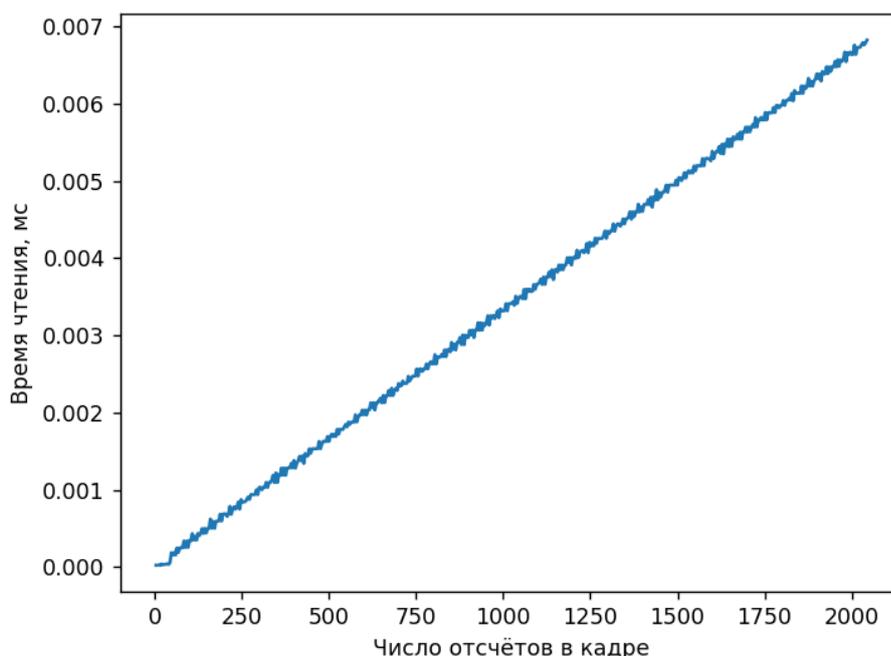


Рис. 2. Зависимость времени чтения данных от размера кадра в Python

### **Зависимость времени чтения данных от длины кадра данных в Matlab**

В Matlab поддержка RTL-SDR приёмников основана на Communications Toolbox support package for RTL-SDR Receivers. Оно в свою очередь основано на той же библиотеке librtlsdr, написанной на C. Основным отличием от решения на Python является возможность программно регулировать размер получаемых кадров данных, то есть задавать получаемый объём данных непосредственно в устройстве RTL-SDR. Однако характерной особенностью является то, что до превышения размером кадра величины в 1024 отсчета размер получаемых кадров не изменяется, а считывание необходимого количества отсчётов осуществляется аналогично решению в Python. Однако при дальнейшем увеличении размера кадра происходит уже увеличение пакетов данных, передаваемых устройством. Увеличение также происходит кратно 256, согласно разрядности АЦП. Таким образом, при больших значениях времени кадра время чтения практически не увеличивается.

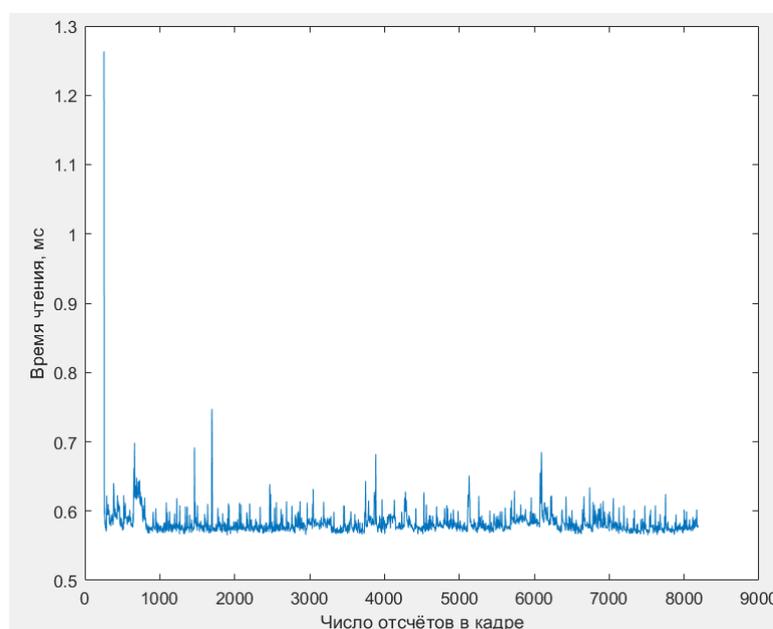


Рис. 3. Зависимость времени чтения данных от размера кадра в Matlab

### **Заключение**

Последующими приложением RTL-SDR приёмника могут быть получение и обработка сигналов FM-диапазона и использование программных пакетов в учебных целях.

### **Список литературы**

1. <https://github.com/librtlsdr/librtlsdr> (дата обращения: 27.02.2024).
2. [https://www.researchgate.net/publication/269167533\\_Software-defined\\_radio\\_in\\_MATLAB\\_Simulink\\_with\\_RTL-SDR\\_hardware](https://www.researchgate.net/publication/269167533_Software-defined_radio_in_MATLAB_Simulink_with_RTL-SDR_hardware) (дата обращения: 27.02.2024).
3. <https://pysdr.org/content/sampling.html> (дата обращения: 10.04.2024).
4. <https://github.com/pyrtlsdr/pyrtlsdr/tree/697de751246de021c7c0acaf1c18aaf6baabad16> (дата обращения: 28.03.2024).

## КВАДРАТУРНЫЙ ДЕМОДУЛЯТОР НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ СЕМЕЙСТВА STM32

ФЕФИЛОВ А.А.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

*им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Статья посвящена разработке алгоритма квадратурной демодуляции на микроконтроллере STM32L152RET6. Результаты работы алгоритма апробированы как с помощью моделирования, так и с использованием подключённых измерительных приборов.

*Ключевые слова:* квадратурная демодуляция, микроконтроллер, обработка сигналов.

Разработка квадратурного демодулятора на базе микроконтроллера STM32 является актуальной темой в современной электронике и радиосвязи. Такие устройства широко применяются в радиосвязи, цифровой обработке сигналов, радиолокации и других областях. Использование микроконтроллера STM32 позволяет создавать решения с высокой производительностью и гибкостью настройки, что ещё раз подчеркивает актуальность избранного направления в области радиотехники и электроники.

Целью работы является разработка программной модели квадратурного демодулятора на базе микроконтроллера семейства STM32 в программной среде CubeIDE.

Любой принятый сигнал представляет собой сумму двух компонент, одна умножается на сигнал генератора опорного синусоидального сигнала с частотой входного сигнала, вторая умножается на тот же сигнал генератора, но сдвинутый на  $\pi/2$  по фазе.

$$s(t) = I(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + Q(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$$

$$s_I(t) = s(t) \cdot \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2}(I(t) + I(t) \cdot \cos(2\omega_0 t) + Q(t) \cdot \sin(2\omega_0 t))$$

$$s_Q(t) = s(t) \cdot \sin(\omega_0 t) = \frac{1}{2}(Q(t) - I(t) \cdot \cos(2\omega_0 t) + I(t) \cdot \sin(2\omega_0 t))$$

Далее оба канала проходят через фильтр низких частот, выделяются синфазная и квадратурная составляющие сигнала [1]. В среде CubeIDE сформированы тестовые сигналы с BPSK, QPSK и QAM-16 модуляциями и реализован алгоритм квадратурной демодуляции с использованием FIR-фильтра. В среде MATLAB разработан программный модуль визуализации результатов работы алгоритма демодуляции.

Разработанная модель работает на тактовой частоте 16 МГц, имеет два канала 12-разрядного АЦП, два канала 12-разрядного ЦАП, встроенную память: Flash – 16 Кбайт, RAM – 3 Кбайт. Апробация предложенных методов проводилась с использованием макета, включающего осциллограф, где подтверждены заявленные характеристики и работоспособность всего устройства, опорные сигналы при этом формировались программным образом на плате. Следующим шагом в исследовании будет проверка работы алгоритма на реальных сигналах с генератора тестовых сигналов.

### Список литературы

1. Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. Цифровые устройства и микропроцессоры / БХВ-Петербург. - СПб, 2010.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ПОСТАНОВКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ БАРЬЕРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ БПЛА**

КАРИХ Р.Д., БЕЛОУСОВ О.А., ТРИШАКОВ А.А.

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»*

**Аннотация.** Данная статья исследует применение цифровых активных фазированных антенных решеток (ЦАФАР) для постановки пространственных барьеров для защиты от беспилотных воздушных средств (БПЛА). Индустрия беспилотной авиации становится все более актуальной в различных сферах, открываются новые возможности, но в то же время и формирует новые угрозы. На сегодняшний день сообщения об использовании БПЛА для различных противоправных действий появляются все чаще. Авторы отмечают, что использование ЦАФАР дает новые возможности в создании эффективных решений для систем постановки пространственных барьеров для защиты от БПЛА.

*Ключевые слова:* цифровые антенные решетки, цифровые активные фазированные антенные решетки, беспилотные летательные аппараты.

Постановка пространственных барьеров для защиты от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) может включать различные методы и технические решения. Вот несколько из них:

Создание зон, в которых полеты БПЛА запрещены или ограничены. Это может быть достигнуто путем определения таких зон на законодательном уровне и контроля их соблюдения. Такие зоны могут быть установлены вблизи стратегических или критически важных объектов, аэропортов или других мест, где полеты БПЛА могут представлять опасность.

Использование радиочастотных систем, способных обнаруживать и перехватывать сигналы управления БПЛА. Такие системы могут помочь идентифицировать и отследить незаконные полеты БПЛА и активировать меры по их защите, например, путем наложения радиочастотных помех на команды управления. [1]

Разработка систем активной защиты, которые могут нейтрализовать и уничтожать БПЛА в случае их незаконного проникновения или атаки. Это может включать применение различных типов оружия, таких как дроны-киллеры или лазерные системы.

Развертывание оптических систем, способных обнаруживать и следить за БПЛА в небе. Эти системы могут использовать видеокамеры, инфракрасные сенсоры или другие типы сенсоров для обнаружения движущихся объектов в воздухе и автоматического оповещения о наличии БПЛА.

Использование систем дистанционного обнаружения радиосигналов или радаров для обнаружения БПЛА на ранних стадиях их приближения к охраняемому объекту или территории. Это позволяет операторам принять меры раньше, чтобы предотвратить возможные угрозы.

Для создания новых систем постановки пространственных барьеров для защиты от беспилотных летательных аппаратов, можно использовать цифровые активные фазированные антенные решетки.

Цифровая антенная решетка, также известная как фазированная антенная решетка или фазоинверторная антенная решетка, является системой антенн, используемых для передачи

или приёма радиосигналов. Она состоит из множества однородных элементов, расположенных в форме решетки и организованных таким образом, чтобы создавать пространственную диаграмму направленности. [2]

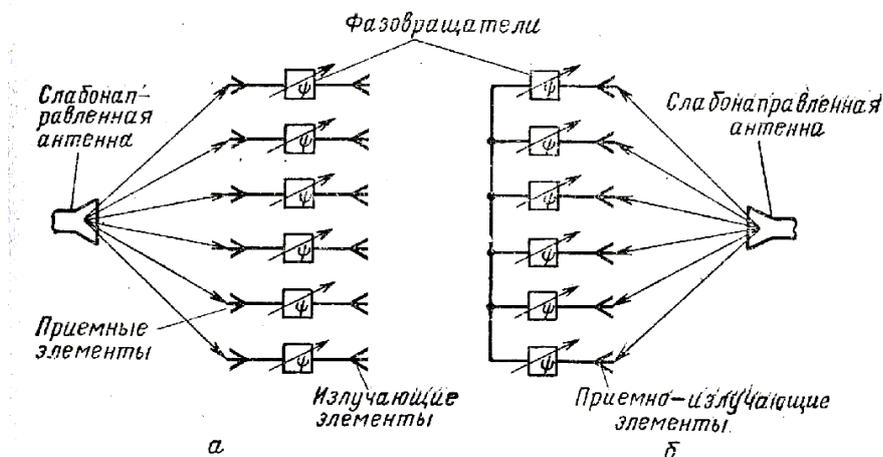


Рис. 1. Цифровая антенная решетка

Цифровые активные фазированные антенные решётки являются продвинутой версией цифровых антенных решёток. Они представляют собой комплексную систему антенных элементов, которые оснащены не только фазоинверторами, но и активными элементами усиления. Это позволяет им не только управлять фазой сигналов, но и изменять их амплитуду в режиме реального времени. [3]

Цифровые активные фазированные антенные решетки (ЦАФАР) на основе комбинированных излучателей являются одним из эффективных решений для систем постановки пространственных барьеров для защиты от БПЛА (беспилотных летательных аппаратов). Эти антенные решётки обладают несколькими особенностями, которые делают их привлекательными для таких приложений.

ЦАФАР состоит из массива излучателей, каждый из которых имеет возможность управления фазой и амплитудой излучения. Фазирование позволяет формировать направленное излучение, а комбинированные излучатели дают возможность формировать сложные антенные диаграммы направленности, как статические, так и динамические.

ЦАФАР использует цифровые методы управления для реализации фазирования, амплитудного управления и формирования требуемой антенной диаграммы направленности. Это позволяет осуществлять гибкое управление антенной системой и быстро адаптировать её к изменяющимся условиям работы. [4]

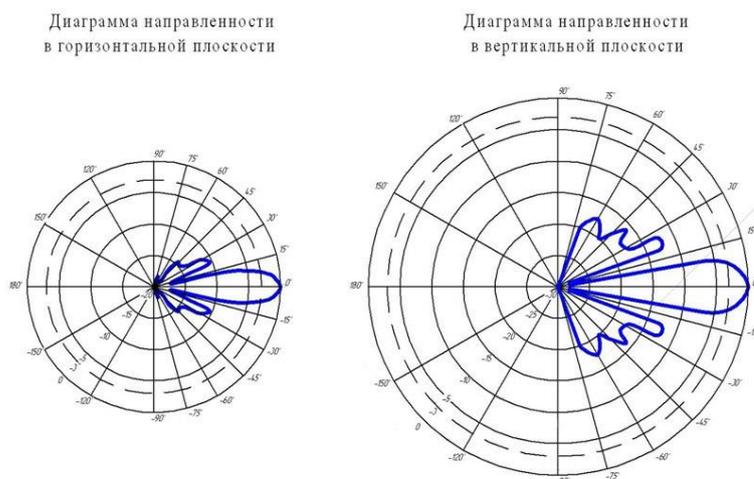


Рис. 1. Цифровая антенная решетка

Каждый излучатель в ЦАФАР является активным элементом, который обладает собственным усилителем. Это позволяет решётке генерировать высокоинтенсивное излучение, которое способно создавать эффективные барьеры для БПЛА.

ЦАФАР может использоваться для формирования пространственных барьеров путём создания зоны силы сигнала, которая может препятствовать вторжению БПЛА. Путём управления фазой и амплитудой излучения можно создавать зоны с усилением или ослаблением сигнала, формируя эффективные барьеры с минимальным количеством отражений и пролетов.

ЦАФАР также может использоваться для трекинга БПЛА путём адаптации антенной диаграммы направленности в реальном времени с целью отслеживания движения БПЛА и поддержания непрерывной связи.

Однако следует отметить, что конкретная реализация ЦАФАР для защиты от БПЛА может варьироваться в зависимости от требований, бюджета и других факторов. Необходима тщательная системная интеграция, а также анализ окружающей среды и условий эксплуатации для определения оптимальных параметров работы ЦАФАР. Задача может быть сложной и требовать экспертного подхода для достижения наилучших результатов.

### Список литературы

1. Беспилотные летательные аппараты: библиографический указатель / сост. О. В. Давыденко; под ред. Н. Н. Астаповой. – Кемерово: ИИО Кузбасской ГСХА, 2021 – 23 с.
2. Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для вузов / Ю.Т. Зырянов, П.А. Федюнин, О.А. Белоусов [и др.]. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 412 с.
3. Гостюхин В.Л., Трусков В.Н., Гостюхин А.В. Активные фазированные антенные решетки. Москва, Радиотехника. 2011. 304 с.
4. Шишлов А.В., Кривошеев Ю.В., Мельничук В.И. Свойства контурных диаграмм направленности фазированных антенных решеток. Антенны. 2016. Т.8. №228. С.44-58.

## К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Д. Р. ШАРИВЗЯНОВ, П. С. БАРАНОВ

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** В работе оценена необходимость выбора оптимальных вычислительных архитектур для специализированных систем компьютерного зрения. Приведены типологии задач компьютерного зрения и вычислительных архитектур. Предложена модель выбора вычислительных архитектур в зависимости от условий задач компьютерного зрения.

*Ключевые слова:* компьютерное зрение, вычислительный модуль, вычислительная архитектура, тси, сри, гри, fpga, soc, mcm

На сегодняшний день компьютерное зрение (КЗ) является сквозной технологией, которая находит своё применение во многих областях. Для типовых задач КЗ часто используют общепринятые решения, но при построении нестандартных систем КЗ не всегда применяются эффективные с точки зрения производительности и энергоэффективности вычислительные аппаратные блоки, так как требуется более глубокое понимание возможностей используемых аппаратных средств, а также принципов формирования, передачи и обработки изображений. При проектировании подобных специализированных систем КЗ возникают проблемы выбора аппаратных вычислительных платформ и трудности при их сравнении.

В литературе приводятся качественные сравнения вычислительных платформ по критериям производительности, энергоэффективности, гибкости, стоимости разработки и производства [1]. Также сравниваются объективные численные значения упомянутых признаков [2, 3]. Однако данных сведений недостаточно для обоснованного выбора платформы. Поэтому цель данной работы – провести сравнительный анализ и определить функциональную зависимость между вычислительными архитектурами и задачами КЗ: формирования, передачи и обработки изображений. Причём можно редуцировать задачи формирования и передачи по количеству данных, а задачи обработки – по типу обрабатываемого операнда на изображении или видеоизображениях.

Архитектуры вычислительных устройств постоянно развиваются, появляются технологии, основанные на новых принципах физических вычислений. Компания «Intel», являясь лидером рынка процессоров, в литературе приводит 6 основополагающих архитектур вычислительных устройств, 4 из них имеют уже сложившуюся терминологию и применяемые решения [4, 5], однако существуют также новые неопределённые архитектуры [6, 7].

В контексте устоявшихся видов вычислительных архитектур основное различие заключается в возможности оперирования несколькими операндами данных в единицу времени, другими словами, отличие состоит в степени параллелизма вычислений. На основе этого выделяются классы скалярных, векторных, тензорных и пространственных процессоров. Скалярные процессоры предназначены для последовательной обработки одиночных значений данных (скаляров), работая на частотах до 6 ГГц [8]. Векторные и тензорные процессоры предназначены для обработки упорядоченных наборов скалярных значений данных (векторами – двумерными массивами данных, тензорами – трёхмерными и более), причём выполнение одной операции над несколькими скалярами происходит одновременно на частотах до 2,5 ГГц [9]. Пространственные процессоры позволяют реконфигурировать цифровую логическую схему для работы со специализированными наборами данных, работа которой будет при необходимости

свойственна наивысшей степени параллелизма на частотах до 1 ГГц [10]. Можно отметить, что увеличение параллелизма вычислений приводит к уменьшению скорости выполнения отдельной операции над скаляром.

Задачи формирования и передачи изображений можно трактовать как работу с некоторым массивом данных. Объём этих данных может расти в геометрической прогрессии при увеличении разрешений изображения: пространственного, спектрального, временного, амплитудного (разрядность представления данных) и количественного (количество модулей камер – отдельных информационных агентов). Итоговым объёмом генерируемых данных системой будет произведение всех разрешений и будет выражаться в битовой скорости формирования и передачи данных за единицу времени:

$$Bitrate = R_{spatial} \times R_{spectral} \times R_{temporal} \times R_{amplitude} \times R_{quantity},$$

где  $R_{spatial}$  – пространственное разрешение,  $R_{spectral}$  – спектральное разрешение,  $R_{temporal}$  – временное разрешение,  $R_{amplitude}$  – амплитудное разрешение,  $R_{quantity}$  – количественное разрешение. Для примера масштабирования количества данных можно разделить типы источников формирования изображений на классы:

- Детекторов – не имеют семантического смысла за счёт низкого пространственного разрешения;
- Чёрно-белых ( $BW$ ) и цветных ( $RGB$ ) камер – с увеличением разрешения появляется у изображения появляется семантический смысл;
- Мульти- и гиперспектральных камер – с увеличением спектрального класс решаемых задач кратно возрастает;
- Мультиагентных систем – объединение нескольких устройств в единую сеть, благодаря чему кратно увеличивается размерность данных всего комплекса.

Численные характеристики систем представлены в таблице 1, а визуальное масштабирование – на лепестковой диаграмме рисунка 1. Можно заметить, что размер потока данных увеличивается с 8 Кбит/с до 64 Тбит/с, что составляет разницу в 10 порядков.

Таблица 1. Различные типы изображений.

Характеристика изображения	32p1 Ich (BW)	480p30 Ich (BW)	1080p60 3ch (RGB)	1440p120 20ch	2160p240 200ch ×5
$R_{spatial}$ , пикс	32×32	640×480	1920×1080	2560×1440	3840×2160
$R_{spectral}$ , шт	1	1	3	20	200
$R_{temporal}$ , Гц	1	30	60	120	240
$R_{amplitude}$ , бит/пикс	8	8	10	12	16
$R_{quantity}$ , шт	1	1	1	1	5
Bitrate, бит/с	$8 \times 10^3$	$7 \times 10^7$	$4 \times 10^9$	$1 \times 10^{11}$	$6 \times 10^{13}$

Задачи же обработки изображений можно разделить по типу обрабатываемого операнда на изображении или видеоизображениях [11]:

- пиксельные операции – низкий уровень обработки (коррекция искажений, повышение контрастности и фильтрация для уменьшения шума и/или обнаружения границ), ввиду большого количества операндов и простоты операций над ними требуется высокая степень параллелизма вычислений;
- регионально-областные операции – средний уровень обработки (преобразование группы пикселей в область и отнесение этой области к определённой категории), ввиду кратного уменьшения количества операндов и повышения сложности

операций над ними требуется комбинация параллелизма и последовательности вычислений;

- объектно-поведенческие операции – высокий уровень обработки (преобразование наборов признаков различных регионов в уникальную интерпретацию сцены с последующим прогнозом поведения объектов этой сцены), ввиду крайне низкого количества операндов и крайне высокой сложности операций над ними требуется высокая скорость последовательных вычислений.

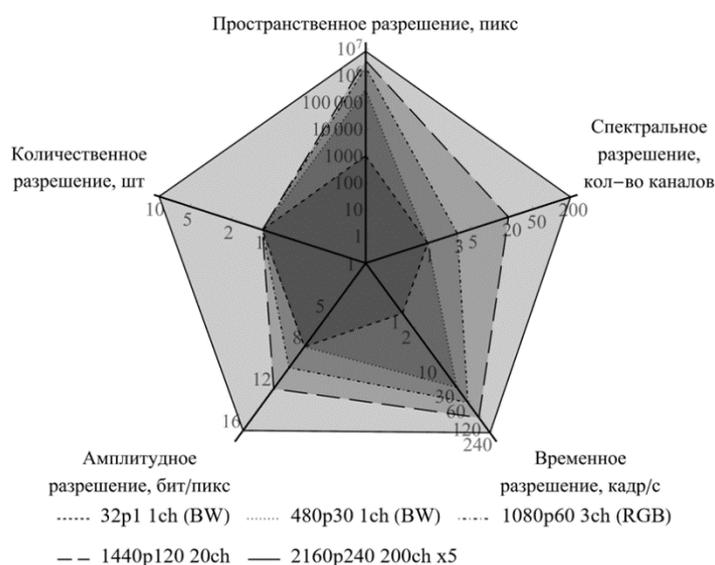


Рис. 1. Типология разрешений изображения.

Совместив описанные градации количества данных и их уровни обработки, можно получить следующую диаграмму (рис. 2), которая позволяет охватить все типы задач КЗ. Далее необходимо определить вычислительные средства для решения этих задач. Для этого предлагается рассмотреть типологию современных вычислительных архитектур и отразить их в представленной диаграмме:

- *MCU (Micro Controller Unit)* – скалярный микроконтроллер, который как правило предназначен для работы с датчиками и редко участвует в высокоуровневой обработке изображений из-за своих частотных и архитектурных ограничений;
- *CPU (Central Processing Unit)* – скалярно-векторный центральный процессор общего назначения за счёт увеличенной тактовой частоты работы позволяют применять более сложную логику обработки изображений;
- *GPU (Graphics Processing Unit)* – векторно-тензорный графический процессор, распределяющий массивные задачи на множество параллельных процессов;
- *FPGA (Field-Programmable Gate Array)* – программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) или пространственный процессор, способность параллельности вычислений которого увеличивается, но при этом уменьшается уровень абстракции обработки;
- *SOC (System On a Chip)* – система на кристалле, сочетающая в себе комбинацию из вышеперечисленных простейших аппаратных блоков, выполненных на одной интегральной схеме, позволяет объединить достоинства простейших блоков и расширить класс решаемых задач;

- *MCM (Multi-Chip Module)* – многочиповый модуль, сочетающий в себе несколько простейших аппаратных блоков, выполненных на одной плате [12].

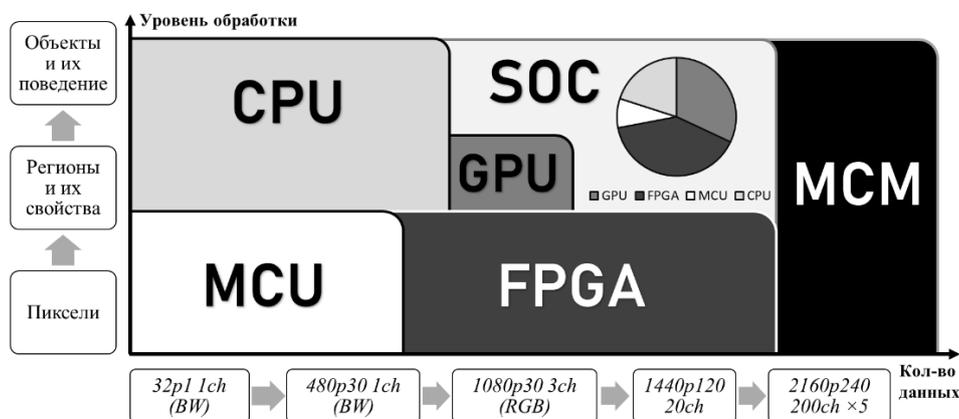


Рис. 2. Диаграмма вычислительных модулей с учётом задач КЗ.

Диаграмма (рис. 2) позволяет качественно, но контекстно-зависимо оценить предпочтительную вычислительную архитектуру под специфичные условия задач КЗ. Для задач с большими объёмами данными и низким уровнем обработки подходят архитектуры с высокой параллельностью, как *FPGA* и *GPU*. Для задач с низкими объёмами данными, но сложной логикой обработки, эффективны скалярно-векторные процессоры, как *CPU*. Для оптимальных показателей целесообразны гибридные системы на основе *SOC* и *MCM*.

### Список литературы

1. Alcaín E. et al. Hardware architectures for real-time medical imaging //Electronics. – 2021. – Т. 10. – №. 24. – С. 3118.
2. Sanaullah A. et al. Real-time data analysis for medical diagnosis using FPGA-accelerated neural networks //BMC bioinformatics. – 2018. – Т. 19. – С. 19-31.
3. Asano S., Maruyama T., Yamaguchi Y. Performance comparison of FPGA, GPU and CPU in image processing //2009 international conference on field programmable logic and applications. – IEEE, 2009. – С. 126-131.
4. Kumar M., Kaur G. HPC Workflow on Diverse XPU Architectures with oneAPI //2022 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT). – IEEE, 2022. – С. 1-5.
5. Fowers J. et al. A configurable cloud-scale DNN processor for real-time AI //2018 ACM/IEEE 45th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA). – IEEE, 2018. – С. 1-14.
6. Smith J. D. et al. Neuromorphic scaling advantages for energy-efficient random walk computations //Nature Electronics. – 2022. – Т. 5. – №. 2. – С. 102-112.
7. Guerreschi G. G. et al. Intel Quantum Simulator: A cloud-ready high-performance simulator of quantum circuits //Quantum Science and Technology. – 2020. – Т. 5. – №. 3. – С. 034007.
8. Intel Core i9-13900KS Processor. URL: <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/232167/intel-core-i9-13900ks-processor-36m-cache-up-to-6-00-ghz.html> (дата обращения 20.12.2023).
9. Nvidia GeForce RTX 4090. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/geforce/graphics-cards/40-series/rtx-4090/> (дата обращения 25.12.2023).
10. Virtex UltraScale+ FPGA Data Sheet: DC and AC Switching Characteristics. URL: <https://docs.xilinx.com/v/u/en-US/ds923-virtex-ultrascale-plus> (дата обращения 29.12.2023).
11. Bailey D. G. Design for embedded image processing on FPGAs. – John Wiley & Sons, 2023.
12. Minz J., Wong E., Lim S. K. Thermal and crosstalk-aware physical design for 3d system-on-package //Proceedings Electronic Components and Technology, 2005. ECTC'05. – IEEE, 2005. – С. 824-831.

## СЕКЦИЯ ЛИНГВИСТИКА

### ГОРА – ЖИВОЕ СУЩЕСТВО: ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИИ В НАЗВАНИЯХ ГОР И В ЛЕГЕНДАХ

Чальченко К.В.

*СПБГЭТУ «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** В настоящей статье миф и метафора рассматриваются как механизмы познания и трансляции национально-культурной специфики мировидения и мировоззрения. Горы всегда занимали особое место в мифологии и считались священными местами, местами силы и мистики. На материале крымских и кавказских оронимов, а также соотнесенных с ними легенд выявляется взаимосвязь легенды как определения метафорического названия гор и мифа, отражающего модель «гора – это живое существо» в коллективном сознании и мифологии разных народов.

*Ключевые слова:* миф, концептуальная метафора, легенда, концептуализация

Горы считаются одними из старейших символов мощи и величия природы. Именно из-за своего внушительного вида и могучего влияния горы стали объектом почитания и уважения среди различных народов. Названия гор часто отражают их характеристики, и многие из них ассоциируются с живыми существами. Это подтверждает тему того, что горы воспринимаются не только как природные образования, но и как живые сущности. Названия гор имеют свою историю и связаны с мифами и легендами, которые рассказывают о происхождении и истории территории, где находятся эти горы. Некоторые горы получают названия в соответствии с именами богов и героев древности, другие – по своему географическому положению или природных особенностей. Например, гора Эльбрус, названа в честь Тейри<sup>1</sup>. Гора Эльбрус считается священной горой, и ее связывают с богом Тейри из древнего мифологического пантеона. В мифологии народов Кавказа, Тейри был богом гор и неба, управляющим природными явлениями и защищающим людей от бед. Гора Эльбрус, как самая высокая точка в этом регионе, считается его священным местом пребывания. Связь горы Эльбрус с богом Тейри обусловлена мифологическими представлениями и культурным наследием этого региона [8]. Также существует множество горных хребтов, которые названы по своим внешним особенностям – по форме, по расположениям, или по событиям, происходившим в этих горах, например, Алтайские горы, значат "золотые горы"<sup>2</sup> в переводе с тюркского языка [13]. В греческой мифологии гора Олимп, дом богов, считается богиней, обладающей собственным разумом и волей. В японской мифологии гора Фудзи считается священной и почитаемой всеми местностью, обладающей духом и магией. Согласно легендам местных жителей, жившим задолго до прихода на Монблан альпинистов и ученых, самые изрезанные ледовыми трещинами долины Монблана, являются домом для демонов и духов мертвых. Эти легенды отражают глубокую общечеловеческую потребность в связи с природой и восхищении перед ее величием и таинственностью.

---

<sup>1</sup> Тейри – Верховный бог в языческой религии балкарцев и карачаевцев.

<sup>2</sup> Название этих гор связано с их особой красотой, величием и значимостью для тюркских народов. В прошлом здесь добывали золото, но название гор скорее отражает их богатство и красоту, чем прямое наличие золота в этом регионе.

Взаимосвязь названий гор с понятием «гора» является предметом интереса в различных культурах и может дать понимание процессов концептуализации и мифообразования, что говорит об актуальности исследований культурологической направленности, актуализирующих древние процессы мировосприятия и теорию первичной номинализации. Анализ наименований гор и легенд о них на Кавказе и Крымском полуострове позволяет расширить знания о восприятии окружающего мира и процессах формирования культурных представлений.

При исследовании представленной темы в работе используется метод анализа текстов названий гор и легенд, определяется современный подход к изучению топонимов, и, в частности – оронимов,<sup>3</sup> также используются интервью с местным населением, чтобы выявить связь между названиями гор и мифологическими представлениями о них.

Это исследование позволит более глубоко понять стадии и процессы формирования мифологии и мировоззрения народов Кавказа через изучение текстов о горах и их названиях.

В представленном исследовании предпринимается попытка найти ответ на вопрос о природе концептуальной взаимосвязи метафоры и легенды. *Концептуализация* – это процесс образования понятий, концептов, концептуальных структур и концептосферы в целом через осмысление и формирование человеком информации в процессе познания окружающей действительности [2. С.93].

Элементы мистики, присутствующие в легендах, создают впечатление реальности, происшедшей в историческом или мифологическом времени. В мифологическом времени, очень далеко отстоящем от современности, возможно все – абсолютная мистика, сказка сплетается с действительностью, мифология неотличима от реальности. Многоуровневая событийность находится в сфере интересов многих наук – лингвистики, истории, философии сознания, истории культур. В данной статье легенда рассматривается как форма проявления мифа. Миф представляет собой концептуализацию мира, которая воспринимается мифологическим сознанием как истинное знание [7].

Как механизмы концептуализации действительности миф и метафора тесно связаны между собой. Создавая мифы, люди используют метафоры для интерпретации мира. Мифы являются системой метафор, в которой отсутствуют причинно-следственные связи, так как их цель не в логическом объяснении мира, а в представлении его сути через образную модель [11. С. 103].

Для анализа были привлечены кавказские и крымские оронимы, названия которых означают живое существо или его часть, и легенды, объясняющие эти названия

Широкий интерес к ономастике сопровождается появлением многочисленных работ эмпирического и теоретического уровня. В нашем исследовании мы опираемся на труды А.В. Суперанской, В.Д. Бондалетова, В.А. Никонова, Е.Л. Березович, М.В. Горбаневского, В.Л. Васильевой; а также в работе используются: Словарь топонимической терминологии Н.В. Подольской, Топонимический словарь Е.М. Поспелова, Краткий топонимический словарь Ставропольского края В.Л. Гаазова, Топонимический словарь Кавказа А.В. Твердого и ресурсы сети Интернет.

Одна и та же гора может называться двумя разными именами – официальным и народным. Народное название отражает образ, который формируется в соответствии с

---

<sup>3</sup> Ороним – это собственное имя, принадлежащее любому элементу рельефа земной поверхности [14. С.104].

культурными особенностями данного общества. Иными словами, здесь мы говорим о мифологическом элементе традиционного знания.

Метафорическая модель «Гора – живое существо» является обобщающей формой для различных типов наименований. Ее присутствие указывает на укоренившиеся представления о объектах. Эта модель служит схемой для понимания объекта и формирования его концепции. В ходе анализа модель «Гора – живое существо» была разделена на две подмодели: «гора – животное» и «гора – человек». Первая подмодель основана на идее того, что животное является частью природы, оно приобретает новые качества и воспринимается сознанием как воплощение высших сил. Отличие второй тенденции заключается в том, что человек не наделяется ничем, кроме свойственных ему в настоящем мире качеств и свойств. Если у него есть особые способности, то он получает их только из высших источников. В легендах человека вознаграждают или наказывают высшие силы.

Понятие "гора" включает в себя изучение имен объектов сухопутного рельефа. Горы, равнины, ущелья, плато, отроги и холмы составляют орографию Кавказской цепи. Оронимы Кавказских Минеральных Вод (далее КМВ) сформированы как автохтонными этносами (кабардино-черкесским, осетинским), так и колонизационными (карачаево-балкарским и русским). Действия Крымского ханства и Российской империи (XVI – XIX вв.) существенно изменили этноконфессиональный состав региона. Доминирование русской нации на равнинной части КМВ способствовало распространению русских оронимов географических объектов. Из 69 названий – 57 русизмы (см. таблица 1):

Таблица 1

Название группы	Оронимы	Количество (%)
Кваликативные	Кавказ, Эльбрус, Белая куча, Бештау, Красные камни, Северный холм, Серые скалы, Синие скалы, Большой Бермамыт, Малый Бермамыт, Джуца, Безымянная, Лохматая, Горячая, Железная, Лысая, Медовая, Острая, Шелудивая, Щелочная, Кокуртлы, Развалка, Свистун, Трахит	24 (35%)
Оронимы, содержащие названия животных	Козьи скалы, Лисий нос, Бирючья горка, Кабан-гора, Кабанка, Орлиные скалы, Овечий, Бык, Верблюды, Змейка	10 (14%)
Оронимы, содержащие названия предметов материальной культуры	Кольцо-гора, Крестовая гора, Пикетная горка, Бастион, Бекет, Миноносец, Броненосец, Кинжал	7 (10%)

Оронимы, образованные от названия вида деятельности	Пастбищный хребет, Машук, Солдатская горка, Монахова	4 (6%)
Оронимы, содержащие названия растений	Сосновая горка, Дубровка	2 (3%)
Оронимы, содержащие термин родства	Два брата	1 (1%)
Оронимы, содержащие топонимы	Белый ключ, Березовское ущелье, Дарьинский хребет, Боргустанский хребет, Джинальский хребет, Бермамытское плато, Большой Бештау, Малый Бештау	8 (12%)
Оронимы, содержащие мифологические имена	Верхний Джинал, Малый Джинал, Боргустанское плато, Шатджатмаз, Спящая красавица	5 (7%)
Мемориальные	Лермонтовская скала, Перкальская скала, Суворовский (курган), Золотой курган, Пушкин Пик	4 (6%)
Оронимы, содержащие этнонимы	Кабардинский хребет, Казачья горка, Казачка, Рим-гора	4 (6%)

В результате анализа вышеуказанных групп можно сделать вывод о том, что модель «Гора – живое существо» представлена частью названий. Так, например, гора «**Спящая красавица**» олицетворяет девушку по имени Сана, которая ценой своей жизни спасла целый народ от холода. Миф о спасении города от вымирания. Люди жили в мире и спокойствии до тех пор, пока об этом крае не узнало племя кочевников, промышленавших грабежами и разорявших все селения на своем пути. Вождь племени был колдуном и направил на местность сильные, холодные ветра, которые не оставляли после себя жизни. Так, девушка, превратившись в гору, смогла уберечь край от гибели. Очертания и формы горы напоминают молодую девушку, застывшую как камень. Это мифологический образ, который рассказывает о том, что женщина – хранительница очага. Пожертвовав собой, она защитила город Кисловодск от сильных ветров, мороза и холода.

**Пушкин пик** (часть горного массива Дыхтау) – гора названа в честь великого писателя А. С. Пушкина. В 1938 году, чтобы ознаменовать 100-летие со дня смерти писателя, горе было дано такое название. Горный массив с балкарского переводится как Высокая гора, а еще Крутая или Зубчатая гора – из-за особенностей рельефа, который напоминает некоторым альпинистам знаменитый профиль писателя: бакенбарды, немного кучерявые волосы. Данный пример демонстрирует метонимический перенос. Это может быть связано с длительным пребыванием поэта в Кавказских минеральных водах.

Мифологическое мышление не признает причинно-следственных связей и объединяет живое и неживое по признаку сходства.

**Эльбрус** (карач. Тейри-тау) – старовулкан на Кавказе — самая высокая горная вершина России и Европы, если проводить границу между Европой и Азией по Главному Кавказскому хребту или южнее. Существует множество легенд и мифов об исследуемой горе. Например, в давние времена предки поклонялись единому богу Тейри, который дарил людям занятия и работу. Тейри размышлял, где бы ему найти место для обители, откуда можно было бы созерцать мир далеко и высоко, и выбрал снежные вершины Эльбруса. Бог Тейри – это мифологический образ, который подтверждает теорию о том, что природа играет в жизни человека важную роль. Так, во время Всемирного потопа ковчег Ноя задел торчащую из воды вершину Эльбруса. Задел с такой силой, что вершина горы раскололась надвое. Ной, уставший плыть по воле волн, попросил у горы прибежища. Не простив непочтительного отношения, гора отказала. Проклял тогда Ной вершину: «И даже если у ног твоих будет весна, и цветы будут цвести, середина пусть осенью будет всегда, а вершины – вечной зимой». И с тех самых пор раздвоенная ковчегом вершина Эльбруса покрыта вечным льдом и снегом. Считается, что гора Эльбрус – живое существо, которое защищает местных жителей и общается с ними посредством снов и видений. Эти легенды отражают глубокую потребность человека в связи с природой и восхищении ее величием и загадочностью.

Рассмотрим в исследовании крымские оронимы. Синтезируя многочисленные названия гор, связанных с понятием «Гора – это живое существо» можно отметить несколько вариантов названия гор.

**1. «Кош-Кая»**, официально названная гора, также известна как «Кошка» в традиционной терминологии. Для тех, кто дал ей это имя, «Кошка» не является горой, похожей на кошку, а скорее кошкой, превращенной в камень. Это мифологический образ, который представляет собой сочетание объектов разной абстрактности, с основным видом связи – отождествление. Миф сохраняет знания о мире вокруг нас, не требуя логического объяснения, так как сам по себе является объяснением. В мифологии нет различия между «кошкой» и «горой»: в этой системе они одно и то же. Мифологическое мышление не признает причинно-следственных связей.

**2.** Название «**Аю-Даг**» («медведь-гора») сразу говорит об образе, заложенном в этом объекте. В современном мире мы начинаем искать объяснение для того, почему мы переносим признаки с одного объекта на другой. Гора, например, может быть воспринята как часть силуэта медведя: возможно, мы видим только его морду и лапы. В этом случае происходят метонимический (когда часть олицетворяет целое) и метафорический (модель: «гора – это медведь») переносы, однако возникает вопрос, почему мы не переносим признак на «спину медведя». Мифологическое мышление рассматривает медведя-вожака как образ в целом, поэтому нельзя выделить отдельные его части. В данной легенде присутствует символика силы природы (животное является частью природы). Природа обладает властью над человеком, и мифологическое мышление признает и придает значение этой власти.

**3.** Адалары, или «**Белые камни**», – это два небольших скалистых острова, чья форма, размер и близкое расположение друг к другу могут послужить основанием для метафорического переноса. Название имеет мифологическую основу – легенда о братьях-близнецах, на которых обрушился гнев Посейдона, который превратил их в скалы. Посейдон символизирует стихию, возвышающуюся над человеком и влияющую на его

судьбу. Такой сюжет демонстрирует, что природа занимает главенствующее положение, а человек рассматривается как ее неотъемлемая часть.

Таким образом, миф и метафора являются тесно связанными механизмами познания. В легенде миф раскрывается через использование метафор, создавая новые образы в соответствии с представлениями данного общества. Метафора, в свою очередь, является моделью для интерпретации объекта и обобщает знания, полученные из легенды. Эти два элемента взаимосвязаны, как замкнутый круг: легенда – «развернутая метафора», метафора – «свернутая легенда». Изученный материал позволяет сделать вывод, что их существование друг без друга практически невозможно. Легенда и метафора как часть познавательной деятельности выполняют противоположные функции: метафора помогает создать обобщенную модель восприятия объектов, формируя концепт (например, «гора – живое существо»), тогда как легенда, подобно мифу, служит для объяснения объекта и закрепления знаний о нем. Названия гор и легенды о них являются результатом процессов концептуализации, которые отражают коллективное сознание и мифологию народа. Изучение этих процессов позволяет лучше понять взаимосвязь между человеком и природой, а также значимость гор для человеческой культуры и истории.

### Список литературы

1. Арсланбай Г.Ш. Языковая концептуализация феномена счастья в русской и адыгской лингвокультурах . Майкоп, 2015. 21 с.
2. Болдырев Н.Н. Когнитивная семантика: курс лекций по английской филологии. Тамбов, 2001. – 123 с.
3. Вержбицкая А. Языковая картина мира как особый способ репрезентации образа мира в сознании человека. Вопросы языкознания. 2000; № 6: с. 33 – 38.
4. Гаазов В.Л., Черная Т.К. Ставрополеведение. География Ставропольского края. Литературный край Ставрополье. Москва: Изд. Надыршин, 2010; Ч. I. – 344 с.
5. Григорьев А.Ф., Калантарян Л.А., Клеменчук С.П. Генезис традиционной культуры народов Ставрополья и Северного Кавказа: исторический обзор. Ставрополь: Ставропольский государственный педагогический институт, Дизайн-студия Б, 2018. — 196 с. — ISBN 978-5-6042147-0-1. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс URL: <https://www.iprbookshop.ru/117402.html> (дата обращения: 23.04.2024)
6. Евсева О.С. Топонимия Смоленско-витебского приграничья: структурно-семантический аспект. Смоленск, 2015 – 23 с.
7. Зинченко Г.И. Очерки по истории ст. Боргустанской Предгорного района Ставропольского края. URL: <http://borgustan.blogspot.com/2011/07/blog-post.html>(дата обращения: 04.04.2024)
8. Левинтон Г.А. Легенды и мифы // Мифы народов мира : Энциклопедия: в 2 т. / гл. ред. С. А. Токарев. 2-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 2: К–Я. 719 с
9. Легенды о любви // Туристическая фирма СВ-Астур: сайт. [Б. м.], 1999–2022. URL: <https://svastour.ru/articles/puteshestviya/rossiya/krym/krymskie-legendy.html> (дата обращения: 15.04.2024).
10. Маслова Ж.Н. Мифологическая метафора в аспекте исследования генезиса метафоры // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Филология. Журналистика. 2015. Т. 15, № 1. 24–28 с.
11. Маслова В.А. Лингвокультурология. Введение. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт, 2018. 208 с.
12. Молчалина О.Т. Прориальная номинация в свете когнитивизма. Вопросы ономастики. 2006; № 3: 7 – 19 с.
13. Молчанова О. Т. Топонимический словарь Горного Алтай. – ГорноАлтайск: Г.-А. отд. Алт. книжного изд-ва, 1979. – 397 с.
14. Подольская Н.В. Словарь русской ономастической терминологии. Москва: Наука, 1978 — 200 с
15. Поспелов Е.М. Географические названия России: Топонимический словарь: Более 4 000 единиц. Москва, 2008.
16. Твердый А.В. Топонимический словарь Кавказа // Абхазская интернетбиблиотека : некоммерческий проект. [Б. м.], б. г. URL: <http://apsnyteka.org/640-toponimicheskii-slovar-kavkaza-a-g.html> (дата обращения: 10.03.2024).

17. Телия В.Н. Русская фразеология. Семантический, прагматический и лингвокультурологический аспекты. Москва: Школа «Языки русской культуры», 1996 – 288 с.

## ЭВФЕМИЗМЫ В СОВРЕМЕННОЙ АНГЛОЯЗЫЧНОЙ ПРЕССЕ

ШАБАНОВА К. А.

СПБГЭТУ «ЛЭТИ»

**Аннотация.** Целью настоящей статьи является исследование эвфемизмов и их особенностей в современных британских газетах (с 2012 года по настоящее время). Анализируются сферы жизни человека, подвергающиеся эвфемизации и причины этого процесса. Предлагается классификация эвфемизмов, выявленных в изданиях «Men's Health», «The New York Times», «The Independent», «The Gazette», «Cosmopolitan» и «BBC.com».

*Ключевые слова:* эвфемизм, пресса, английский язык, эвфемизация, газетные издания, публицистический стиль.

В последние десятилетия наблюдается возрастающий интерес к явлению эвфемии. Эвфемизмы широко распространены во всех сферах межличностной коммуникации. СМИ не является исключением, они играют большую роль в современном обществе, являясь главным источником информации и инструментом воздействия на поведение людей.

В Словаре Лингвистических Терминов даётся следующее определение данного понятия: эвфемизм – смягчающее обозначение какого-либо предмета или явления, более мягкое выражение вместо грубого [1, с. 201].

В языке прессы все большее и больше используются стилистически нейтральные слова или выражения, употребляемые вместо синонимичной языковой единицы, которая представляется говорящему грубой, неприемлемой или нетактичной. В лингвистике эвфемизмы изучались начиная с XIX века.

Первая лексико-семантическая классификация эвфемизмов была предложена А.М. Кацевым. Исходя из этой классификации, выделяются следующие группы эвфемизмов:

1. Наименования сверхъестественных сил (например: лукавый, нечистый дух – вместо черт);
2. Наименования понятий смерти и болезни (например: уйти из жизни – вместо умереть; злокачественное образование – вместо рак);
3. Наименования человеческих пороков (например: жрица любви, путана, ночная бабочка, фея ночи – вместо продажная женщина, проститутка);
4. Наименования человеческих недостатков (например: недослышит – вместо глухой; незрячая – вместо слепая; того, со странностями – вместо сумасшедший);
5. Наименования, относящиеся к половой сфере (например: интимные отношения, отношения полов, отношения между мужчиной и женщиной – интимная связь, интимная близость – вместо секс; шланг, сливной кран – вместо мужской половой член);
6. Наименования сферы социально-политической жизни (например: нецелевое расходование бюджетных средств – вместо воровство, коррупция; теневая экономика – вместо экономика, которая основана на преступных действиях) [2, с. 80].

Эвфемизации подвергается речь, связанная с определенными темами и сферами деятельности. Говорящий, использующий эвфемизмы, оценивает предмет речи как таковой, прямое обозначение которого может быть квалифицировано, как грубость,

резкость, неприличие и т.п. Лишь определенные объекты и сферы человеческой деятельности и человеческих отношений могут вызывать подобную оценку.

Особенное значение имеет использование лексики в текстах СМИ, поскольку они воздействуют на массового читателя. Поэтому так важно использовать те слова и выражения, которые окажут ожидаемый эффект на читателей.

Публицистический стиль свойственен медийным текстам и находит применение в общественно-политической литературе, периодической печати, в речах на собраниях и т.д. Тексты газет относятся к публицистическому стилю. Роль публицистики, особенно медийного текста, заключается в том, чтобы убеждать читателя и воздействовать на его волю и чувства с целью создания общественного мнения. Структура публицистического текста призвана направить читательское внимание на самые значимые проблемы общества. Управлять данным вниманием можно с помощью разных средств: заголовками, подзаголовками, специально выделенными фрагментами, возбуждающими интерес читателя к тексту.

Функциональная организация публицистических текстов ориентирована на передачу информации и на воздействие, оказываемое этой информацией, именно поэтому тесным образом связана с языковыми особенностями и лексико-стилистическими ресурсами текста.

Основные свойства публицистического текста можно определить как письменную оформленность, озаглавленность, целостность, информативность, небольшой объем, повторяемость текстовой структуры, факультативное внутреннее членение, неявно выраженная авторская модальность [3, с.99].

В результате практического исследования англоязычных масс-медийных текстов, было просмотрено 108 статей таких изданий, как «The Gazette», «The Independent», «BBC.com», «Men's Health», «Cosmopolitan», «The New York Times» за период 2012-2021 гг. Было проанализировано 120 эвфемистических единиц, отобранных методом сплошной выборки. Все примеры эвфемистических контекстов были найдены в англоязычных медийных текстах вышеупомянутых журналов. Выявленные эвфемизмы были распределены на сферы их использования.

#### *1. Дискриминация расовая (44 эвфемизма)*

Как известно, в США проживает большое количество выходцев из Латинской Америки. В 70-х годах XX века был введен общий термин, обозначающий латиноамериканцев – Hispanics (от прилагательного Hispanic – испанский, латинский). Примером использования эвфемизма Hispanics особенно отметилась газета «The Gazette». Пример можно найти в статье «Iowa's **Hispanic** numbers increased 64,442 to 215,986, from 5 percent in 2010 to 6.8 percent today.» [11].

Газета «BBC.com» отметилась самым обширным количеством статей с использованием данной группы эвфемизмов. «An initiative aimed at encouraging members of the **African diaspora** to visit...» (статья от 30 января 2020 г.) [12].

Использование эвфемизмов в этой сфере подчеркивает важность языка, как связующего звена между разными народами.

#### *2. Внешний вид, фигура, объем тела (32 эвфемизма)*

Достаточно актуальной темой для женщин является их внешний вид. Женщины и многие мужчины склонны скрывать лишний вес или худобу любыми путями, используя пластическую хирургию, косметические средства, физические упражнения и т.д. Эта тематика отразилась и в языке. Если говорить о весе, а именно его избытке, то авторы

многих изданий используют эвфемизмы с целью избежать потери читателей. Данная группа нашла широкое применение также и в таких журналах как «BBC.com», «Cosmopolitan» и «The New York Times»

Итак, вместо грубого и прямолинейного «*fat*» мы можем заметить более нейтральные выражения «*plus-size*», «*too big*»: «If Emma believed everything she read in the media, then she'd conclude that, as a **plus-size** girl, she was simply **too big** for romance» (фрагмент статьи в журнале «BBC.com» от 4 мая 2018) [4].

Еще в одной статье из журнала «BBC.com» автор пишет: «New exercise classes specifically de-signed for **plus-sized** people who have felt **uncomfortable going into traditional gyms** have been set up» (статья от 2 ноября 2021 г.) [5]. Эвфемизм «*uncomfortable going into traditional gyms*» камуфлирует то, что зачастую люди с лишним весом чувствуют себя некомфортно, собирая осуждающие взгляды в фитнес залах.

В газете «The New York Times» есть статья, посвящённая мужчинам, которые не «вписываются» в классический размерный ряд одежды: «**For Plus-Size Men**. Men who fit into the size range offered by most<...>?» В данном контексте эвфемизм «*plus-size*» противопоставлен выражению *fit into the size range offered by most brands*, являясь стилистически более нейтральным (статья от 20 августа 2012 г.) [6].

Данная группа найденных эвфемизмов вторая по своей численности, это может свидетельствовать о возрастающей важности внешнего вида как у мужчин, так и у женщин.

### 3. Смерть и болезни (25 эвфемизмов)

Тема смерти и смертельных заболеваний является одной из самых популярных тем, подлежащих процессу эвфемизации. Как правило, каждая из сторон старается использовать наиболее тактичные и нейтральные выражения, чтобы случайно не оскорбить чувства собеседника или его точку зрения. Чаще всего редакторы газетных изданий стараются найти подходящие эвфемизмы для слов «*die*», «*dead*». Существует около 100 выражений, заменяющих глагол «*to die*» (умереть), существительное «*death*» (смерть) и прилагательное «*dead*» (мертвый). Приведем примеры некоторых из них.

Обратимся к примерам статей из газеты «The Independent»:

«Mars digger **bites the dust** after 2 years on red planet» (быть поверженным в прах – умереть) (статья от 14 января 2021г.) [13].

«United mourn former owner after he **passed away** on Wednesday ...» (уйти из жизни) (статья от 29 мая 2014 г.) [14].

Использование эвфемизмов в теме, связанной со смертью, иллюстрирует попытки людей преодолеть страх смерти.

### 4. Возраст (12 эвфемизмов)

Не менее актуальной темой является тема дискриминации в обществе, так как огромное количество разных групп населения в современном мире подвергаются нарушению личностных границ во всевозможных вопросах. Это принуждает средства массовой информации искать разные эвфемизмы, заменяющие оскорбительные слова и выражения.

Рассмотрим вырезку из статьи в газете «The Independent»: «14 best eye creams for **mature skin** that hydrate dry areas». Эта статья использует эвфемизм «*mature*», относящийся к коже человека, в возрасте после 40-45 лет [9].

Были замечены несколько заголовков в газете «The Independent», посвященных пожилым людям. «**Fun in the sunset years**. A new movie follows a group of retirees moving to India to seek low-cost care». В данной статье встречается эвфемизм «*sunset years*» в

закате лет, который также заменяет ранее упоминавшееся слово «old» (статья от 14 февраля 2012 г.) [10].

Эвфемизмы в данной сфере используются для смягчения или уменьшения негативного восприятия старения. Они также служат для людей способом защиты их самооценки.

##### 5. Материальное положение (6 эвфемизмов)

Авторы журналов уделяют довольно большое количество внимания темам материального положения. В газете «The Independent» нам встречается «beds for women **with nowhere to go**». Данное словосочетание заменяет более грубое и оскорбительное выражение homeless (статья от 11 ноября 2021 г.) [7].

Также в одном из заголовков статьи в журнале «BBC» был обнаружен следующий эвфемизм: «An **in-between** jobs». Такое описание является куда более благозвучным и положительно окрашенным, нежели «unemployed» (безработный) (статья от 16 августа 2013 г.) [8].

Тему материального положения реже камуфлируют, возможно это связано с тем, что в этой сфере преобладает конкретность и четкость.

В результате анализа публикаций в современной англоязычной прессе было выявлено 120 эвфемизмов, что позволяет считать, что явление эвфемизации актуально и востребовано. Использование эвфемизмов является наиболее приемлемым способом преодоления коммуникативных конфликтов, что особенно важно для текстов СМИ. В результате анализа отобранных единиц выявлено, что 37% всех изученных эвфемизмов относятся к теме расовой дискриминации, 27% к теме веса, 21% к теме болезни и смертей, 10% к теме возрастных изменений и самый низкий результат, 5% относятся к теме материального положения. Выявлено, что тема материального положения в самой меньшей степени требует эвфемизации.

Анализ содержания статей позволяет утверждать, что основные задачи использования эвфемизмов успешно достигаются авторами статей, возможного негативного воздействия некоторых лексических единиц с оценочным значением, которые могут вызвать отрицательное отношение к материалу, удалось минимизировать.

### Список литературы

1. Касевич В.Б. Семантика Синтаксис Морфология. – М.: Наука, 1988. – 311 с.
2. Кацаев А.М. Эвфемизмы в современном английском языке: дис. канд. филол. наук: 10.02.04. – Ленинград, 1977. – 190 с.
3. Ван Х. Особенности структуры русских газетных текстов // Известия Российского Государственного Педагогического Университета им А. И. Герцена. – Санкт-Петербург: Изд-во Российского гос. пед. ун-та им. А. И. Герцена, 2008. – Вып. 74-1. – С. 97–103
4. Too Fat For Love // bbc.com URL: <https://www.bbc.co.uk/programmes/p06sl4z> (дата обращения: 25.01.2024).
5. Plus-sized fitness classes in Exeter to help people feel confident // bbc.com URL: <https://www.bbc.com/news/uk-england-devon-59131641> (дата обращения: 25.01.2024).
6. Plus Size Wars // The New York Times URL: <https://www.nytimes.com/2010/08/01/magazine/01plussize-t.html?searchResultPosition=1> (дата обращения: 25.01.2024).
7. The Homeless Fund: Ellie Goulding opens 24-hour women's centre paid for by Independent reader donations // The Independent URL: <https://www.independent.co.uk/homeless-fund/sanctuary-ellie-goulding-homeless-fund-b1956067.html> (дата обращения: 26.01.2024).
8. An Inbetweener in-between jobs // bbc.com URL: <https://www.bbc.com/news/av/entertainment-arts-23725480> (дата обращения: 26.01.2024).
9. 14 best eye creams for mature skin that hydrate dry areas and tackle wrinkles // The Independent URL: <https://www.independent.co.uk/extras/indybest/fashion-beauty/skincare/best-eye-cream-for-dark-circles-wrinkles-sensitive-mature-skin-uk-reviews-a9514321.html> (дата обращения: 26.01.2024).

10. FUN IN THE SUNSET YEARS // The Independent URL: <https://www.independent.co.uk/life-style/health-and-families/features/fun-in-the-sunset-years-6885577.html> (дата обращения: 26.02.2024).

11. 2020 census shows Iowa urban areas grow, but population decline continues in rural areas // The Gazette URL: <https://www.thegazette.com/government-politics/iowa-urban-areas-grow-but-population-decline-continues-in-rural-areas/> (дата обращения: 28.01.2024).

12. African diaspora: Did Ghana's Year of Return attract foreign visitors? // bbc.com URL: <https://www.bbc.com/news/world-africa-51191409> (дата обращения: 25.01.2024).

13. RIP: Mars digger bites the dust after 2 years on red planet // The Independent URL: <https://www.independent.co.uk/news/rip-mars-digger-bites-the-dust-after-2-years-on-red-planet-mars-cape-canaveral-scientists-digger-nasa-b1787561.html> (дата обращения: 29.01.2024).

14. Malcolm Glazer dead: Manchester United mourn former owner after he passed away on Wednesday // The Independent URL: <https://www.independent.co.uk/sport/football/news/malcolm-glazer-dead-manchester-united-mourn-former-owner-after-he-passed-away-on-wednesday-9450740.html> (дата обращения: 29.01.2024).

## СЕКЦИЯ РЕКЛАМА И СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ

### МАЛОБЮДЖЕТНЫЕ МЕТОДЫ ПРОДВИЖЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО ПРОЕКТА

АНДРЕЕВ Г.С., ВАРАНКИНА А.А.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» Россия, г. Санкт-Петербург*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены малобюджетные методы продвижения студенческого социального проекта. Были выявлены тенденции в сфере рекламы и маркетинга в социальных сетях и представлены задачи, решаемые проведением коммуникационных мероприятий. Также приведен критический обзор социальных сетей «Telegram», «ВКонтакте», «YouTube» как коммуникационных каналов. Представлены методы оценки их эффективности, и примеры практического применения.

*Ключевые слова:* социальные сети, сфера non-profit, crosslink, CPS, каналы продвижения, PR-кампания

В данной статье рассмотрены методы продвижения студенческого проекта на примере «Жизнь+» - социального эко-проекта об альтернативных способах захоронениях. В настоящее время продвижение проекта выполняет команда из 4 студентов. Проект не имеет независимой команды специалистов по рекламе и PR, поэтому вопрос рассмотрения методов продвижения без вовлечения дополнительных финансовых активов особенно актуален.

Основные задачи продвижения проекта - формирование комьюнити, интересующейся темой проекта, информирование аудитории об участии и победах в конкурсах, олимпиадах и конференциях для повышения экспертности и узнаваемости в экспертной среде.

Для обеспечения задач продвижения важно определиться с целевой аудиторией и особенностями продвижения некоммерческих проектов.

Итак, проект нацелен на работу со следующими группами аудиторий:

- Неосведомленные/неравнодушные. К данной группе аудиторий относятся молодежь, придерживающаяся движения «death positive»; эко-активисты; люди пережившие утрату близких, или те, кто переосмысливает концепцию смерти;
- стейкхолдеры. К ним относятся СМИ, тем или иным образом относящиеся к теме эко-движения и/или захоронений.

В связи с этим, необходимо разработать коммуникационную стратегию продвижения «Жизнь +», учитывая ограниченные средства. Итак, в бюджет проекта было заложено 5000 (пять тысяч рублей) с ориентиром на распоряжение данной суммой в период с января 2024 по май 2024.

В процессе продвижения социальных проектов активно выполняется ряд мероприятий, направленный на повышение узнаваемости проекта, привлечения новых и удержание уже пришедших клиентов. К тенденциям на рынке относятся: рост вовлеченности кратковременного контента, переход к нативной рекламе, геймификация контента, персонализация соц. медиа, а также популяризация видео-контента [2.]

Среди методов продвижения проекта «Жизнь +» использовались следующие инструменты: группа проекта в социальной сети «ВКонтакте», канал проекта в социальной сети «Telegram» и канал проекта в видеохостинге «YouTube», а также был создан сайт проекта [1]. Главной задачей каждого из каналов коммуникаций состоит в «раскрутке» проекта, т.е. повышение его узнаваемости. Более конкретные критерии оценки эффективности инструментов по продвижению будут приведены ниже.

В группе проекта «ВКонтакте» и на канале проекта на «YouTube» есть возможность бесплатного продвижения – это органический рост подписчиков. В “ВК” за счёт ленты новостей, когда посты проекта может порекомендовать алгоритм потенциальному подписчику. Также попасть в рекомендации можно с «ВК Клипами», и «Shorts», которые тоже способствует бесплатному продвижению аккаунтов. В то время, как в «Telegram» нет возможности бесплатного органического роста подписчиков. Именно поэтому для этого канала были использованы дополнительные мероприятия по продвижению.

Во-первых, использование «Crosslink» - инструмент кросс-маркетинга. [4] Т.е. в каждой социальной сети стабильно присутствует призыв подписчиков подписаться на другие социальные сети проекта. Такой способ работает всё менее и менее эффективнее, т.к. для того, чтобы ваша аудитория подписалась на другую соц.сеть – необходима дополнительная мотивация или особая причина подписаться. В случае «Жизнь +» дополнительным аргументом, подписаться на другие социальные сети проекта стал разноформатный контент. Т.е. в каждой социальной сети публикуется уникальный проект отдельного формата, например в «ВКонтакте», преимущественно посты с карточками формата «Карусель», в «Telegram» преимущественно большие текстовые посты, в аккаунте на «YouTube» выкладываются динамичные короткие ролики по тематике проекта. Таким образом, социальные сети проекта работают друг на друга, где каждая соц.сеть, приводит подписчиков другим.

Во-вторых, можно задействовать силы других каналов с похожей аудиторией. Можно предложить за услугу, бартер или определенную цену рассказать о вашем канале. Именно так мы и поступили. Был подобран список каналов с аудиторией проекта, и владельцам канала предложили рассказать о проекте «Жизнь +». Таким образом 2 канала согласились рассказать о проекте, за символическую цену в рублях. В итоге с временными затратами в 2 часа, на поиск каналов и составления рекламных креативов, а также с ценой 1240 рублей (500Р один телеграм-канал и 740Р второй телеграм-канал). В итоге, в ходе данной рекламной кампании на канал в «Telegram» [3] пришло 30 подписчиков в сумме с двух каналов. Таким, образом стоимость за одного подписчика (CPS) составила ~ 42Р. Данный способ можно считать эффективным. Но эффективность данного способа продвижения зависит от грамотного подбора каналов и стоимости цены публикации, ведь возможно договориться, даже на бесплатное размещение, тогда в таком случае эффективность метода сильно возрастает.

Третьим методом, который был задействован, для продвижения проекта – это офлайн акция. В рамках нее авторы проекта собрали призы, которые состояли из конверта, в котором были упакованы конфеты и печенье с «брендовым предсказанием» (см.рис 1): «Живи в плюс вместе с Жизнь +». Такие конверты раздавались у входа в актовй зал, где проходило студенческое мероприятие «Финал: КВН».



*Рис. 1. Фотоотчет с проведенной PR-кампании*

Важно, отметить, что мероприятие, было подобрано не случайно. Целевая аудитория КВН в основном - студенты, которые как раз являются ЦА проекта. В итоге в рамках акции представители проекта «Жизнь +» подходили к студентам и предлагали подписаться на социальные сети проекта, взамен на «загадочный приз», в котором были конфеты и печенье с предсказанием. На проведение акции было потрачено в сумме 2000Р: за которые были куплены конфеты на развес и ингредиенты для печенья с предсказаниями. На группу «ВКонтакте» подписалось 37 человек, на канал в «YouTube» подписалось 33 пользователей, на канал в «Telegram» подписалось 44 человека. В результате был прирост в 114 подписчиков. При общих денежных затратах в 2000 рублей стоимость за одного подписчика (CPS) составила ~ 26 рублей. Данный метод можно считать эффективным, но следует обратить внимание на то, что его реализация требует много времени, а также подбор мероприятия с репрезентативной ЦА.

Также важно рассмотреть КРІ, по которым возможно будет оценить эффективность каждого метода продвижения. Были рассмотрены, как количественные показатели, так и качественные. В таблице приведены количественные показатели:

*Таблица 1*

<b>Инструмент</b>	<b>Параметр</b>	<b>План (к 31.08.2024)</b>	<b>Факт (на момент 1.05.2024)</b>
Telegram	Подписчики	250	82
	Среднее кол-во просмотров	1000	45
	Среднее кол-во реакций	25	12

Вконтакте	Подписчики	500	54
	Среднее кол-во просмотров	3000	60
	Среднее кол-во реакций	30	7
YouTube	Подписчики	1000	64
	Среднее кол-во просмотров	10000	1200
	Среднее кол-во реакций	100	25
Сайт проекта	Кол-во посетителей	1000	158
	Кол-во обращений о сотрудничестве от партнёров	5	1 (обращение о сотрудничестве от группы “Проект 619”)
	Трафик в соцсети проекта	200	7

Среди качественных показателей можно выделить следующие:

- Проведение опроса аудитории в соц.сетях и посетителей выставки на предмет информирования о теме экологических захоронений. Данное исследование поможет оценить насколько аудитория поняла месседж проекта;
- Качество комментариев в соцсетях;
- Качество отзывов о посещении оффлайн инсталляции на выставке;
- Качество отзывов о VR-инсталляции;
- Награды: премии, дипломы, сертификаты, полученные при участии в конкурсах, выставках, конференциях и других мероприятиях;
- Создание дискуссионного клуба в офлайн пространстве. Т.е. создание пространства вместе с партнерами, в котором аудитория проекта из Санкт-Петербурга сможет собраться в одном месте и поговорить на тему эко-захоронений.

Подводя итог, важно отметить, что продвижение социального проекта так или иначе требует финансовых затрат, а потому распределять ограниченные ресурсы следует исключительно исходя из их эффективности и релевантности к решению задач, поставленных инициатором.

### Список литературы

1. Сень З.В., Будрин А.Г., Солдатова А.В. ценностный маркетинг как основа метода digital-продвижения Арт-проектов в сфере pop-profit // Практический маркетинг. 2024. С. 55-59
- 2.Пятина Н.Р. Современные тенденции развития продвижения в социальных сетях и digital-среде. //Вестник науки. 2024. №3 (72). С. 771-775

## СЕКЦИЯ ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ВТ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГПА

АБРАМОВА А.К.

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

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются модели режимов работы газоперекачивающих агрегатов. В качестве способов моделирования были выбраны нейронные сети. Они предназначены для моделирования режимов работы агрегата, что в дальнейшем позволяет определить оптимальный режим работы. Оптимальный режим работы ГПА – режим в котором достигается максимальная производительность при минимальных затратах топлива на компримирование газа. Построенная нейронная модель в дальнейшем используется для построения инструмента по выбору параметров оптимального режима работы газоперекачивающего агрегата.

*Ключевые слова:* компримирование, газоперекачивающий агрегат, нейронная модель.

#### 1. Введение

Газовая промышленность – это обширная отрасль, охватывающая добычу, транспортировку, переработку и сбыт природного газа. Природный газ – это ценное ископаемое топливо, используемое для отопления, производства электроэнергии, в качестве сырья для химической промышленности и других целей.

Для добычи и компримирования природного газа используется широкий спектр оборудования, включая: скважины (бурятся в землю для доступа к месторождениям природного газа); газопроводы (используются для транспортировки природного газа от места добычи к месту потребления); компрессорные станции (используются для сжатия природного газа; газоперерабатывающие заводы (используются для очистки и обработки природного газа).

Газоперекачивающие агрегаты (ГПА) — это сложные энергетические установки, предназначенные для компримирования природного газа, поступающего на компрессорную станцию по магистральному газопроводу. [1]

Компримирование газа — повышение давления газа с помощью компрессора.

Сжатие газа поделено на следующие стадии. Первым этапом происходит компримирование газа до номинального давления на подключенных ГПА. После чего газ поступает на охлаждения, для дальнейшей осушки.

Существующие системы автоматизации ГПА решают проблему контроля параметров только частично. При достижении граничных значений для каждого параметра, происходит автоматическая остановка агрегата. Однако каждая такая остановка вызывает значительные потери ресурсов и повышенный износ оборудования. Поэтому цель данного исследования: подбор оптимальных параметров режимов работы ГПА таким образом, чтобы уменьшить расход топливного газа.

## 2. Описание данных

В исследовании использовались данные 14-ти ГПА за период с 01.09.2021 по 30.09.2023. Данные включали в себя следующие параметры: дата, расход топливного газа, расход технологического газа, температура воздуха на входе в компрессор ГТУ, обороты СТ, степень сжатия, температура газа на входе компрессора, температура газа на выходе компрессора, давление газа на входе компрессора, давление газа на выходе компрессора, расход газа в трубе, температура воздуха на улице. Объем исследуемых данных составил 1076855 записей и 14 столбцов. При этом было выявлено 959799 пропусков в данных таких параметров, как расход газа в трубе и температура воздуха на улице. Пропуски в данных были заполнены значением, следующими за ними.

Для построения моделей использовались такие параметры, как расход топливного газа, расход технологического газа, температура воздуха на входе в компрессор ГТУ, обороты СТ, температура газа на входе компрессора, давление газа на входе компрессора, давление газа на выходе компрессора.

Перед построением моделей был проведен анализ данных. Первым этапом были построены графики работы ГПА. На рис. 1 приведен пример графика для ГПА 4. Основным показателем работы агрегата является число оборотов. Поэтому график отображает число оборотов СТ во времени, ось X — дата и время, ось Y — обороты СТ.

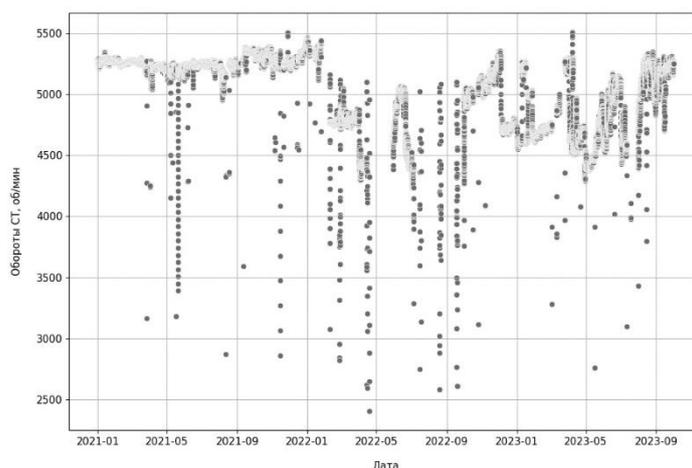


Рис. 1. График зависимости оборотов СТ во времени

Из графика можно заметить, что агрегат работает не постоянно, присутствуют периоды включения/выключения и переходы на различные режимы работы. Поэтому была построена корреляционная матрица дискретной разности по времени. Корреляция показала слабый результат, поэтому была сделана уставка в 12 часов, предназначенная для устранения данных переходного процесса и рассмотрения статического режима работы ГПА.

## 3. Построение моделей предсказания расхода технологического газа

### а) Нейронная модель

Нейронная модель строилась на предварительно очищенных данных за период с 01.01.2022 по 25.03.2023. Тестирование было осуществлено на периоде с 26.03.2023 по 30.09.2023. Признаки, которые предсказывает модель: расход топливного и расход технологического газов. На входе модели представлены 6 признаков: температура воздуха на входе (`temp_air_input`), обороты СТ (`rpm`), входная температура газа (`temp_gaz_input`),

давление газа на входе (press\_output), давление газа на выходе (press\_input), температура воздуха (temp\_air).

Нейронная сеть состоит из 4 полносвязных слоев.

Net(

(fc1): Linear(in\_features=6, out\_features=32, bias=True)

(fc12): Linear(in\_features=32, out\_features=64, bias=True)

(fc13): Linear(in\_features=64, out\_features=24, bias=True)

(fc3): Linear(in\_features=24, out\_features=2, bias=True)

)

В качестве функции активации был использован гиперболический тангенс. Функция активации — среднеквадратичная ошибка (MSELoss), оптимизатор нейронной сети — стохастический градиентный спуск (SGD).

Результаты моделирования приведены для ГПА №6. После обучения модели были построены графики, сравнивающие реальные данные и предсказания модели. Графики представлены на рис. 2 (Топливный газ) и рис. 3 (Технологический газ).

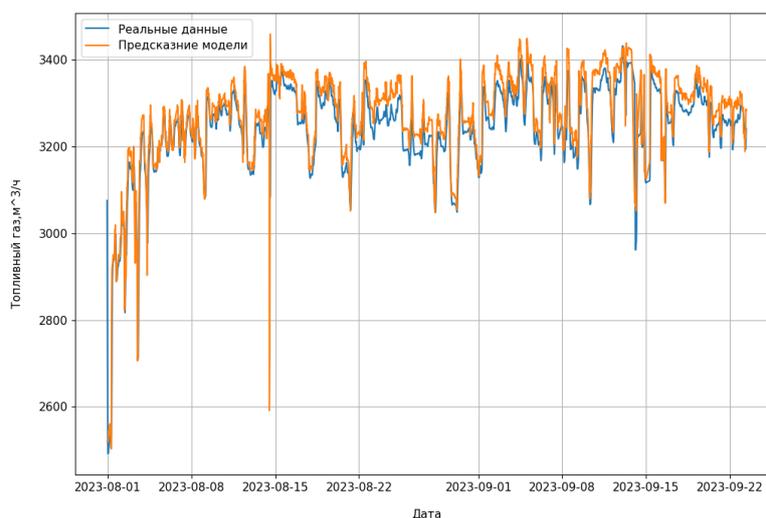


Рис. 2 График сравнения реальных данных топливного газа и предсказания модели

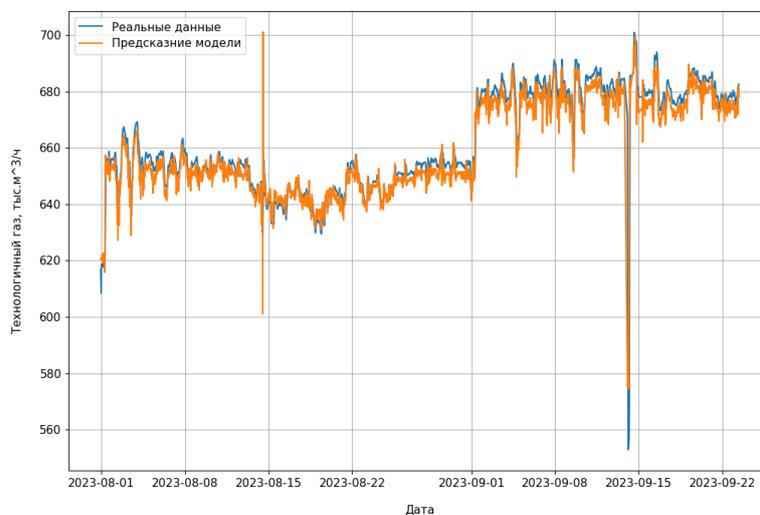


Рис. 3 График сравнения реальных данных технологического газа и предсказания модели

Для подсчета ошибки использовалась **средняя абсолютная процентная ошибка (МАРЕ)**. Ошибка составила: 0.0078%, что является хорошим показателем.

б) Определение числа оборотов СТ, при котором достигается минимальный расход топливного газа

После построения модели, был создан инструмент для определения числа оборотов при котором расход топливного газа минимальный. Оптимальный режим в математическом виде выглядит следующим образом:

$$q(T_{\text{gaz\_input}}, T_{\text{air\_input}}, T_{\text{air}}, P_{\text{gaz\_input}}, P_{\text{gaz\_output}}, n_{\text{СТ}}) \rightarrow \min$$

Принцип работы выглядит следующим образом. На вход инструмента поступают данные в виде отдельного файла, включающего в себя номер агрегата, ступень, температуру воздуха на входе, обороты СТ, входную температуру газа, давление газа на входе, давление газа на выходе, температуру воздуха. После чего используя данные построенных моделей, происходит обучение с новыми параметрами и полученные после обучения данные минимизируются и находится значение числа оборотов СТ, при котором достигается минимальное значение расхода топливного газа.

в) Определение числа оборотов СТ, при котором достигается минимальный расход топливного газа для перекачки заданного количества технологического газа

Также был создан второй инструмент для определения числа оборотов при котором расход топливного газа минимальный. Оптимальный режим в математическом виде выглядит следующим образом:

$$a * q(T_{\text{gaz\_input}}, T_{\text{air\_input}}, T_{\text{air}}, P_{\text{gaz\_input}}, P_{\text{gaz\_output}}, n_{\text{СТ}}) - b \\ * Q(T_{\text{gaz\_input}}, T_{\text{air\_input}}, T_{\text{air}}, P_{\text{gaz\_input}}, P_{\text{gaz\_output}}, n_{\text{СТ}}) \rightarrow \min$$

Принцип работы выглядит заключается в следующем. На вход инструмента поступают данные в виде отдельного файла, включающего в себя номер агрегата, ступень, температуру воздуха на входе, обороты СТ, входную температуру газа, давление газа на входе, давление газа на выходе, температура воздуха, а также оператор задает значение технологического газа, которое надо перекачать. После чего используя данные построенных моделей, происходит обучение с новыми параметрами и полученные после обучения данные минимизируются и находится значение числа оборотов СТ, при котором достигается минимальное значение расхода топливного газа, необходимое для перекачки заданного значения технологического газа.

#### 4. Заключение

В ходе исследования были построены нейронные модели для ГПА на основе данных их работы. Модели показали хорошие результаты и небольшие ошибки. Например, ошибка для ГПА №6 составила 0.0078%. В следствии хороших показателей модели, они использовались в основе инструментов, которые помогают определить оптимальный режим работы агрегатов для перекачивания газа.

#### Список литературы

1. ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ [Электронный ресурс] — URL: <https://stavropol-tr.gazprom.ru/press/proekt-azbuka-proizvodstva/gazoperekachivayushchij-agregat/> (дата обращения 20.04.2024)
2. Н.И. Епишев Определение параметров работы центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов: метод. указ. / сост. Н.И. Епишев. - Самарский гос. Аэрокосмический ун-т., Самара, 2003. - 18 с.
3. А.Н. Бердник Компрессорные станции магистральных газопроводов: учебное пособие / науч. ред. Г. Б. Горелик. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. - 142 с.

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ПЛК VEREMIZ

БАЛАКИРЕВ И.Д., ВОЛКОВ А.В., ПАНАСЕВИЧ М.С.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

*им. В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Данная статья посвящена разработке высоконагруженных функций для программируемого логического контроллера «Багет-ПЛК1» с использованием среды разработки Veremiz. Рассмотрен ПЛК «Багет-ПЛК1» и его применение в качестве граничного вычислителя, способного обрабатывать большие объемы данных в реальном времени. Для демонстрации производительности «Багет-ПЛК1» были реализованы высоконагруженные функции в среде разработки Veremiz. Была показана корректная работа алгоритмов на реальном ПЛК.

*Ключевые слова:* Багет, ПЛК, Veremiz, АСУ ТП, Граничные вычисления

### **Введение**

За последние годы технологии шагнули далеко вперед, как и современные программируемые логические контроллеры (Далее ПЛК). Современные ПЛК стали более модернизированы и производительны по сравнению со своими предшественниками. Активно развивающиеся облачные вычисления и беспроводные технологии привели к появлению новых подходов к построению автоматизированных систем управления технологическим процессом (Далее АСУ ТП). И поэтому всё больше начинают использовать «Edge – вычисления», как новый подход к построению АСУ ТП.

Раньше ПЛК использовались для базовой обработки данных, а тяжелые вычисления проводили на облачных серверах, что приводило к значительным задержкам. Новый подход предлагает использовать современные более производительные ПЛК, которые могут выполнить сложные алгоритмы для Edge – вычислений.

Граничные вычисления (периферийные или Edge - вычисления) – это парадигма распределенных вычислений, суть которой заключается в том, что вычислительные устройства стараются сблизить с первичным источником данных (полевым устройствам) [1]. Данный подход обладает целым рядом преимуществ:

- возможность анализировать и фильтровать данные до отправки на сервер, что позволяет облаку получать только релевантные данные;
- сокращение времени сетевого отклика, что может быть критично при выполнении точных операций;
- снижение нагрузки на сеть и, соответственно, снижение требований к ее пропускной способности;
- обеспечение безопасности чувствительных данных благодаря тому, что их можно обрабатывать на месте, избегая отправки по сети.

Такие средства могут решать сложные алгоритмы и отправлять данные в системы более высокого уровня. Таким функционалом обеспечиваются Edge devices (Граничные устройства). Граничные устройства могут сочетать в себе функциональность ПЛК и ПЛА.

### Багет-ПЛК1 для Граничных вычислений

Для дальнейшей разработки высоконагруженных функций будем использовать отечественную платформу Багет-ПЛК1 для граничных вычислений.

Багет-ПЛК1 является полностью отечественной разработкой и заменой западных ПЛК, он предназначен для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки команд управления в режимах реального времени под управлением отечественной операционной системы ОС РВ Багет.

В состав ПЛК «Багет-ПЛК1» входит микропроцессор отечественной разработки 1890BM108.

1890BM108 представляет собой так называемую систему на кристалле (СНК), созданную на собственной 64-разрядной архитектуре института - «Комдив», которую в организации называют MIPS-совместимой. MIPS создана в соответствии с концепцией RISC, то есть для процессоров с сокращенным набором команд.

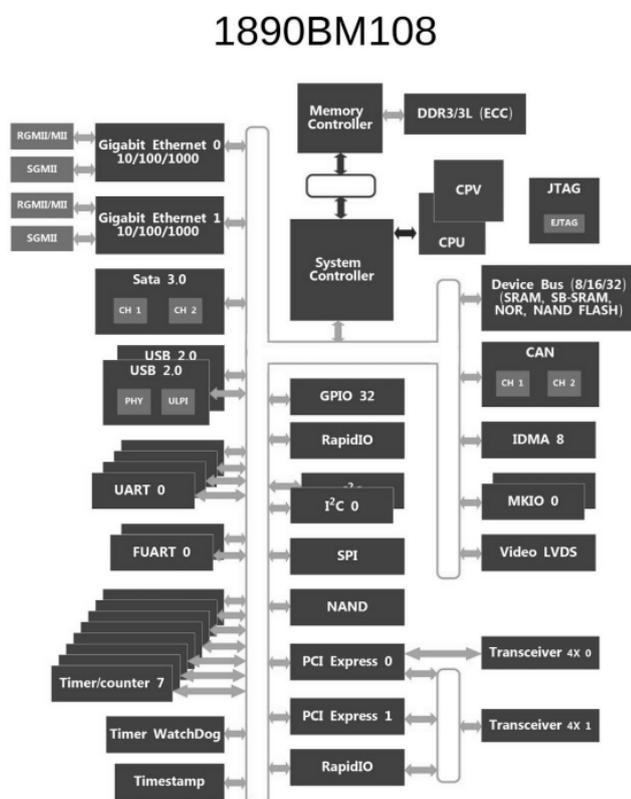


Рис. 1. Схема устройства микропроцессора 1890BM108

Этот одноядерный процессор выпускается по технологии 65 нм. Его тактовая частота составляет 1.8 ГГц. Чип имеет контроллер DDR3/DDR3L (ECC) 4 Гбайт, два канала PCIe, два контроллера Gigabit Ethernet 10/100/1000 Мбит/с, два контроллера SATA 3.0, два контроллера USB 2.0, четыре контроллера UART, два контроллера FUART (12.5 Мбит/с), два контроллера CAN 2.0, два контроллера МКИО по ГОСТ Р 52070-2003 с резервированием. Диапазон рабочих температур чипа: от -60 до +85 град. Цельсия.

Использование ОС РВ в ПЛК показывает: Детерминированность, Предсказуемость и Надежность вычислений ПЛК в наихудших условиях, что отличается от требований к

Производительности и Быстродействию в Универсальных ОС. Но наличие мощного процессора нивелирует недостатки в производительности ОС РВ [2].

Преимуществом данного микропроцессора является защита от несанкционированного доступа. Наличие в микропроцессоре неописанных программных средств, которые могут быть заложены при его проектировании, а также в процессе производства могут способствовать несанкционированному доступу к вычислительной системе. Развитие технологий и усложнение микропроцессоров ведут к увеличению производительности, как в результате к усложнению поиска этих уязвимостей. Данные уязвимости могут привести к различным атакам на ПО, не контролируемые аппаратурой.

Использование собственного ПО со встроенными средствами защиты и использование знаний о проекте микропроцессора позволит избежать большинство ошибок в безопасности.

### **Описание реализации высоконагруженных функций**

Для примера работоспособности и производительности ПЛК «Багет-ПЛК1» были реализованы алгоритмы «Дискретного преобразования Фурье» и «Быстрое преобразование Фурье».

Данные алгоритмы были реализованы в средстве разработки программ для ПЛК Veremiz на языке ST стандарта МЭК 61131-3-2016. Veremiz так же поддерживает создание программ и на других языках стандарта МЭК: LD (релейно-контактные схемы), FBD (функциональные блочные диаграммы), SFC (последовательные функциональные диаграммы), ST (структурированный текст), IL (список инструкций) и на низкоуровневом языке Си.

Дискретное преобразование Фурье в классическом виде определяется следующим уравнением [3]:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \left( \cos(2\pi kn/N) - i \cdot \sin(2\pi kn/N) \right), \quad k = 0, \dots, N-1.$$

Если алгоритм будет использоваться без изменений, сложность вычисления амплитудного спектра сигнала составит  $O(N^2)$ . Время выполнения дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в его классической форме для сигналов различной длины представлено в таблице 1.

Для уменьшения вычислительной нагрузки, связанной с использованием метода ДПФ, часто используется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). На рисунке 2 показаны методы расчета спектра БПФ (Кули-Тьюки). Вычислительная сложность этого подхода составляет  $O(N \log_2(N))$ . Результаты представлены в таблице 1.

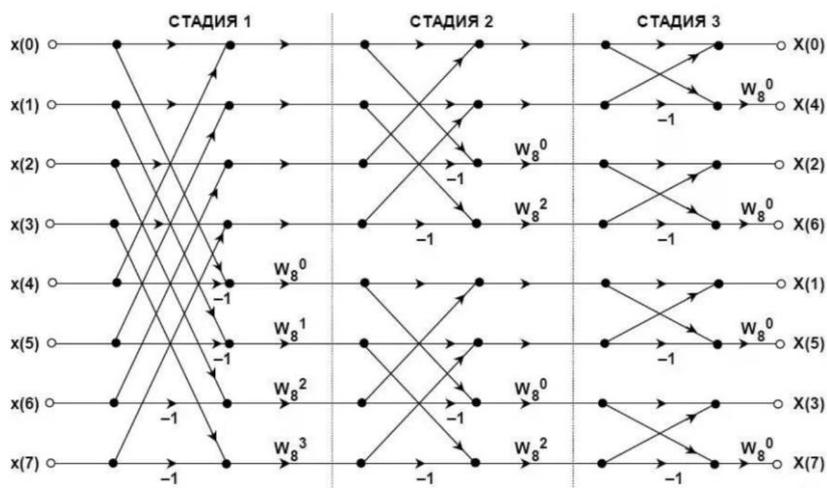


Рис. 2. Схема вычисления алгоритма «БПФ» (Кули-Тьюки)

Таблица 1

**Результаты тестирования алгоритмов**

Сигнал Алгоритм	Время выполнения, мс			
	20 000 отчетов	50 000 отчетов	100 000 отчетов	200 000 отчетов
БПФ	67	143	304	643
ДПФ	678 000	4 235 000	16 950 000	67 780 000

Как видно из таблицы, время выполнения дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в обычной реализации значительно больше, чем при Быстром преобразовании Фурье (БПФ). В первую очередь это связано со сложностью используемых алгоритмов. Сложность обычного ДПФ равна  $O(N^2)$ , тогда как сложность БПФ равна  $O(N \log_2(N))$ . Следовательно, скорость выполнения обычного дискретного преобразования Фурье, вероятно, будет значительно ниже, чем у БПФ. Кроме того, чем больше число выборок (N), тем более выраженным будет несоответствие между БПФ и ДПФ.

**Заключение**

В результате работы была продемонстрирована разработка высоконагруженных функций для программируемого логического контроллера «Багет-ПЛК1» с использованием среды разработки Veremiz.

Было показано, что «Багет-ПЛК1» может эффективно использоваться в качестве граничного вычислителя, способного обрабатывать большие объемы данных в реальном времени.

Для демонстрации производительности ПЛК были реализовано два алгоритма: Быстрое преобразование Фурье (БПФ) и Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Корректная работа которых была проверена на реальном ПЛК.

### Список литературы

1. Prensankar G., Di Francesco M., Taleb T. Edge computing for the Internet of Things: A case study //IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – Т. 5. – №. 2. – С. 1275-1284.
2. Бурдонов И. Б., Косачев А. С., Пономаренко В. Н. Операционные системы реального времени //М.: Институт системного программирования РАН. – 2006.
3. Дискретное преобразование Фурье // Википедия. [2023]. Дата обновления: 11.02.2023. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=233264&oldid=128446894>.

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

БАХРОВ М.О.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет «УГНТУ»*

**Аннотация.** Система мониторинга помогает анализировать, собирать и хранить параметры оборудования и систем, связанных с этим оборудованием. В данном докладе была разработана система мониторинга для промышленного оборудования нефтегазовой отрасли.

*Ключевые слова:* система мониторинга, мониторинг, нефть, газ, нефтегазовая отрасль, система, оборудование, промышленность, промышленное оборудование

Система мониторинга помогает анализировать, собирать и хранить параметры оборудования и систем, связанных с этим оборудованием. Основываясь на этих данных, инженер может сделать выводы о состоянии оборудования и запланировать возможный ремонт.

В числе наиболее востребованных IT-технологий нефтегазовой отрасли присутствуют системы визуализации и автоматизации технологического процесса. По результатам исследования журнала Forbes и научного журнала Naumen российский рынок систем для работы с данными на 70% состоит из иностранных решений. Нефтегазовая отрасль является одной из наиболее зависимых от зарубежных решений в сфере IT.

Основной целью данного проекта является формулировка функционального обеспечения системы мониторинга на основе показателей устройств.

Практическая реализация представляет собой несколько уровней: уровень оборудования, уровень систем управления, уровень сбора данных и серверный уровень. Данные могут передаваться от системы мониторинга к пользователю при помощи системы ЧПУ, поддерживающей протокол OPC UA, при помощи модуля сбора данных, подключаемого к промышленной сети и при помощи датчиков.



Рис. 1 – Практическая реализация системы мониторинга

Согласно подходу ETL, данные для аналитики группируются по определенным типам, после чего объединяются в общую базу данных и преобразуются в вид, пригодный для аналитики. На рисунке 2 представлена принципиальная схема ETL.

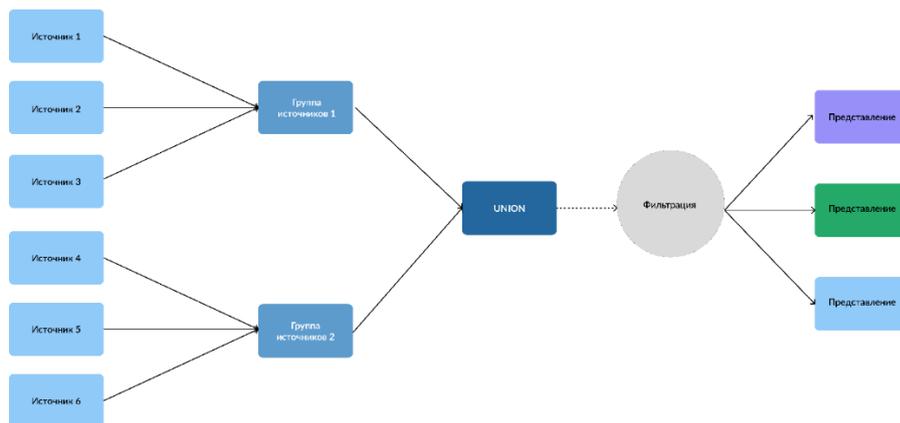


Рис. 2 – Принципиальная схема ETL

Далее был разработан интерфейс системы мониторинга.

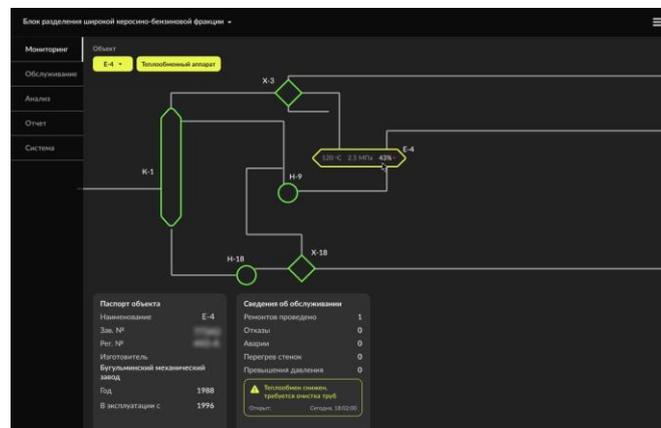


Рис. 3 – Схема блока установки

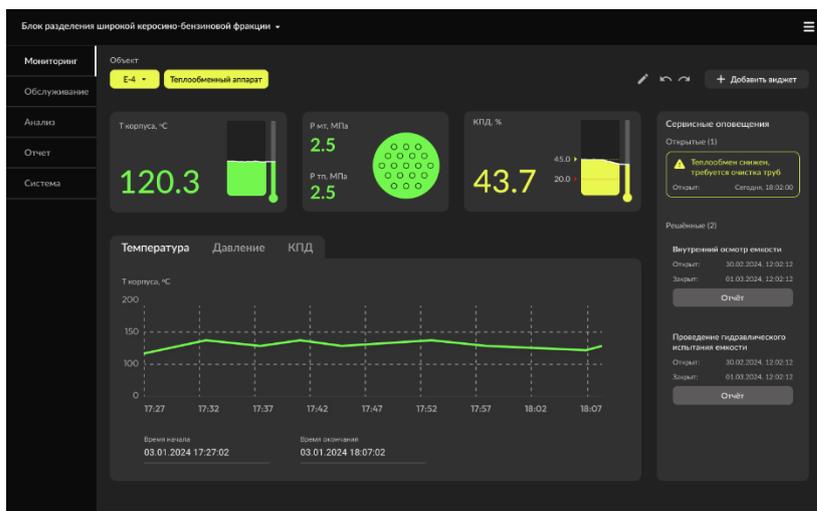


Рис. 4 – Анализ показателей теплообменника

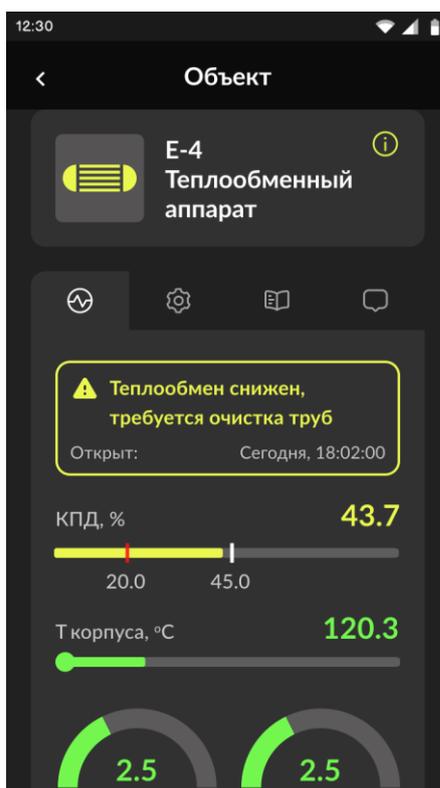


Рис. 5 – Мобильная версия интерфейса

Экран разделен на области - статус панель и панель с навигацией. Статус панель помогает оценить рабочие условия и готовность оборудования к работе. Атрибуты меняются в зависимости от выбранного типа оборудования, в данном примере на экране показатели статуса теплообменного оборудования.

Помимо отслеживания статуса оборудования у оператора есть возможность получать оповещения об обслуживании, отклонениях в работе оборудования. В

оповещении выводится время и сообщение об ошибке, указывается информация по оборудованию.

Оповещение скроется только после проведения работ и отправки необходимой отчетности. Интерфейс адаптирован под мобильные устройства, чтобы оповещения поступали и на смартфон оператора, таким образом устраняя необходимость находиться перед мониторами.

Еще одна задача — отобразить состояние оборудования в схеме блока установки (рис. 3). На ней отображены важные параметры устройств в системе (температура, давление, статус и состояние). Статус устройств отображает цветовая индикация. Для улучшения контраста цветовой индикации выбрана темная палитра цветов. При выборе устройства отображаются подробные параметры оборудования, включая данные об обслуживании.

Адаптивная версия реализована с некоторыми ограничениями – так, на главном рабочем экране блок с показателями размещен ниже блока оповещений. Тестирование на реальных пользователях показало, что графики и визуализации чаще смотрят с экрана десктоп-устройств, поэтому в мобильном интерфейсе (рис. 5) акцент перешел на количественные показатели и атрибуты устройств. Так мы сохранили преемственность и реализовали более привычный для мобильных пользователей паттерн со вкладками сверху.

Таким образом, были разработаны модели визуализации и интерфейсы для мониторинга производственного оборудования, произведен анализ предметной области, проанализированы требования к системе и разработан технический проект системы. Главным преимуществом данной системы является ее универсальность. На данный момент запущена процедура внедрения системы на одном из предприятий. В дальнейшем планируется развитие библиотеки параметров, характерных для разного вида оборудования, что позволит оптимизировать финансовые и временные затраты на внедрение и обслуживание системы.

### **Список литературы**

1. Российский рынок ИТ-решений. URL: <https://www.naumen.ru/events/news/5570/>
2. Интернет вещей IoT: [https://habr.com/ru/companies/epam\\_systems/articles/509640/](https://habr.com/ru/companies/epam_systems/articles/509640/)
3. Мониторинг оборудования. URL: <https://habr.com/ru/T1Holding/articles/514842/>

## **СОЗДАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ КОММУНИКАЦИИ ПЛК РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

БЫСОВ Ф.Д., ПУШКОВ К.С., ПЕРЕВЕРТАЙЛО Д.А.

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

**Аннотация.** В современном промышленном производстве широко используются программируемые логические контроллеры (ПЛК) разных производителей. Для обеспечения эффективного взаимодействия между ними требуются надежные и стандартизированные решения. Целью данного исследования является анализ того, как различные настройки сервера, такие как частота опроса и количество подключенных ПЛК, влияют на общую производительность системы. Для этого проводились эксперименты, варьирующие эти параметры, с последующим мониторингом и анализом ключевых показателей эффективности, включая скорость обработки данных, время отклика и стабильность работы системы в условиях возрастающей нагрузки.

## **Вступление**

В современном мире промышленности все более актуальной становится задача интегрирования различного оборудования в единую связанную систему. Такая задача предполагает создание различных типов соединения для объединения в единую технологическую платформу. Для таких платформ необходимо обеспечить быстрый и надежный способ передачи информации. Одной из наиболее популярной технологии является OPC и Modbus, для различных ПЛК выбирается свой протокол. Однако, несмотря на широкое распространение протокола Modbus, производители медленно переходят на продвинутый протокол OPC, что создает необходимость в разработке специализированных серверов, которые могут эффективно объединять и интегрировать данные системы.

Целью данной работы является разработка и тестирование универсального OPC UA сервера для интеграции с ПЛК, использующий протокол Modbus. Такой сервер должен обеспечить максимальную совместимость, а также высокую скорость работы и надежный способ коммуникации.

## **Протоколы передачи данных**

В процессе развития цифровых технологий важную роль играет разнообразие протоколы передачи данных. В качестве примера ниже описаны основные используемые протоколы:

1. Modbus- популярный протокол прикладного уровня, обеспечивающий связь между клиентом и сервером, используемый в системах промышленной автоматизации. Существует несколько спецификаций протокола Modbus:
  - a. Modbus RTU - протокол последовательной связи, использующий двоичное представление данных. Этот протокол требует низкой пропускной способности и низкой задержки.
  - b. Modbus ASCII – требует больше времени на передачу данных, но обеспечивает большую устойчивость, к условиям шумной среды.
  - c. Modbus в сети RS-485 – данный протокол позволяет подключить выше двухсот устройств в единую сеть, что делает систему более устойчивой.

К преимуществам использования протокола относятся:

- 1) Есть возможность передачи типов данных через различные типы интерфейсов
  - 2) Простота в настройке и интеграции в проекты
  - 3) Дешевизна интеграции в системы
2. OPC - это набор повсеместно принятых спецификаций, предоставляющих универсальный механизм обмена данными и взаимодействия между различными системами контроля и управления. Аббревиатура OPC традиционно расшифровывается как OLE for Process Control. Основное преимущество OPC сервера является возможность объединения в единый узел систем, функционирующих на разных платформах, но поддерживающий стандарт OPC.

Протокол OPC включает несколько стандартов, который описывает определенный набор функций. Ниже представлены наиболее распространенные стандарты:

- 1) OPC DA – предоставляет набор функций для обмена данными с реальным временем между устройствами
- 2) OPC HDA – предоставляет доступ уже к записанным данным в системе
- 3) OPC UA – самая последняя спецификация, которая основана не на технологии Microsoft COM, что позволяет кроссплатформенную совместимость. OPC UA использует различные методы шифрования для достижения безопасного соединения.

В качестве дальнейшей интеграции OPC сервера, перспективным решением является развитие OPC UA, который обеспечивает обмен информации в режиме реального времени между различными устройствами и сможет обеспечить безопасную передачу данных, из-за используемых средств шифрований.

Преимущество распределенной системы от использования протокола OPC UA является то, что возможно содержать несколько клиентов и серверов. Каждый клиент может работать параллельно при помощи нескольких серверов и каждый сервер может обрабатывать несколько клиентов, как показано на рис.1.

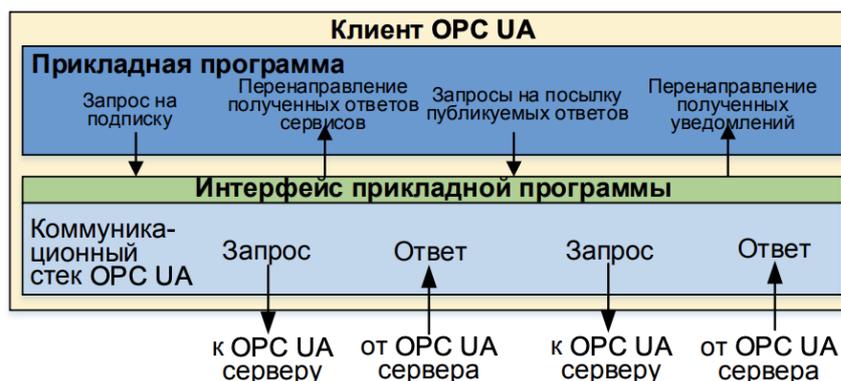


Рис. 1. Реализация клиентской программы, работающая в стандарте OPC UA

### Концепт системы на базе стандарта OPC UA

Учитывая растущие темпы современных производственных возможностей, необходимо учесть, что внедрение и эксплуатация современных сетевых технологий в системы управления может повысить темпы производственных мощностей и уменьшить затраты на производство. В нынешних реалиях существует большое разнообразие контроллеров работающие при помощи протокола Modbus. Такая реализация системы считается устаревшей.

В данном концепте, как показано на рис. 2, систему можно сконфигурировать таким образом, что все данные с устройств собираются при помощи протокола Modbus TCP/IP, обеспечивающая высокую передачу данных и при правильной настройке безопасность соединения. Все данные собираются в единую для всех устройств базу данных. Чтобы передать данные из Modbus в OPC UA сервер, необходима промежуточная система для преобразований данных, для того чтобы сервер смог их обработать. Для этого нужно настроить Modbus таким образом, чтобы он работал в качестве OPC UA клиента, база данных в данной системе служит прослойкой, неким шлюзом.

Сервер OPC UA предоставляет различные механизмы, для управляет доступом к данным, обработку и хранение. Правильно сконфигурированная программа предоставляет доступ для различных клиентских приложений. Такие клиенты могут получать не только текущие данные, но и исторические данные, для визуализации, мониторинга и обработки процессов.

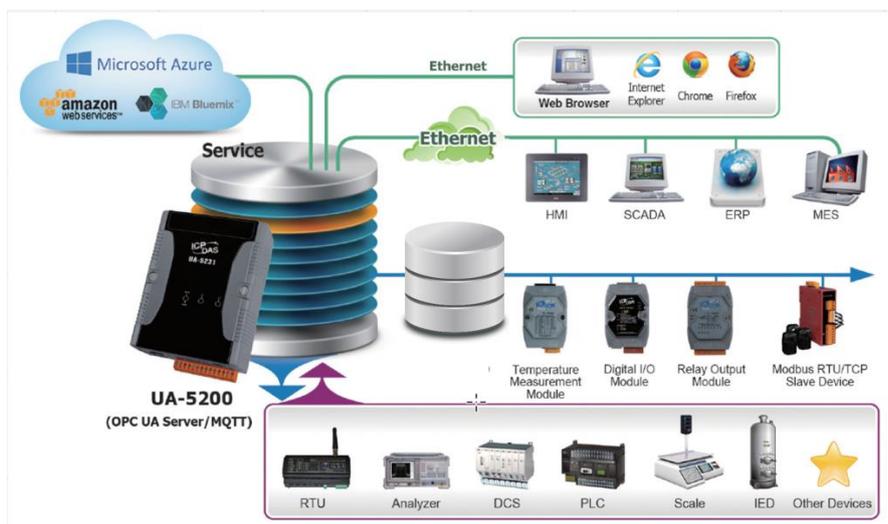


Рис. 2. Реализация концепта системы

Правильно настроенную систему возможно легко масштабировать для работы в больших распределенных сетях с тысячами устройствами, а также легко получать подробную информацию о состоянии сети, что позволит более качественно отладить систему.

## Вывод

Объединение информационных потоков от контроллеров, функционирующих через протокол Modbus, в комплексную систему, основанной на серверной технологии OPC UA, является ключевым элементом для создания централизованной системы наблюдения и контроля за производственными процессами на предприятиях. Такой подход не просто способствует эффективному и безопасному взаимодействию с текущими, он также открывает широкие перспективы для детального анализа и наглядного представления информации.

Ключевым моментом является трансформация информации из базового формата Modbus в более сложную и защищенную структуру OPC UA, что значительно увеличивает надежность управленческой системы. Это облегчает процесс мониторинга и способствует формированию более взвешенных управленческих решений на различных уровнях управления предприятием.

## Список литературы

1. Денисенко В. Протоколы и сети Modbus и Modbus TCP //Современные технологии автоматизации. – 2010. – Т. 4. – С. 90-94.
2. Сокольников Р. В., Богданов Д. Ю., Акуленко А. Е. Обзор OPC-серверов //Вестник научных конференций. – ООО Консалтинговая компания Юком, 2015. – №. 3-5. – С. 157-159.

3. Пермигин Б. В. Обзор технологий OPC-серверов и OPC-туннелей //РОССИЯ МОЛОДАЯ. – 2020. – С. 211109.1-211109.5.
4. Козак Н. В., Аль-Вади О. Расширение коммуникационных возможностей систем управления на основе кроссплатформенной реализации протокола OPC UA //Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2018). – 2018. – С. 80-84.

## МЕТОДЫ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО УМНОЖИТЕЛЯ ДЛЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ельцов В.Ю., Федотов А.М.

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

**Аннотация.** Данный доклад посвящен исследованию методов и средств аппаратной поддержки систем искусственного интеллекта за счет реализации ускорения умножения путем группировки разрядов умножителя. Рассмотрены варианты ускорения работы умножителей с использованием методов умножения на группу разрядов (алгоритм Бута), также рассматриваются варианты умножения на большее количество разрядов, что достигается различными способами расположения сумматоров в ячейках. Предложены варианты топологических реализаций рассмотренных решений, позволяющие достичь компромисса между быстродействием и площадью кристалла. Полученные матричные структуры могут быть оптимизированы при разработке топологии с целью минимизации площади кристалла.

*Ключевые слова:* средства аппаратной поддержки искусственного интеллекта, группировка разрядов умножителя, алгоритм Бута.

### Введение

Результат работы сверточных нейронных сетей (СНС) генерируется путем свертки входных матриц с использованием фильтров, «реагирующих» на определенные элементы изображения. Повышение производительности и точности классификации нейронной сети часто связано с повышением ее сложности (увеличением количества нейронов в слоях/увеличением количества самих слоев). В [1] показано, что классификация изображения размером  $227 \times 227$  пикселей требует миллиардов арифметических операций умножения и сложения. Процессоры общего назначения, такие как CPU, не в состоянии обеспечить такую огромную вычислительную мощность с требуемой задержкой, поэтому возникает потребность в специализированных аппаратных решениях и применении быстрых алгоритмов арифметических операций, что в совокупности значительно увеличивает производительность искусственных нейронных сетей (ИНС).

### Краткое описание алгоритма Бута

Одним из алгоритмов быстрых арифметических операций является алгоритм Бута, который позволяет перемножить два двоичных числа в дополнительном коде [2]. В данном методе умножения значения двух разрядов множителя  $B$  складывается с переносом из соседнего более младшего разряда. В зависимости от результата этого сложения определяется перенос в следующий более старший разряд и «число со знаком», которое определяет вклад пары разрядов в конечное произведение множимого  $A$ .

Возможные варианты частичных произведений подаются на информационные входы мультиплексоров с прямых и инверсных выводов регистра множимого со сдвигом влево или без сдвига в зависимости от абсолютного значения чисел со знаком.

В модифицированном алгоритме Бута производится перекодировка цифр множителя из стандартной двоичной системы (0, 1) в избыточную систему (-2, -1, 0, +1, +2), где каждое число представляет собой коэффициент, на который умножается множимое перед добавлением к сумме частичного произведения [3], которая формируется после сумматоров одной строки матричного множителя.

Ниже (в табл. 1) представлено кодирование пары разрядов в соответствии с модифицированным вариантом алгоритма.

Таблица 1

**Кодирование пары разрядов в модифицированном алгоритме умножения Бута**

$V_n$	$V_{n+1}$	$C_{in}$	Число со знаком
0	0	0	0
0	0	1	+1
0	1	0	+1
0	1	1	+2
1	0	0	-2
1	0	1	-1
1	1	0	-1
1	1	1	0

В данном примере количество шин данных будет равно четырем.

### **Строение матричных множителей**

Умножители могут быть построены на основе матричного подхода к реализации. Он позволяет значительно увеличить быстродействие за счет того, что каждая из элементарных операций реализуемого алгоритма выполняется на «персональном» блоке. Применительно к умножению такими блоками являются сумматоры, собранные в матрицу и используемые для сложения частичных произведений, каждое из которых является простым кратным множимого. Количество сумматоров в матрице пропорционально разрядности множителя.

Размеры ячеек с сумматорами будут напрямую зависеть от количества шин данных, которые подаются в данную ячейку. Их количество можно уменьшить вдвое, используя управляемый инвертор. С его помощью значения +1 и -1(+2 и -2) можно закодировать одним сигналом и использовать старший разряд множителя для управления инвертором, отвечающим за знак ЧСЗ (числа со знаком). Также размер ячейки будет устанавливаться размерами сумматора, который может располагаться в трех вариантах: обычном, лежащем и развернутом.

Ячейка с умножением на два разряда, в которой сумматор расположен в обычном положении, представлена на рисунке 1.

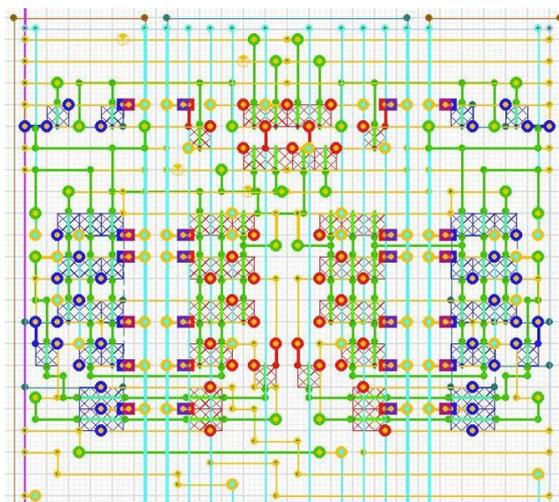


Рис. 1. Эскиз ячейки сумматором в обычном положении

Для ячейки с обычным сумматором можно произвести умножение на два и три разряда без управляемого инвертора, то есть количество шин данных будет укладываться в размеры сумматора, что не приведет к увеличению размеров схемы. При умножении на четыре разряда количество шин данных будет увеличено до 16, что больше ширины сумматора, но при использовании управляемого инвертора количество шин сокращается в два раза, поэтому можно продолжать работать с ячейкой с обычным сумматором, добавив в нее управляемый инвертор.

Топологическая схема ячейки с обычным сумматором представлена на рисунке 2.

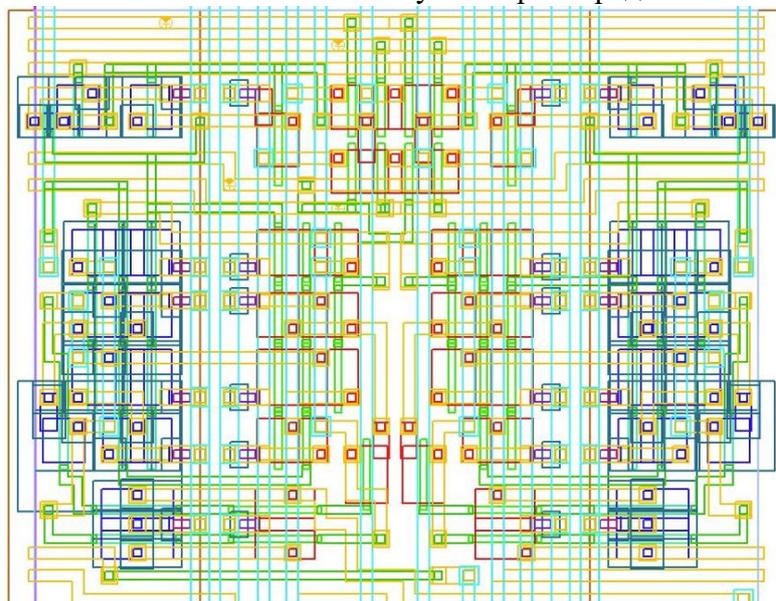


Рис. 2. Топология ячейки с сумматором в обычном положении

При умножении на 5 разрядов количество шин данных увеличивается до 32 без использования управляемого инвертора, с инвертором — до 16, поэтому не имеет смысла строить ячейку с сумматорами в лежачем положении для умножения на четыре разряда без управляемого инвертора, когда можно добавить инвертор и умножать уже на пять разрядов.

Схема сумматора в лежачем положении представлена на рисунке 3.

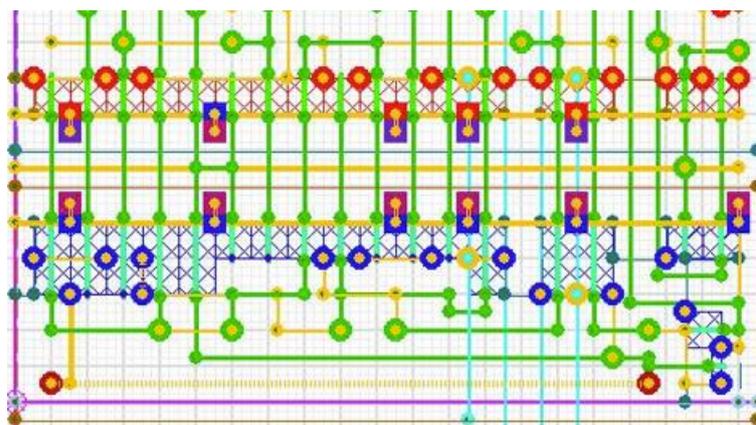


Рис. 3. Эскиз сумматора в лежачем положении

Использование данного сумматора в ячейках позволяет пропустить 16 шин данных без увеличения размера самой ячейки.

Для умножения на шесть разрядов понадобится 64 шины данных, с использованием управляемого инвертора — 32. Для такого количества шин необходимо развернуть сумматор в один ряд.

Схема сумматора в развернутом положении представлена на рисунке 4.

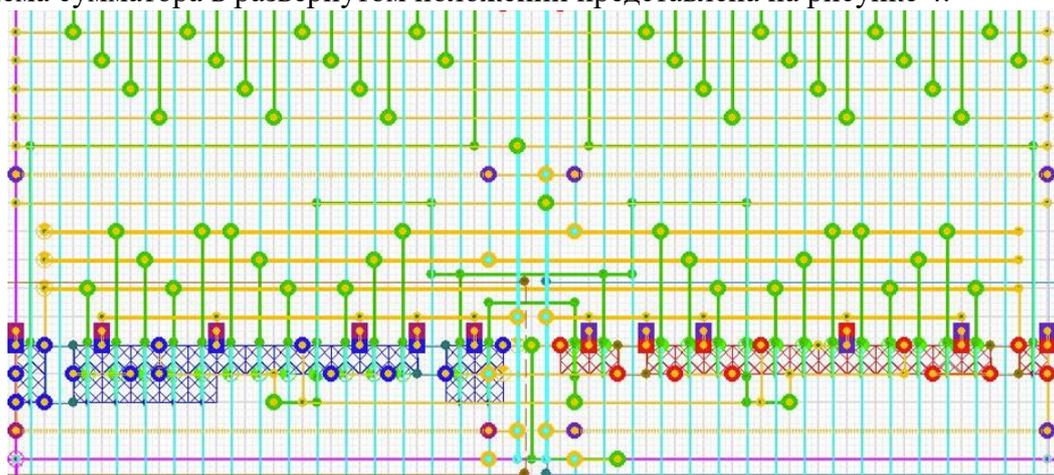


Рис. 4. Эскиз сумматор в развернутом положении

В такой ячейке с сумматором в развернутом положении возможно умножать на шесть разрядов с использованием управляемого инвертора.

### Заключение

В результате данной работы были рассмотрены различные методы аппаратной реализации матричного умножителя для умножения на 2, 3, 4, 5 и 6 разрядов по алгоритму Бута. Были приведены эскизы сумматоров для данных ячеек, а также топология для умножения на два разряда.

### Список литературы

1. ScinceDirect [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141933122000163?via%3Dihub>
2. РУВИКИ [Электронный ресурс]. - URL: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/Алгоритм\\_Бута](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Алгоритм_Бута)
3. Pandia [Электронный ресурс]. - URL: <https://pandia.ru/text/78/369/1681-2.php>

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОЦЕССОВ РОСТА ОНКОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК

ИВАНОВ С.К.

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

**Аннотация.** В представленной работе исследуется математическая модель роста опухоли. Подобные разработки могут оказаться полезным при диагностировании и прогнозировании злокачественных новообразований. Рассмотренная модель в зависимости от параметров имеет различные состояния равновесия, одно из которых отвечает «здоровому» состоянию, а остальные – патологическим процессам в организме. Динамика особых точек соответствует «предопухоловому» состоянию или реакции организма на лечение. Найдены аналитические зависимости устойчивости от параметров и начальных условий, предложены способы персонификации и методы лечения.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, теория автоматического управления, онкология, рак, химиотерапия.

### Построение модели

Известно несколько подходов к моделированию процесса роста клеток [1]. В одном из них за основу взята физика Ферхюльста. Дополняя уравнение, отвечающее его логистической кривой, зависимостями от качества и количества эффекторных (иммунных) клеток организма, получают следующую систему нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка [2]:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= \mu T \left( 1 - \frac{T}{T_\infty} \right) - \alpha_1 ET, \\ \frac{dE}{dt} &= c(E_0 - E) - \alpha_2 ET, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E, T$  [ед] – состояния: объем эффекторных и онкологических клеток соответственно,  $E_0, T_\infty$  [ед] – максимально допустимые объемы,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  [(ед · время) $^{-1}$ ] – коэффициенты, отвечающие за взаимодействие разнородных клеток, а  $\mu, c$  [время $^{-1}$ ] отвечают степени агрессивности. Типовые процессы развития заболевания представлены на рис. 1.

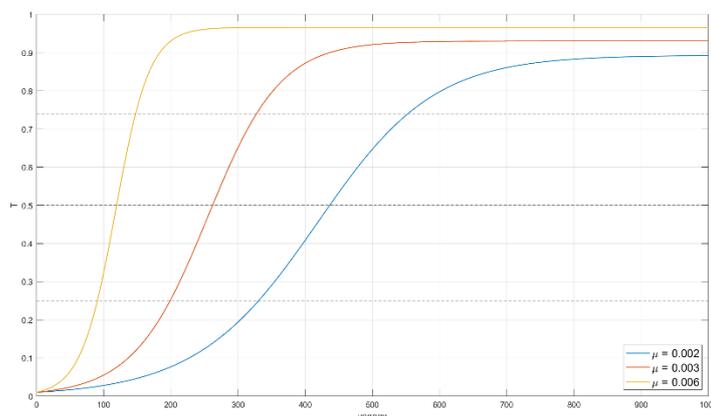


Рис. 3. Типовые временные процессы

Большинство из параметров модели невозможно определить наверняка. Поэтому рассматриваются следующие оценки

1.  $T_{\infty}$  – исходя из диагностированного вида онкологического заболевания принимается за тот размер опухоли, который для конкретного пациента лечащий врач сочтет терминальным.

2.  $\mu$  – из иммуногистохимических анализов, например, определением пролиферальной активности по экспрессии KI-67.

3.  $c, E_0, \alpha_1, \alpha_2$  – некоторые характеристики иммунной системы, определяющиеся общим состоянием иммунной системы пациента. Отношение  $\alpha_1$  к  $\alpha_2$  указывает на отношение скоростей гибели патологических и иммунных (соответственно) клеток после взаимодействия.

По TNM (tumour, nodulus, metastasis) неоплазма классифицируется согласно шкале в Таблице 1.

Таблица 1

Классификация опухолей

Т – класс (N, M – любые)	Значение $\frac{T}{T_{\infty}} \cdot 100, \%$	Описание
<b>T0</b> , первая стадия	<b>0 – 25</b>	Зарождение новообразования
<b>T1</b> , вторая стадия	<b>25 – 50</b>	Стадия активного роста
<b>T3</b> , третья стадия	<b>50 – 75</b>	Перегиб логистической кривой
<b>T4</b> , четвертая стадия	<b>75 – 100</b>	Терминальное состояние

### Исследование состояний равновесия.

Первым состоянием равновесия системы (1) является точка  $(0, E_0)$ . Исследования методами Ляпунова показывают, что необходимым и достаточным условием ее устойчивости является справедливость неравенства  $\mu < \alpha_1 E_0$ : если скорости уничтожения опухолевых клеток достаточно, чтобы компенсировать рост неоплазмы, организм способен бороться с мутациями. Накладывание дополнительных условий изменяет конфигурацию модели. Общая картина приведена в Таблице 2.

Имеется явная зависимость между  $T$ - и  $E$ - координатами положений равновесия. Действительно, система (1) с нулевыми производными преобразовывается к виду

$$\frac{\mu}{\alpha_1} \left(1 - \frac{T}{T_{\infty}}\right) - E = 0,$$

$$T^2 + \left(\frac{c}{\alpha_2} - T_{\infty}\right)T - \frac{c}{\alpha_2} T_{\infty} \left(1 - \frac{\alpha_1 E_0}{\mu}\right) = 0.$$

Дискриминант второго уравнения

$$D = \left(\frac{c}{\alpha_2} - T_{\infty}\right)^2 + 4 \frac{c}{\alpha_2} T_{\infty} \left(1 - \frac{\alpha_1 E_0}{\mu}\right)$$

отвечает за наличие дополнительных «патологических» состояний равновесия.

Таблица 2

Конфигурации модели

Условие	$T$ – координата	Фазовый портрет	Устойчивость
$\mu > \alpha_1 E_0.$			$(0, E_0)$ – устойчивый узел.
$\begin{cases} \mu < \alpha_1 E_0, \\ \frac{c}{\alpha_2} < T_\infty, \\ D > 0. \end{cases}$			$(0, E_0)$ – устойчивый узел. Большая из оставшихся точек – устойчивый узел, меньшая – седло.
$\begin{cases} \mu < \alpha_1 E_0, \\ \frac{c}{\alpha_2} < T_\infty, \\ D > 0. \end{cases}$			$(0, E_0)$ – устойчивый узел. Меньшая из оставшихся точек – устойчивый узел, большая – седло.
$D < 0.$			$(0, E_0)$ – устойчиво «в целом».

**Химиотерапия.**

В рамках рассматриваемой системы, введение препарата, уничтожающего быстро делящиеся клетки организма, соответствует введению дополнительного слагаемого в систему (1):

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= \mu T \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) - \alpha_1 ET - \gamma D(t)T, \\ \frac{dE}{dt} &= c(E_0 - E) - \alpha_2 ET, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент, демонстрирующий эффективность препарата [время<sup>-1</sup>], а  $D(t)$  – функция, описывающая объем действующего вещества в организме [ед].

Подобная корректировка делает систему нестационарной, новое условие устойчивости имеет вид

$$D(t) > \frac{\mu - \alpha_1 E_0}{\gamma}. \quad (3)$$

Медицинская стратегия введения препарата сводится к следующим положениям [3]:

1. Лечение состоит из  $N$  курсов, в каждом из которых  $n$  процедур,
2. Между процедурами устанавливается срок  $p$ , между курсами –  $P$ .
3. Введение производится импульсно, время введения пренебрежительно мало по сравнению с  $p$  и  $P$ .

В таком контексте функцию  $D(t)$  следует искать в виде

$$D(t) = 2 \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^n D_{ik} \cdot \theta(t - kp - iP) e^{-\frac{\ln 2}{t_{0.5}}(t - kp - iP)},$$

где  $t_{0.5}$  – период полувыведения используемого препарата,  $D_{i,k}$  – дозы каждого сеанса.

Параметр  $\gamma$  оказывает существенное влияние на эффективность лечения. Исходя из определения роли в системе (2) естественно предположить, что реальное его значение выявляется на основе теста на резистивность к цитостатикам СТР.

Простейшим требованием к  $D(t)$  для эффективного лечения оказывается выполнение неравенства (3), которое можно ослабить введением зоны реабилитации, не требующего устойчивости «здорового» состояния. При этом длительность подобной зоны не должна превышать 10-20% от общего времени лечения. Качественно процесс изображен на Рис. 2.

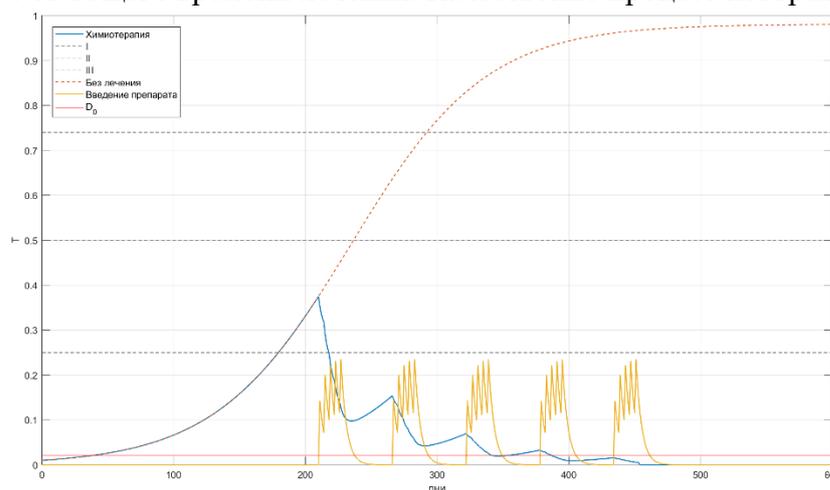


Рис. 4 Химиотерапия

Здесь зона реабилитации – участки роста  $T(t)$ , а горизонтальная прямая  $D_0$  отображает минимальное значение  $D(t)$ , обеспечивающее устойчивость точки  $(0, E_0)$ . Следует отметить, что суммарный объем введенного в организм вещества  $\sum_{i,k} D_{ik}$  не должен превышать максимально допустимую накопительную дозу  $D_{max}$ . Если подобное невозможно реализовать для конкретной модели, следует рассмотреть другие препараты (с

другим показателем эффективности или максимальной дозой) или прибегнуть к другой терапии.

### **Выводы.**

Поведение исследуемой модели во многом соответствует естественным представлениям о поведении неоплазмы в организме. Устойчивость «здорового» положения равновесия не гарантирует невозможность развития опухоли в силу появления дополнительных устойчивых положений. Подобные состояния требуют дополнительного исследования, поскольку могут оказаться полезными для определения предопухолевых состояний.

Химиотерапия, как метод лечения, оказывается состоятельным только при известном объеме препарата в организме. Обеспечение подобного условия может значительно затрудняться медицинскими ограничениями по применению. Следует тщательно выбирать стратегию лечения. Предложенные математические зависимости способны упростить практический поиск.

Результаты исследования могут оказаться полезны для теоретической (и, возможно, в будущем практической) медицины, обеспечивая более глубокое понимание процессов развития опухолей и эффективности методов их лечения. Дальнейшие исследования могут привести к разработке более точных индивидуализированных методов лечения онкологических заболеваний, что в конечном итоге способно улучшить прогнозы для пациентов.

### **Список литературы**

1. Кузнецов М.Б. Математическое моделирование роста опухоли под влиянием антиангиогенной терапии и радиотерапии: дис. канд. ф.-м. наук: 03.01.09. - М., 2020. - 156 с.
2. Гончарова А.Б., Василевская Е.В., Колпак Е.П., Виль М.Ю. Математическое моделирование лечения онкологического заболевания // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - №3 (117). - С. 13-21.
3. Артаманова Е.В. и др. под редакцией Переводчиковой Н.И. Руководство по химиотерапии опухолевых заболеваний. - 3-е изд. - М.: Практическая медицина, 2011. - 511 с.

## **АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛИТКИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В АЭРОПОРТУ**

ИВАНОВА М. К.

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

**Аннотация.** Цель данной статьи - оценка целесообразности использования в аэропорту О'Хара напольных датчиков для выработки электричества (пьезоплитки). Для решения поставленной задачи произведен анализ пассажиропотока в аэропорту, а также денежных расходов за электричество при использовании пьезоплитки и без нее. Итоговая цифра определяет выгоду(или же убыток) при установке датчиков в этом аэропорту. При анализе было произведено построение модельного прогноза и с помощью циклического перебора найдено оптимальное количество датчиков. Исследование показало преимущество данного нововведения в аэропорту О'Хара.

Задача была расширена до написания небольшого веб-приложения, определяющего по вводимым пользователем данным коммерческую выгоду при установке такой плитки на произвольном объекте.

*Ключевые слова: аэропорт, пассажиропоток, временной ряд, модельный прогноз, пьезоплитка, электропотребление, коммерческая выгода, сезонность, остатки, средняя абсолютная ошибка.*

### Подготовка данных и анализ пассажиропотока

Актуальность данного исследования состоит в анализе рентабельности внедрения инновационных источников энергии для уменьшения затрат на электричество на объекте. Новизна проекта заключается в разработке веб-приложения, которое позволяет оценить коммерческую выгоду от установки пьезоплиток на различных объектах

В качестве анализируемого набора данных используется USA Airport Dataset с Kaggle [1]. Для исследования из общей совокупности вычленяется вся информация об одном из крупнейших международных аэропортов - аэропорте О'Хара вблизи Чикаго. Так как анализируемые данные относятся к периоду с 1990 по 2009 год, возникает вопрос о целесообразности проведения подобного исследования. Несмотря на это, проблема решается посредством построения модельного прогноза для выявления тенденции роста или спада пассажиропотока в данном аэропорту.

В ходе построения прогноза на первом этапе производится декомпозиция временного ряда, представленная на Рис. 1. График включает в себя четыре компонента: анализируемые данные (можно выдвинуть гипотезу о крайне незначительном изменении пассажиропотока), тренд(изменения в данных малы, лишь в 2002 году происходит существенное снижение пассажиропотока), сезонность (наблюдается идентичная годовая парадигма изменений пассажиропотока) и остатки.

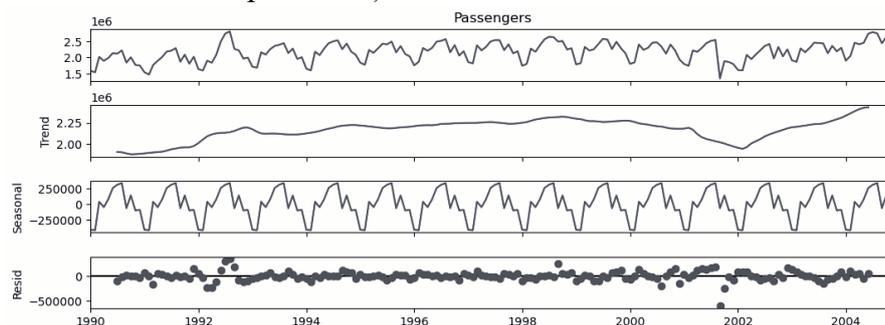


Рис. 5. Декомпозиция временного ряда

Затем для минимизации ошибки прогноза подбираются параметры. Графики для оценки качества модели отражены на Рис. 2. Остатки случайным образом распределены около нуля. Они не автокоррелированы, а их дисперсия практически на всем временном промежутке постоянна. Остатки можно считать нормально распределенными. Они не коррелируют между собой на статистически значимом уровне, структуры или тренда в корреляциях не наблюдается. Можно сделать вывод о достаточно высоком качестве модели.

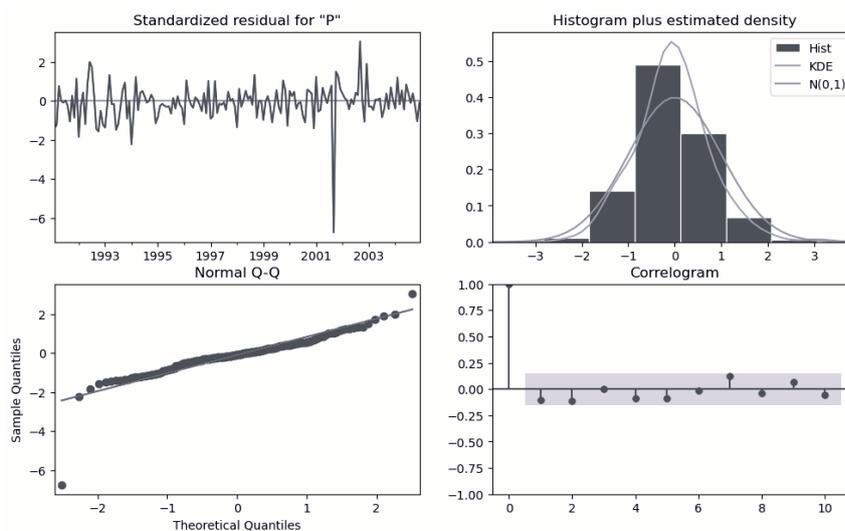


Рис. 2 Графики оценки качества модели

При помощи SARIMAX(Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average with exogenous factors) модели - инструмента для анализа и прогнозирования временных рядов, объединяющего в себе метод ARIMA и анализ экзогенных переменных и сезонности, строится сам модельный прогноз для тестовой выборки и находятся векторы предсказанных и истинных значений. Средняя абсолютная ошибка составляет 2%. Так как целью прогноза было выявление общей тенденции к спаду или увеличению пассажиропотока, полученной точности вполне достаточно для того, чтобы приступить к построению модельного прогноза уже для всех имеющихся данных по аэропорту (Рис. 4). На графике можно увидеть, что явного изменения в большую или меньшую сторону количества пассажиров не наблюдается, а значит, можно продолжать исследование, пренебрегая тем фактом, что взятые данные устарели.

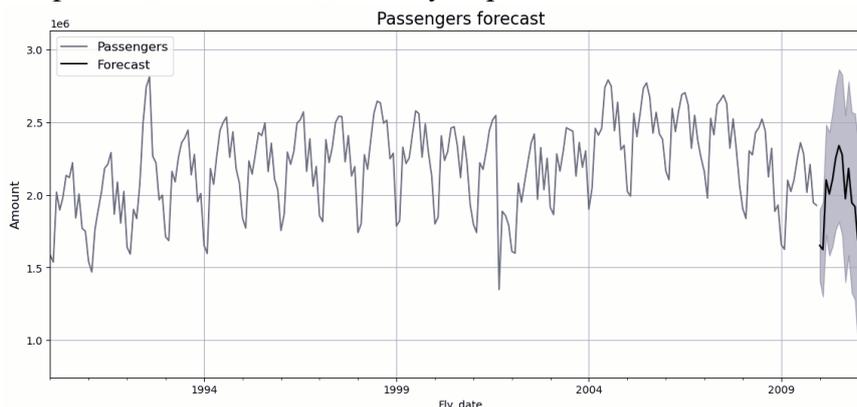


Рис. 3 Модельный прогноз

### Расчет необходимого количества датчиков.

Необходимо найти количество людей, прибывающих и отправляющихся из этого аэропорта ежедневно, и, в зависимости от этого, рассчитать нужное количество устанавливаемых датчиков. Однако, если ориентироваться на среднее значение, в дни с меньшим пассажиропотоком выработанной нажатием на напольные датчики энергии может не хватить. Поэтому правильнее в данном случае ориентироваться на минимальное значение пассажиропотока, которое составляет 1348607 пассажиров/день.

Следующим шагом следует выгрузить данные об электропотреблении аэропорта О’Хара. Так как имеется соответствующая информация лишь по аэропорту Пулково [2], можно выразить электропотребление аэропорта О’Хара через электропотребление Пулково по следующей формуле:

$$S_{use} = S_{pulkovo} * k,$$

где  $S_{use}$  - площадь исследуемого аэропорта,  $S_{pulkovo}$  - площадь аэропорта Пулково,  $k$  - отношение площади исследуемого аэропорта к площади аэропорта Пулково.

После пересчета значений для аэропорта О’Хара строится график, отражающий электропотребление по месяцам(Рис. 4).

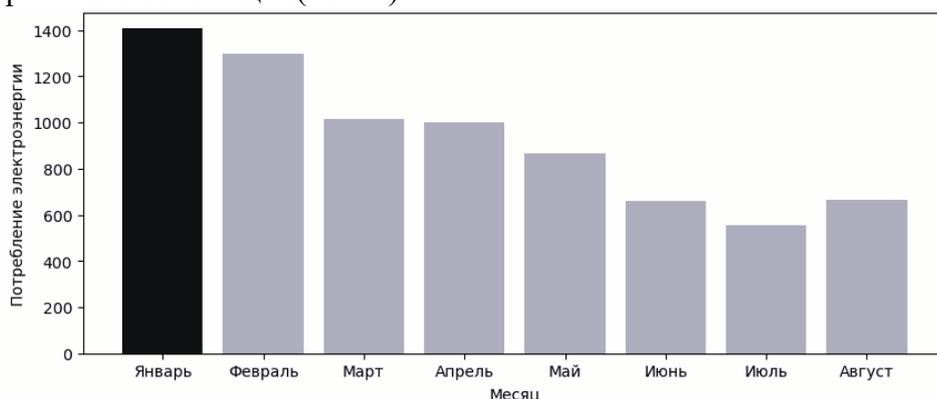


Рис. 4 Потребление электроэнергии по месяцам в аэропорту О’Хара

Максимальный столбец соответствует январю, поэтому целесообразно брать за ориентир именно это значение. Полагается, что человек наступает лишь на 10% плиток, при нажатии на каждую вырабатывается 5 вт [3].

Первоначальное количество напольных датчиков – 100 штук. Проведенное моделирование показало, что этого много, излишек составил 30% (Рис. 5а).

Оптимальное количество находится циклическим перебором. В анализируем аэропорту необходимо установить 77 плиток. Запас в этом случае составит 9.8%, что отражено на графике ниже (Рис.5б).

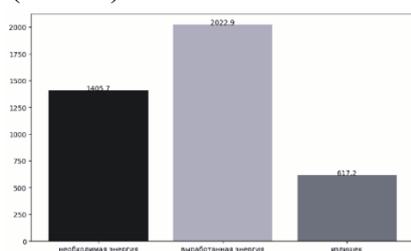


Рис.5а

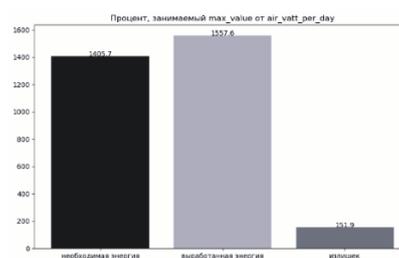


Рис.5б

Процент, занимаемый необходимой энергией от выработанной

### Расчет денежной выгоды

Последний шаг - расчет целесообразности такого нововведения. Цена за одну плитку составляет 70\$, а рассчитана она на 20 млн нажатий. Согласно расчётам, плитку надо менять 2.4 раза в год, при этом затраты составляют 1308418.5 руб.

Учитывая расходы среднего аэропорта на энергию и средний тариф, оплата электроэнергии без использования датчиков составила бы 1917256 руб. Таким образом, экономия составляет порядка 608837.4 руб.

## Разработка веб-приложения

Задача расширяется до написания на Python веб-приложения с использованием стека Flask. Пользователю предлагается ввести площадь, пассажиропоток и тариф на электроэнергию. Затем происходит подсчет и выводится результат: размер выгоды или убытка при таком нововведении на объекте.

Пример работы приложения приведен на Рис. 6-7.

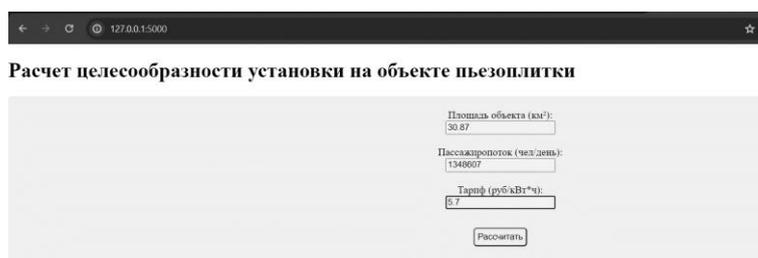


Рис.6 Пример работы приложения (введение данных пользователем)



Рис.7 Пример работы приложения (результат)

## Вывод

Данное исследование помогло вычислить коммерческую выгоду от установки пьезоплитки в аэропорту О'Хара. При грамотной установке оптимального количества таких датчиков она составляет порядка шестисот тыс. руб.

Написание веб-приложения дало возможность по некоторым вводимым пользователем параметрам оценить целесообразность такого нововведения на любом крупном объекте.

## Список литературы

1. USA Airport Dataset // Kaggle URL: <https://www.kaggle.com/datasets/flashgordon/usa-airport-dataset> (дата обращения: 27.04.2024).
2. Раскрытие информации: Электроснабжение // Пулково URL: <https://pulkovoairport.ru/about/reports/electricity/> (дата обращения: 27.04.2024).
3. Пьезоплитка – покрытие, генерирующее электричество. // Вторая индустриализация России URL: <https://xn--80aaaftebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/pezoplitka/> (дата обращения: 27.04.2024).

## СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОГО СБОРА ИНФОРМАЦИИ ОТ ДАТЧИКОВ

КОВАЛЬЧУК И.А.

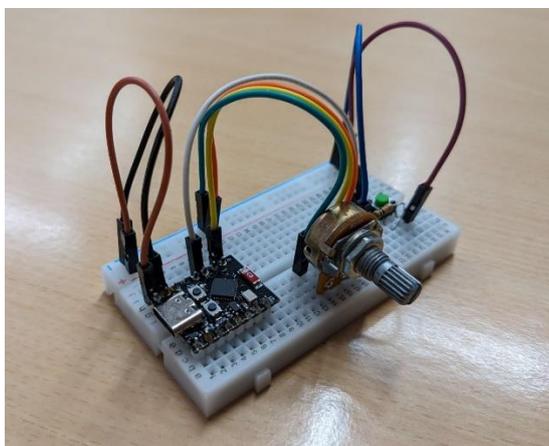
*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)*

Аннотация. В рамках проекта связанного с контролем состояния человека, решена задача беспроводного сбора информации с нескольких аналоговых датчиков. В статье показан процесс разработки системы беспроводного сбора информации: обоснован выбор микроконтроллера; показана серверная часть проекта, созданная на языке C++ с помощью программного интерфейса WinSock; представлена разработанная клиентская часть, загружаемая на микроконтроллер. Представлены результаты успешного соединения и передачи данных от клиента на сервер и вариант визуализации результатов, разработанный с использованием OpenGL. Показана возможность подключения нескольких клиентов к одному серверу, что позволяет обособить каждое устройство.

*Ключевые слова: беспроводная передача данных, клиент-серверная архитектура, OpenGL, C++, ESP32-C3*

В рамках проекта, связанного с контролем состояния человека, решается задача сбора информации от разнородных датчиков, таких как: пульсометр, датчики ЭКГ, ЭЭГ и других. Для ее решения необходимо создать систему, обеспечивающую беспроводную стабильную передачу данных с нескольких оконечных устройств на персональный компьютер для последующего анализа результатов измерений. Для построения такой системы была выбрана клиент-серверная архитектура [1], ориентированная на беспроводную передачу данных по интерфейсу Wi-Fi, и разработаны основные элементы для ее реализации.

Поскольку перечисленные датчики представляют результат в аналоговой форме, оконечные устройства должны принимать аналоговый сигнал и выполнять его оцифровку. Для передачи результатов в компьютер устройства должны иметь соответствующие аппаратные модули. Для выбора технического решения были протестированы следующие решения: плата Arduino с Wi-Fi модулем ESP8266 ESP-01 [2], плата NodeMCU с микроконтроллером Esp8266, плата Super Mini с ядром ESP32-C3 [3].



*Рис. 1. Плата Super Mini ESP32-C3 с подключенным переменным резистором и тактовой кнопкой.*

Выбор был сделан в пользу платы Super Mini с ядром ESP32-C3 в силу ее равенства по характеристикам с перечисленными вариантами, но меньшим размерам (рис. 1). Такая плата соответствует всем требованиям: имеет встроенный Wi-Fi модуля, размер, скорость и стабильность передачи данных. Она укомплектована двухрежимным Wi-Fi/Bluetooth и мощным 32-битным RISC-V процессором. Более того, ESP32-C3 Super Mini обладает низким энергопотреблением, что делает эту плату отличным вариантом в нашем проекте. Было решено использовать Wi-Fi из-за большей скорости передачи данных. Так как она использует чип ESP32-C3, то всю информацию можно было получить в технической спецификации на официальном сайте чипа Espressif.

Для реализации системы создан сервер для получения и обработки данных, отправленных с микроконтроллеров и реализована клиентская часть на базе микроконтроллера ESP32-C3 [4].

Сервер написан на языке C++ с помощью программного интерфейса Winsock [5], который определяет, как программное обеспечение сетевых приложений Windows должно получать доступ к сетевым службам, особенно TCP/IP, который использован для передачи результатов измерений. Сервер создает сокет, ожидает сообщение от клиента и возвращает его обратно. В то время, пока клиент еще не был реализован, для проверки работоспособности сервера было использовано приложение Putty (рис. 2).

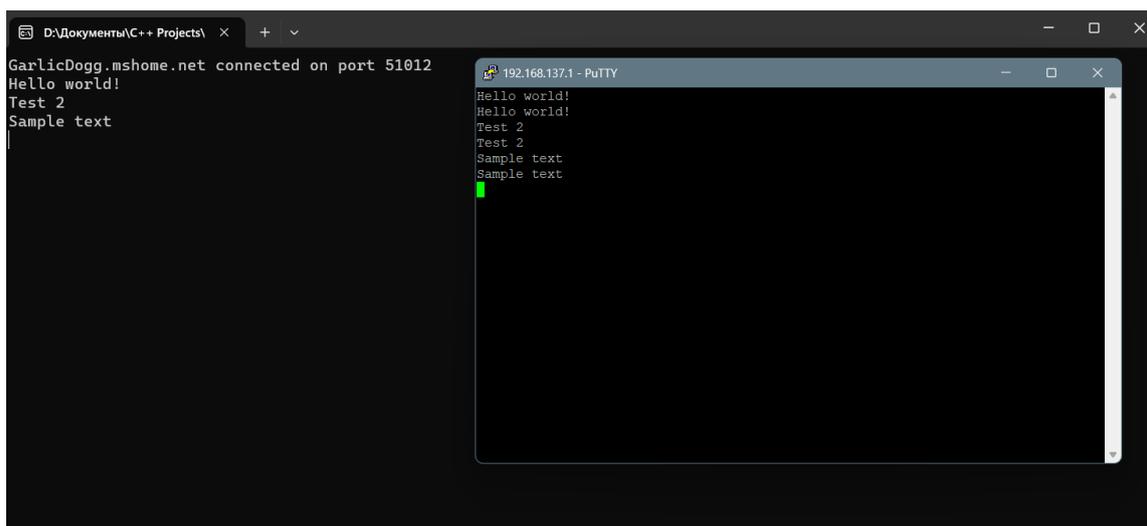


Рис. 2. Демонстрация работоспособности сервера.

После того, как тестирование сервера прошло успешно, был выполнен следующий этап работы – создана основа для реализации клиентских частей системы на микроконтроллере.

Клиентская часть также написана на языке C++ в Arduino-IDE. После настройки параметров платы была подключена библиотека для работы с Wi-Fi на платах с чипом ESP-C3. Программному обеспечению необходимо было принять на вход данные с аналоговых устройств, обработать их и, представив в выбранном формате, отправить наш сервер (рис. 3).

```
Выбрать C:\Users\Илья\Desktop\Новая папка\graph_server\x64\Debug\BarebonesServer.exe
esp32c3-375AE4.mshome.net connected on port 64316
139 120
139 180
140 120
143 120
151 120
160 180
170 180
178 180
190 120
198 180
```

Рис. 3. Демонстрация соединения и передачи данных клиента к серверу.

Когда соединение установлено, для наглядного отслеживания показаний датчиков в реальном времени необходимо создать динамический график, который будет рисоваться по мере поступления данных. Для создания графика был выбран язык C++ с использованием программного интерфейса OpenGL [6]. С помощью OpenGL можно разрабатывать приложения, использующие двумерную и трехмерную компьютерную графику. С использованием соответствующей библиотеки процесс формирования динамический график был написан и соединен с серверной частью, что позволяло переводить полученные данные в графический вид.

Также, для отслеживания состояний нескольких устройств, был реализован механизм, разделяющий полученные данные на несколько графиков.

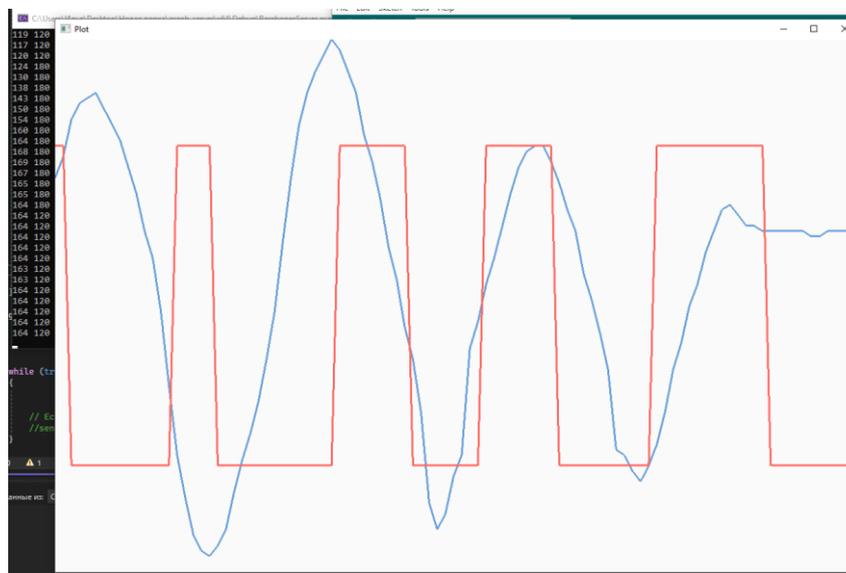


Рис. 4. Демонстрация работы динамического графика

Тестирование системы выполнялось следующим образом: был подготовлен макет с переменным резистором и тактовой кнопкой и подключен к плате (рис. 1). При вращении ручки переменного резистора изменяется сопротивление, а в следствие – напряжение. Изменения напряжения можно наблюдать на синем графике. Состояние тактовой кнопки

можно отслеживать на красном графике. По умолчанию значение кнопки – 120, при нажатии – увеличивается до 180 (рис. 4).

В ходе работ также решена задача сбора данных от нескольких микроконтроллеров, то есть реализована возможность подключения нескольких клиентов к одному серверу. Это свойство позволяет рассматривать каждое аналоговое устройство как отдельного клиента, что создает автономность между клиентами и дает возможность легкой отладки микроконтроллеров с подключенными датчиками. Был реализован механизм ввода/вывода и выполнены изменения механизма синхронных вызовов на механизм асинхронных или неблокирующих вызовов для подключения нескольких клиентов к одному серверу и чтения данных от нескольких источников.

Таким образом, в результате выполненных работ выбраны технические решения для получения данных с аналогового устройства и отправки их на сервер; написан сервер для получения и обработки данных, отправленных с микроконтроллера; создана клиентская часть для микроконтроллера; подготовлено приложение для генерации динамического графика для отображения полученных данных, а также выполнена модификация серверной части для одновременного подключения нескольких микроконтроллеров. К каждому микроконтроллеру может быть подключен датчик, обеспечивающий отслеживание определенного биосигнала, и такие устройства могут быть размещены на разных частях тела человека для непрерывного контроля его состояния.

### Список литературы

1. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание. – СПб.: Питер, 2021. – 1008 с.
2. ESP8266 Technical Reference. [Электронный ресурс]: URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical\\_reference\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf) (дата обращения: 3.03.2024)
3. ESP32-C3 Series Datasheet. [Электронный ресурс]: URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf) (дата обращения: 25.03.2024)
4. Wi-Fi API Guide. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32c3/api-guides/wifi.html> (дата обращения: 25.03.2024)
5. Winsock functions. [Электронный ресурс]: URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/winsock/winsock-functions> (дата обращения: 25.03.2024)
6. OpenGL API Documentation. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.gl/> (дата обращения: 30.03.2024)

## ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ ПРОГРАММНЫМИ СРЕДСТВАМИ

КОРАБЛЕВА М.Д.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Целью работы было создание программы для анализа качества выполнения упражнений пользователем. На основе изображения, которое фиксируется с помощью камеры пользователя за определенное время, создавая видеопоток, производится сравнение с «идеальной» техникой исполнения тренера, заранее добавленное в систему. В ходе тренировки пользователю постоянно «подсвечивается»

неправильное положение ключевой точки (в виде подвижных частей тела), обеспечивая таким образом обратную связь.

*Ключевые слова: компьютерное зрение, обработка изображений, определение поз (pose estimation)*

## Введение

Обнаружение объектов – это обширная область компьютерного зрения, которая используется по сей день во множестве обыденных для нас вещей. С развитием этой области знаний появилась необходимость в обнаружении ключевых точек, будь то тело человека полностью или отдельно: детекция конечностей или лица. В некоторых случаях использование моделей детекции ключевых точек даёт ощутимое преимущество перед обычными моделями обнаружения объектов, которые гарантируют на выходе лишь получение области, ограничивающей сам объект на изображении (boundary box). Детекция скелета может быть полезна в самых различных ситуациях (медицинской диагностике, робототехнике, технологиях виртуальной реальности и многих других), в нашем случае – в анализе качества выполнения физических упражнений.

В случае анализа качества выполнения физических упражнений, детекция скелета может помочь в оценке правильности позы, движений и техники выполнения упражнений. Такой подход позволяет самостоятельно контролировать свои движения и корректировать их для улучшения результатов. В целом, использование моделей детекции ключевых точек или скелета в области анализа физических упражнений может значительно повысить эффективность тренировок и предотвратить возможные травмы.

## Основные положения о фреймворке Mediapipe

В качестве фреймворка, в котором заложены функции распознавания объектов, выбран Mediapipe, разработанный компанией Google. Что умеет этот фреймворк: распознавать лица (face mesh), находить позы человека (pose estimation), а также отдельные конечности – руки, ноги, и многое другое.

Модель Mediapipe для предсказания поз содержит информацию о 33 точках тела человека. Разметка ключевых точек представлена на Рис.1.

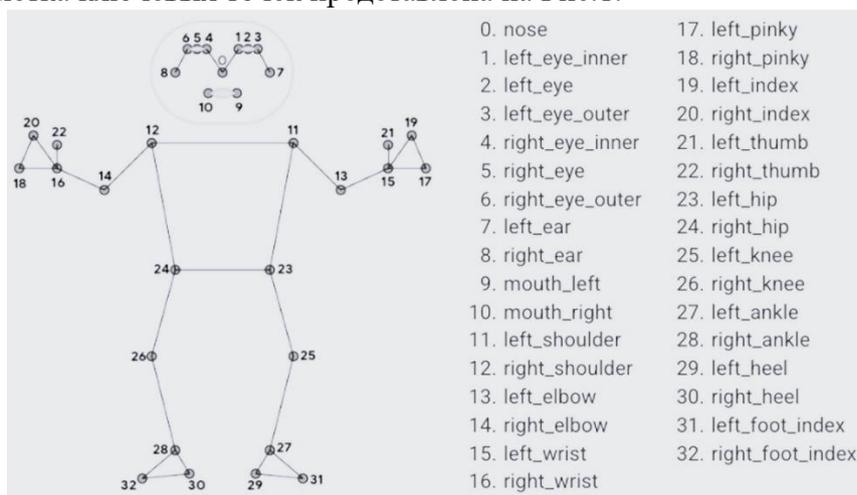


Рис. 1. Представление ключевых точек человека

Каждая из представленных точек имеет характеристики:

- Координата  $x$  – горизонтальное положение точки на изображении. Значение координаты может быть любым числом в пределах ширины изображения, где 0 обычно соответствует крайней левой точке, а максимальное значение - крайней правой точке

- Координата  $y$  – вертикальное положение точки на изображении. Значение координаты может быть любым числом в пределах высоты изображения, где 0 обычно соответствует верхней точке, а максимальное значение - нижней точке
- Координата  $z$  – глубина точки (ее удаленность от камеры). Значение может использоваться для определения трехмерного положения точки в пространстве. Значение координаты может быть положительным или отрицательным числом.
- Параметр  $visibility$  (видимость точки) равен 0, если указанной точки не видно на изображении, 1 – если она присутствует.

Используя возможности данного фреймворка, можно создать приложение, способное сравнивать позу пользователя, считываемую с изображения с камеры, с эталонным исполнением позы.

#### **Алгоритм сравнения моделей**

Для сравнения двух поз на изображениях нельзя просто сравнивать координаты  $(x, y, z)$  всех 33 точек, так как при небольшом сдвиге все точки «подсветятся» красным как неверно исполненные даже при идеальном попадании в эталонную позу. Чтобы этого избежать, необходимо сравнивать полученные модели следуя алгоритму, приведенному ниже (алгоритм сопровождается Рис.2. Необходимо отметить, что на иллюстрации отмечены только 13 точек вместо 33, так как использовать все для примера - нецелесообразно):

- 1) Из моделей необходимо изъять следующие точки и их координаты  $(x, y)$ : левое плечо, правое плечо, левое бедро, правое бедро (точки 1, 2, 3 и 4 соответственно)
- 2) Необходимо найти точки  $C_{12}$  и  $C_{34}$  таким образом, чтобы точка  $C_{12}$  была центром точек 1 и 2, а  $C_{34}$  – центром точек 3 и 4
- 3) Перебираем все ключевые точки модели. Каждой точке пользователя сопоставляем такую же точку эталонной модели (на Рис.2 представлена точка  $N$ ).
- 4) Правило: при сравнении верхней части тела (голова, руки, плечи) используется точка  $C_{12}$ , при сравнении нижней –  $C_{34}$ . Поскольку как начало отрезка выбрана точка  $N$ , относящаяся к верхней части тела, то концом отрезка будет точка  $C_{12}$ . Таким образом получим две прямые, проходящие через отрезки  $(C_{12}N)_п$  и  $(C_{12}N)_э$
- 5) Имея две прямые, можем найти угол, которые образуются между ними –  $\alpha$ . Сравнив этот угол с углом нормального отклонения –  $angular\_deviation$  (максимальное отклонение =  $15^\circ$ ), можем сделать вывод, в правильной ли позиции находится ключевая точка или нет.

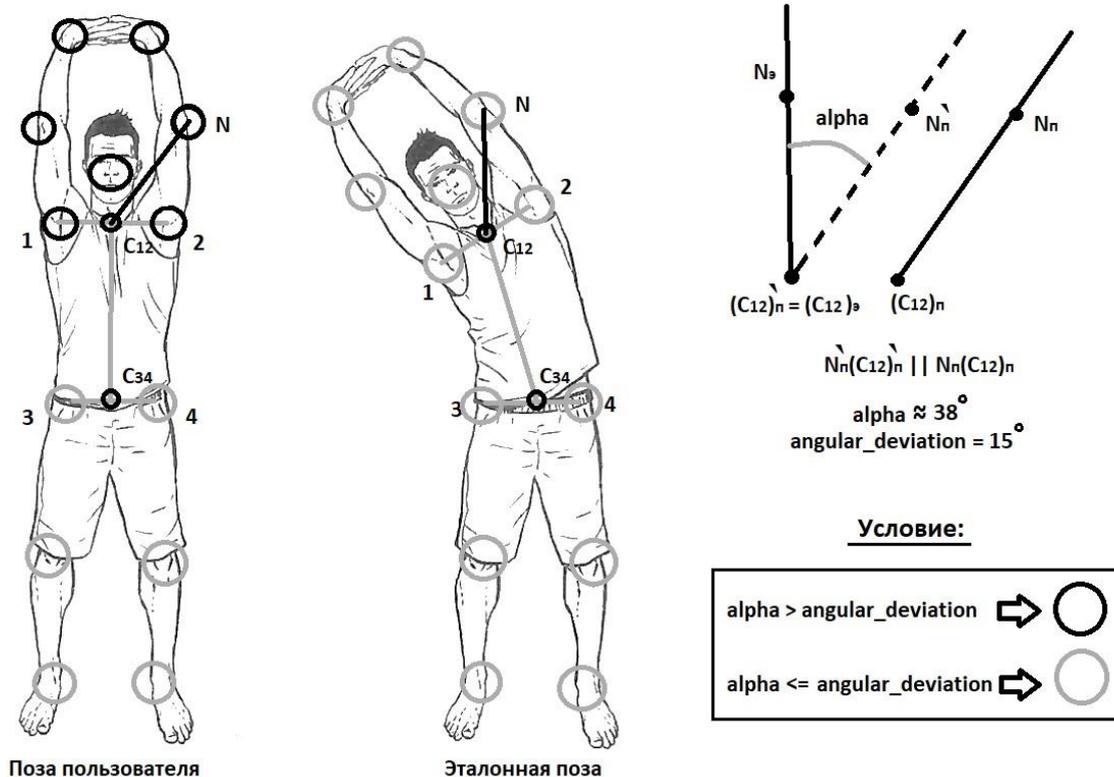


Рис. 2. Иллюстрация процесса сравнения

На Рис.2. видно, что угол  $\alpha$ , образующийся между двумя прямыми для точки  $N$  намного больше угла нормального отклонения  $\text{angular\_deviation}$ . Аналогичные действия можно провести со всеми остальными ключевыми точками туловища: так для верхней части тела все точки красные (черные), а для нижней – зеленые (серые).

### Программная реализация

На основе описанных выше решений был реализован программный продукт, который оценивает качество исполнения пользователем асан из йоги. Приложение постоянно отслеживает положение ключевых точек у пользователя, чтобы при заметном расхождении их с эталоном, они подсвечивались, и пользователь мог это заметить на расстоянии и поправить свое положение тела. Для демонстрации работы приложения можно обратиться к Рис.3 и Рис.4.

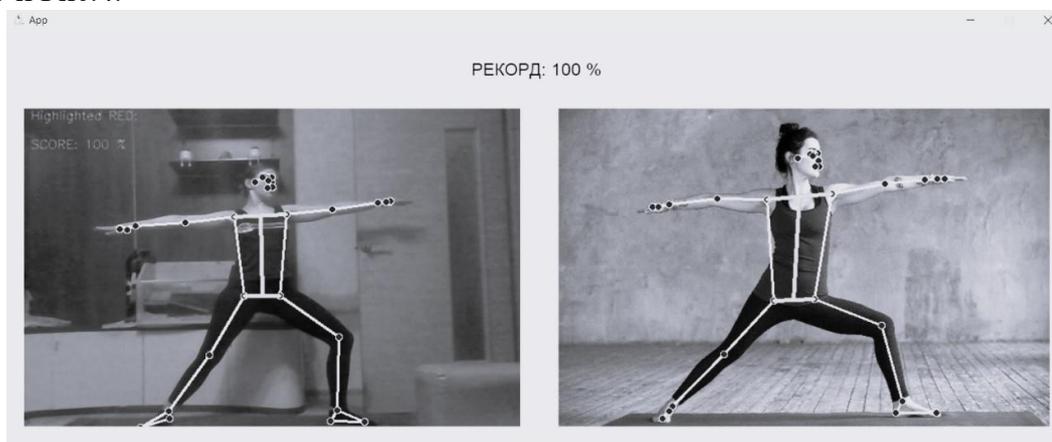


Рис. 3. Правильное исполнение асаны

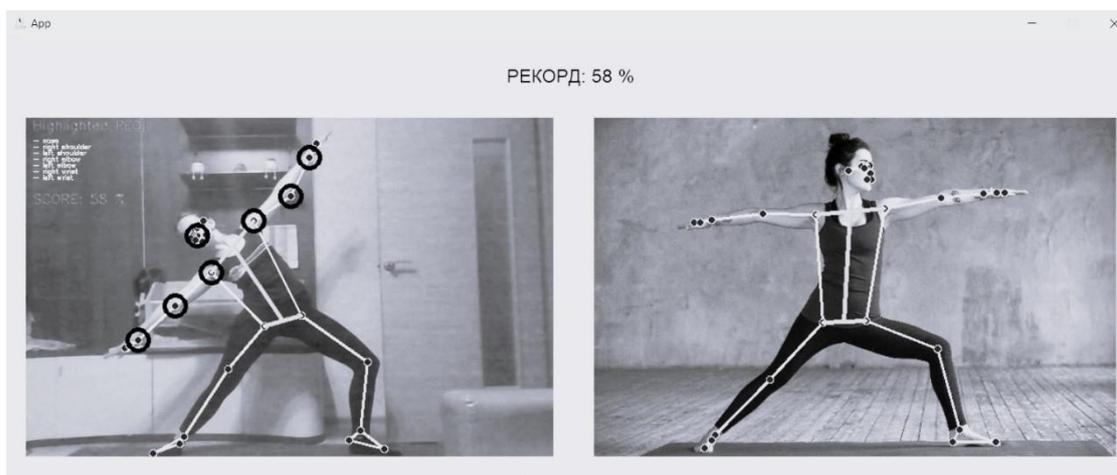


Рис. 4. Неправильное исполнение асаны

### Заключение

В результате работы было собрано приложение, которое способствует росту физической активности пользователя за счет своей простоты в пользовании (нужна всего лишь рабочая камера), мгновенной обратной связи (при неправильном выполнении техники приложение мгновенно укажет пользователю на ошибку) и гибкости графика, ведь его выбирает сам пользователь.

### Список литературы

1. Mediapipe Solution Guide | Google for Developers. [Электронный ресурс]. URL: <https://developers.google.com/mediapipe/solutions/guide> (дата обращения: 15.04.23).
2. Github Mediapipe Pose. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/google/mediapipe/blob/master/docs/solutions/pose.md> (дата обращения: 16.04.23).
3. История компьютерного зрения | Telecom & IT. [Электронный ресурс]. URL: <https://shalaginov.com/2020/05/16/computer-vision-history/> (дата обращения: 15.04.23).

## ПРИМЕНЕНИЕ GRAPHQL ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

МИХАЙЛОВ М.С., КУЗЬМИН С.А.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** Работа посвящена использованию GraphQL при разработке клиент-серверных приложений. В статье даётся обзор основ GraphQL. Описываются преимущества применения GraphQL по сравнению с традиционным REST API. Приводится пример запроса клиента и ответ сервера на основе GraphQL.

*Ключевые слова:* веб-приложение, клиент-серверное взаимодействие, GraphQL, REST API.

### Введение

При разработке веб-приложений особое внимание уделяется механизму взаимодействия между клиентом и сервером. Одним из известных подходов к организации клиент-серверного взаимодействия является архитектурный стиль REST API, который позволяет унифицировать все клиентские запросы к серверу. При этом, на каждый запрос клиента на стороне сервера надо создавать собственный эндпоинт (конечную точку). Но этот подход имеет и ряд недостатков. В частности, невозможно в клиентском запросе уточнить конкретные запрашиваемые поля. А сложные запросы могут потребовать обращение к нескольким эндпоинтам.

В данной статье предлагается использовать GraphQL, который позволяет решить большинство обозначенных выше проблем REST API за счёт более простой и гибкой организации клиентских запросов.

### **Основы GraphQL**

В основе GraphQL лежит схема. В ней описываются все существующие типы данных, связи между ними, а также способы получения данных с сервера. Важно отметить, что вся схема является типизированной. Изначально существует небольшой набор встроенных типов, но в зависимости от потребностей можно создавать собственные типы.

Внутри схемы существует три корневых типа: query, mutation и subscription. Query позволяет запрашивать данные, mutation – изменять данные, а subscription – подписываться на определённые события. Проектирование API осуществляется при помощи расширения корневых типов собственными полями, в которых указываются входные аргументы запроса, логика получения данных, а также возвращаемые запросом типы данных. По мимо этого, схема может служить в качестве документации для созданного API. При её конструировании можно задавать поля, которые будут предоставлять текстовое описание для всех сущностей. Встроенные инструменты позволяют быстро разобраться любому разработчику в созданной схеме.

Реализация логики запросов к базам данных осуществляется при помощи специальных методов, называемых «резолверами» (от англ. resolvers). Внутри них осуществляются любые операции, необходимые для получения данных, независимо от формата получаемых и возвращаемых запросом данных. Такая структура позволяет извлекать данные из любых источников.

### **Преимущества GraphQL**

Одним из основных преимуществ GraphQL является его гибкость в формировании клиентских запросов. В отличие от REST API, где каждый эндпоинт обычно предоставляет фиксированный набор данных, GraphQL позволяет клиентам запрашивать только необходимую информацию. При формировании клиентского запроса явно указываются необходимые для получения поля. Это позволяет сократить количество запросов и получить только нужные данные, что повышает производительность приложения.

В REST API каждый ресурс имеет свой URI и методы (GET, POST, PUT, DELETE) для выполнения операций на нём. Это может привести к неоднородности в API, особенно если приложение становится более сложным. В GraphQL все запросы отправляются на один единственный эндпоинт, что делает интерфейс более однородным и понятным для разработчиков.

В случае, если клиенту требуется информация из нескольких ресурсов, то в REST API ему придется отправить несколько запросов на сервер, что может привести к избыточной нагрузке. GraphQL позволяет объединять данные из различных источников в одном запросе. Этот механизм основан на выполнении вложенных запросов. Это позволяет сократить количество запросов к серверу и уменьшить нагрузку на сеть.

Одной из проблем REST API является необходимость изменения схемы данных. При добавлении новых полей или ресурсов в API клиенты могут столкнуться с проблемами обратной совместимости. В GraphQL схема данных описывается явно и централизованно, что упрощает процесс изменения и эволюции API без нарушения совместимости.

## Управление состоянием приложения на стороне клиента

GraphQL предоставляет возможность создания хранилища на клиенте. Это позволяет избавиться от дополнительных библиотек для работы с состоянием на уровне клиента. В этом хранилище ответы сервера могут быть кэшированы и нормализованы, а затем они могут быть использованы для отображения в клиентском приложении. Также, при необходимости, мы можем добавлять в хранилище собственные данные, которые существуют только на клиенте и выполнять операции над ними.

## Пример запроса на основе GraphQL

На рис. 1-5 показана организация клиент-серверного взаимодействия по запросу поиска родительских классов для заданного класса онтологии на основе GraphQL.

```
type Mutation {
  addClass(name: String!): String
  addSubClass(objectClass: String!, subjectClass: String!): String
}

type PrefixObject {
  namespace: String!
  prefix: String!
}

type Query {
  """Get all classes existing in repository"""
  getClasses: [String]
  """get all subclasses of specific class"""
  getClassSubClassOf(
    """class to find its subclasses"""
    class: String!
  ): [String]
}
```

Рис. 1. Код с корневыми типами Query и Mutation схемы GraphQL API

```
export const GET_CLASS_SUBCLASSOF = gql(`
query Query($class: String!) {
  getClassSubClassOf(class: $class)
}
`);
...
const [getSubclasses, { loading }] = useLazyQuery(GET_CLASS_SUBCLASSOF, {
  fetchPolicy: "no-cache",
});
useEffect(() => {
  setClass(inputClass);
  getSubclasses({
    variables: {
      class: inputClass,
    },
    context: {
      headers: {
        repository: params.id,
      },
    },
  })
  .then((res) => {
    setSubClasses(res.data.getClassSubClassOf);
  })
  .catch((err) => {
    console.log(err.message);
  });
});
...

```

Рис. 2. Код запроса на стороне клиента

(в первой части происходит формирование строки запроса, во второй части – его асинхронное выполнение)

```
export const getClassSubClassOf = queryField("getClassSubClassOf", {
  type: list("String"),
  args: {
    class: nonNull(stringArg({ description: "class to find its superclasses" })),
  },
  description: "get all superclasses of specific class",
  async resolve(_, args, ctx) {
    let result = null;
    try {
      result = await ctx.graphDB.query(
        `
        SELECT ?superClass
        WHERE {
          ?superClass rdf:type owl:Class .
          ${ctx.prefix}:${args.class} rdfs:subClassOf ?superClass.
        }
        `
      );
      { transform: "toJSON" },
    );
  } catch (error: unknown) {
    if (axios.isAxiosError(error)) {
      return `Axios error: ${error.message}`;
    } else {
      return `Unknown error`;
    }
  }
  return result;
});
```

Рис. 3. Код обработчика запроса (резолвера) на стороне сервера (вначале описываются аргументы запроса, далее идёт обращение к GraphDB со SPARQL-запросом, потом ответ от СУБД возвращается клиенту)

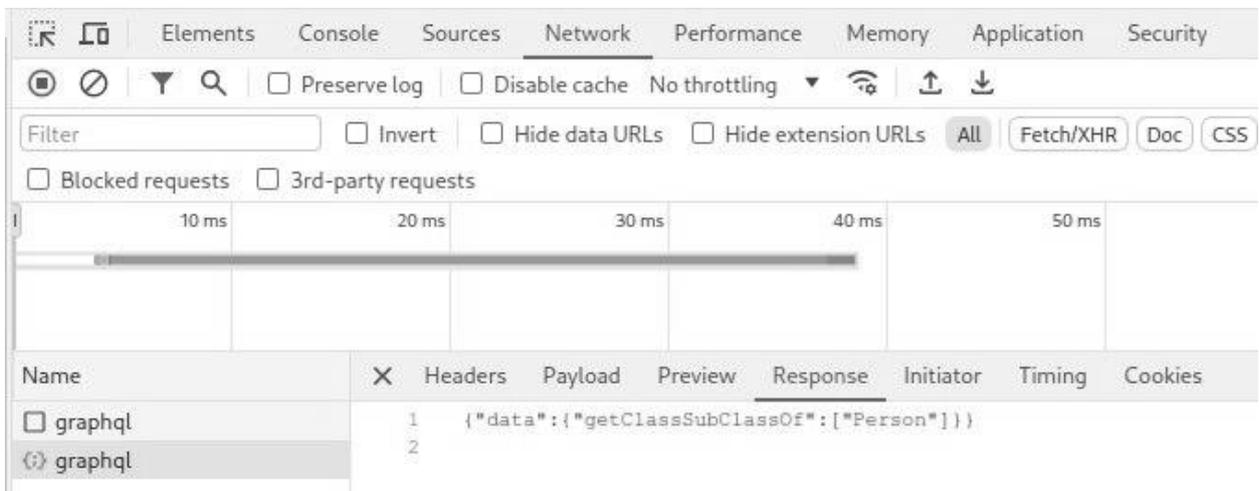


Рис. 4. Просмотр данных из ответа сервера в формате JSON (в инструментах разработчика браузера)

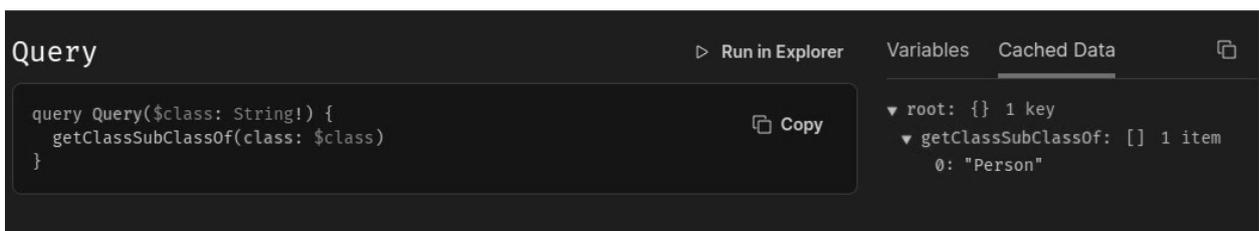


Рис. 5. Просмотр содержания кэша Apollo Client с ответом, полученным от сервера

## Выводы

GraphQL позволяет решать многие проблемы, с которыми сталкиваются разработчики веб-приложений при использовании REST API. Помимо этого, он делает процесс разработки API более гибким, понятным и простым. Уже сейчас GraphQL используют множество компаний, такие как Github, Netflix, Patreon и др. Однако у GraphQL также существуют и свои проблемы, такие как: сложности при работе с файлами, плохая производительность высоконагруженных систем и т.д. Но GraphQL и не пытается заменить собой REST API – напротив, мы можем использовать оба этих метода организации клиент-серверного взаимодействия, в каждом случае выбирая тот, который будет наиболее эффективно решать поставленные задачи.

## Список литературы

1. REST API Tutorial. URL: <https://restfulapi.net/> (дата обращения: 10.04.2024 г.).
2. GraphQL Specification. URL: <https://spec.graphql.org/October2021/> (дата обращения: 15.04.2024 г.).
3. Алекс Бэнкс, Ева Порселло. GraphQL: язык запросов для современных веб-приложений. Питер. – 2019. – С. 240.
4. Nabendu Biswas. Practical GraphQL: Learning Full-Stack GraphQL Development with Projects. O'Reilly Media, 2023.
5. Introduction to Apollo Server. URL: <https://www.apollographql.com/docs/apollo-server/> (дата обращения: 17.04.2024 г.).
6. Introduction to Apollo Client. URL: <https://www.apollographql.com/docs/react> (дата обращения 23.04.2024 г.).
7. SPARQL 1.1 Update. URL: <https://www.w3.org/TR/sparql11-update/> (дата обращения: 18.04.2024 г.).
8. GraphDB 10.6 Documentation. URL: <https://graphdb.ontotext.com/documentation/10.6/> (дата обращения: 19.04.2024 г.).
9. Standard ECMA-404. The JSON Data Interchange Syntax. 2<sup>nd</sup> Edition / December 2017. URL: [https://ecma-international.org/wp-content/uploads/ECMA-404\\_2nd\\_edition\\_december\\_2017.pdf](https://ecma-international.org/wp-content/uploads/ECMA-404_2nd_edition_december_2017.pdf) (дата обращения: 21.04.2024 г.).

## МОДУЛЬ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕИНВАЗИВНОГО КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ПОТОКА В ТРУБОПРОВОДЕ

Носов И.С.

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

**Аннотация.** В статье рассмотрена задача аппаратной реализации модуля сбора данных с аналоговых датчиков. Он включает в себя блок аналого-цифрового преобразования на базе микросхемы АЦП AD7386 и цифровой интерфейсный модуль, реализующий управление аналого-цифровым преобразователем: выполняющим конфигурацию АЦП и прием оцифрованных данных; запись оцифрованных данных в память; передачу данных в компьютер с использованием аппаратно реализованного контроллера, обеспечивающего MAC уровень Ethernet протокола. Показана структура проекта, реализованного на ПЛИС, описаны использованные компоненты и алгоритм их взаимодействия. В результате реализации модуля на микросхеме Cyclone 10LP обеспечивается сбор данных с частотой выборок не менее  $4 \cdot 10^6$  отсчетов в секунду с разрешением не менее 16 бит и их передача в компьютер со скоростью 1 Гбит/с.

*Ключевые слова:* устройство аналогового ввода, аналого-цифровой преобразователь, АЦП, измерительный канал, FPGA, Ethernet

Цель работы – разработать двухканальный модуль сбора данных, выполняющий оцифровку аналогового сигнала с частотой выборок не менее  $4 \cdot 10^6$  отсчетов в секунду с разрешением не менее 16 бит и ввод полученных данных в персональный компьютер.

Модуль сбора данных обеспечивает синхронный прием аналоговых сигналов от группы датчиков, оцифровку аналоговых сигналов, формирование массивов цифровых данных и передачу этих массивов в персональный компьютер. В состав модуля сбора данных входят следующие блоки:

- 1) блок аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который обеспечивает оцифровку аналоговых сигналов, поступающих на вход системы;
- 2) цифровой интерфейсный модуль (ЦИМ), обеспечивает сбор данных от АЦП, формирование кадров и их передачу на персональный компьютер.

Архитектура модуля сбора данных, соответствующая схеме типовой многоканальной измерительной системы [1], показана на рис. 1.

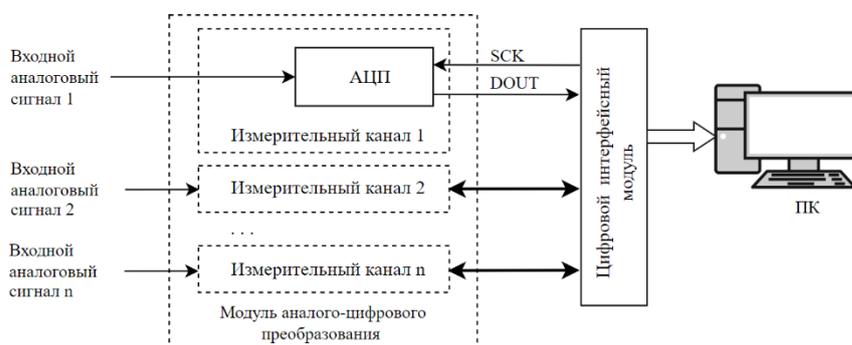


Рисунок 1 – Архитектура модуля сбора данных

Для удовлетворения техническим требованиям в качестве модуля АЦП могут быть использованы следующие преобразователи.

1. AD7386 компании Analog Devices [2] – 4-х каналный аналого-цифровой преобразователь, удовлетворяющий требованиям по разрешающей способности и быстродействию, однако в этом преобразователе выборка может идти только по 2 каналам одновременно. Переключение между каналами выполняется с использованием мультиплексора. Для передачи оцифрованных значений в преобразователе использован последовательный интерфейс с двумя отдельными выводами данных. Диапазон входных аналоговых сигналов AD7386 составляет от 0 В до  $V_{ref}$ .

2. Псевдобиполярный преобразователь ADS8422 с полностью дифференциальным входом [3]. Опорное напряжение равно 4,096 В. Этот АЦП имеет параллельный интерфейс передачи данных, что требует большого количества линий для передачи данных.

3. AD9446 компании Analog Devices [4], являющийся монолитным аналого-цифровым преобразователем с 16-разрядной дискретизацией и встроенной схемой слежения и удержания. Микросхема работает на частоте до  $100 \cdot 10^6$ . Для работы преобразователя требуются источники питания 3,3 В и 5,0 В, а также низковольтный дифференциальный входной тактовый генератор.

По результатам анализа характеристик рассмотренных преобразователей, для разработки модуля аналого-цифрового преобразования выбрана микросхема AD7386. Схема преобразователя приведена на рис. 2.

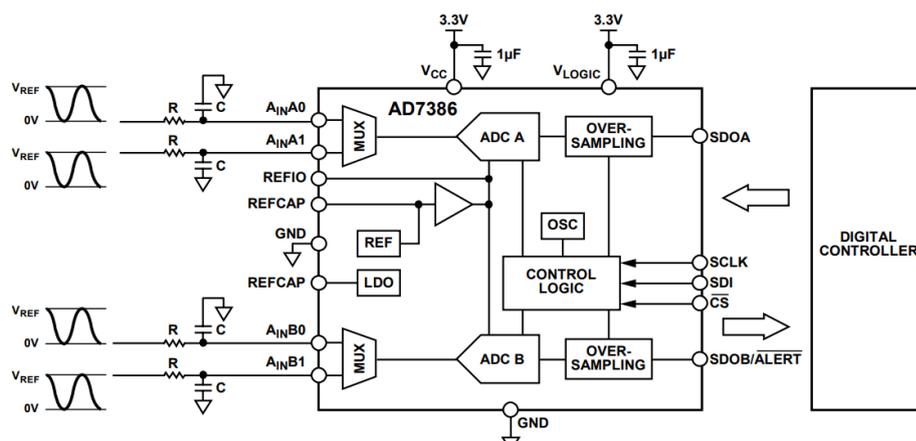


Рисунок 2 – Схема аналого-цифрового преобразователя

Результат преобразования представляет прямой двоичный код, передаваемый, начиная со старшего значащего разряда. Вес младшего значащего разряда определяется как  $(V_{REF})/2^n$ , где  $n$  – разрешение АЦП. При этом разрешение АЦП определяется тем, включен ли режим повышения разрешения и может составлять 16 или 18 бит.

Упрощенный протокол передачи результатов оцифровки по последовательному каналу показан на рис. 3.

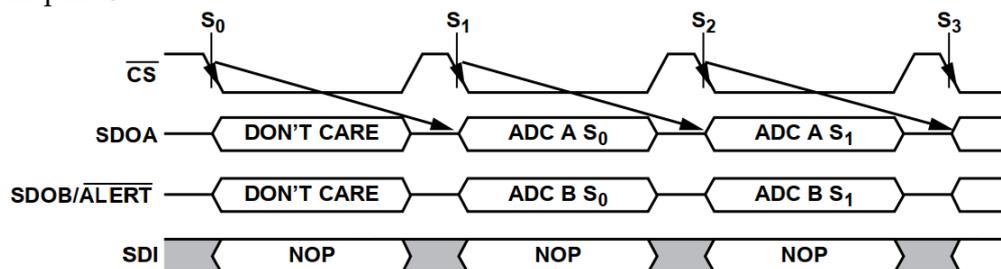


Рисунок 3 – Передача результатов оцифровки

Цифровой интерфейсный модуль обеспечивает сбор данных от аналого-цифровых преобразователей через интерфейс, определяемый выбранным аналого-цифровым преобразователем, формирует пакеты данных и обеспечивает их передачу в персональный компьютер. Передача данных в ПК осуществляется с использованием сетевого интерфейса Ethernet. Он обеспечивает высокую скорость передачи данных, допускает организацию связи между двумя любыми устройствами и отличается простотой реализации.

Учитывая специфику решаемой задачи, предполагающей параллельный синхронный съем информации от нескольких источников с использованием типового интерфейса, коммутирование потоков данных и последующую передачу данных в ПК, наиболее эффективное решение связано с применением программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Общая структура проекта изображена на рис. 4, на ней изображены ключевые модули, а также микросхемы, которые взаимодействуют с ПЛИС.

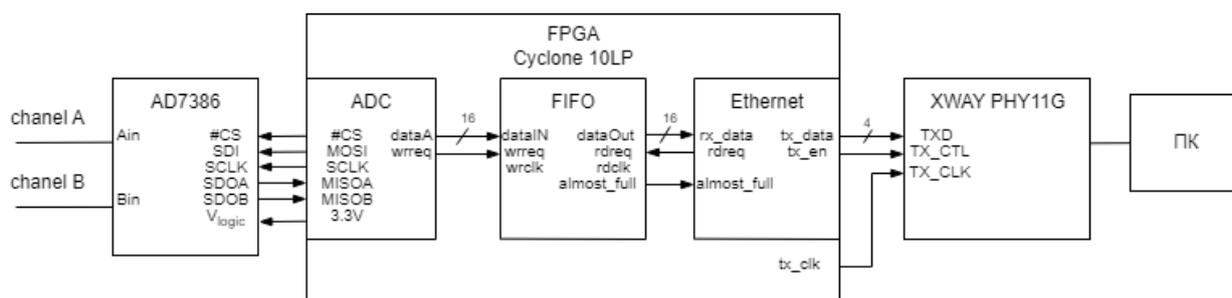


Рисунок 4 – Структура проекта

Модуль управления АЦП называется ADC. Для взаимодействия ПЛИС с AD7386 в модуле ADC был реализован последовательный интерфейс SPI [5], с помощью которого можно как сконфигурировать АЦП, так и прочитать из него данные.

Далее принятые данные от одного из каналов идут в модуль FIFO [6]. Данный модуль состоит из готового IP-компонента от Altera, это значительно ускоряет разработку, а также улучшает оптимизацию, так как модуль разработан специально для продукции данной компании. FIFO представляет из себя память, у которой данные пришедшие первыми, первыми и уходят. В данном случае используется двухпортовая версия, так как частота работы SPI отличается от частоты работы Ethernet. Даже здесь использование готового модуля облегчает проектирование, при настройке компонента можно выбрать количество триггеров для синхронизации работы всего проекта. FIFO используется в режиме show-ahead, что упрощает чтение записанных данных.

После того как буфер FIFO на 1 кбайт подает сигнал о своей наполненности, начинается работа модуля Ethernet, который отвечает за передачу оцифрованных данных на ПК. Данный модуль реализует MAC-уровень Ethernet протокола [7], то есть в нем формируется преамбула, IP-заголовок, сами данные и под конец передается рассчитанная контрольная сумма. Передача данных осуществляется с помощью микросхемы физического уровня, которая обеспечивает связь между MAC и PHY. В данном случае используется RGMII интерфейс [8], он позволяет достичь скорости передачи в 1 Гбит/с, используя как передний, так и задний фронт тактирующей частоты для передачи данных. Для корректной работы с микросхемой физического уровня используется готовый IP-компонент от Altera ALTDDIO\_OUT, он позволяет раскладывать приходящий на него сигнал по двум фронтам, за счет чего частота работы модуля Ethernet и частота, подаваемая на микросхему физического уровня, будут отличаться только фазовым сдвигом. Работа всех модулей контролируется с помощью конечных автоматов (FSM) написанных на языке Verilog.

Отладка разработанных модулей выполнялась в системе ModelSim Altera. Для макетных экспериментов использовалась отладочная плата Cyclone® 10 LP FPGA Evaluation Kit, отладка проекта проводилась с помощью встроенных средств разработки. Основным отладочным средством был SignalTap, который позволяет посмотреть поведение сигнала как внутри ПЛИС, так и на выходных контактах. Для контроля работы выходного буфера ALTDDIO\_OUT использовался осциллограф, с помощью которого удалось убедиться, что данные действительно передаются от ПЛИС на микросхему, так как выход данного буфера нельзя посмотреть в SignalTap.

Поступление данных в ПК контролировалось с использованием программы-анализатора трафика для компьютерных сетей WireShark [9], а скорость поступления данных отслеживалась в диспетчере задач Windows.

В результате разработан проект, имплементируемый в ПЛИС, который выполняет следующие функции: осуществляет первичную настройку платы аналого-цифрового преобразователя; выполняет непрерывный прием данных от АЦП по интерфейсу SPI, сохраняя результаты оцифровки в промежуточный буфер; по мере заполнения буфера производит передачу массива цифровых данных в персональный компьютер по каналу Ethernet. Модуль может быть использован для подключения различных сенсоров с аналоговым выходом, в частности акустических датчиков, применяемых для неинвазивного контроля потока жидкости в трубопроводе.

## Список литературы

1. Информационно-измерительные преобразователи киберфизических систем: учебное пособие для вузов / Н. М. Сафьянников, О. И. Буренева, А. Н. Алипов – СПб.: Издательство «Лань», – 2020. 236 с.: ил.
2. 4-Channel, 4 MSPS, 16-Bit Dual Simultaneous Sampling SAR ADC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7386.pdf>
3. 16-bit, 4-msps, pseudo-bipolar, fully differential input, micropower sampling analog-to-digital converter with parallel interface, reference [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/product/ADS8422>
4. 16-Bit, 80 MSPS / 100 MSPS A/D Converter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad9446.pdf>
5. Основы работы с последовательным периферийным интерфейсом (SPI) / Д. О. Варламов, С. М. Зуев, Ю. М. Шматков, А. А. Лавриков, А. А. Тимошенко – М.: Издательство НИЦ ИНФРА-М, – 2020. 66 с.: ил.
6. Intel. FIFO Intel FPGA IP User Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intel.com/content/dam/support/us/en/programmable/kdb/pdfs/literature/ug/ug-fifo.pdf>
7. IEEE Standards Association. Standard Group MAC Addresses: A Tutorial Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/tutorials/macgrp.pdf>
8. Reduced Gigabit Media Independent Interface (RGMI) [https://community.nxp.com/pwmxy87654/attachments/pwmxy87654/imx-processors/161773/1/OPEN\\_RGMI\\_EPL\\_V\\_2%202020public.pdf](https://community.nxp.com/pwmxy87654/attachments/pwmxy87654/imx-processors/161773/1/OPEN_RGMI_EPL_V_2%202020public.pdf)
9. Wireshark · Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wireshark.org/docs/>

## РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ГОРЯЧЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПЛК

ПАНАСЕВИЧ М.С., ГУЛЬВАНСКИЙ В.В., БАЛАКИРЕВ И.Д.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

*им. В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В данной работе приведены основные современные подходы к построению АСУ ТП. Рассмотрена архитектура распределенной системы, использующая SCADA систему и ПЛК, и основной ее недостаток. Разработаны алгоритмы восстановления работоспособности системы в случае отказа одного или нескольких ПЛК без участия SCADA и прочих структур помимо ПЛК. Проведено компьютерное моделирование в среде MATLAB/Simulink, показавшее корректную работу алгоритмов. Описаны особенности реализации алгоритмов на реальных ПЛК.

*Ключевые слова:* ПЛК, АСУ ТП, горячее резервирование, Modbus

### Введение

В настоящее время рынок АСУ ТП в России стремительно развивается, что связано с ходом развития четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0). Термин Индустрия 4.0 впервые был представлен в 2011 г. в одной из инициатив по повышению

конкурентоспособности Германии в обрабатывающей промышленности. Одной из основ Индустрии 4.0 являются кибер-физические системы, включающие в себя интеллектуальные машины, системы хранения и производственные объекты, способные автономно обмениваться информацией, запускать определенные действия и самостоятельно контролировать друг друга. [1]

Активное развитие беспроводных технологий, облачных вычислений и рост вычислительных возможностей современных ПЛК сделали возможным появление новых подходов к построению АСУ ТП. В соответствии с первым подходом ПЛК совершают базовую обработку данных, которые затем отправляют на облачные серверы для проведения тяжелых вычислений. Второй подход подразумевает использование edge-вычислений и требует высокой производительности ПЛК, которую могут обеспечить современные модели.

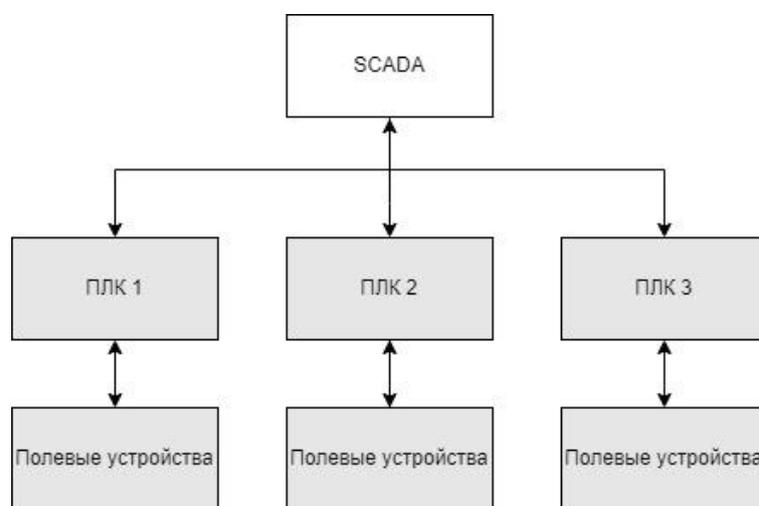


Рис. 1. Архитектура распределенной системы управления с использованием SCADA системы и ПЛК

### Описание проблемы

В системах с архитектурой, показанной на рис. 1, существует серьезный недостаток. При выходе одного или нескольких контроллеров из строя, нарушается работа части системы. Если SCADA предусматривает такой сценарий, она обнаружит неисправность, сообщит об этом оператору и может предпринять необходимые действия, например перераспределить нагрузку между исправными контроллерами, сохранив тем самым контроль над технологическим процессом. Хуже, если соединение со SCADA системой будет потеряно одновременно с выходом из строя контроллера. В этом случае быстро восстановить работу системы не получится, а оператор может даже не узнать о неисправности, пока не станет слишком поздно. Таким образом, стоит задача обеспечить работоспособность системы при выходе из строя одного или нескольких ПЛК. При этом механизм восстановления работы системы должен быть независим от SCADA системы.

### Описание разработанного алгоритма

Рассматривается система, состоящая из трех ПЛК и одного объекта управления. При этом каждый контроллер имеет возможность в полном объеме управлять объектом. Это возможно благодаря высокой производительности современных ПЛК. Объект управления представляет собой панель оператора, на которой расположены три ряда индикаторов.

Каждый ряд обслуживается единственным контроллером. Каждый контроллер может обслуживать более одного ряда вплоть до всех трех.

ПЛК при взаимодействии между собой используют модель «ведущий-ведомый» (master/slave). Ведущий контроллер циклично производит опрос ведомых, может считывать из них и записывать в них данные. Важно отметить, что только ведущее устройство в данной модели взаимодействия может инициировать обмен.

Система в любой момент должна иметь информацию о своем состоянии. Каждый контроллер может выйти из строя в любой момент. Хранение состояния в ведущем контроллере создает единую точку отказа. Следовательно, каждый контроллер должен хранить в себе текущие состояние системы. Дополнительно каждый контроллер должен хранить информацию о том, какие линии он должен обслуживать. Можно сформулировать набор данных, который должен храниться в каждом контроллере:

- ID контроллера;
- ID ведущего контроллера;
- Состояние системы;
- Состояние обслуживания.

Благодаря наличию ID у каждого контроллера, состояние системы и состояние обслуживания возможно представить компактно, закодировав при помощи двоичного кода. В таб. 1 представлены коды состояний системы.

Таблица 1

Состояние	ПЛК1	ПЛК 2	ПЛК 3
7	вкл.	вкл.	вкл.
6	вкл.	вкл.	выкл.
5	вкл.	выкл.	вкл.
4	вкл.	выкл.	выкл.
3	выкл.	вкл.	вкл.
2	выкл.	вкл.	выкл.
1	выкл.	выкл.	вкл.

Аналогичная таблица построена для состояний обслуживания. В этом случае столбцы 2-4 отвечают линиям индикаторов, а значения в ячейках – обслуживает ли контроллер соответствующую линию.

В таб. 2 представлены функции, выполняемые контроллерами в зависимости от их роли в системе.

Таблица 2

Роль	Функции
Ведущий (Master)	проверка активности ведомых устройств, диспетчеризация нагрузки, управление своей частью объекта
Ведомый (Slave)	проверка активности ведущего, переход в статус ведущего при выходе его из строя, управление своей частью объекта

Процедура диспетчеризации имеет представление в виде таб. 3. В зависимости от состояния системы каждому контроллеру присваивается свое состояние обслуживания.

Состояние системы	Состояние обслуживания		
	ПЛК 1	ПЛК 2	ПЛК 3
1	0	0	7
2	0	7	0
3	0	6	1
4	7	0	0
5	6	0	1
6	6	1	0
7	4	2	1

### Компьютерное моделирование

Для проверки работоспособности алгоритма была построена компьютерная модель в среде MATLAB/Simulink. Все описанные ранее функции реализованы в рамках единого функционального блока, общего для всех контроллеров. Модель позволяет включать и отключать желаемые контроллеры нажатием кнопок на экране и наблюдать изменения в поведении системы. Все важные события выводятся в окно диагностики. Компьютерная модель продемонстрировала ожидаемое поведение и корректную работу разработанных алгоритмов. Система обнаруживает выход контроллеров из строя и надлежащим образом производит диспетчеризацию, восстанавливая управление процессом. В случае восстановления работоспособности контроллера он снова встраивается в систему автоматически.

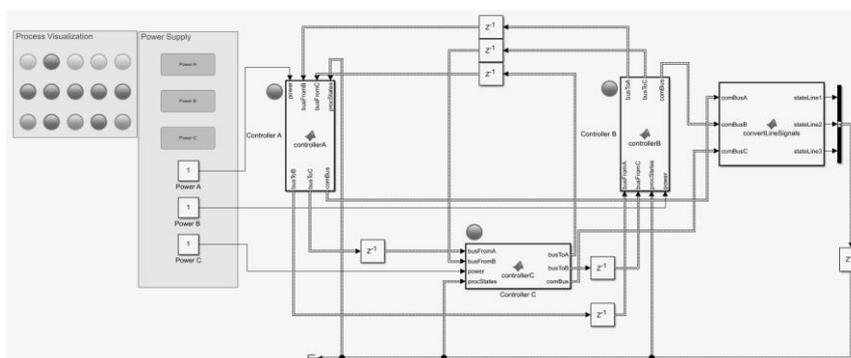


Рис. 2 Модель системы в MATLAB/Simulink

### Описание реализации

Для реализации обмена информацией между контроллерами использован протокол Modbus TCP. Modbus – открытый коммуникационный протокол, основанный на архитектуре ведущий – ведомый. Широко применяется в промышленности для организации связи между электронными устройствами. [2] Существует 3 формата данного протокола: Modbus ASCII, Modbus RTU, Modbus TCP. Последний предназначен для передачи данных в сетях TCP/IP и поддерживает наличие в одной сети несколько ведущих устройств. Данная возможность используется для того, чтобы ведомое устройство могло взять на себя роль ведущего при выходе последнего из строя. Каждый контроллер заранее настроен на обмен в обоих режимах и по необходимости роль ведущего передается от одного ПЛК к другому.

### **Заключение**

В результате работы были созданы алгоритмы, позволяющие восстанавливать функционирование распределенной системы только силами ПЛК без участия SCADA системы или любой другой структуры. Для проверки работоспособности алгоритмов была построена модель в среде MATLAB/Simulink. Данная модель продемонстрировала желаемое поведение системы. Алгоритмы были реализованы для системы из трех ПЛК следующих моделей: ОВЕН ПЛК210, Элсима-M01, Samkoon FAs-32MT-AC. Для связи между контроллерами был использован протокол Modbus TCP. Система из реальных контроллеров также продемонстрировала желаемое поведение.

### **Список литературы**

1. Фомина А. В., Мухин К. Ю. Индустрия 4.0. Основные понятия, преимущества и проблемы //Экономический вектор. – 2018. – №. 3 (14). – С. 33-38.
2. Modbus [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Modbus> (дата обращения: 29.04.2024).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЛК НА ОСНОВЕ ARM ПРОЦЕССОРОВ**

ПУШКОВ К.С., ГУЛЬВАНСКИЙ В.В., БЫСОВ Ф.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

*им. В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Стандарт IEC 61131 получил широкое признание в области промышленной автоматизации. Однако утверждается, что на сегодняшний день стандарт не отвечает новым требованиям, предъявляемым к сложным промышленным системам, которые включают, среди прочего, переносимость, интероперабельность, возможность повторного использования и распространения. Чтобы устранить эти ограничения, МЭК приступила к разработке стандарта IEC 61499, который представлен как зрелая технология, обеспечивающая интеллектуальную автоматизацию в различных областях. Этот стандарт не был принят промышленностью несмотря на то, что его активно продвигает академическое сообщество. В этой статье представлено сравнение двух стандартов.

*Ключевые слова:* IEC 61499, IEC 61131, функциональная блок-схема, системы промышленной автоматизации.

### **Введение**

Управляющее программное обеспечение является центральным компонентом современных систем автоматизации, и его сложность постоянно возрастает. Промышленность разработала два различных стандарта для разработки программного обеспечения в области промышленной автоматизации: IEC 61131 - программируемые контроллеры: языки программирования для централизованных систем с циклическим программируемым логическим контроллером (ПЛК) и IEC 61499 - функциональные блоки для распределенных систем автоматизации, управляемых событиями. IEC 61499 изначально был разработан для моделирования распределенных систем и координации между классическими ПЛК-устройствами, управляемыми по стандарту IEC 61131, но первые эталонные реализации IEC 61499 вместо этого реализовали полноценную среду разработки и выполнения для систем автоматизации без необходимости использования

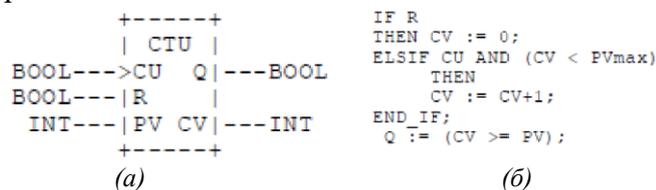
устройства стандарта IEC 61131. Это позволило разработать комплексные решения для автоматизации в соответствии со стандартом IEC 61499.

### Описание проблемы

Распределённая система, основанная на стандарте IEC61131, должна описывать разные программы для каждого устройства и протокол связи между устройствами. Распределенная система, основанная на стандарте IEC61499, всего лишь записывает большую управляющую программу, а затем привязывает ее к каждому устройству для работы. При этом отладка, развертывание и мониторинг системы рассматриваются как единое целое. Это значительно упростит программирование, развертывание, эксплуатацию и обслуживание распределенных систем. На написание систем, состоящих из нескольких устройств, будет требовать гораздо меньше времени, а прикладную программу очень удобно модифицировать.

### Основы IEC 61131 и IEC 61499

На рис. 1 представлен функциональный блок (FB) Up-Counter 61131 [1], как определено в IEC 61131. На рисунке 1(а) показан интерфейс FB в графическом обозначении, на рисунке 1(б) представлен в текстовом формате. Тело FB или программ также может быть описано в графической форме с использованием функциональной блок-схемы (FBD). Экземпляры типов и функций FB связаны между собой, образуя FBD для графического указания поведения программ и FBS. Узлы графа FBD связаны между собой с использованием одного типа соединения, который не определяет тип информации, которая передается от одного конца к другому. Направление потока определяется из соглашения о том, что выходные данные отображаются в правой части FB, а входные данные – на левой части. IEC 61131 также поддерживает инкапсуляцию данных и управляемое событиями выполнение FBS и программ.

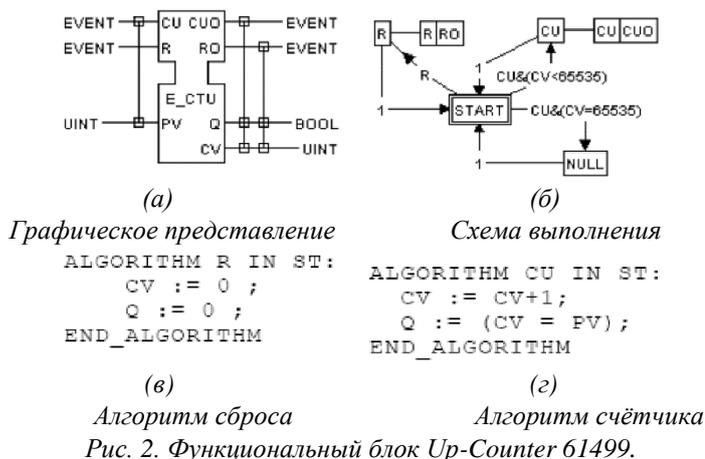


Функциональный блок

ST код блока

Рис. 1. Функциональный блок Up-Counter 61131.

Стандарт IEC 61499 различает подключения к событиям и данным. Рис. 2 демонстрирует то же поведение, что и документ, представленный на рис. 1, обозначенный как 61499 FB, как определено в IEC 61499 [2]. Мы отмечаем, что два входных сигнала типа BOOL, т.е. CU и R, обрабатываются как входные данные событий для 61499 FB, и добавлены два новых выходных события, т.е. CUO и RO. Выходные события уведомляют среду FB о том, что было выполнено соответствующее поведение и доступны выходные значения. Следует отметить, что вызывающий FB не может использовать результирующие выходные значения вызываемого поведения во время текущего выполнения FB<sub>N</sub>. Это справедливо даже в том случае, если соединение с событием будет характеризоваться как синхронное и реализовано с использованием вызова метода, как в случае с FBDK [3].



Входные события используются для определения логических выражений, которые запускают переходы диаграммы управления выполнением FB, как показано на рис. 2(б), и могут повлиять на выполнение одного или нескольких алгоритмов [2]. Более конкретно, переход должен иметь связанное логическое условие, эквивалентное логическому выражению, использующему одну или несколько входных переменных события, выходные события выдаются по завершении выполнения алгоритмов.

Преобразование поведений, записанных как FBS в 61131, не было реорганизовано в соответствии с парадигмой ОО, но в основном это было сделано на основе разделения интерфейса событий и данных, предоставленного 61499. Это становится очевидным, если мы посмотрим на FBS для обработки строк из 61131, которые были преобразованы в соответствующие 61499 FBS (см. FBDK) без следования парадигме ОО, как в случае с функциями управления строками в С и соответствующим классом строк в Java.

### Разница стандартов IEC 61131 и IEC 61499

Стандарты IEC 61131 и IEC 61499 отличаются друг от друга, но в то же время дополняют друг друга. IEC 61131 — это стандарт, который определяет языки программирования ПЛК, в то время как IEC 61499 — это стандарт для моделирования распределенных систем управления.

Стандарт IEC 61499 является расширением стандарта IEC 61131, добавляя возможность моделирования и распространения приложений автоматизации независимо от используемого оборудования автоматизации, предоставляя пользователю большую независимость в выборе поставщиков. Важно отметить, что стандарт IEC 61499 на самом деле не определяет язык программирования. Программы могут быть написаны на различных языках, например, на C++. Программирование приложения аналогично SFC в стандарте IEC 61131, что значительно упрощает его графическое представление. Кроме того, в стандарт IEC 61499 добавлена событийно-ориентированная парадигма, которая облегчает конвергенцию ОТ и IT-систем, а также программно-компонентный подход к автоматизации. В целом, стандарт IEC 61499 обеспечивает гораздо более эффективное проектирование и новые варианты решений для модульных машин и систем.

Преимущество управления событиями в соответствии с IEC 61499 заключается в том, что вы можете решить, какие части приложения должны запускаться с каждым путем событий, который также может быть циклическим независимо от других частей приложения. Например, одна часть может быть обработана очень быстро без необходимости обрабатывать все остальные части с таким же циклом. Это дает преимущества в производительности и использовании системы управления. Автоматическое распределение управляющей логики по различным аппаратным средствам

управления, независимо от производительности и типа, возможно только с помощью управления событиями.

### Описание реализации

Eclipse 4diac™ [4] предоставляет инфраструктуру с открытым исходным кодом для распределенных систем измерения и управления промышленными процессами, основанную на стандарте IEC 61499. 4diac включает в себя: среду разработки (4diac IDE), среду выполнения (4diac FORTE), библиотеку функциональных блоков и примеры проектов.

4diac FORTE - это небольшая портативная реализация среды выполнения IEC 61499, предназначенная для небольших встраиваемых устройств управления (16/32 разрядных), реализованная на C++. Он поддерживает оперативную реконфигурацию своих приложений и возможность выполнения в режиме реального времени всех типов функциональных блоков, предусмотренных стандартом IEC 61499.

Рассматриваемая в статье задача заключается в портировании среды исполнения IEC 61499 Eclipse 4diac FORTE на операционную Raspbian на Raspberry Pi 4 model B.

Создадим проект в 4diac IDE для работы с GPIO на raspberry PI.

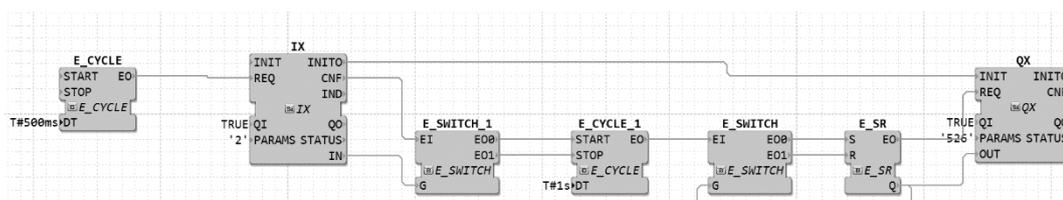


Рис. 3. Программа в 4diac IDE.

Ввод данных PARAMS в FB IX и QX определяет, какой вывод следует использовать. Приложение также содержит функциональные блоки E\_CYCLE и E\_SWITCH (которых нет в руководстве по миганию). Первый генерирует событие каждые 500 мс. Таким образом, блок IX будет проверять аппаратный вход каждые полсекунды, если сигнал изменился. E\_SWITCH\_0 запускает или останавливает действие, в зависимости от выходных данных IN функционального блока IX.

Для реализации аналоговых входов и выходов в Raspberry Pi P, можно использовать интерфейсы I2C(Inter-Integrated Circuit) и SPI(Serial Peripheral Interface). Оба интерфейса позволяют подключать к Raspberry Pi различные аналоговые устройства, такие как АЦП (аналого-цифровые преобразователи) и ЦАП (цифро-аналоговые преобразователи).

4diac предоставляет библиотеки для работы с различными устройствами I2C и SPI, а также имеет возможность написать их самостоятельно. Эти библиотеки упрощают разработку программного обеспечения для чтения аналоговых сигналов с датчиков, управления аналоговыми исполнительными механизмами и других задач, связанных с аналоговыми сигналами.

### Заключение

В результате работы были рассмотрены стандарты IEC 61131 и IEC 61499, портирован 4diac FORTE на Raspberry Pi 4 model B. IEC 61499 и 4diac FORTE на Raspberry Pi — это мощные инструменты, которые могут революционизировать разработку промышленных систем управления. Благодаря своей модульности, повторному использованию,

ННБ XII, Санкт-Петербург, 16 – 17 мая 2024

масштабируемости, наглядности и стандартизации IEC 61499 упрощает разработку сложных систем, а 4diac FORTE на Raspberry Pi делает разработку и тестирование ПСУ более экономичным и доступным.

### Список литературы

1. Iec I. E. C. 61131-3: Programmable controllers–part 3: Programming languages //International Standard, Second Edition, International Electrotechnical Commission, Geneva. – 2003. – Т. 1. – С. 2003.
2. Thramboulidis K. Design alternatives in the IEC 61499 function block model //2006 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. – IEEE, 2006. – С. 1309-1316.
3. Eclipse 4diac™: сайт. – URL: <https://eclipse.dev/4diac/index.php> (дата обращения: 1.05.2024)
4. FBDK: сайт. – URL: <http://www.holobloc.com/doc/fbdk/> (дата обращения: 1.05.2024)

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

К.В. Сильчев

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

**Аннотация.** Данная работа посвящена анализу основных протоколов и стандартов, используемых в бортовых системах для обмена данными между устройствами, а также их сравнение и определение перспективных направлений развития и внедрения. В результате выведены рекомендации по целевому использованию различных интерфейсов и рассмотрена общая схема подключения систем с разделением на подсистемы и компоненты.

*Ключевые слова:* транспорт, CAN, RS-485, TCP/IP, ITxPT, передача данных, бортовые системы

В современном мире бортовые системы, особенно на специальной технике, становятся всё более сложными и комплексными. Обычный пассажирский автобус в наше время имеет большое количество устройств и систем, которым необходимо синхронизировать для передачи данных как друг другу, так и человеку-оператору. Проблема заключается в том, что разные устройства имеют разную потребность в количестве и периодичности передаваемых данных: как, например, сложные системы автоинформирования пассажиров и простые, но многочисленные датчики состояния, расположенные по всему автобусу. Более сложные интерфейсы передачи данных требуют больших аппаратных затрат, что увеличивает стоимость и размер оборудования и, в свою очередь, делает простое оборудование нерентабельным.

### Обзор стандартов передачи данных

В бортовых системах основным стандартом для передачи данных в сети между устройствами является протокол CAN. CAN или Controller Area Network – это стандарт ISO (ISO 11898) в области последовательной передачи данных, используемый в автомобильной промышленности, промышленных системах управления и других отраслях. Он был разработан для обмена данными между устройствами в реальном времени и представляет собой шину, на которой могут работать несколько устройств, обменивающихся сообщениями. Каждое устройство подключается к шине через свой контроллер CAN и имеет уникальный идентификатор, по которому другие устройства могут опознать его. CAN позволяет передавать данные на высоких скоростях, обеспечивая надежную и

эффективную передачу информации. Он может использоваться для передачи различных типов данных, включая управляющие команды, показания датчиков и сведения о диагностике электронных систем. В протоколе реализованы механизмы обработки ошибок и контроля доступа к шине, чтобы предотвратить конфликты и обеспечить надежность передачи данных. На физическом уровне для передачи данных используются три провода: CAN-High, CAN-Low и «земля». Напряжение в шине CAN варьируется от 1,5 вольт до 3,5 вольт [1].

Вторым по частоте использования в бортовых системах стандартом передачи данных является RS-485. Recommended Standard 485 – это стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса. Он был разработан для обеспечения надежной и эффективной передачи данных на большие расстояния (до 1200 метров) и при высоких скоростях передачи данных (до 10 Мбит/с). Стандарт RS-485 использует симметричную линию передачи данных, которая позволяет уменьшить влияние помех и искажений сигнала. Протокол поддерживает одновременную передачу данных в обоих направлениях, что позволяет устройствам обмениваться информацией. При этом RS-485 позволяет подключить к одной шине передачи данных до 128 устройств, что обеспечивает гибкость и масштабируемость системы. На физическом уровне для передачи данных используются три провода: RS-485A, RS-485B и «земля». Как и протокол CAN, RS-485 обеспечивает высокую надежность передачи данных благодаря возможности обнаружения и исправления ошибок, а также механизмам контроля целостности данных. В свою очередь основным отличием от CAN являются объём и скорость передаваемых данных. RS-485 поддерживает передачу на скорости до 2400 Кбит/с и имеет довольно большой объём передаваемых данных, в зависимости от используемого сетевого протокола. А CAN ведёт передачу на скорости 500 Кбит/с и пакетами объёмом не более 8 байт, чем все устройства в основном и ограничиваются [2].

Наиболее сложным среди рассматриваемых стандартов, применяемых в бортовых системах, является стек протоколов TCP/IP. Это сетевая модель, которая описывает протоколы передачи данных в компьютерных сетях. Она была разработана для обеспечения связи между различными устройствами в сети, независимо от их типа или операционной системы. TCP/IP состоит из четырех уровней: сетевого уровня, транспортного уровня, уровня прикладных протоколов и интерфейса прикладных программ. На сетевом уровне работают протоколы IP (Internet Protocol), ICMP (Internet Control Message Protocol) и ARP (Address Resolution Protocol), которые отвечают за маршрутизацию пакетов и определение IP-адресов устройств в сети. На транспортном уровне действуют протоколы TCP (Transmission Control Protocol) и UDP (User Datagram Protocol), которые обеспечивают надежную передачу данных и контроль над ошибками в сети. Уровень прикладных протоколов включает в себя протоколы HTTP (Hypertext Transfer Protocol), FTP (File Transfer Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) и другие, использующиеся для обмена информацией между устройствами в сети. Интерфейс прикладных программ обеспечивает доступ программ к сетевым ресурсам и управление сетью. TCP/IP является основой Интернета и широко используется в современных компьютерных сетях для обеспечения связи и обмена данными.

В транспортных системах данный способ передачи данных используется для работы с сетевым оборудованием (роутерами, коммутаторами), бортовыми компьютерами и продвинутыми устройствами, например датчиками подсчёта пассажиров и IP-камерами. Он позволяет передавать прямой поток видео, обмениваться файлами и получать удалённый

доступ к сетевым интерфейсам устройств. Последний пункт является большим плюсом, так как, имея удалённый доступ к сети на транспортном средстве, можно с лёгкостью проводить диагностику и настройку всего оборудования без дополнительных приложений. Скорость передачи данных в данных сетях может достигать 100 Мбит/с при 5-жильном соединении и до 1 Гбит/с при 8-жильном.

Основным минусом стандарта ТСР/IP является его сложность. Любое устройство, поддерживающее данный стек протоколов, должно иметь сетевую карту. Также возникает вопрос совместимости, так из-за сложности протоколов передачи растёт их вариативность. Иногда два устройства в системе могут быть не в состоянии передать друг другу данные, так как используют разные, возможно проприетарные, протоколы [3].

### Предложения по составлению комплексной системы

Анализ существующих стандартов передачи данных показал, что использование только одного из вышеперечисленных стандартов в комплексной системе не представляется возможным: ТСР/IP слишком сложен для простых датчиков, CAN обладает слишком маленькой скоростью передачи данных, а RS-485 не всегда удовлетворяет этим двум условиям. Системы с двумя основными протоколами возможны, и иногда даже рекомендуются, как, например, в стандарте ITxPT (Information Technology for Public Transport). Это стандарт, который разработан для обеспечения унификации и стандартизации информационных технологий в сфере общественного транспорта и упрощения интеграции различных систем управления транспортом, обеспечения взаимодействия между ними и повышения уровня сервиса для пассажиров. Реализован данный стандарт использованием двух шин: шины IP и шины CAN [4]. Первая отвечает за передачу данных между сложными устройствами, вторая за передачу между базовыми устройствами транспортного средства, как показано на рис. 1 [5].

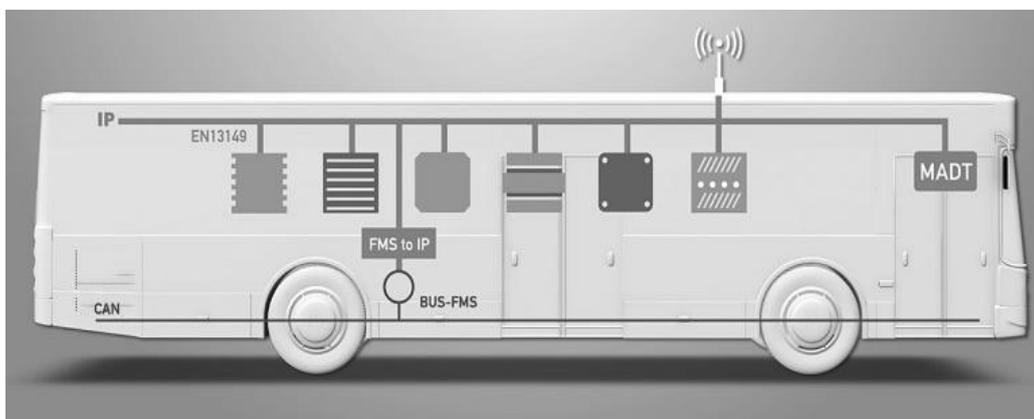


Рис. 1. Схема подключения оборудования в системе стандарта ITxPT

Основным недостатком стандарта ITxPT является стремление включить в шину как можно больше устройств. Это неправильный подход, так как протокол ТСР/IP не всегда подходит для передачи данных в простых системах, таких, как система маршрутоуказателей или аппаратура спутниковой навигации. Поэтому, исходя из данных, представленных в предыдущей главе, рекомендуется схема, изображенная на рис. 2.

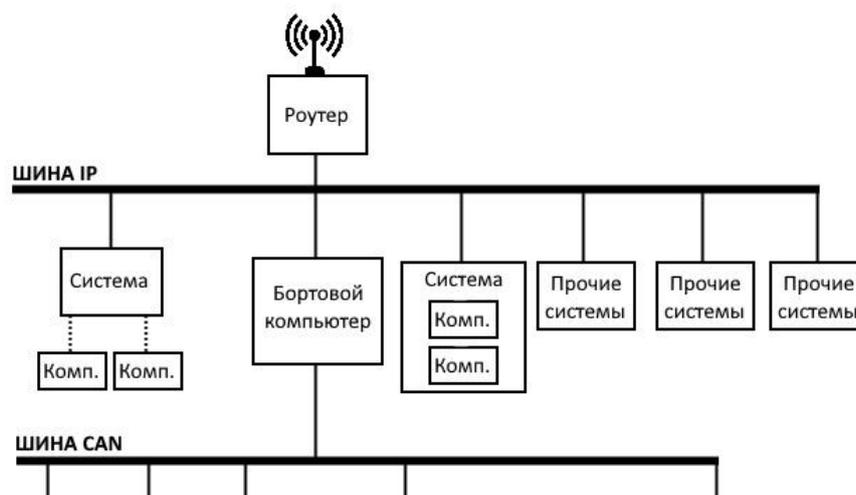


Рис. 2. Рекомендованная схема подключения оборудования

Центральным устройством в разработанной системе является центральный бортовой компьютер (ЦБК). Его задача состоит в сборе данных, их организации и передаче на сервер и оператору транспортного средства. ЦБК также занимается сбором данных с шины CAN и передачей данных по сетевому протоколу семейства TCP/IP остальным устройствам системы [6]. Роутер в данной системе является сетевым шлюзом, который позволяет компонентам системы передавать данные на сервер, а также давать удалённый доступ к диагностике и настройке устройств (например, по протоколу HTTP).

Главной особенностью данной схемы является разделение основной системы, расположенной на шине TCP/IP, на подсистемы со своими собственными протоколами передачи данных (например, RS-485). Это позволяет внедрять наиболее оптимальные решения, а также повышает общую надёжность системы, так как отказ одной из подсистем не повлечет за собой отказ всего оборудования. Необходимо помнить, что не всё оборудование должно взаимодействовать по шине. Например, для системы экстренного реагирования (например, ЭРА-ГЛОНАСС), необходимо изолировать восходящий поток, чтобы связь с сервером не прерывалась при отказе роутера, что может повлечь за собой катастрофические последствия. Устройства всё ещё должны быть подключены к общей шине для упрощения диагностики и настройки, но не должны ограничиваться лишь этим.

### Заключение

Создание эффективных бортовых систем для пассажирского транспорта является серьезной и непростой проблемой, так как не существует идеального решения для любой комплектации. Используя представленную выше модель и дополняя её в зависимости от требований и ресурсов, современные инженеры-конструкторы бортовых систем могут прийти к близкой к идеалу системе. Она будет проста в эксплуатации и обслуживании, а также будет отвечать высоким стандартам безопасности и надёжности, необходимым в пассажирском транспорте.

### Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 11898-1-2015. Транспорт дорожный. Местная контроллерная сеть (CAN). 2016-08-01.
2. Texas Instruments Incorporated. RS-485 Reference Guide. // 2014.
3. Braden, R. Requirements for Internet Hosts – Communication Layers. // October 1989
4. Puerta, J., Brazalez A., Suescun A., Iparraguirre O., Atutxa U. Standardizing IT Systems on Public Transport: An Eco-Driving Assistance System Case Study. // Communication Technologies for Vehicles. — 2018. — С. 149-158.

5. URL: <https://www.tronteq.com/en/itxpt-standard-en/>

6. Evin E., Aydin M.B., Kardas G. Design and Implementation of a CANBus-Based Eco-Driving System for Public Transport Bus Services. // IEEE Access (Volume: 8). — 2020. — С. 8114-8128.

## РАЗРАБОТКА BSP ОПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО ASIC INTEL TOFINO

СЛЕПОВ А.Э.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

*им. В.И.Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены современные программно-аппаратные комплексы обеспечения сетевой безопасности: брокеры сетевых пакетов и ответвители сетевого трафика (байпасы). Разобраны аппаратная и программная архитектуры платформ.

*Ключевые слова:* мониторинговые коммутаторы, брокер сетевых пакетов, ответвители сетевого трафика, байпас, Tofino, Linux.

### **Введение**

Развитие современных технологий и возрастание потребностей в сетевых коммуникациях привело к необходимости создания мощного и функционального телекоммуникационного оборудования. Закон Нильсена, по аналогии с законом Мура, гласит, что скорость подключения пользователей Интернета растет на 50% в год. Вместе со скоростью подключения возрастает важность передаваемой информации — персональные данные, коммерческая тайна. Для бесперебойной работы сети, ее мониторинга, предотвращения атак необходимы специализированные программно-аппаратные комплексы (ПАК), которые включаются в разрыв сети и распределяют трафик между средствами анализа и безопасности. В настоящее время в связи с уходом многих иностранных производителей в России ведется разработка и производство собственных ПАК — ответвителей сетевого трафика (оптических байпасов) и брокеров сетевых пакетов.

**Целью работы** является разработка пакетов поддержки аппаратной платформы и образов операционной системы для диагностики, пусконаладки и верификации аппаратных платформ оптических байпасов и брокеров сетевых пакетов.

### **Средства обеспечения сетевой безопасности**

Средства мониторинга и анализа сетевого трафика являются неотъемлемой частью современной сетевой инфраструктуры. Современные компьютерные сети работают на скоростях порядка сотен гигабит, поэтому для реализации задач информационной безопасности и обеспечения стабильности работы необходимы специализированные программно-аппаратные комплексы [1].

Существует несколько задач сетевой безопасности, для решения которых используются отдельные комплексы. В настоящее время широко распространены такие системы, как

- системы обнаружения вторжений (Intrusion Prevention System - IPS) и системы предотвращения вторжений (Intrusion Detection System - IDS);
- шлюзы информационной безопасности (Security Web Gateway);
- системы сетевой криминалистики (Network Forensics);
- системы анализа поведения сети (Network Behavior Analysis - NBA);

- системы анализа сетевого трафика (Network Traffic Analysis - NTA).

Для выполнения поставленных задач такие системы должны получать полную копию сетевого трафика для анализа. ПО для анализа трафика работают на CPU и имеют сетевые интерфейсы от 1-10 Гбит/с. В то время, как сетевая магистраль может работать в режиме 100 Гбит/с.

Простая, но неэффективная система подключения систем мониторинга представлена на рисунке 1. Трафик снимается со специальных SPAN портов магистральных коммутаторов. SPAN порты имеют низкий приоритет, неэффективно управляют потоком пакетов (из-за разницы скорости сети и скорости сетевых интерфейсов систем мониторинга), поэтому подвержены потерям трафика.

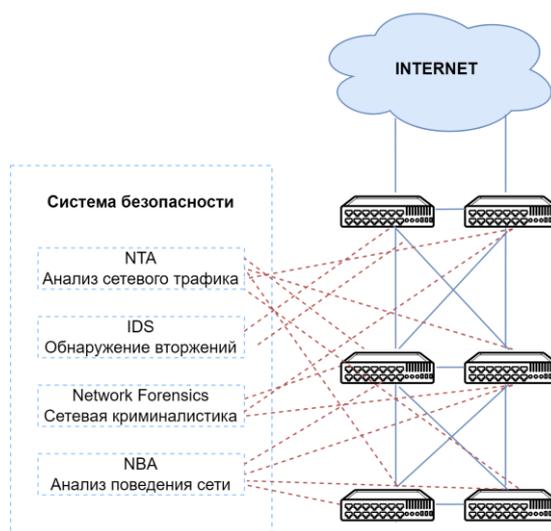


Рис. 1. Включение системы мониторинга с использованием SPAN-портов

Для устранения недостатков схемы, представленной на рисунке 1, в сетевую инфраструктуру добавляются TAP-устройства и брокеры сетевых пакетов (рисунок 2). TAP-устройства — это ответвители сетевого трафика, которые включаются в разрыв магистрали и получают полную копию оптического сигнала на скоростях порядка сотен гигабит. Копия трафика отправляется на брокер сетевых пакетов, который выполняет предварительный анализ трафика и эффективно распределяет его на устройства-анализаторы на скоростях порядка десятков гигабит.

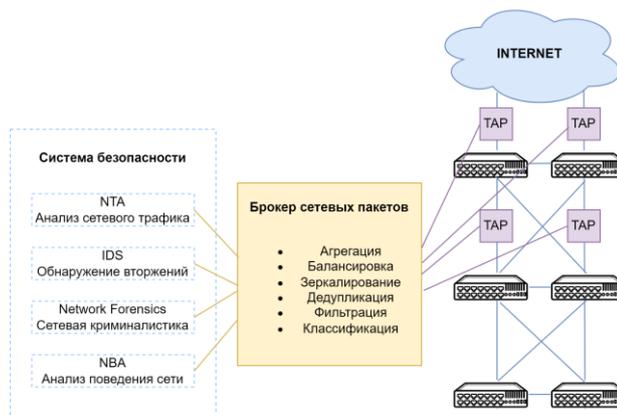


Рис. 2. Включение системы мониторинга с использованием ответвителей и брокера сетевых пакетов

### **Аппаратная и программная архитектура специализированных коммутаторов**

Специализированные коммутаторы представляют собой 1U (иногда 2U) платформы для установки в серверную стойку. Включение в сеть происходит с помощью трансиверов стандарта QSFP28. Главной частью платформы является коммутационная плата с ASIC с 16 или 32 100 Гбит/с портами. Для работы веб-интерфейса и плоскости управления коммутатора платформа оснащается модулем x86. За управление питанием и телеметрию отвечает модуль Board Management Controller (BMC). Для охлаждения платформы используется плата вентиляторов. Ответитель сетевого трафика дополнительно оснащается съемными модулями с оптическими переключателями [2].

Коммутационная плата специализированного коммутатора оснащается 100-гигабитным ASIC, к которому подключаются трансиверы формата QSFP28. Трансиверы имеют регистровую модель I2C, которая доступна для чтения в модуле управления x86 через мультиплексную логику. Трансиверы так же имеют пины управления – Low Power Mode, Reset, RX Loss, Present, за которые отвечает BMC, предоставляя регистровую модель управления состоянием трансиверов в x86. Плата оснащена микросхемами телеметрии – АЦП и температурными датчиками, измерения которых инкапсулируются в регистровую модель BMC.

Модуль управления x86 предназначен для работы плоскости управления коммутатора и интерфейсов пользователя (WEB и консольный CLI). Модуль содержит гигабитный интерфейс управления, а также большой набор периферийных интерфейсов

BMC – Board Management Controller – это специализированный сервисный процессорный модуль в формате 2xM2 с микроконтроллером STM32, который управляет питанием, отслеживает физическое состояние аппаратной платформы с помощью датчиков (термометры, АЦП) и взаимодействует с модулем управления x86.

### **Архитектура образа ОС модуля управления x86**

Операционная система Linux для архитектуры x86 определяется 4 основными компонентами:

1. Загрузчик – помогает загрузить операционную систему или среду выполнения для добавления программ из файловой системы жесткого диска в оперативную память. Загрузчик вызывается BIOS после окончания инициализации оборудования.
2. Ядро операционной системы — это центральный компонент операционной системы. Оно отвечает за управление всеми процессами, памятью, файлами, прерываниями и работу с аппаратным обеспечением.
3. Initrd — это схема загрузки временной корневой файловой системы в память, которая будет использоваться как часть процесса запуска, а затем позволит примонтировать настоящую файловую систему с жесткого диска
4. Пользовательские приложения и библиотеки — пользовательское пространство обычно относится к различным программам и библиотекам, которые операционная система использует для взаимодействия с ядром: программное обеспечение, выполняющее ввод/вывод, манипулирующее объектами файловой системы, прикладное программное обеспечение и т.д.

## Архитектура образа ОС модуля IPMI

IPMI-контроллер является сервисным процессором, который нужен для обеспечения отказоустойчивости и мониторинга состояния основного CPU. Модуль IPMI выполнен на основе встраиваемого процессорного модуля на основе процессора Baikal-T. Идеология Linux для встраиваемых устройств и подходы к разработке встраиваемого ПО отличаются от тех, что приняты в разработке прикладного ПО.

Прежде всего, нужно отметить отличие в процессорной архитектуре — процессор Байкал-T построен на основе системы команд MIPS32. Далее представлены компоненты встраиваемой операционной системы архитектуры MIPS32:

1. Процессорные архитектуры на основе RISC не имеют BIOS. В качестве загрузчика процессора используется загрузчик с открытым исходным кодом U-boot. Он отвечает за первичную настройку процессора и оперативной памяти и загружает ядро операционной встраиваемой системы.
2. Ядро встраиваемой операционной системы выполняет те же функции, что и в устройствах на основе процессоров архитектуры x86, но для описания оборудования требует в формате Device Tree Source (DTS). Также ввиду ограниченности памяти и ресурсов, а фиксированного назначения встраиваемых систем ядро Linux компилируется под конкретную аппаратную конфигурацию и содержит только те компоненты и драйверы, которые представлены в платформе[3].
3. Device Tree Source — это структура данных, используемая во встраиваемых системах для описания аппаратных компонентов устройства способом, понятным операционной системе. Дерево устройств предоставляет стандартизированный и независимый способ описания аппаратных ресурсов устройства, таких как память, периферийные устройства и другие компоненты. Это позволяет операционной системе динамически настраивать драйверы устройств и другие программные компоненты на основе аппаратных ресурсов, доступных на устройстве, что упрощает поддержку различных конфигураций оборудования без необходимости внесения пользовательских изменений в программное обеспечение.
4. Корневая файловая система и пользовательские файлы — содержат структуру каталогов, командную оболочку и прикладное ПО, которое реализует функции встраиваемой системы. Встраиваемые системы часто оснащаются микросхемами постоянной памяти с ограниченным количеством перезаписи или низкой скоростью работы. Также ввиду фиксированного назначения системы, корневая файловая система меняет очень редко, поэтому она загружается непосредственно в оперативную память устройства, а пользовательские изменяемые файлы и настройки могут быть записаны в примонтированную постоянную память.

## Список литературы

1. Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл Компьютерные сети 5-Е изд., 2016
2. База-знаний компании разработчика аппаратной платформы [Электронный ресурс] – URL – <https://wiki.inmys.ru/> (дата обращения 25.04.2024)
3. К. Симмодс Встраиваемые системы на основе Linux, 2017

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОГА АНАЭРОБНОГО ОБМЕНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

СТАСЬКОВА А.Р.<sup>1</sup>, ЧИКОВ А.Е.<sup>2,3</sup>, КУЦАЛО А.Л.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека»  
ФМБА России*

<sup>3</sup>*ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова Минздрава России*

**Аннотация.** В данной работе построена модель предсказания порога анаэробного обмена у спортсменов при выполнении нагрузочного тестирования на беговой дорожке. Для построения модели были выбраны алгоритмы с использованием линейной регрессии. Значение средней абсолютной ошибки модели составило 24.81.

*Ключевые слова:* ПАНО, регрессия, лаг, нагрузочное тестирование, кислород, углекислый газ.

### 1. Введение

Порог анаэробного обмена (ПАНО) характеризует переход энергетического обмена в мышечной ткани на преимущественно анаэробный гликолитический путь ресинтеза АТФ, при котором значительно повышается кислотность и концентрация лактата в крови, поскольку выработка метаболитов происходит быстрее, чем их утилизация. Уровень ПАНО спортсмена в первую очередь служит показателем его выносливости [3]. Кроме того, ПАНО может быть использован в качестве индикатора готовности к хирургическому вмешательству у людей с различными заболеваниями [1].

Самые точные методы определения ПАНО проводятся в лаборатории, под наблюдением специалиста, который отслеживает данные по дыханию и крови спортсмена. Такие тесты требуют от спортсмена выполнения большого объема физической нагрузки. Кардиореспираторное нагрузочное тестирование (КАРЕН-тест) для оценки уровня ПАНО трудоемкое, требует использования дорогостоящего оборудования, спортсменам необходимо корректировать подготовку для их прохождения. Поэтому существует необходимость найти метод, который будет соответствовать точности лабораторных исследований, но будет требовать меньше нагрузки от спортсмена.

В настоящее время ведутся работы по разработке альтернативных тестов для оценки адаптации организма к физическим нагрузкам [2], однако они не отвечают требованиям по оценке уровня ПАНО. Так же рассматриваются вопросы разработки рекомендательных систем для определения ПАНО на основе методов машинного обучения [3], но они требуют выполнения полноценных нагрузочных тестирований, что не всегда возможно выполнить в тренировочном процессе. Поэтому **целью данного исследования** стало построение модели предсказания порога анаэробного обмена у спортсменов на первых ступенях кардиореспираторного нагрузочного тестирования.

### 2. Описание данных

Для построения модели были проанализированы результаты кардиореспираторного нагрузочного тестирования (1495 исследований) на спортсменах в возрасте  $24.66 \pm 3.97$  лет и массой тела  $77.11 \pm 10,60$  кг. КАРЕН-тест предусматривал выполнение ступенчато-возрастающей нагрузки на беговой дорожке: нагрузка на первой ступени 5 км/ч,

длительность первой и последующих ступеней 2 минуты, на каждой ступени увеличение нагрузки составляла 1,5 км/ч, нагрузка выполнялась до индивидуального максимума.

Данные после нагрузочного тестирования были предоставлены в виде таблиц, со следующими показателями:

- Time – текущее время тестирования;
- V\_E – минутный объем дыхания, л/мин;
- HR - частота сердечных сокращений, уд/мин;
- V\_O2 – объем потребления кислорода, мл/мин;
- V\_CO2 – объем выделение углекислого газа, мл/мин;
- RER – респираторный коэффициент, является отношение O2/CO2;
- Масса – вес спортсмена в килограммах;
- Возраст – полный возраст спортсмена на момент проведения исследования.

Обработка данных подразумевала построение гистограмм и графиков зависимости между параметрами, проведение очистки данных с помощью метода межквартильных интервалов (IQR). Для определения рассеивания значений элементов и изменчивости данных были посчитаны стандартное отклонение и среднее значение. После была построена корреляционная матрица для оценки линейной зависимости между показателями. Наибольшее положительное значение корреляции Пирсона имеют такие параметры, как объем выделяемого углекислого газа (VCO2) к объему поглощаемого кислорода (VO2) 0.99. Именно эти показатели берутся во внимание в других исследованиях для определения уровня ПАНО, поэтому далее модель строилась именно на этих параметрах.

### 3. Построение модели предсказания ПАНО

Для построения модели был выбран метод определения ПАНО по респираторному (дыхательному) коэффициенту. Метод основан на измерение отношения объема выдыхаемого углекислого газа (VCO2 в литрах в минуту) к объему вдыхаемого кислорода (VO2 в литрах в минуту) во время физической нагрузки.

Для построения модели по такому методу была выбрана линейная регрессия. Чтобы построить предсказание проводилась частичная автокорреляция. Это инструмент для определения порядка построения модели, который описывает взаимосвязи между наблюдением во временном ряду и его предыдущими точками. [4]

Описание модели можно представить следующей формулой:

$$\widehat{VO2}_i = \omega_0 + \omega_1 \cdot \widehat{VO2}_{i-1} + \omega_2 \cdot \widehat{VO2}_{i-2} + \omega_3 \cdot \widehat{VO2}_{i-3},$$

где  $\omega_i$  – параметры модели ( $k \in \{0 \dots 4\}$ ), индивидуальные для каждого спортсмена, а  $\widehat{VO2}_{i-k}$  –  $k$ -ое значение для  $VO2_i$ .

После нахождения лагов (число периодов, на которое запаздывает воздействие фактора на текущее состояние процесса) была построена модель линейной регрессии на основе смещения. Это статистический метод, используемый для прогнозирования неизвестных данных на основе другого связанного и известного набора данных. [5]

Пример построения модели изображен на рисунке 1.

Для оценки модели были выбраны средняя абсолютная ошибка MAE (mean absolute error) и среднеквадратичная ошибка RMSE (Root Mean Squared Error). Значение средней абсолютной ошибки составило 24.81, а значение среднеквадратичной ошибки – 35.57.

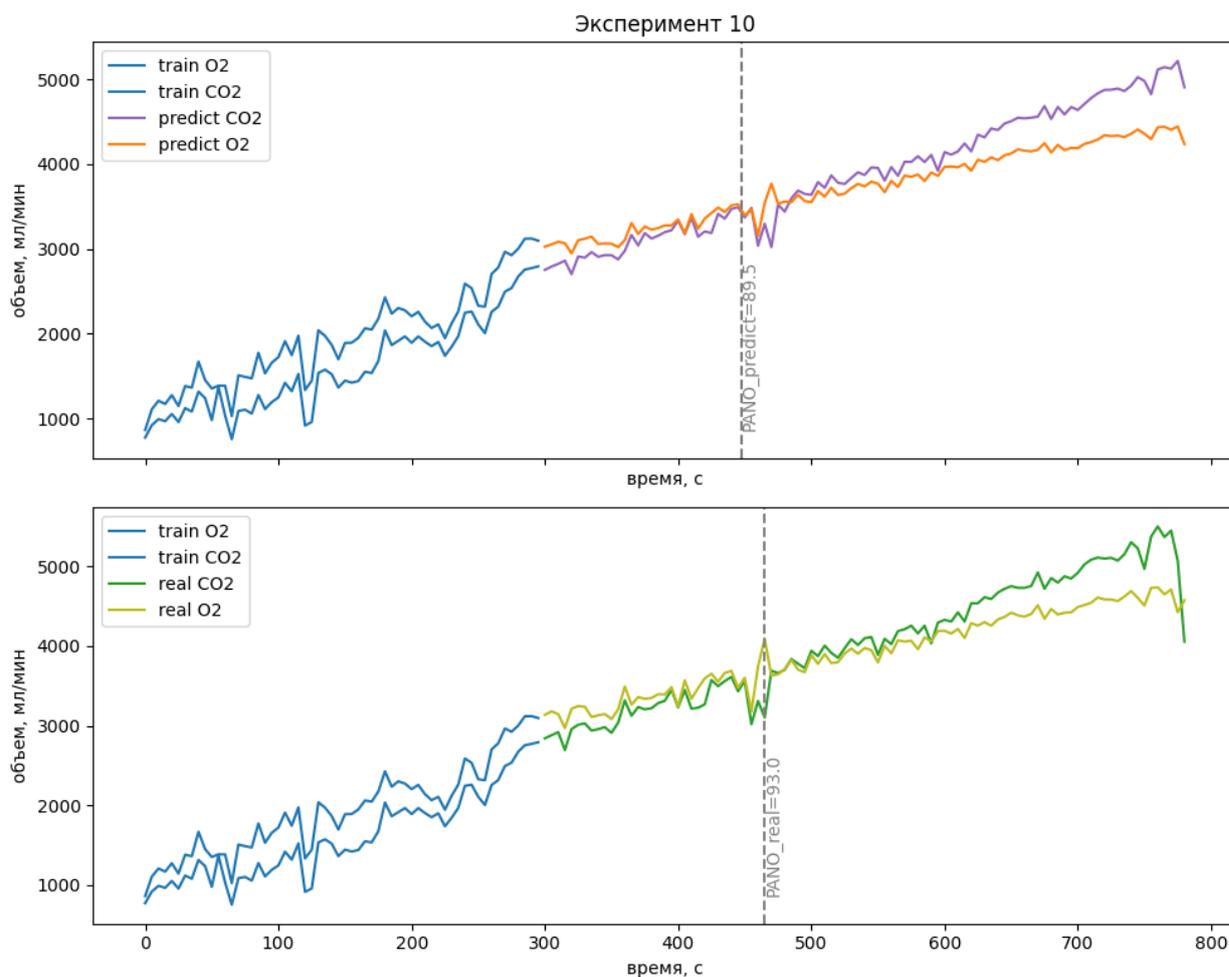


Рис. 1 Модель предсказания ПАНО в эксперименте10

#### 4. Заключение

В результате работы были построена линейная регрессионная модель предсказания порога анаэробного обмена у спортсменов на первых ступенях кардиореспираторного нагрузочного тестирования. Ошибки модели составили 24.81 с и 35.57 с, для MAE и RMSE соответственно. Полученные результаты модели можно оценить как удовлетворительными, так как достигают экспертных показателей. Разработанная модель позволяет проводить облегченный вариант КАРЕН-теста для спортсменов. Объем выполняемой физической нагрузки становится несравненно меньше, чем при полноценном КАРЕН-тесте за счет уменьшения длительности и интенсивности нагрузки. В будущем будут проведены попытки усовершенствовать модель с помощью изучения дополнительных параметров, таких как минутный объем дыхания, функциональный статус спортсмена перед тестированием и т.д.

#### Список литературы

1. Paul Older, Anaerobic threshold, is it a magic number to determine fitness for surgery? [электронный ресурс]: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3964343/>
2. Davy Laroche, Morgane Mangin, Delphine Besson, Alexandre Naaim, Anaïs Gouteron, Jean-Marie Casillas, Number of raised steps: A tool to assess brief and intense effort involving anaerobic metabolism [электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877065718300137#bib0150>

3. Alexander Chikov, Nikolay Egorov, Dmitry Medvedev, Svetlana Chikova, Evgeniy Pavlov, Pavel Drobintsev, Alexander Krasichkov, Dmitry Kaplun, Determination of the athletes' anaerobic threshold using machine learning methods [электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1746809421010119>
4. Box, George E. P.; Reinsel, Gregory C.; Jenkins, Gwilym M. (2008). Time Series Analysis: Forecasting and Control (4th ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley.
5. Е.З. Демиденко. Линейная и нелинейная регрессия. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 302 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДАТЧИКОВ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КОЙЛА ТМС

ТЕРЁХИНА С.А.

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

**Аннотация.** В статье рассматривается применимость дальномеров VL53L0X и HC-SR04 для использования в системе позиционирования койла ТМС. Для этого проводится сравнение показаний датчиков при измерении расстояний до цилиндрических целей, обладающих разным радиусом кривизны, с различных дистанций.

*Ключевые слова:* датчик расстояния, VL53L0X, HC-SR04, измерение расстояний.

Система автоматического наведения излучателя (койла) аппарата транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) (рисунок 1) решает задачу наведения излучателя в определенную позицию над головой пациента. Система представляет собой электромеханическое позиционирующее устройство, позволяющее точно устанавливать и изменять положение койла в пространстве. В настоящее время системы позиционирования койла основаны на методах технического зрения. В частности, система Visor 2 [1] включает в себя: комплект инфракрасных камер, которые отслеживают положение специальных трекеров в пространстве; трекер для койла, позволяющий камере определять положение излучателя в пространстве; повязку со специальным трекером на голову пациента, показывающую положение головы в пространстве. С использованием специального программного обеспечения на основании изображений, получаемых от камер, можно установить излучатель в заданную позицию. В качестве альтернативы предлагается использовать специальные объемные цилиндрические метки, закрепленные на тонкой трикотажной шапочке, одеваемой на пациента. Эти метки будут показывать положения, в



Рис. 1. Принцип работы системы наведения койла ТМС

которые необходимо устанавливать койл. Таким образом, необходимо решить задачу поиска объемных меток с использованием датчиков расстояния и обеспечить установку койла на расстоянии 20 мм от поверхности головы человека над меткой. Точность измерения расстояния должна составлять 3 мм, что обусловлено размером объемной метки.

Цель исследования – разработать модуль измерения расстояний для его внедрения в систему навигации. Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи.

1. Провести анализ возможных технических решений по измерению расстояний в заданном диапазоне.
2. Выбрать датчики, работающие в соответствующих диапазонах.
3. Подготовить систему тестирования датчиков.
4. Провести эксперименты с целью определения точности измерения расстояний до предмета округлой формы.

Существуют датчики, реализующие различные методы измерения расстояния, среди которых оптические, УЗ, энкодерные, магнитные и резистивные. Из них нам подходят оптические и ультразвуковые, т.к. они не требуют непосредственного контакта с объектом измерений и при этом работают в необходимом диапазоне расстояний.

Для проведения сравнительного анализа были выбраны два датчика: оптический VL53L0X [2] и ультразвуковой HC-SR04 [3].

Принцип работы датчика VL53L0X [4] (рисунок 2) основан на измерении времени пролёта луча до цели измерения и обратно. Датчик может работать в двух режимах: одиночного измерения (Single) и продолжительном (Continuous). При первом режиме измерение производится только после сигнала с управляющего устройства, в то время как при втором замеры производятся постоянно с сохранением значения последнего измерения в регистре датчика. Кроме того, точность измерения напрямую зависит от времени, затраченного на него, поэтому при необходимости получения более точного значения нужно установить максимальное время – 200 мс. Характеристики VL53L0X: рабочее напряжение: 3,3 В / 5 В; расстояние измерения: 30 ~ 2000 мм; точность измерения:  $\pm 5\%$ ; угол измерений: 25 градусов; длина волны лазера: 940 нм; размер: 20 мм x 24 мм.

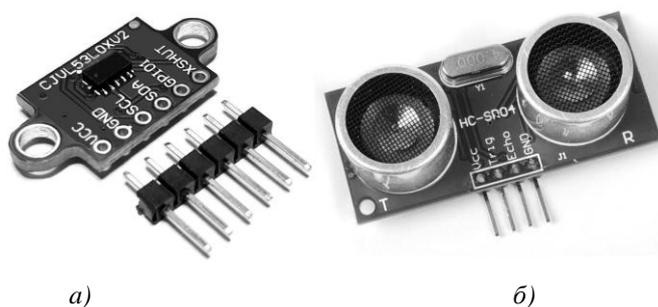


Рис. 2. Дальномеры: а) VL53L0X; б) HC-SR04

Измерение расстояний ультразвуковым датчиком HC-SR04 [5] (рисунок 2) выполняется следующим образом: после получения сигнала от контроллера передатчик дальномера испускает звуковую волну с частотой 40кГц, после чего ожидает её возвращения на приёмник. На микроконтроллер отправляется импульс такой же длительности, что и время от отправления до приема волны. Характеристики HC-SR04: измеряемый диапазон – от 20 до 5000 мм; точность – 3 мм; эффективный рабочий угол –  $< 15$  градусов; угол измерений:

30 градусов; напряжение питания – 5 В.; сила тока покоя: < 2 мА; рабочая сила тока: 15 мА; размер: 45 мм x 20 мм x 15 мм.

Для исследования применимости датчиков была разработана система из цилиндрического объекта, прикрепленного к шаговому двигателю, а также подставки для датчика (рисунок 3). Подставка и цилиндр соединены с помощью шариковой направляющей, что позволяет отдалять датчик и фиксировать его на определенном расстоянии для проведения измерений. Шаговый двигатель вращает цилиндр с установленными объемными метками, благодаря чему можно проверить работу датчиков на изменяющейся цели.

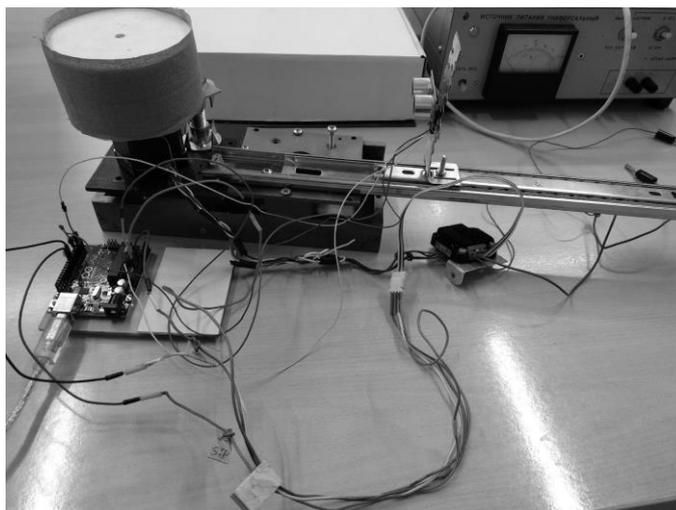


Рис. 3. Внешний вид установки

Для управления датчиками использовалась плата Arduino Uno [6], в основе которой находится микроконтроллер ATmega328. Плата имеет 14 цифровых и 6 аналоговых входов/выходов и кварцевый генератор с частотой 16 МГц.

Для работы с датчиком HC-SR04 необходимо подавать стартовый импульс длительностью 10 мкс и считывать ответный импульс. Вывод Trig дальномера подключается к цифровому выходу 4 платы Arduino, вывод Echo – к цифровому входу 2 платы, выводы Vcc и Gnd на выходы 5V и GND платы соответственно. Для увеличения точности получаемого значения измерения проводятся по пять раз, после чего расстояние вычисляется по формуле  $L = T/(58,8 \cdot 5)$ , где T – суммарная длительность пяти полученных импульсов.

Результат измерения расстояния датчиком VL53L0X передается по интерфейсу I<sup>2</sup>C [7], поэтому для взаимодействия с ним использовалась встроенная библиотека Wire, программно реализующая протокол I<sup>2</sup>C. Расчеты расстояния проводятся перед передачей информации на контроллер, поэтому необходимо только инициализировать передачу и считать результат. Для этого выводы Gnd, Vcc, SCA и SDL дальномера подключаются к выходам 5V, GND, SCA (контакт A4) и SDL (контакт A5) соответственно.

Эксперимент проводился следующим образом. После первого подключения датчика и шагового двигателя к Arduino он устанавливался на определенном расстоянии до цели, после чего запускался двигатель и проводилось 200 измерений, по одному измерению после шага двигателя. Для каждого расстояния это проводилось по 4 раза. После этого мы перемещали датчик на следующее расстояние и повторяли процедуру.

Измерения проводились при установке цели на расстояниях 4, 9 и 15 сантиметров с двумя цилиндрическими целями с диаметрами 94 (цель 1) и 150 мм (цель 2). Пример измерения расстояния датчиками, установленными на удалении 90 мм от цели 1 приведен на рисунке 4.

Для каждого расстояния проводилось 800 измерений, на основании которых рассчитывалось среднее отклонение и разброс значений в миллиметрах (таблица 1).

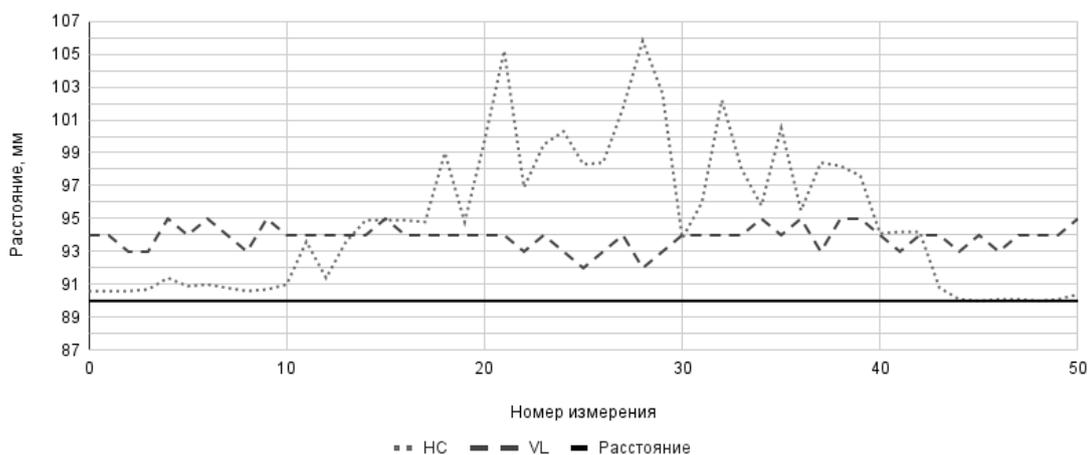


Рис. 4. Измерение расстояния до цели 1

Таблица 1

### Результаты измерений

Расстояние до цели, мм		Среднее отклонение, мм			Разброс, мм		
		40	90	150	40	90	150
Датчик	Диаметр цели, мм						
HC-SR04	94	3,0	1,5	1,8	25,0	10,0	12,0
	150	1,2	3,0	1,6	11,0	16,0	12,0
VL53L0X	94	0,7	0,6	0,6	4,0	5,0	6,0
	150	1,0	1,3	1,5	10,0	9,0	8,0

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что применение лазерных датчиков расстояния VL53L0X в системе позиционирования койла возможно. Для повышения точности позиционирования целесообразен переход на модификацию датчика VL53L1X, в которой диаграмма направленности регулируется в диапазоне от 15 до 32 градусов, поскольку при оценке расстояний до округлых предметов желательно уменьшать угол обзора. При работе с ультразвуковым датчиком для повышения точности можно перейти на альтернативную модель, например, US-015, которая обладает большей заявленной точностью.

### Список литературы

1. VISOR2. Система навигации при транскраниальной магнитной стимуляции. (электронный ресурс) <https://neurosoft.com/ru/catalog/equipment/90329#overview>.
2. Документация на лазерный дальномер VL53L0X: Time-of-Flight ranging sensor (электронный ресурс) <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf> (Дата обращения 19.04.2024).
3. Документация на ультразвуковой дальномер HC-SR04: Ultrasonic Ranging Module (электронный ресурс) <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> (Дата обращения 15.04.2024).

4. Грач Е.П., Филиппов Н.И. Применение лазерных датчиков расстояния v15310x в системах обнаружения объектов / Экстремальная робототехника. 2018. №1 (29). С. 194-203
5. Жмудь В.А., Кузнецов К.А., Кондратьев Н.О., Трубин В.Г., Димитров Л.В. Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC-SR04 / Автоматика и программная инженерия. 2017. №4(22). С. 18-26
6. Arduino Uno (электронный ресурс) <https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (Дата обращения 19.04.2024).
7. Inter-Integrated Circuit (I2C) Protocol (электронный ресурс) <https://docs.arduino.cc/learn/communication/wire/> (Дата обращения 15.04.2024)

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ГРУППОЙ БВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА**

ХАСАНОВ А.

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

**Аннотация.** Рассматривается решение задачи локализации одиночного источника загрязнения воздуха с помощью группы Беспилотных Воздушных Аппаратов (БВА) с применением мультиагентного подхода. Приводится описание алгоритма поиска и локализации загрязнения на заданной территории. Для проверки работоспособности алгоритма разработана специальная программная платформа. По итогу работы выполнен анализ результатов.

*Ключевые слова:* группа БВА, мультиагентный подход, локализация источника загрязнения воздуха

### **1. Постановка задачи локализации источника загрязнения воздуха**

В настоящее время существует необходимость в своевременном и точном определении источников загрязнения окружающей среды. Источниками могут быть как непропорционально функционирующие производства, так и техногенные катастрофы, найти которые является важной задачей – задачей локализации источника загрязнения.

Решение задачи локализации с помощью мобильных роботов применяется исследователями уже с начала 1990-х годов [1, 2]. Однако, учитывая ограниченность в мобильности и автономности и дороговизну таких систем – они не могли решать задачи на сложной местности большой площади. Этим недостатком лишена технология дронов, выбранная в качестве инструмента для решения данной задачи.

Различные исследования уже использовали дроны для решения задачи поиска загрязнения [3, 4], однако среди них не упоминается групповой подход, в котором каждый из дронов действует автономно, но совместно с другими дронами – что мы и называем мультиагентной системой. Выбор мультиагентного подхода для решения задачи локализации источника загрязнения, позволяет добиться высокой степени автономности, гибкости и универсальности системы для различных конфигураций территории [5].

Основной структурной единицей в описанной системе является агент, представляющий собой субъект системы, который может взаимодействовать с другими агентами, получать информацию из окружающей среды и принимать на основе этого решения в соответствии с внутренней политикой. В конечном счете, внутренняя политика каждого из агентов позволяет добиться общей для системы цели, которая будет выгодна каждому из агентов по отдельности. Это означает, что в подобного рода системе разрабатывается поведение для каждого конкретного дрона, заключающееся в методах сбора, обмена и обработки

информации для совершения действий в соответствии с целевыми показателями мультиагентной системы в целом.

## 2. Методы для разработки алгоритма локализации группой БВА

### 1. Описание модели территории

В данной модели территория представляет собой двумерную ортогональную координатную плоскость. Форма рассматриваемой территории – квадрат с заданным размером стороны –  $S$ . Размерность величины  $S$  определяется размером элементарной единицы территории, в дальнейшем называемой – точкой с размером территории  $s$ . Для настоящей работы она определяется в качестве элементарной безразмерной единицы, а размер территории  $S$  – безразмерная величина, соответствующая количеству элементарных участков по одной из сторон территории.

Имея в виду, что территория представляет собой множество  $P$ , состоящее из элементарных участков  $P = \{p\}$  – каждый из них характеризуется набором параметров:

- $x, y$  – Координаты элементарного участка на плоскости территории
- $c_p(x, y)$  – Величина концентрации некоторого загрязняющего вещества для точки с координатами  $(x, y)$ .
- $d_p(x, y)$  – Значение направления ветра для точки с координатами  $(x, y)$ .
- $ip(x, y)$  – Уникальный идентификатор для точки.
- $w_p(x, y)$  – Относительный весовой коэффициент интереса к точке

По итогу – каждая точка является отдельным объектом с параметрами и формируя территорию, взаимодействует с загрязнением и группой дронов.

Загрязнение – подмножество точек на территории с нормированным относительным значением от 0 до 1.

Группа дронов – множество объектов-дронов, которые в каждый момент времени  $t$  может «находиться» на точке, что означает соответствие его координат точке. При этом принято, что на одной точке может находиться только один из агентов-дронов, что позволяет задать хоть и грубую, но оптимальную для рассматриваемой модели степень решения задачи коллизий дронов. Сама по себе эта задача требует отдельного рассмотрения, не затронутого в рамках этого исследования.

### 2. Описание модели загрязнения

В качестве модели загрязнения используется модифицированная модель, основанная на уравнениях турбулентной диффузии. Её математическое описание позволяет использовать её для двумерной модели и представляет собой распределение концентраций загрязнения, соответствующее приземному слою атмосферы. Подробное описание используемой модели приведено в [6]. Используемая версия модели загрязнения воздуха является типовой и соответствует перечню, сформированному уполномоченными министерствами России и Соединенных Штатов Америки [7, 8].

В выбранной модели распределение характеризуется источником загрязнения и его следом (факелом). Концентрация загрязняющего вещества в таком случае является функцией от координат и параметров источника загрязнения. В разработанной версии модели предусматривается полное регулирование формой и размерами загрязнения для настройки его под необходимую из конфигураций. Для этого модель факела загрязнения имеет структуру, изображенную на рисунке 1.

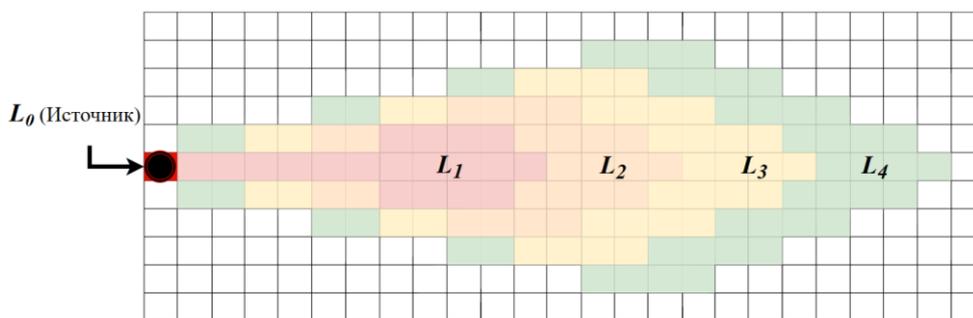


Рис 1. Двумерная модель загрязнения из лепестков и его источник

Факел делится на некоторое количество лепестков, в каждой точке которого задаётся определённая величина концентрации загрязнения. Нулевой лепесток  $L_0$  – всегда является источником загрязнения  $c_p(x, y) = 1$ . В рамках принятых ограничений источник на территории один, а задача, связанная с этим, принадлежит к следующей итерации работы.

Модель поддерживает 4 основных направления ветра, что подлежит расширению в дальнейших итерациях работы, но удовлетворяет потребностям при разработке алгоритма.

### 3. Описание модели группы дронов

Группа БВА – это множество из  $k$  штук идентичных агентов  $a_i$ , каждый из которых содержит следующий набор параметров, объединенных в вектор-состояние  $V_{Si}$ , в который входят такие параметры как:  $p_{S1}$  – идентификатор агента в группе;  $p_{S2}$  – текущая координата на карте;  $p_{S3}$  – целевая точка для передвижения на следующей итерации;  $p_{S4}$  – текущее состояние (режим работы) агента;  $p_{S5}$  – флаг завершения миссии;  $p_{S6}$  – локальная карта территории.

Вектор  $V_{Si}$  – состояние дрона, которым он обменивается с другими дронами, что и отвечает за коммуникацию внутри группы. А для измерения параметров среды используются датчики уровня загрязнения и направления ветра. На основе полученной информации каждый из них может принимать самостоятельные решения и перемещаться на интересующую точку для выполнения миссии по локализации, что показано на рисунке 2.

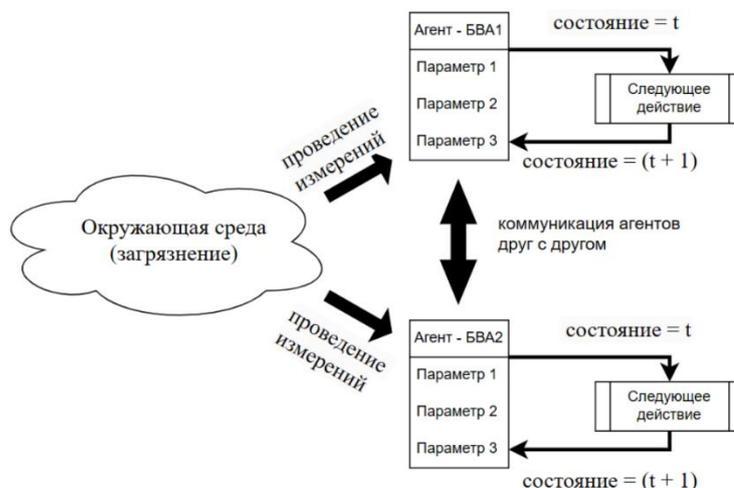


Рис 2. Схематичное изображение работы мультиагентной системы в описанной модели

Задача мультиагентной системы – найти точку с источником на территории за минимальное количество итераций алгоритма  $t$ . Для этого реализована политика действий

для агентов, которая и приводит группу к завершению миссии. Она состоит из нескольких режимов работы дрона: обход, следование и локализация.

В режиме «обхода» агенты исследуют территорию с помощью расчёта весовых коэффициентов, зависящих от расстояния: чем дальше точка, тем выше интерес. Реализация этого расчёта будет опущена.

В режиме «локализации» агент оказывается, когда попадает на факел загрязнения. При этом режиме он двигается против ветра с применением алгоритма коррекции до тех пор, пока не обнаружит источник загрязнения. В это время другие дроны в группе двигаются в сторону этого агента в режиме «следования», в этом случае есть вероятность что один из них находится ближе к источнику, чем тот, что первым перешёл в «локализацию».

Режимы работы реализуют алгоритм в нынешней итерации, работоспособность которого можно проверить, разработав программный пакет для моделирования.

### 3. Результаты проектирования информационной системы и их анализ

В начале испытаний задаётся и формируется модель системы: территория, загрязнение и группа дронов с размерами и расположением. Далее, каждый дрон итеративно и параллельно другим реализует обход территории в различных режимах, пока не обнаружит источник. Во время этого дроны измеряют параметры территории и обмениваются информацией друг с другом. Каждая из итераций  $t$  начинается с выбора точки для передвижения и заканчивается обработкой информации от датчиков и других дронов. Соответственно, количество итераций – безразмерный показатель скорости выполнения алгоритма.

Пример выполнения алгоритма с визуализацией приведен на рисунке 3.

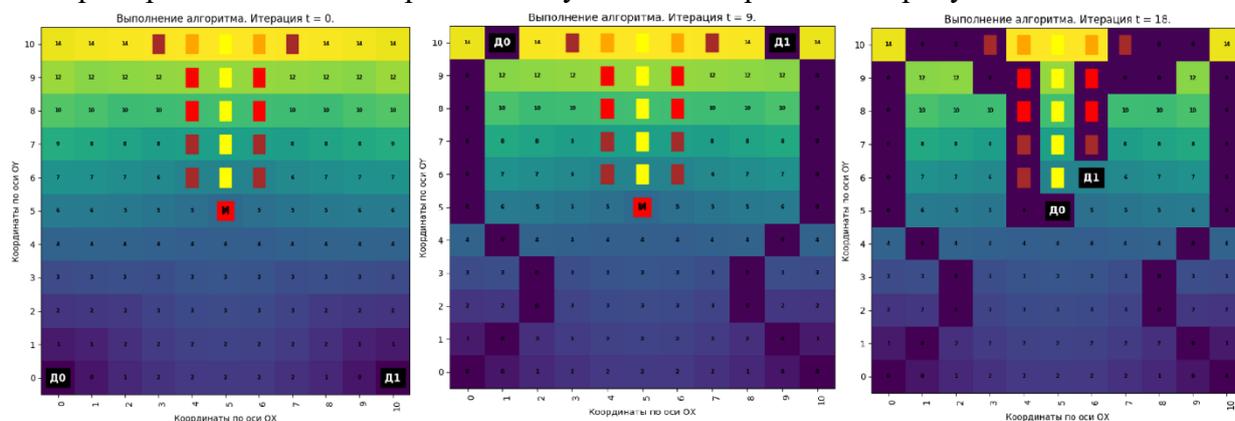


Рис 3. Пример работы алгоритма в итерациях от начала и до конца выполнения миссии

Разработанный программный пакет позволяет проводить эксперименты с различными конфигурациями всех параметров модели: от территории до дронов и их политики.

В данной работе описано решение задачи локализации источника загрязнения моделью системы, состоящей из группы дронов с применением мультиагентного подхода.

По итогам проведения ряда опытов в базовой конфигурации системы, было выяснено, что наиболее оптимальное число дронов в мультиагентной системе для решения задачи локализации источника загрязнения за минимальное время равно  $k = 4$ .

### Список литературы

1. Rozas R., Morales J., Vega D. Artificial smell detection for robotic navigation //Fifth International Conference on Advanced Robotics' Robots in Unstructured Environments. – IEEE, 1991. – С. 1730-1733.
2. Ishida H. et al. Study of autonomous mobile sensing system for localization of odor source using gas sensors and anemometric sensors //Sensors and Actuators A: Physical. – 1994. – Т. 45. – №. 2. – С. 153-157.
3. Neumann P. P. et al. Gas source localization with a micro-drone using bio-inspired and particle filter-based algorithms //Advanced Robotics. – 2013. – Т. 27. – №. 9. – С. 725-738.
4. Tosato P. et al. An autonomous swarm of drones for industrial gas sensing applications //2019 IEEE 20th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks"(WoWMoM). – IEEE, 2019.
5. Викснин И. И., Лазарев Э. А., Хасанов А. Локализация источника загрязнения воздуха на заданной территории с применением мультиагентного подхода для управления группировкой беспилотных летательных аппаратов //Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023). – 2023. – С. 470-475.
6. Khassanov A. M., Suloeva E. S. The Modeling of Carbon Emissions from a Point Source //2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – IEEE, 2022. – С. 1534-1537.
7. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 июня 2017 г. № 273 “Об утверждении методики расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух”.
8. EPA U. S. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System and Incorporation of Approaches to Address Ozone and Fine Particulate Matter //US Environmental Protection Agency Working Paper. – 2015.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕБ-СИМУЛЯТОРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

ЧЕРЕПКОВ Т., СЕМИБРАТОВА Ю.А.

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

**Аннотация.** В статье рассмотрено создание веб-симулятора для моделирования развития энергетических инфраструктур в различных регионах России. Освещены технические аспекты реализации моделирования взаимодействия экономических агентов в процессе торговли электроэнергией и влияние различных природных явлений на производство электроэнергии.

*Ключевые слова:* электроснабжение регионов, профориентация, языки программирования, JavaScript, CSS, СУБД MySQL

Значимость подготовки профессиональных кадров проявляется уже на ранних этапах обучения, поэтому организация профориентационных мероприятий в школах и проведение интерактивных практикумов для студентов являются важными средствами для обучения профессионалов в сфере энергетики. Один из инновационных методов обучения в данной сфере заключается в симуляции процессов реального рынка или технического производства для ознакомления желающих начать свое обучение людей, что позволяет дать им возможность сделать свой выбор будущей профессии более точным. А уже обучающиеся по профильным направлениям студенты при помощи симуляторов могут быстрее овладеть практическими навыками, находящим полезное применение в их профессиях.

Выбор веб-платформы для этого симулятора обусловлен фактором доступности. В случае публикации данного симулятора в интернет, им сможет воспользоваться большое

количество людей, вне зависимости от их местоположения. Это увеличивает возможность масштабного распространения среди потенциальных потребителей.

При разработке программы использовались средства WEB-разработки, а именно: языки программирования JavaScript и PHP, язык гипертекстовой разметки HTML и каскадные таблицы стилей CSS, а также СУБД MySQL для взаимодействия с базами данных. В настоящей работе представлены части программы, которая является технической реализацией проекта, результаты разработки.

Для реалистичности симуляции было принято решение реализовать в виде карт событий перед началом каждого нового раунда. Есть два вида карт: карты погодных явлений и карты человеческих ошибок, вызывающих ЧП.

Каждый новый раунд начинается со случайного выпадения пяти карт с определенными характеристиками. Какие-то из них обладают негативным действием на игровые характеристики электростанций, понижая их выработку электроэнергии, или делают невозможным осуществление передачи энергии из города в город, либо обладают положительным эффектом на электростанции, повышая их выработку электроэнергии.

Финальное влияние карт событий на игру выглядит следующим образом в таблице базы данных:

<u>id</u>	<u>type</u>	<u>influence</u>
1	АЭС	1.1
2	ГЭС	0.85
3	ВЭС	0.85
4	СЭС	1
5	ТЭС	1
6	ЛЭП	1

*Рис. 1. Таблица базы данных с коэффициентами изменения производительности электростанций и работы ЛЭП (пример из сыгранного тестового раунда)*

По ходу игры в городах может возникнуть ситуация избытка энергии и для того, чтобы она не сгорала с началом каждого нового раунда, была разработана фаза передачи энергии. Данная фаза разыгрывается в случае, если в хотя бы одном из городов есть избыток энергии и при этом к данному городу проложена ЛЭП (причем не важно, тем игроком, который обустроивает данный город, или другим игроком).

Для реализации были использованы языки PHP и JavaScript, а также технология асинхронных запросов Ajax для фонового обмена данными браузером и сервером.

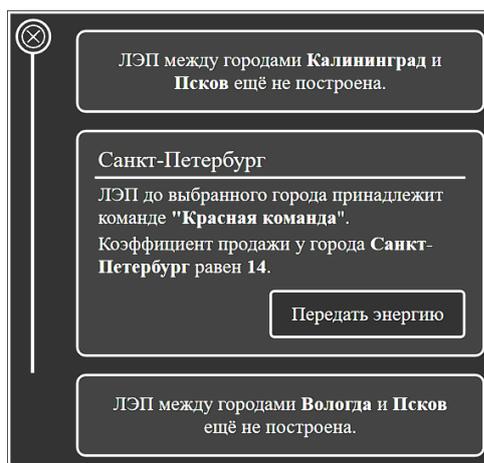


Рис. 2. Панель выбора города для передачи энергии

Коэффициент передачи энергии — это число, на которое умножается прибыль, получаемая продавцом электроэнергии. Он зависит от того, сколько населения в городе, в который происходит продажа.

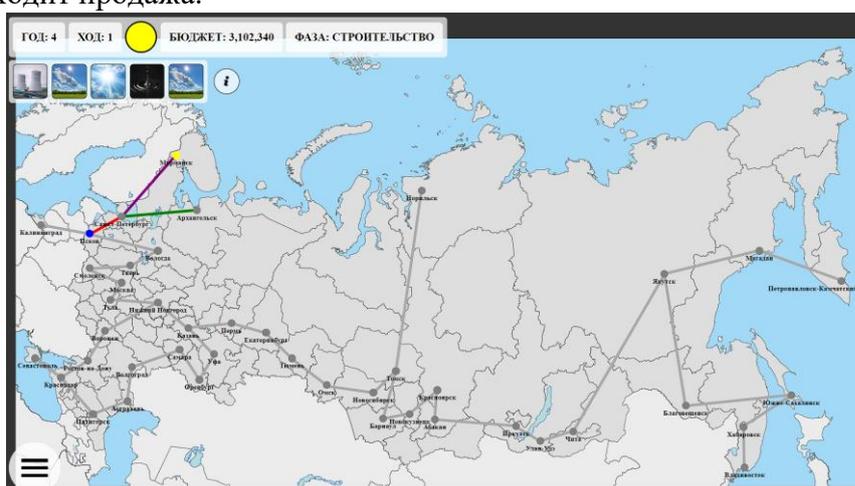


Рис. 3. Игровое поле

Основная серверная часть реализована посредством интегрированного нескольких технологий: языки программирования JavaScript и PHP, а также Ajax и СУБД MySQL.

Разработан полноценный WEB-симулятор, содержащий как техническую и экономическую составляющие для моделирования экономических отношений энергетического рынка России. С помощью данного симулятора можно научиться принимать обоснованные стратегические решения в области постройки электростанций в разных регионах России в зависимости от их географического положения, климата и количества населения.

### Список литературы

1. Джон Дакетт: PHP и MYSQL. Серверная веб-разработка, Бомбора ,2023.
2. Андрей Диков: Клиентские технологии веб-программирования. JavaScript и DOM, Лань ,2020.
3. Робин Никсон: Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript, CSS и HTML5, Питер ,2023.
4. Бенкен, Самков: AJAX: программирование для интернета (+CD), BHV, 2009.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ПЛК.**

Шишкин А.Э., Гульванский В.В., Джусупов А.Е.

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

**Аннотация.** Уровень автоматизации на предприятиях любого вида растёт. Производители программируемых логических контроллеров (ПЛК) стремятся внедрять новые инновации в свой продукт, выпуская всё более совершенные экземпляры. Необходимо гарантировать работоспособность системы автоматизации, в частности корректное выполнение задач, выполняемых ПЛК. С увеличением сложности необходим всё больший набор тестов, который охватит все возможности современных ПЛК и даст понять, что система находится в рабочем состоянии. Данное исследование проводится с целью решить вопрос тестирования ПЛК различных производителей.

### **Вступление**

В настоящее время информационные технологии развиваются быстрыми темпами. И это затрагивает практически все сферы жизни в современном обществе. С каждым днём создаётся всё больше программных комплексов и продуктов.

Открываются новые возможности, которых раньше не было. Одновременно с этим растёт сложность систем управления.

Сегодня возможности ПЛК позволяют нам выполнять практически все алгоритмы. Для проверки работоспособности контроллеров в рамках данного исследования предполагается запустить выполнение списка алгоритмов и замерить время выполнения для каждого из них. Положительный результат тестирования будет получен в случае исполнения ПЛК всех заявленных алгоритмов за определенное время. В противном же случае можно будет утверждать, что контроллер не работоспособен. Все тесты удобно оформить в отдельную библиотеку для тестирования ПЛК, написанную на языке Structured Text (ST).

### **Алгоритмы для тестирования ПЛК**

Для тестирования необходимы алгоритмы, которые задействуют достаточно ресурсов доступных ПЛК, используя его возможности, не выходя за их пределы. Для таких целей подойдут следующие алгоритмы:

3. Быстрое преобразование Фурье – алгоритм, повсеместно использующийся при обработке сигналов.
4. Нахождение числа  $\pi$  методом Монте-Карло – алгоритм, для реализации которого необходима генерация случайных чисел, которая станет частью конечной библиотеки для тестирования ПЛК.
5. Матричные преобразования – алгоритмы, позволяющие совершать сложные операции над матрицами вызовом соответствующих функций. Операции с матрицами могут быть актуальны для решения множества прикладных задач.
6. Сжатие Шеннона-Фано – алгоритм кодирования информации, позволяющий однозначно раскодировать данные.
7. Шифрование RSA – криптографический алгоритм с открытым ключом.

В первую очередь подбор алгоритмов обусловлен тем, что реализация этого набора функций позволяет написать практически все программы, необходимые для автоматизации автоматизированных систем управления техническим процессом (АСУ ТП).

Кроме того, ресурсы ПЛК, необходимые для выполнения представленного списка алгоритмов, легко регулируются. Сложность выполнения варьируется от количества входных данных. Это позволяет запускать тестирование на ПЛК, имеющих различные характеристики, что увеличивает диапазон применимости библиотеки для тестирования.

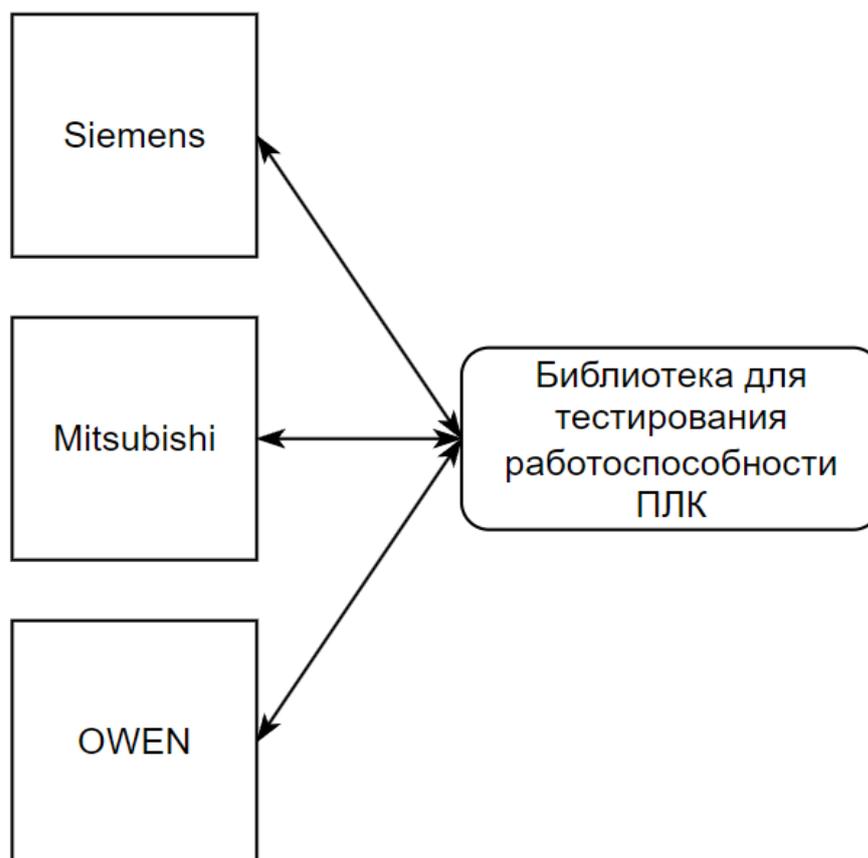


Рис. 1. Иллюстрация применимости библиотеки для различных производителей ПЛК.

### **Принцип тестирования.**

В процессе тестирования перед вызовом функций, реализующих алгоритмы, предполагается записать время, соответствующее началу выполнения алгоритмов. После успешного выполнения алгоритма записанное ранее значение используется для вычисления времени, затраченного на вызов функции. Далее необходимо сравнить это значение с установленным при вызове функции тестирования максимальным временем выполнения.

В том случае, если максимальное значение не будет превышено, программа сигнализирует об успешном прохождении теста на ПЛК установкой соответствующей переменной в состояние «истина», иначе программа для тестирования установит «ложь».

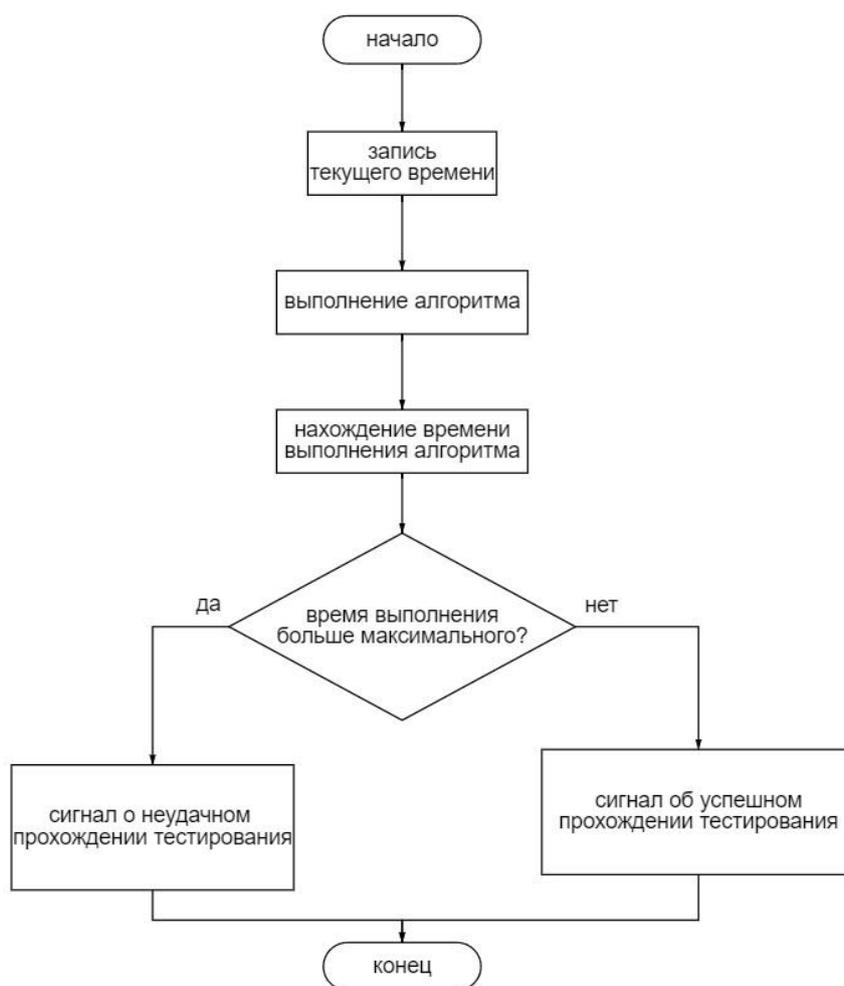


Рис. 2. Принцип тестирования ПЛК.

### Результаты проведения эксперимента.

В качестве опытного образца для тестирования был выбран ПЛК отечественного производителя ОВЕН ПЛК210. Результаты тестирования оформлены соответствующие таблицы.

Таблица 1

#### Время выполнения быстрого преобразования Фурье

Длина последовательности	Время выполнения (мс)
512	6
1024	13
2048	27

Таблица 2

#### Время нахождения числа $\pi$ методом Монте-Карло

Количество случайных точек	Время выполнения (мс)
1000	1
100000	67
10000000	6951

Таблица 3

#### Время выполнения умножения матриц

Количество операций умножения матрицы 64x64	Время выполнения (мс)
10	479
50	2393
75	3575

Таблица 4

#### Время выполнения алгоритма сжатия Шеннона-Фано

Длина строки	Время выполнения (мс)
512	491
1024	2021
2048	8020

Таблица 5

#### Время выполнения шифрования RSA

Количество вариантов шифрования	Время выполнения (мс)
50	41
100	449
150	1637

#### Вывод

При эксплуатации ПЛК различных производителей необходимо быть уверенным в том, что устройства работают корректно. Растущая сложность разрабатываемых экземпляров позволяет выполнять более сложные алгоритмы. Важно учитывать это и тестировать возможности ПЛК.

Соответственно, стандартизированная библиотека является лучшим решением, ведь во время активного использования библиотека нуждается в доработке. Для этого достаточно выпустить новую версию библиотеки. Задача установления производительности ПЛК решается библиотекой, это крайне удобно для разработчиков и инженеров предприятия.

В результате проведения эксперимента установлены возможности конкретного ПЛК.

#### Список литературы

1. Anthony K. Ho, PE. Structured Text Programming

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПЛК РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Джусупов А. Е. Шишкин А.Э. Гульванский В. В.

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

#### Аннотация.

С развитием промышленных технологий и автоматизации производственных процессов программируемые логические контроллеры (ПЛК) стали неотъемлемой частью многих промышленных систем управления. Однако, с увеличением разнообразия производителей ПЛК

возникает необходимость в разработке программного обеспечения, способного эффективно тестировать их функциональные возможности. В данной работе рассматривается процесс разработки программ для тестирования ПЛК различных производителей, с акцентом на проверку работоспособности механизмов. Представленные методы и результаты могут быть полезны как для специалистов в области автоматизации, так и для разработчиков программного обеспечения, стремящихся обеспечить надежное функционирование промышленных систем управления.

*Ключевые слова* — Дискретные сигналы, Аналоговые, тестирование, сигналы, нагрузки, входы и выходы.

## **Вступление**

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) широко используются в различных отраслях промышленности для управления технологическими процессами. Для обеспечения надежной и безотказной работы этих систем необходимо проводить их тщательное тестирование. Одним из важных аспектов тестирования ПЛК является проверка точности аналоговых и дискретных входов и выходов, времени и частоты. Для этого необходимо разработать программы, которые будут генерировать тестовые сигналы и считывать их значения с ПЛК.

## **Разработка программ для тестирования ПЛК различных производителей на базе стенда Siemens**

При разработке программ для тестирования программных логических контроллеров (ПЛК) различных производителей, ключевым является обеспечение универсальности и точности проверки. В данной статье описан процесс создания, описание работы и задач стенда.

### **Основные задачи программ для тестирования ПЛК включают в себя:**

Проверка аналоговых входов и выходов: Это включает в себя проверку точности измерений, диапазонов работы и калибровки.

Тестирование дискретных входов и выходов: Проверка корректности срабатывания дискретных сигналов.

Оценка времени отклика: Измерение времени между подачей сигнала на вход и соответствующим ответным действием контроллера.

Измерение частоты работы: Проверка частоты работы контроллера и его подсистем.

### **Функционал тестовых программ:**

Проверка аналоговых входов и выходов:

Измерение точности: Тестирование аналоговых входов включает в себя сравнение фактически измеренных значений с ожидаемыми. Для этого программы могут подавать на вход контроллера известные сигналы, а затем анализировать полученные значения и сравнивать их с эталонными.

Проверка диапазона: Тесты могут включать проверку аналоговых входов на соответствие заданному диапазону измерения. Например, если датчик должен измерять напряжение в пределах 0-10 В, то тест может проверять, что контроллер корректно обрабатывает значения в этом диапазоне.

Калибровка: Программы тестирования могут проводить калибровку аналоговых входов, чтобы убедиться в их правильности и точности. Это может включать в себя корректировку коэффициентов усиления или смещения для обеспечения правильной обработки сигналов.

Проверка дискретных входов и выходов:

Проверка срабатывания: Тестирование дискретных входов может включать в себя проверку корректности срабатывания при поступлении сигналов. Программа может

подавать на вход контроллера имитацию сигналов и затем анализировать ответ контроллера.

**Проверка состояния:** Программы могут проверять, находятся ли дискретные выходы в нужном состоянии в соответствии с ожидаемым поведением. Например, если контроллер должен включить светодиод при поступлении определенного сигнала, то тест может проверить, что светодиод действительно включается в нужный момент.

**Измерение времени и частоты:**

**Время отклика:** Тестирование времени отклика включает в себя измерение времени, проходящего от момента поступления сигнала до момента начала соответствующей реакции контроллера. Это может быть важно, например, при проверке времени реакции на аварийные сигналы.

**Измерение периода и частоты:** Программы могут измерять период сигналов или частоту работы контроллера. Например, если контроллер должен управлять мотором с определенной частотой вращения, то тест может измерить фактическую частоту вращения и сравнить ее с заданной.

**Измерение времени выполнения операций:** Тесты могут измерять время выполнения определенных операций или функций программы, чтобы оценить производительность контроллера и оптимизировать работу программы.

**Создание стенда для тестирования ПЛК**

Для более удобного и точного тестирования ПЛК был собран специальный стенд. Стенд Siemens может представлять собой модуль тестирования, выполненный в отдельном корпусе. Модуль содержит интерфейсы, необходимые для связи с контроллером, соединительные кабели и кабели питания.

Для создания стенда на базе ПЛК Siemens для тестирования ПЛК других производителей, использовались модули Siemens, такие как SIMATIC S7-1200 и SIMATIC ET 200MP, в сочетании с соответствующим программным обеспечением и адаптерами для связи с контроллерами других производителей.

Стенд на базе ПЛК Siemens будет представлять собой следующие основные компоненты:

**Модуль тестирования:** это устройство, содержащее ПЛК Siemens, специально настроенный для проведения тестирования. Он обеспечивает необходимые интерфейсы для подключения контроллеров других производителей и выполнения тестовых программ.

**Тестируемые контроллеры:** Контроллеры различных производителей подключаются к модулю тестирования для проведения тестов.

**Программное обеспечение:** используется для разработки и выполнения тестовых программ на ПЛК Siemens.

**Адаптеры и интерфейсы:** Для обеспечения связи между ПЛК Siemens и контроллерами других производителей используются специальные адаптеры и интерфейсы.

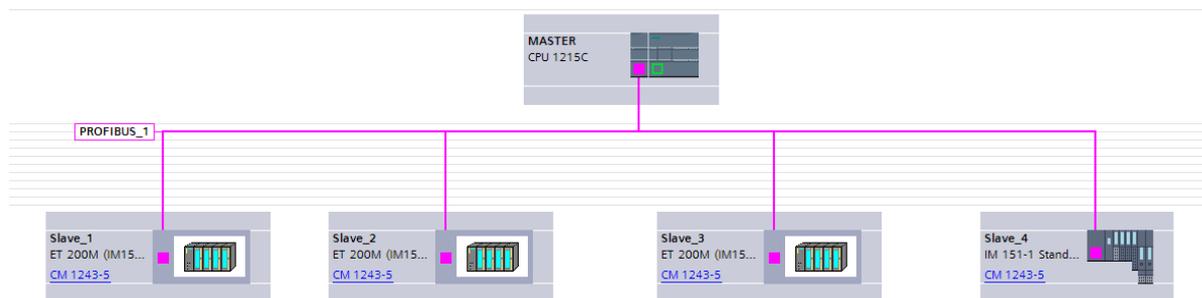


Рис. 1. Схема реализации программы для тестирования ПЛК

### Стенд на базе ПЛК Siemens

На схеме показан проект реализации стенда для тестирования ПЛК, а именно устройства и их связь через Profibus. Обеспечивая надежную и эффективную связь между главным контроллером SIMATIC S7-1200 и модулями аналоговых входов и ввода дискретных данных SIMATIC ET 200MP. Он позволяет передавать данные между этими устройствами в реальном времени, обеспечивая оперативную обработку информации и управление процессом тестирования.

Роль главного контроллера SIMATIC S7-1200 в стенде для тестирования ПЛК других производителей включает в себя управление процессом тестирования, обработку данных и анализ результатов. Он контролирует работу модулей аналоговых входов и модулей ввода дискретных данных SIMATIC ET 200MP, задает параметры тестирования, запускает и останавливает испытания, а также собирает данные о результате выполнения тестов. Анализ результатов тестирования, сравнивая полученные данные с ожидаемыми значениями и выявляя любые отклонения или несоответствия. Это позволяет определить работоспособность и надежность испытуемых программных логических контроллеров, а также выявить потенциальные проблемы или неисправности.

Модули аналоговых входов и модули ввода дискретных данных в рамках стенда на базе ПЛК Siemens, такого как SIMATIC ET 200MP, играют ключевую роль в процессе тестирования программных логических контроллеров (ПЛК).

Модули аналоговых входов предназначены для преобразования аналоговых сигналов, таких как напряжение или ток, в цифровой формат, понятный для контроллера. В рамках стенда для тестирования, модули аналоговых входов SIMATIC ET 200MP могут использоваться для подачи аналоговых сигналов на входы контроллера, что позволяет проверить точность и стабильность измерений аналоговых величин. Это может включать в себя тестирование диапазонов измерения, калибровку и проверку времени реакции на изменение входных сигналов.

Модули ввода дискретных данных предназначены для считывания цифровых сигналов, таких как открытые и закрытые контакты или логические уровни, и передачи этой информации контроллеру для дальнейшей обработки. В рамках стенда для тестирования, модули ввода дискретных данных SIMATIC ET 200MP могут использоваться для эмуляции различных цифровых сигналов, которые обычно поступают от датчиков, выключателей и других устройств в реальных системах. Это позволяет проверить правильность обработки дискретных входов контроллером, а также его реакцию на изменения состояния сигналов.

### **Вывод**

В процессе разработки программ для тестирования ПЛК необходимо учитывать различные аспекты работы контроллеров и их подсистем, чтобы гарантировать полную проверку функциональности и соответствие техническим требованиям. Стенд на базе ПЛК Siemens предоставляет эффективное решение для проведения тестирования ПЛК других производителей, обеспечивая универсальность, надежность и точность испытаний.

Использование модулей аналоговых и дискретных входов SIMATIC ET 200MP в сочетании с главным контроллером SIMATIC S7-1200 позволяет эффективно симулировать работу различных типов устройств и входных сигналов, что делает возможным полное и точное тестирование ПЛК различных производителей.

Таким образом, разработка программ для тестирования ПЛК и создание стенда на базе ПЛК Siemens являются важными шагами в обеспечении надежной работы автоматизированных систем управления в промышленности и обеспечивают высокую стабильность и точность работы промышленного оборудования.

### **Список литературы**

5. А.Н. Дианов, асп.; Ю. Кайо, магистрант.; рук. В.Ф. Козаченко, к.т.н., доц. (МЭИ) МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ И СОЗДАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ
6. Комелин А. Автоматизированная система управления стендами тестирования погружного электрооборудования //Современные технологии автоматизации. – 2004. – №. 3. – С. 16-23.
7. Бологов А. А. Разработка автоматизированной системы управления участка пламенной денитрации урана. – 2018.

## СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО: ОТ ПРОЕКТНОГО ЗАМЫСЛА К РЫНОЧНОМУ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЮ

### АГРОТЕХ-СТАРТАП «KILLWEE»

БЕРКИМБАЙ З., ЗУЕВ М.Е.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» Россия, г. Санкт-Петербург*

**Аннотация:** в данной статье описан бизнес-план развития стартапа в области Агротех, специализирующегося на создании устройства по борьбе с борщевиком на территории северо-западного округа РФ. Проблема распространения борщевика особенно остро ощущается в последние годы, а на борьбу с ним выдвигают неэффективные и вредящие окружающей среде методы. Фокусируясь на результатах анализа объема ниши и текущих методах борьбы с сорным растением, составлена бизнес-модель и план реализации выхода на рынок сельскохозяйственного оборудования.

*Ключевые слова:* борщевик, предпринимательство, бизнес-модель, анализ, финансы

Борщевики — это обширная группа растений, но так сложилось, что чаще всего им приписывают свойства одного агрессивного вида. Борщевик Сосновского оставляет ожоги на коже, чрезмерно плодовит, мешает прорастанию сельскохозяйственных культур и негативно сказывается на здоровье животных, потребляющих его в пищу; кроме того, его очень сложно уничтожить полностью.

Экспансия этого сорняка в настоящее время происходит преимущественно на территории Северо-Западного региона РФ, а также непрекращающееся распространение этого вида в соседние регионы обусловили активный поиск методов и средств борьбы с ним.

Текущие методы борьбы с сорным растением имеют свои преимущества и недостатки:

**Выкапывание** подходит для уничтожения только единичных особей и небольших скоплений, но корень все равно может остаться в земле и сорняк вырастет снова.

**Вспашка** подходит для обладателей специальной техники, однако семена борщевика все равно разносятся колесами трактора.

**Гербициды** оказывают пагубное влияние на растущие рядом культуры и в целом негативно сказывается на почве, также загрязняет воздух.

**Покос** весьма неэффективен, потому что не позволяет избавиться от почечек растения, что приводит к дальнейшему распространению на территории. Борщевик от покоса не погибает, но так можно хотя бы сдержать его расселение на новые территории, если косить часто и не давать созреть новым семенам

В использовании нашей установки нет недостатков традиционных методов обработки почвы от сорняка – оно действует раз и навсегда и без вреда для окружающей среды. Способ воздействия на растение следующий: пользователь втыкает в основание стебля два электрода на конце установки и жмет на кнопку в составе блока управления. Далее на электроды поступают высоковольтный разряд, который выжигает борщевик изнутри и через пару дней растение вымирает.

Предлагаемое в нашем проекте переносное мобильное высокотехнологичное устройство «Killwee» и способ (индивидуальное воздействие на корневую систему

растения высоковольтным импульсом) для борьбы с борщевиком исключает его механическое повреждение, тем самым минимизируя попадание сока борщевика на кожу человека. Благодаря предлагаемому способу борьбы, мы сохраняются полезные свойства почвы, так же не травмируем окружающие его растения. Все это делает наш способ борьбы более безопасным и экологичным, по сравнению с традиционными методами борьбы с борщевиком. «Killwee» позволит решить проблему распространения борщевика в Северо-западном федеральном округе и Ленинградской области.



*Рис. 1. Дизайн установки*

Среди наших потенциальных клиентов можно выделить 4 большие группы:

**Компании, предоставляющие услуги по борьбе с борщевиком:**

Данные компании нуждаются в эффективных и безопасных решениях для уничтожения борщевика – агрессивного и опасного сорняка. Им требуются устройства, которые могут быстро и качественно справляться с борщевиком на больших площадях, не нанося вреда окружающей среде.

**Агрохолдинги**

Агрохолдинги заинтересованы в устройствах, которые помогут им комплексно бороться с широким спектром сорняков на их сельскохозяйственных угодьях. Им нужны решения, которые позволят снизить затраты на применение гербицидов, повысить урожайность культур и сохранить плодородие почвы.

**Предприятия дорожного обслуживания**

Для предприятий, занимающихся обслуживанием дорог, важны устройства, которые могут эффективно уничтожать сорняки вдоль обочин и на разделительных полосах. Такие решения должны быть компактными, мобильными и безопасными для использования в общественных местах.

**Компании по управлению парками и садами**

Компании, ответственные за содержание парков и садов, нуждаются в устройствах, которые помогут им бороться с сорняками на газонах, клумбах и других ландшафтных объектах. Эти решения должны быть экологичными, не наносить вреда растениям и обеспечивать аккуратное и эстетичное удаление сорняков.

Использование устройства «KillWee» будет дешевле в сравнении с химическим методом обработки, если рассчитывать количество возможных обработанных земель одним человеком (120 Га) за время гарантийной работы устройства (3 года), однако

несколько дороже механического метода: химический метод – 280 000 р.; механический метод – 45 000 р.; «KillWee» – 65 000 р.

Вес устройств, используемых при химическом методе обработки (9 кг), больше, чем у «KillWee» (до 5 кг) и устройств с механическим методом обработки (до 5 кг).

«KillWee» эффективнее остальных методов: «KillWee» – 90%, химический метод обработки – 70%; механический метод обработки – 25%.

Также «KillWee» является самым безопасным в использовании для человека и природы, в сравнении с другими методами борьбы.

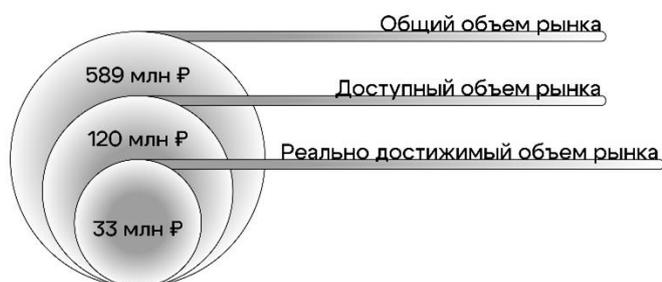


Рис. 2. Объем рынка (анализ SOM/SAM/TAM)

#### Сегмент и доля рынка:

Общий объем рынка – 589 млн. руб.; доступный объем рынка – 120 млн. руб.; реально достижимый объем рынка – 33 млн. руб.

Сегмент продажи установок по уничтожению сорняков электрическим способом имеет потенциал для роста в связи с растущим спросом на эффективные и экологически чистые методы борьбы со сорняками.

Потенциальные возможности для масштабирования бизнеса:

1. Расширение ассортимента установок: создание различных моделей, которые будут адаптированы к разным типам сорняков, почвы и условиям использования.
2. Заключение партнерских соглашений с предприятиями и организациями в сельском хозяйстве и садоводстве для продвижения продукции и предоставления услуг по её обслуживанию.
3. Ввод услуги аренды установок «KillWee» для клиентов, которые не готовы приобретать оборудование полностью, но заинтересованы в его использовании на временной основе.
4. Расширение рынка сбыта за счет экспорта продукции за пределы страны.

Итак, установки по уничтожению сорняков электрическим способом представляют собой перспективный сегмент рынка сельскохозяйственных и садоводческих технологий, и их продажи имеют потенциал для роста. Для масштабирования бизнеса в этой области важно развивать новые модели установок, заключать партнерские соглашения и рассматривать возможность экспорта товаров.

Финансовые показатели. Финансовые показатели были разделены на два этапа: за 2024 и 2025 годы. Первый этап будет нацелен на продвижение, следовательно, вся прибыль будет на создание первых прототипов и рекламу. Предположительный убыток: 445 000 рублей за календарный год.

На втором этапе, при помощи успешных вложений в маркетинг и продвижение нашего устройства, можно будет рассчитывать на окупаемость стартап-проекта к июлю 2025 года. Первые экземпляры устройства будут стоить дороже, однако последующие,

при наладке поставок, сократят расходы. По итогам 2025 года, чистая прибыль должна составить 676 000 рублей.

Бизнес-модель Остервальдера представлена на рисунке 3:



Рис. 3. Бизнес-модель Остервальдера

В стратегии продвижения планируется сделать акцент на различных выставках. Для выстраивания связей с агрохолдингами, компаниями, оказывающими услуги по борьбе с борщевиком, предприятиями дорожного обслуживания и компаниями по управлению парками и садами. Команда проекта будет нацелена в первую очередь на участие в различных выставках и отраслевых конференциях, а также на распространении коммерческого предложения продукта.

Для расширенной целевой аудитории будет разработана реклама в интернете, а также создан сайт, где будут подробно описаны наши услуги и информация об устройстве.

Таким образом, написанный в рамках статьи план развития может послужить основой для продвижения проекта в сфере AgroTech, привлечения инвестиций и знакомства со стейкхолдерами рынка.

### Список литературы

1. ProductStar Бизнес-модель Остервальдера: что это такое? // школа ProductStar. – 2020 – 18 июня [Электронный ресурс]. URL: <https://vc.ru/productstar/135102-biznes-model-ostervaldera-cto-eto-takoe?ysclid=lv3kh6u91840881691> (дата обращения 03.05.2024).
2. Топорков В.Н. Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками, Диссертация – 2015 г.
3. Червяков, Д.М. Механизм воздействия электрических разрядов на растения [Текст]/Д.М.Червяков Электронная обработка материалов, 1979, № 5, 70-71 с.
4. Антиборщевик: методы борьбы с борщевиком? // общество Антиборщевик 2023 20 сентября [Электронный ресурс]. URL: <https://antiborschewik.info/method> (дата обращение 29.02.2024)
5. Устройство для уничтожения сорняков[Текст]: а.с. 1692471: МКИ А 01М 21/00 / Бан А.Г., Донцов А.В., Старченко А.А.; заявитель и патентообладатель Брянский СХИ. - №4782680/15; заявл. 22.12.89; опубл. 23.11.91. Бюл. №43.-13 с.: ил

## РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА АГРЕГАТОРА НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ

Долгополов С.М., Кузьмина А. Д.<sup>1</sup>

САНКТ- ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«ЛЭТИ» РОССИЯ, Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

**Аннотация.** Технология нейронных сетей активно развивается, появляются новые разработки, растет объем рынка. Для удобного использования появляющихся инструментов требуется разработанная инфраструктура. Хорошим решением являются агрегаторы нейросетей, однако даже для их использования требуются специфичные знания о нейросетях. Таким образом, появляется возможность коммерчески успешной разработки агрегатора, который будет позиционироваться для людей, не знакомых с технологией. В данной статье проанализированы темпы роста и объем рынка нейронных сетей, рассмотрены существующие приложения – агрегаторы нейросетей и предложена идея инновационного агрегатора.

*Ключевые слова:* нейронная сеть, агрегатор, разработка, инновации

В эпоху цифровой трансформации активно развивается IT-сфера, вместе с ней растет и рынок нейронных сетей. Кроме того, увеличивается вычислительная мощность и появляется все больше возможностей обрабатывать большие объемы данных. ChatGPT от OpenAI, вышедший в 2022 году, показал огромный потенциал использования генеративных нейросетей (то есть тех, которые умеют генерировать изображения, музыку, речь и тексты, напоминающие созданные человеком), что еще сильнее ускорило развитие технологий и рост рынка. По данным отчета SNS Insider, объем рынка искусственных нейронных сетей в 2022 году оценивается в 216,48 млн. долл. Прогнозы показывают, что в период с 2023 по 2030 год прогнозируется рост с темпом роста 21,4%, что в конечном итоге приведет к достижению объема в 1,02 млрд. долл. [1]. Ниже представлена диаграмма с прогнозируемым согласно исследованию объемом рынка.

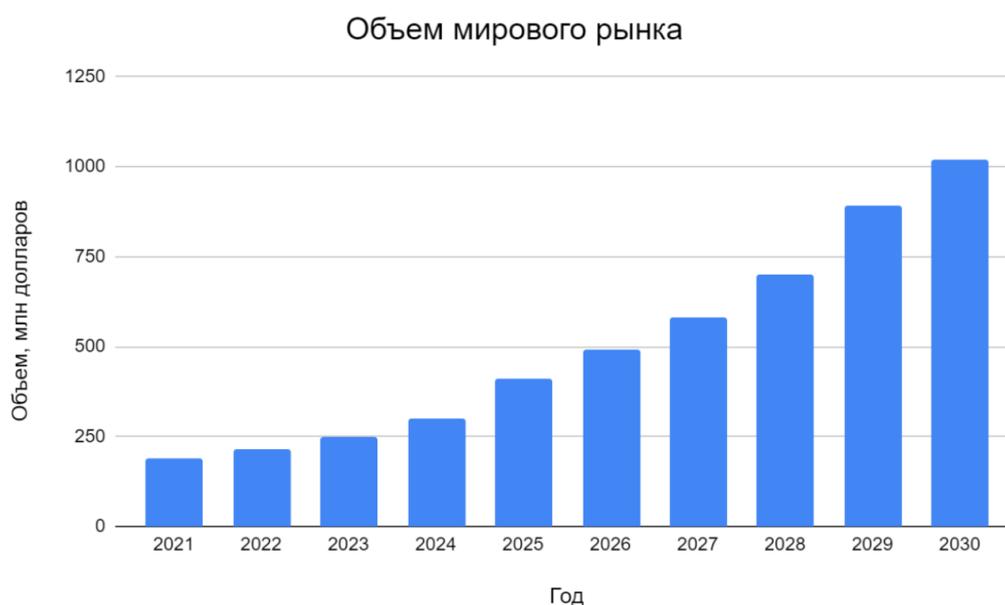


Рис. 1. Объем мирового рынка по годам

Таким образом, рынок нейронных сетей является перспективным для разработки новых продуктов, тем более что существующие приложения не закрывают все потребности клиента, а значит есть возможность сделать коммерчески успешный продукт.

В ходе исследования были рассмотрены следующие приложения:

BotHub [2] – веб-приложение, которое может генерировать текст и изображения, без регистрации доступна генерация текста в ограниченном режиме, после регистрации сгенерировать картинку также не представляется возможным, необходима подписка.

Neurocloud [3] – веб-приложение, которое может генерировать текст, изображение, а также озвучить текст, в сравнении с BotHub агрегировано уже больше различных нейросетей. Без регистрации использовать нельзя, после регистрации доступна генерация только половины нейросетей, однако при попытке получить изображение приложение выдало ошибку.

ZionGPT [4] – веб-приложение, которое может генерировать текст и изображения, поддерживает всего три нейросети: ChatGPT, Midjourney, DALL-E. Без регистрации использовать нельзя, после регистрации доступны все нейросети. Приложение успешно сгенерировало изображение и текст уже в пробном формате.

Во всех рассмотренных приложениях нет возможности попробовать сразу при заходе на сайт сгенерировать нужный пользователю тип контента, даже после регистрации такая возможность появляется только в ZionGPT. Кроме того, чтобы сгенерировать изображение или текст, нужно вручную выбирать нейросеть, настраивать ее и только тогда делать запрос. Также взаимодействие с различными нейросетями ведется в разных чатах, что делает агрегаторы недостаточно универсальными и удобными инструментами. Таким образом, пользователю, не знакомому с данной сферой, будет тяжело получить положительный опыт от использования таких приложений.

В рамках статьи авторы предлагают идею создания инновационного агрегатора нейросетей, который решит обозначенные выше проблемы и будет позиционироваться для людей, не знакомых с данной сферой. Человек, который до этого не пользовался нейросетями, сможет сгенерировать любой тип контента: код, текст, изображение, звук, видео. Кроме того, будет возможность взаимодействовать со всеми нейросетями в одном окне, используя только текстовые запросы. Пользователю не нужно будет разбираться в моделях нейросетей, их версиях и особенностях настройки.

Чтобы реализовать такое приложение, необходимо разработать нейросеть, которая будет понимать по текстовому запросу пользователя, какой тип контента он хочет сгенерировать. Таким образом, отпадает необходимость выбирать в инструменте конкретную модель, ведь данную задачу будет решать разработанная нейросеть. Пользователю останется только ввести запрос и получить ожидаемый результат. Кроме того, следует проработать интерфейс, чтобы приложением было удобно и понятно пользоваться, ведь позиционироваться оно будет для неопытных пользователей.

Для реализации такого агрегатора нейросетей требуется разработать следующие аспекты:

Дизайн – дизайн веб-приложения играет огромную роль в удобстве пользования сайта.

Frontend – веб-приложение должно отображаться на разных устройствах и предоставлять пользователю доступ к генерации контента.

Backend – веб-приложение будет обрабатывать данные, взаимодействовать с базой данных, выдавать ответов на запросы пользователя

ННБ XII, Санкт-Петербург, 16 – 17 мая 2024

Нейросеть – ключевая особенность данного продукта и самая важная часть приложения, именно она будет анализировать, какой тип контента хочет сгенерировать пользователь.

Отдельной задачей является расчет стоимости разработки, сроков реализации задачи и объема привлекаемых трудовых ресурсов.

В заключении стоит отметить, что реализация такого инновационного агрегатора нейросетей влечет за собой определенные риски, однако при правильной разработке и позиционировании проект имеет большой коммерческой потенциал.

### **Список литературы**

1. Темпы роста и объем рынка искусственного интеллекта // SNS Insider. URL: <https://www.snsinsider.com/reports/artificial-neural-network-market-1255> (дата обращения: 28.04.2024).
2. Веб-приложение ZionGPT // URL: <https://app.ziongpt.ai/> (дата обращения: 28.04.2024).
3. Веб-приложение Neurocloud // URL: <https://neurocloud.pro/> (дата обращения: 28.04.2024).
4. Веб-приложение BotHub // URL: <https://bothub.chat/> (дата обращения: 28.04.2024).

## **АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРОВАНИЯ QR-КОДОВ.**

ИВАНОВ В.Н.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» Россия, г. Санкт-Петербург*

### **Аннотация.**

Данная статья содержит требования к качеству системы распознавания объектов на конвейерной линии в контексте современных потребностей в складской логистике. На основании анализа потребителей выявлены основные функции системы, такие как сканирование QR-кодов, управление инвентаризацией через телеграм-бота и хранение данных в базе данных. Рассмотрена архитектура и определены требования к качеству системы. Результаты анализа позволяют определить направления дальнейшего развития и улучшения системы для обеспечения производительности и автоматизации процессов складской логистики.

*Ключевые слова: логистика, считывание, QR-код, база данных, инвентаризация, телеграм-бот*

В сфере складской логистики современные технологии играют важную роль в оптимизации управления запасами и оперативности обработки заказов. Данная разработка системы считывания QR-кодов направлена на автоматизацию процессов идентификации и отслеживания товаров на складе. Это позволяет значительно повысить точность учета товаров, сократить время инвентаризации и улучшить общую эффективность складских операций.

### **Потребители и заинтересованные лица**

Сотрудники склада: главные пользователи системы, которые будут взаимодействовать с программой по считыванию QR-кодов, базой данных и телеграм-ботом.

Менеджеры склада и логистики: заинтересованные стороны, которые будут использовать систему для контроля инвентаризации и управления складскими операциями.

Руководство компании: заинтересованные стороны, которые ожидают улучшения эффективности и точности управления складом с помощью разработанной системы.

На рисунке 1 изображена укрупненная архитектура системы. Товар перемещается по конвейерной линии, проходит через сканер, и информация о нем записывается в БД, после чего пользователь через телеграмм-бота может получить нужную информацию про товар.

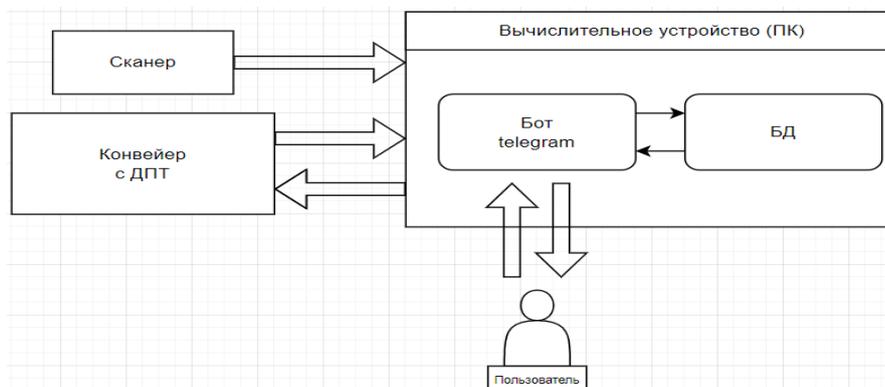


Рисунок 1. – Архитектура системы.

### Функции и требования к системе

Таблица 1

Функция	Требования
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Считывание QR-кодов товаров для их идентификации и отслеживания на складе.</li> <li>● Предоставление подробной информации о каждом товаре, доступной в режиме реального времени.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Освещенность помещения.</li> <li>● Дистанция считывания кода.</li> <li>● Производственная мощность</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Оповещение сотрудников о необходимости инвентаризации.</li> <li>● Принятие данных для автоматического обновления базы данных.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Постоянное интернет-соединение.</li> <li>● Соблюдение стандартов безопасности данных.</li> <li>● Использование защищенных протоколов связи.</li> <li>● Внедрение механизмов аутентификации и авторизации.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Создание структурированной реляционной базы данных для товаров, складских ячеек и инвентаризации.</li> <li>● Обеспечение безопасности и целостности данных.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Соблюдение стандартов баз данных, включая ACID.</li> <li>● Применение протоколов безопасности для защиты от несанкционированного доступа.</li> </ul>

**Различия между показателями внутреннего качества, показателями внешнего качества и показателями качества при использовании системы.**

*Таблица 2*

Тип измеряемых свойств	Свойства программного продукта	Свойства поведения компьютерной системы	Свойства взаимодействия человеко-машинной системы
Показатель качества	- Корректность работы функций и алгоритмов.	- Стабильность работы, отсутствие сбоев и зависаний.	- Легкость и понятность интерфейса для пользователя. Высокая скорость ответа на действия пользователя.
Свойства программного продукта	- Эффективность использования ресурсов (память, процессорное время).		
Свойства компьютерной системы		- Устойчивость к внешним воздействиям (шум, вибрации, температурные изменения).	- Быстродействие и отзывчивость системы на команды пользователя.
Свойства человеко-машинной системы			Обратная связь от системы пользователю, понятные и информативные сообщения об ошибках или состоянии системы.

**Анализ текущего состояния системы считывания QR-кодов.**

**Освещенность помещения:**

***Желаемая освещенность:***

Комбинация точечного и равномерного освещения. Установка светильников высокой яркости над конкретными точками сканирования кодов, а также распределить равномерные светильники для общего освещения зоны работы. Рекомендуемый уровень освещенности составляет от 300 до 1000 люкс.

***Имеющаяся освещенность:***

Освещенность рабочего помещения до 300 люкс. Отсутствуют дополнительные источники света в системе.

**Дистанция считывания кода:**

***Желаемая дистанция:*** от 80 до 150 см. в зависимости от размера груза на конвейерной линии.

***Имеющаяся дистанция:*** от 20 до 40 см.; используются модельки грузов

**Размер и поверхность стикера с QR-кодом:**

***Имеющаяся:*** Матовая поверхность, размер: 4x4 см. Соответствует желаемой

**Количество обработанных qr-кодов за установленное время:**

**Имеющееся:** 25 в минуту

**Желаемая:** В зависимости от требования заказчика. Например, если через участок сканирования в течении одной минуты проходит 20 объектов с qr-кодами, производственная мощность равна 20 обработанным объектам в минуту.

Таким образом, для корректной работы системы считывания QR-кодов были определены не только требования к компонентам системы, но и условия окружающей среды, влияющие на качество считывания исходных данных.

**Список литературы**

1. И.В. Тарасов / Н.А. Попов // Статья «ИНДУСТРИЯ 4.0: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАБРИК» - 2018 г.
2. Соуза-Перейра Л, Помбо Н, Уби С. Качество программного обеспечения: применение модели процесса для оценки качества в использовании // <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157822001173> (дата обращения: 15.04.2024).
3. Черников, Б.В. Управление качеством программного обеспечения: Учебник / Б.В. Черников. - М.: Форум, 2017. - 368 с.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ HR-СИСТЕМЫ: АКЦЕНТ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.**

КУРГАНБАЕВ Ж.Т, ВАСИЛЬЕВА О.А.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» Россия, г. Санкт-Петербург*

**Аннотация:** в современном мире машинный интеллект становится все более актуальным в сфере управления персоналом. Традиционные методы управления персоналом уступают место подходам, основанным на искусственном интеллекте. Искусственный интеллект помогает анализировать данные, автоматизировать процессы и принимать обоснованные решения. Он охватывает такие области, как подбор персонала и анализ. ИИ улучшает процессы подбора персонала и помогает анализировать данные о сотрудниках для повышения вовлеченности и создания эффективной рабочей среды. Это позволяет улучшить управление персоналом, оптимизировать процессы подбора персонала, развития персонала и принятия стратегических решений.

*Ключевые слова:* HR-отдел, искусственный интеллект, рынок, персонал, сотрудники, подбор персонала

В связи с переходом от индустриальной в цифровую эпоху сфера управления человеческими ресурсами (HR) вступает в новую эру, родившуюся со стремительным развитием технологий и растущей ценностью данных. Традиционные методы подбора, оценки и развития персонала уступают место инновационным подходам, основанным на анализе данных и искусственном интеллекте (ИИ).

HR-специалисты сталкиваются с новыми вызовами, такими как:

- Глобализация и конкуренция за таланты на мировом рынке труда, что требует более эффективных и гибких подходов к поиску и найму.

- Изменение потребностей сотрудников, которые уже имеют другие ожидания от работы, ценят в работе гибкость, возможности развития и позитивный опыт.
- Необходимость принимать решения в условиях быстро меняющегося рынка, HR-специалистам нужны надежные данные и инструменты для принятия стратегических решений.

Здесь на помощь приходят интеллектуальные HR-системы, которые позволяют анализировать огромные массивы данных о сотрудниках и процессах, автоматизировать рутинные задачи и получать ценные детали для принятия более эффективных решений. Переход к новой эре управления человеческими ресурсами открывает перед компаниями уникальные возможности для оптимизации HR-процессов.

Раньше, учет кадров еще велся вручную, с помощью бумажных документов и картотек. Это был трудоемкий процесс, в котором можно допустить множество ошибок. С появлением компьютеров HR-процессы стали автоматизироваться, появились первые программы для расчета заработной платы и учета рабочего времени.

Постепенно функционал HR-систем расширялся. Они стали включать в себя инструменты для подбора, обучения и оценки персонала. С развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения HR-системы превратились в интеллектуальные платформы, способные анализировать данные о сотрудниках, прогнозировать тенденции и помогать в принятии решений.

Таким образом, HR-системы прошли путь от простых инструментов учета к сложным интеллектуальным платформам, которые играют важную роль в повышении эффективности управления персоналом. Искусственный интеллект (ИИ) активно внедряется в различные сферы деятельности, и HR не является исключением. Применение ИИ в HR позволяет автоматизировать рутинные задачи, получать ценные сведения из данных о сотрудниках и принимать более эффективные решения.

#### 1. Ключевые области применения ИИ в HR:

- Подбор персонала
- Автоматизация подбора резюме

Алгоритмы могут анализировать множество резюме и отбирать наиболее подходящих кандидатов, учитывая требования вакансии и нужды компании.

- Чат-боты для первичной проверки кандидатов

Чат-боты могут собрать информацию о кандидатах, провести проверку их квалификации и также ответить на простые вопросы.

- Видеоинтервью с использованием ИИ

Искусственный интеллект может проанализировать то, как себя ведет человек во время интервью, что в дальнейшем поможет оценить его стрессоустойчивость и навыки в коммуникации.

- Персонализированное обучение и развитие

Алгоритм может помочь с организацией обучения сотрудников и кандидатов, предлагая различные курсы исходя их индивидуальных целей на развитие определенных людей.

- Планирование преемственности

Алгоритм может проанализировать сотрудников компании и подобрать того, кто больше подойдет на освободившуюся должность.

## 2. HR-аналитика:

### Анализ данных о сотрудниках

Искусственный интеллект может помочь проанализировать работоспособность и другие данные о сотруднике, чтобы оценить его данные для применения в компании.

### Прогнозирование потребностей в персонале

Анализируя рынок и тенденции его развития, ИИ может прогнозировать будущую нужду компании в определенных специалистах.

Применение ИИ в HR открывает перед компаниями новые возможности для оптимизации HR-процессов, повышения вовлеченности сотрудников и создания более эффективной рабочей среды.

Применение ИИ в подборе персонала позволяет компаниям:

Сократить время и затраты на поиск кандидатов

Повысить качество найма

Снизить риски, связанные с наймом неподходящих кандидатов

Создать более объективный и эффективный процесс подбора персонала

Использование ИИ в подборе персонала – это шаг к более интеллектуальному и data-driven (опирающемуся на данные) подходу к управлению человеческими ресурсами.

Удержание талантливых сотрудников – ключевая задача для любой компании. Искусственный интеллект (ИИ) предоставляет HR-специалистам мощные инструменты для анализа факторов, влияющих на удержание персонала, прогнозирования рисков ухода и разработки эффективных стратегий удержания.

Как ИИ помогает анализировать вовлеченность и удерживать персонал:

- Анализ данных о сотрудниках:
- ИИ может анализировать производительность и вовлеченность в деятельность сотрудников, что может указывать на необходимость увольнения сотрудника или изменения условий работы с ним. Также это может помочь HR-специалистам создавать данные с градацией сотрудников по вовлеченности.
- Мониторинг настроения сотрудников:
- Искусственный интеллект может анализировать различные сообщения в корпоративных чатах, чтобы выявлять настроение и проблемы, также можно анализировать тональность голоса во время звонков.
- Прогнозирование увольнений:
- ИИ может оценивать возможность увольнения работника, анализируя данные прошлых периодов, также включая туда данные по сотруднику, чтобы прогноз был более четким.
- Разработка стратегий удержания:
- Искусственный интеллект может предложить HR-специалистам различные рекомендации по тому, как удержать определенного сотрудника, исходя из его требований.

В условиях конкурентного рынка труда эффективное управление талантами становится решающим фактором успеха компании. Искусственный интеллект предлагает инновационное решение для оценки потенциала сотрудников, персонализации обучения и развития, а также планирования карьерного роста.

- Преимущества использования ИИ в управлении талантами:
- развитие и удержание талантливых сотрудников
- повышение эффективности обучения и развития

- оптимизация затрат на обучение
- улучшение планирования преемственности
- повышение мотивации и вовлеченности сотрудников.

Применение ИИ в управлении талантами позволяет компаниям создать среду, способствующую росту и развитию сотрудников, что в свою очередь повышает конкурентоспособность и эффективность бизнеса

Интеллектуальные HR-системы, основанные на искусственном интеллекте (ИИ), предлагают ряд преимуществ для компаний, стремящихся оптимизировать управление персоналом и повысить эффективность бизнеса.

- Ключевые преимущества интеллектуальных HR-систем:
- повышение эффективности
- снижение затрат
- улучшение качества решений
- повышение вовлеченности сотрудников

Интеллектуальные HR-системы – это мощный инструмент для трансформации HR-функции и создания конкурентного преимущества для компании в условиях цифровой экономики.

Несмотря на все преимущества, работа с искусственным интеллектом сталкивается с рядом проблем и аспектов, которые следует соблюдать для предотвращения трудностей.

- Основные этические аспекты и вызовы:
- Конфиденциальность данных: Сотрудники должны быть проинформированы о том, какие данные собираются и анализируются и что в компании присутствует защита персональных данных и соблюдается законодательство при работе с ними.
- Предвзятость алгоритмов:

Алгоритмы ИИ имеют предвзятые отношения, так как могут обучаться на данных, которые содержат скрытые стереотипы или определенные предубеждения, поэтому необходимо постоянно проверять алгоритм, контролировать его работу и устранять проблемы.

- Человеческий фактор в эпоху ИИ:

Несмотря на все достижения ИИ, он может быть только инструментом для человека, за решением все еще должен стоять квалифицированный сотрудник, а ИИ только сокращается издержки его работы. Использование автоматизации может сократить рабочие места в HR-отделе, что вызывает необходимость переквалификации и адаптации данных сотрудников в компании.

Важно найти баланс между использованием преимуществ ИИ и минимизацией рисков, связанных с его применением. Необходимо полноценно изучать вопрос использования искусственного интеллекта для корректной работы с ним.

- Основные тренды развития интеллектуальных HR-систем:
- Гиперавтоматизация: ИИ будет автоматизировать все большее количество HR-задач, включая подбор персонала, адаптацию новых сотрудников, оценку эффективности, обучение и развитие. Это позволит HR-специалистам сосредоточиться на более важных стратегических задачах.
- Персонализация: ИИ будет использоваться для создания персонализированного опыта для каждого сотрудника, учитывая его индивидуальные потребности, интересы и цели в карьере.

- Прогнозирование: ИИ будет помогать HR-специалистам прогнозировать будущие потребности в персонале, риски увольнений и другие важные показатели. Это позволит компаниям принимать более обоснованные решения в области управления персоналом.
- Интеграция с другими бизнес-системами: Интеллектуальные HR-системы будут интегрироваться с другими бизнес-системами, такими как CRM, ERP, что позволит получить более полное представление о бизнесе и принимать более эффективные решения.

Искусственный интеллект имеет огромный потенциал для трансформации HR-процессов и улучшения работы отделов кадров. Однако, необходимо помнить о важности баланса между автоматизацией и человеческим фактором в HR, чтобы сохранить гибкость и эффективную работу с персоналом. ИИ может облегчить работу сотрудников, но не полностью заменить их, поэтому важно поддерживать персонал и корректно относиться к его работе.

### Список литературы

1. Васильева, Е. В., Пестряков, П. П. Применение методов бизнес-аналитики в организации процесса подбора кадров в технологических стартапах // Управление. – 2018. – Т. 6, № 3. – С. 45-54.
2. Грэхем, Х. Т., Беннетт, Р. Управление человеческими ресурсами: учебное пособие; пер. с англ. Т.Ю. Базаровой, Б.Л. Ереминой. – М.: Юнити, 2003. – 600 с.
3. Петров, С. В. Эффективность командообразования в современном процессе управления персоналом // Управление. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 86-90.
4. Берсин, Д. Искусственный интеллект в сфере управления персоналом: по-настоящему «убойное» приложение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/ru/ru/pages/human-capital/articles/ai-in-hr.html> (дата обращения: 08.04.2020).
5. Болтон, Р., Донгри, В., Саран, К., Феррье, С. Будущее HR 2019: что отличает пассивного наблюдателя от активного участника? // KPMG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/04/ruru-future-of-hr-2019.pdf> (дата обращения: 12.04.2020).

## АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ РАЗРАБОТКИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ

Д.В. СПИЦЫН

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» Россия, г. Санкт-Петербург

**Аннотация.** В данной статье проводится анализ требований к качеству разработки климатической камеры. Основываясь на результате опроса потребителей, автором выделены ключевые функции камеры, такие как регулировка температуры и влажности, сохранение данных, полученных в результате испытаний, и другие. Для реализации функций были определены и проанализированы требования к качеству климатической камеры. Результаты анализа позволяют определить направления для улучшения камеры, что в свою очередь позволит обеспечить эффективное проведение испытаний и исследований в установленных климатических условиях.

*Ключевые слова:* климатическая камера, температура, влажность, регулирование, испытание, управление качеством.

### **Определение потребителей**

Потребителями климатических камер являются предприятия и компании, занимающиеся производством и тестированием различных изделий, имеющих требования к условиям хранения или эксплуатации.

Климатическая камера — это лабораторное оборудование, применяемое в учебных заведениях, авиационной, металлургической и химической промышленности, а также в научно-исследовательских центрах. Камера для климатических испытаний создана для точного моделирования воздействия окружающей среды с экстремальными температурами на различные вещества и материалы, поэтому, все подобное оборудование оснащено приборами контроля влажности и температуры [1].

Климатические камеры позволяют создавать определенные климатические условия (температура, влажность, освещенность, песчаная буря и другие) для проведения испытаний и тестирования продукции. Помимо этого, потребителями могут быть научные и исследовательские учреждения, которые используют климатические камеры для проведения различных экспериментов и исследований в контролируемых климатических условиях.

Благодаря появлению в компаниях климатических камер, у них появляется возможность проверить и оценить качество своих изделий на влияние внешних факторов, с которыми они могут столкнуться при практическом применении.

### **Функции продукции**

Для того, чтобы определить функции разработанного продукта, необходимо знать, какие требования и ожидания потребителя предполагаются, устанавливаются или являются обязательными для данного изделия.

Для климатической камеры необходимы следующие функции:

- регулировка пользователем температуры;
- регулировка пользователем влажности;
- наличие возможности сохранять результаты испытаний в удобном формате;
- наличие дополнительных режимов;
- наличие смотрового окна в камере;
- связь программного интерфейса с другими системами, чтобы у пользователей была возможность без особых усилий установить связь с интерфейсом;

### **Качество и характеристики**

Качество – степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям (согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015) [2].

Для обеспечения качества разработки и производства климатических камер необходимо обратиться к соответствующим стандартам и спецификациям. Благодаря знаниям программирования и работы с контроллерами, стандартов и нормативов, принципов работы систем охлаждения и увлажнения, техническому пониманию климатических процессов разработчики и проектировщики климатической камеры смогут создавать высококачественные и надежные системы для проведения испытаний, хранения продукции или создания определенных климатических условий для специфических целей, что позволит эффективно управлять процессами поддержания заданных климатических параметров в камере, обеспечивая точность и надежность результатов.

**Функциональные требования**

Функции по группам	Источник	Требование
Управление и контроль	ГОСТ 25051.2-82	- Регулирование температуры в пределах заданных значений. - Управление влажностью и давлением. - Мониторинг параметров окружающей среды. - Автоматическое отключение при достижении критических значений
Средства измерения	ГОСТ 8.002-71	Средства измерений, применяемые при аттестации, должны пройти государственную или ведомственную поверку по ГОСТ 8.002-71 и иметь свидетельства о проверке (протоколы, клейма) с неистекшим сроком действия
Обработка результатов	<a href="#">ГОСТ 8.207-76</a>	Полученные результаты должны иметь допустимые погрешности
Безопасность	ГОСТ Р 53618-2009	- Датчики аварийного отключения при перегреве или переохлаждении. - Система аварийного оповещения оператора. - Заземление
Совместимость ПО	Пожелания потребителей	Совместимость программного обеспечения климатической камерой с операционными системами предприятий

Все перечисленные функциональные требования необходимы для обеспечения качественной разработки климатической камеры.

Для обеспечения точности и надежности измерений проводятся множественные проверки в различных точках камеры. В соответствии со стандартом ГОСТ 12892-2019 камера должна обеспечивать точность температурного режима с определенной погрешностью.

Климатическая камера должна поддерживать заданный уровень относительной влажности. Качественная климатическая камера должна быть хорошо изолирована, чтобы минимизировать воздействие внешних условий на температурные показатели внутри камеры. Камера считается прошедшей испытания по параметру температуры или влажности, если результаты измерений соответствуют установленным стандартам. Это означает, что температура или влажность в каждой зоне камеры остается в пределах заданного диапазона с допустимой погрешностью в течение определенного времени, соответствующего режиму работы камеры.

Улучшение изоляции в свою очередь снизит вероятность отклонений полученных показателей от требуемых.

**Заключение**

Климатические камеры являются частью измерительной системы и могут прямым образом влиять на характеристики продукции и следовательно на качество полученных измерений, поэтому уточнение требований и характеристик качества является важной частью обеспечения качества продукции.

Исходя из предоставленной информации, можно утверждать, что при соответствии разработки перечисленным требованиям, разработка является качественной и может применяться по непосредственному назначению.

### Список литературы

1. <https://pel.spb.ru/articles/klimaticheskaya-kamera/> - общая информация и определение климатической камеры.
2. <https://docs.cntd.ru/document/1200124393> - ГОСТ Р ИСО 9000-2015.
3. Сакун И.А. – Холодильные машины.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В ЭПОХУ ИННОВАЦИЙ

ТАРАСОВА Я.А.<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Статья рассматривает важность использования стратегий технологического предпринимательства для реализации инновационной активности в нашей стране; её текущее состояние, перспективы технологического предпринимательства в контексте быстро меняющейся инновационной среды. Анализируются вызовы и возможности, с которыми сталкиваются технологические стартапы и предприниматели в условиях постоянного развития технологий. А также важность стимулирования инновационной деятельности государством и инвестициями.

*Ключевые слова:* технологическое предпринимательство, инновация, инновационная среда, сфера, высокие технологии, стартапы, государство, предприниматель, инвестиции

Настоящее время характеризуется формированием и ростом инновационной среды, уровень развития технологического предпринимательства играет значительную роль. На сегодняшний день, от предпринимателей требуется не только успешное владение бизнес-процессами, но и готовность к своевременным изменениям, адаптации к новым технологиям и постоянному стремлению к развитию своей сферы деятельности. Применение успешных стратегий в технологическом предпринимательстве и инвестирование средств в разработку высокотехнологичной продукции позволяет установить монополию на рынке инновационной деятельности, а также создать технологическую конкуренцию среди инновационно-ориентированных компаний.

Одним из важных вопросов, который решается в процессе технологического предпринимательства является возможность реализовать потенциал в новых технологиях и соответственно, применять их для создания инновационных продуктов и услуг. Немаловажно, чтобы предприятия имели возможность оперативно реагировать на изменения отрасли и расширять свой рынок. Технологическое предпринимательство - динамично развивающаяся сфера, использующая программы постоянного развития своих инновационных процессов. Стоит отметить, что в отличие от традиционного предпринимательства, целью которого почти всегда заключается в получении выручки и увеличении производства путем снижения издержек и затрат, технологическое предпринимательство имеет интерес в создании новых идей и получении нового продукта, отсюда же, эффективная работа предприятия, достигнутая через новый продукт/технология.

Инновационное развитие экономики путем интеграции передовых технологий является актуальной задачей любого индустриально развитого государства. С применением

современных подходов и стратегий инновационного развития, государство наращивает научно-технологическую базу и способствует выпуску конкурентоспособной и наукоемкой продукции. Разработка и производство новейших товаров и услуг являются основной движущей силой государства на пути к устойчивому развитию.

Инновационные механизмы - прямой катализатор в процессе роста высокотехнологичной промышленности и формировании инновационной инфраструктуры. Тенденция технологического предпринимательства подразумевает прирост высокотехнологичных производств, которые наиболее быстро набирают актуальность в современном мире: разработка искусственного интеллекта, робототехника, блокчейн, технопарки, биотехнологии, нанотехнологии, космический инжиниринг, инновации ядерной энергетики и др. Поэтому, именно уровень развития технологического предпринимательства и наличие инновационной целостной структуры внутри государства определяет то, какую позицию страна может занять на мировом рынке инноваций.

На данный момент, Россия не имеет совершенной структуры управления инновационной активностью. Реализация инновационной политики предполагает создание исследовательских центров и объединений, поддержка НИОКР, ориентированных на инновационные идеи, направленность на увеличение количества высококвалифицированных специалистов во всех производственных сферах и главное – заинтересованность в инвестирование и привлечение источников финансирования в новые проекты. Включение государства в разработку дополнительных возможностей для формирования инновационной политики позволяет создать благоприятные условия для активности данной сферы.

Объем инвестиций в инновационные программы – главный показатель вовлеченности государства в развитие технологического предпринимательства и высокотехнологичные секторы экономики. По информации за 2019 год (рис 1. - Кто сколько тратит на инновации, \$ млрд), по показателям ЮНЕСКО Россия – в десятке по размеру инвестиций в НИОКР, специалисты оценили инвестиции в размере \$40,3 млрд по паритету покупательной способности. Тем не менее, в отношении вложений к ВВП Россия не попадает в рейтинг 15-ти стран, ЮНЕСКО оценивает этот уровень в 1,1% от ВВП (среднемировое значение – 1,7%, а для Северной Америки и Западной Европы это 2,5%).

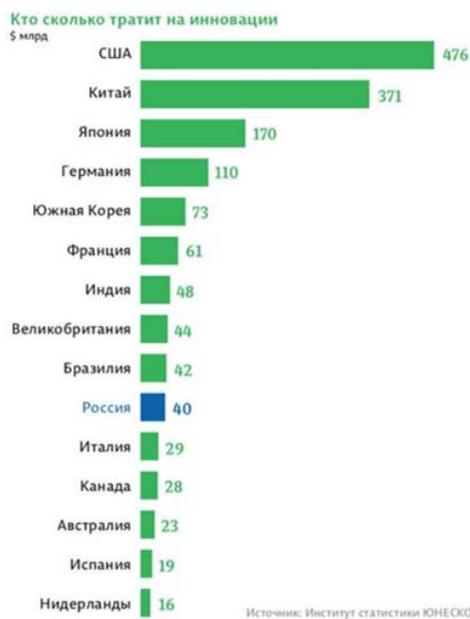


Рис 1. Кто сколько тратит на инновации, \$ млрд

В последующие годы, Россия начала реализовывать крупные проекты, которые способствовали увеличению количества стартапов, инвестиций и технологических инноваций. Так, исходя из данных отчета компании PwC (PricewaterhouseCoopers), размер инвестиций в российские технологические проекты составил порядка 1,3\$ миллиарда, а по оценкам Российской венчурной компании, более 3000 технологических стартапов было реализовано в России за 2020 год. Это свидетельствует о растущем интересе государства к технологическому предпринимательству, осознанию его необходимости, потенциала для дальнейшего развития страны в эпоху инноваций.

### Список литературы:

1. Вечканов Г.С., Вечканова Г.Р. Современная экономическая энциклопедия. – СПб., Издательство «Лань», 2002.
2. Технологические инновации и активность по данным Росстат. 2019 [Электронный ресурс]: стат. сб. / Росстат. – М., 2019. – Режим доступа: <https://rosinfostat.ru/innovatsii/>
3. Иванова Е. Филин С. Механизмы стимулирования инновационной деятельности малого и среднего бизнеса // Вестник института экономики Российской академии наук. – 2014. -№4. - С.51-64.
4. Бабурин В.Л., Земцов С.П. Инновационный потенциал регионов России. — Москва: КДУ «Университетская книга», 2017. — 358 с.
5. Технологические стартапы бьют рекорды в 2020 году. [Электронный ресурс] – 2020 – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2020/12/09/850144-tehnologicheskije-startapi>

## СЕКЦИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИКА

### ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКА: ИГРЫ МЕЖДУ ОТСЛЕЖИВАЮЩИМИ ДРОНАМИ

ЧЖАН К.<sup>1</sup>, ЧУРКИН Я.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет

**Аннотация.** Эта статья изучает теоретические и прикладные аспекты отслеживания беспилотных летательных аппаратов в процессе поиска и отслеживания движущихся целей. Далее в статье рассматривается, как решить проблему поиска с помощью методов теории игр, когда известна скорость обеих сторон, но направление движения одной из сторон неизвестно.

*Ключевые слова:* поиск и отслеживание, БПЛА, теория игр

#### Общая постановка задачи поиска

Защищающийся дрон обнаружил источник сигнала атакующего дрона. Он стремится оказаться как можно ближе к этому источнику. В работе рассматриваются задачи поиска и преследования подвижного объекта. Принципиальное отличие задач преследования от задач поиска состоит в том, что при преследовании используется текущая информация. Исследования в этой области используются при формировании военных стратегий. Рассмотрим задачи поиска. Хотя с момента начала разработки теории поиска прошло много времени, она далека от завершения. Количество работ по проблеме поиска подвижных объектов невелико, причем большинство из них посвящено решению частных задач. Отметим две монографии [1, 2], посвященные различным аспектам теории поиска.

Рассмотрим общую постановку задачи поиска [3]. Уравнения поиска в достаточно общем случае можно записать в виде:

$$\begin{aligned}z &= f(z, u_P, u_E, \xi, t), t \in [t_0, t_f] \\z(t_0) &= z^0; u_P \in U_P; u_E \in U_E,\end{aligned}$$

где  $z$  – вектор состояния (его координатами являются фазовые координаты  $P$  и  $E$ );  $u_P, u_E$  – управления (векторные)  $P$  и  $E$ ;  $\xi$  – векторный случайный процесс;  $U_P, U_E$  – множества допустимых значений управлений. Поиск рассматривается на конечном интервале времени  $[t_0, t_f]$ .

#### Игровые задачи поиска

Найдем решение задачи поиска, используя игровой подход [4, 5, 6]. В процессе поиска преследователь и убегающий движутся на плоскости равномерно и прямолинейно. Причем скорость  $E$  меньше скорости  $P$  ( $V_P > V_E$ ). Убегающий выбором начального курсового угла  $\varphi_0$  стремится противодействовать преследователю, т.е. стремится уклониться от обнаружения. Поэтому задача поиска в зависимости от степени информированности  $P$  и  $E$  формализуется как игра с дискриминацией или без дискриминации игроков. В качестве целевой функции выберем нормированное минимальное расстояние

$$R = \frac{r_{min}}{r_0} = R(\varphi_0, \gamma_0).$$

Очевидно, что преследователь стремится минимизировать, а убегающий – максимизировать целевую функцию. Стратегиями Р и Е являются начальные углы  $\varphi_0 = \varphi(t_0), \gamma_0 = \gamma(t_0)$ .

### Игровая задача поиска с дискриминацией убегающего

Дискриминация Р будет состоять в том, что Е известна стратегия Р, а Р неизвестна стратегия Е. При дискриминации Е преследователю известна стратегия Е, а Е неизвестна стратегия [7]

$$И_P = \{V_E, r_0, \varphi_0\}, И_E = \{V_P, r_0\}.$$

Примем в качестве целевой функции

$$R = \frac{r_{min}}{r_0}.$$

Тогда задача формализуется как максиминная задача:

$$R^+ = R(\gamma_0^+, \varphi_0^-) = \max_{\varphi_0 \in \Phi} \min_{\gamma_0 \in \Gamma_0} R(\gamma_0, \varphi_0).$$

$\gamma_0^+$  будем называть условной оптимальной стратегией,  $\varphi_0^-$  - гарантирующей оптимальной стратегией, а  $R^+$  гарантированным максимальным расстоянием.

Если максиминную задачу рассматривать как двухэтапную задачу выбора стратегий, в которой на первом этапе выбирает стратегию убегающий, а на втором этапе – преследователь, зная стратегию Е, тогда убегающему безразлично, какую стратегию выбирать, так как преследователь, придерживаясь стратегии  $\gamma_0^+ = \arcsin(v \sin \varphi_0)$ , обеспечивает  $R^+ = 0$ .

### Поиск при неизвестном курсе искомого объекта

Преследователь и убегающий в процессе поиска движутся на плоскости прямолинейно с постоянными скоростями  $V_P$  и  $V_E$ . Рассмотрим задачу поиска при информационном условии

$$И_P = \{V_E, r_0, \varphi_0 \in [-\pi, \pi]\}.$$

Т.е. преследователю известны начальное расстояние между ним и убегающим, скорость убегающего и что начальный курсовой угол убегающего может принимать любое значение из множества  $\Phi = \{\varphi_0: \varphi_0 \in [-\pi, \pi]\}$ . Таким образом, курсовой угол является случайной величиной с плотностью распределения вероятности

$$f_{\varphi_0} = \begin{cases} \frac{1}{\pi}, & \varphi_0 \in [-\pi, \pi] \\ 0, & \varphi_0 \notin [-\pi, \pi] \end{cases}.$$

### Методы преследования

Преследование – это сближение управляемой системы с некоторым управляемым или неуправляемым подвижным объектом. В отличие от поиска при преследовании преследователь при выработке управляющих воздействий использует текущую информацию о параметрах убегающего [1].

Классическими методами преследования являются методы погони, постоянного угла упреждения, параллельного и пропорционального сближения. Метод преследования определяет алгоритм движения преследователя. Каждый из методов обладает определенными достоинствами и недостатками.

Методом погони называют метод преследования, при котором вектор скорости преследователя в любой момент времени направлен на цель, т.е. курсовой угол равен нулю:

$$\gamma^0(t) = 0, t \in [t_0, t_f].$$

### Заключение

Миссии по поиску и отслеживанию имеют широкий спектр практических применений в военной области. Существует несколько способов решения этих проблем. В данной статье изучаются упрощенные поисковые задачи при различных информационных условиях. Для решения проблемы поиска используется игровой подход, при котором известны скорости преследователя и убегающего, но направление скорости одного из игроков неизвестно. Для задач, предполагающих направления как случайные величины с известными плотностями распределения, могут быть использованы геометрические методы для определения вероятности обнаружения убегающего.

### Список литературы

1. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. – М.: Советское радио, 1977.
2. Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска. – М.: Наука, 1985.
3. Ким Д.П. Методы поиска и преследования подвижных объектов. – М.: Наука, 1989.
4. Петросян Л.А. Дифференциальные (differential game of pursuit) игры преследования, СПб: Издат. Ленинградского университета, 1977.
5. Айзекс Р. Дифференциальные игры. – М.: Мир, 1967.
6. Малафеев О., Саифуллина Д., Иванович Г., Марахов В., Зайцева И. Модель многопроцессорного взаимодействия в проблеме транспортировки с коррупционным компонентом. Сборник трудов конференции АИР. Международная конференция по численному анализу и прикладной математике, ICNAAM 2016. 2017. Стр. 170015.
7. Малафеев О., Лахина Ю., Рединских Н., Смирнова Т., Смирнов Н., Зайцева И. Математическая модель расположения производственных объектов. Журнал Физики: Сборник статей конференции. 2019. Стр. 012090.
8. Малафеев О., Онищенко В., Зубов А., Бондаренко Л., Орлов В., Петрова В., Кирьянен А., Зайцева И. Оптимальная проблема размещения в транспортной сети как инвестиционный проект: численный метод. Сборник трудов конференции АИР. Международная конференция по численному анализу и прикладной математике (ICNAAM). 2019. Стр. 450058.
9. Малафеев О.А., Рылов Д., Пичугин Ю.А., Зайцева И. Статистический метод обнаружения коррумпированных агентов. Сборник трудов конференции АИР. Серия: Международная конференция по численному анализу и прикладной математике, ICNAAM 2017. 2018. Стр. 100014.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ КОНТУРОВ В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

БЕЛОВ А.М.

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

**Аннотация.** Сегментация объектов, основанная на классических алгоритмах компьютерного зрения с получением бинарной маски и поиском контуров, может быть нестабильна из-за изменений освещения. Кластеризация полученных контуров группирует контуры объекта и тем самым делает алгоритм более стабильным. В статье описаны результаты анализа производительности нескольких алгоритмов кластеризации для объединения контуров объектов на изображениях.

*Ключевые слова:* кластеризация, сегментация, поиск контуров.

### Цель исследования

Сегментация объектов или выделение объектов на изображении используется, когда важно получить не только местоположение объекта в пространстве, но и информацию о его

форме и размерах. Чаще всего сегментация выполняется при помощи методов глубокого машинного обучения или при помощи различных алгоритмов обработки изображения с последующим извлечением контуров.

Под обработкой изображения подразумевается применение к нему различных фильтров для получения маски объекта. Чтобы получить информацию об объектах с такой маски чаще всего используется алгоритм поиска контуров [1]. Данный алгоритм находит границу объекта на маске, а дальше двигается по данной границе, пока не будет получен замкнутый контур. На рисунке 1 продемонстрирован пример сегментации с использованием данного метода.

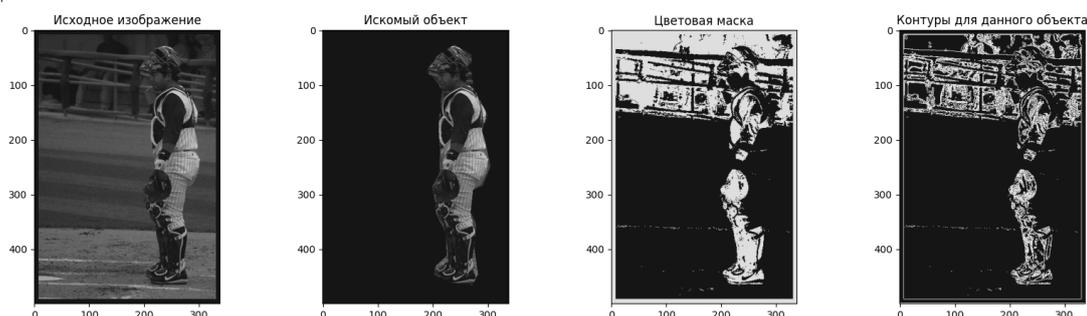


Рис. 1. Пример сегментации объекта по цвету с использованием поиска контуров

Данный пример показывает основной недостаток данного метода сегментации: нестабильность предобработки изображения. Например, небольшие изменения в освещении меняют цвет объекта и создают пробелы в его маске, а фильтрация по тусклому или белому цвету добавляет на маску большое количество шума. Чтобы исправить это, можно использовать алгоритм кластеризации, который группирует контуры обратно, чтобы объект можно было частично восстановить. На рисунке 2 продемонстрирована работа нескольких алгоритмов кластеризации для восстановления объекта на рисунке 1. Алгоритмы справляются с задачей и отделяют объект. Но алгоритмов кластеризации достаточно много, у каждого из них свои особенности и свой принцип действия. Поэтому выбор правильного алгоритма критически важен для успешного решения данной задачи.

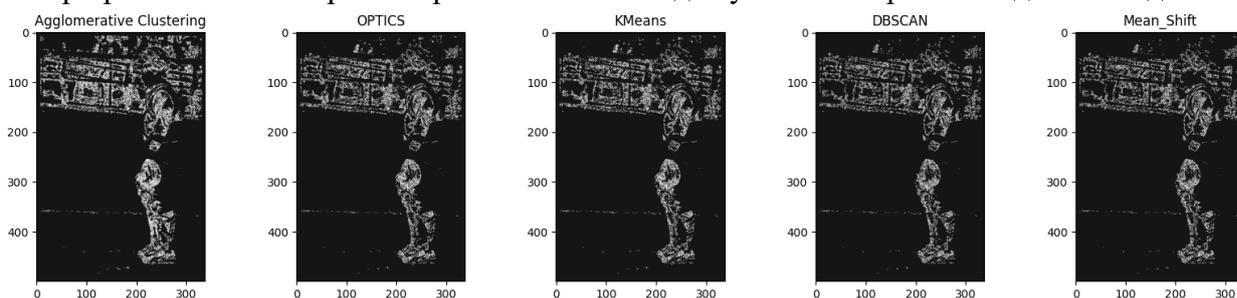


Рис. 2. Использование алгоритмов кластеризации для объединения контуров объекта

### Формирование векторов для кластеризации

Кластеризация выполняется для векторов в  $n$  мерном пространстве, но у контуров число точек может заметно отличаться. Поэтому вместо координат точек контуров можно использовать центральные моменты каждого контура. Их количество одинаково для каждого контура, и они имеют линейную зависимость со многими характеристиками контура, описывающими его положение на изображении, форму и размер.

### Тестируемые алгоритмы

Для сравнительного анализа были выбраны самые популярные алгоритмы кластеризации с различными принципами действия. Типы данных алгоритмов описаны в таблице 1.

Таблица 1

**Типы тестируемых алгоритмов кластеризации**

Название группы алгоритмов	Описание	Используемые алгоритмы
Centroid based	Находят вектора, которые становятся центрами кластеров	KMeans
Desnsity Based	Объединяют вектора, находящиеся в области с повышенной плотностью векторов, в один кластер	DBSCAN, OPTICS
Heirarchy based	Вначале считают, что каждый вектор является отдельным кластером. Затем начинают объединять наиболее похожие кластеры в 1 кластер и формируют иерархию всех векторов	Agglomerative clustering

Важно учитывать то, что алгоритмы кластеризации объединяют уже существующие контуры. Поэтому многие метрики для оценки качества сегментации, например, Intersect Over Union, будут оценивать не эффективность кластеризации, а эффективность предобработки.

Для использования метрик необходимо сопоставить истинные номера кластеров контуров и номера кластеров, предсказанные алгоритмом. Здесь можно воспользоваться условиями однородности и полноты (homogeneity and completeness), которые используются для оценки кластеризации метрикой V Score:

- Однородность: внутри объекта находится только 1 кластер контуров.
- Полнота: в кластер объекта включены все его контуры.

Тогда мы можем сформировать 2 кластера: кластер объекта и кластер фона. Для истинных номеров кластеров к кластеру объекта принадлежат все контуры внутри объекта, а к кластеру фона - все остальные. Для предсказанных значений кластером объекта является кластер с самым большим числом контуров внутри объекта, а кластером фона - объединение всех остальных кластеров.

### **Метрики для оценки результата кластеризации**

Выполнив данное сопоставление, мы можем применять метрики кластеризации и классификации для оценки результата. Созданный тестовый стенд поддерживает использование почти всех метрик из библиотеки scikit-learn. На данный момент для сравнения были выбраны следующие метрики:

- 1) V Measure Score

Формируется на основе критериев однородности и полноты для кластеризации

$$v = 2 \cdot \frac{h \cdot c}{h + c}$$

$$h = 1 - \frac{H(C|K)}{H(C)}$$

$$c = 1 - \frac{H(K|C)}{H(K)}$$

$$H(C|K) = - \sum_{c=1}^{|C|} \sum_{k=1}^{|K|} \frac{n_{c,k}}{n} \log \left( \frac{n_{c,k}}{n_k} \right)$$

$$H(C) = - \sum_{c=1}^{|C|} \frac{n_c}{n} \log \left( \frac{n_c}{n} \right)$$

2) Accuracy

$$Accuracy = \frac{\text{кол} - \text{во верно предсказанных значений}}{\text{кол} - \text{во значений в выборке}}$$

3) Random Index

Данная метрика измеряет схожесть набора предсказанных значений и набора истинных значений

$$RI = \frac{a + b}{C_2^{n_{samples}}}$$

где  $a$  - число всевозможных пар элементов, находящихся в одном кластере и принадлежащих к одному классу в наборе истинных значений,

$b$  - число всевозможных пар элементов, принадлежащих к разным кластерам и к разным классам в наборе истинных значений,

$C_2^{n_{samples}}$  - число сочетаний из набора значений по 2.

### Методика выбора изображений

Для тестирования использовался набор из 2000 разных объектов из изображений датасета MS COCO. Выбор объектов для тестирования имеет критическое значение и должен отражать то, как алгоритмы кластеризации будут использоваться. Исходя из метода использования алгоритма поиска контуров были сформулированы следующие критерии:

1) Объект можно отделить по цвету от фона изображения. Если объект сливается с изображением, алгоритмы предобработки становятся крайне нестабильными, а значит метод поиска контуров будет выдавать слишком много шума или вовсе не находить нужные контуры.

2) Объект не состоит из одного цвета. В этом случае, если учесть 1-й критерий, для кластеризации останется 1 контур. В таком случае применение алгоритмов кластеризации не имеет смысла.

Для проверки 2-го условия мы можем произвести подсчет числа пикселей каждого цвета внутри маски. Тогда, если число пикселей доминантного цвета является подавляющим (более 99% от общего числа пикселей внутри маски) - объект не подходит для тестирования. А если подсчитать количество пикселей каждого цвета во всем изображении и сравнить число пикселей доминантного цвета объекта и всего изображения, можно проверить и 1-е условие.

### Результаты тестирования алгоритмов

Ниже приведены средние значения для всех метрик для каждого алгоритма. Также для каждого объекта измерено среднее время работы алгоритма.

Таблица 2

**Средние значения метрик для каждого алгоритма**

Название алгоритма	Среднее время работы, с	Adjusted Rand Score	V Score	Accuracy	Accuracy/Среднее время работы
Agglomerative Clustering	0,184793	0,003815	0,007471	0,335394	1,814971346
OPTICS	1,710073	<b>0,037162</b>	0,03565	0,613622	0,3588279565
KMeans	<b>0,010401</b>	0,003415	0,007156	0,307101	<b>29,52610326</b>
DBSCAN	0,141965	0,013806	0,015351	<b>0,538438</b>	3,792751735
Mean_Shift	2,603408	0,00459	0,009156	0,439124	0,1686727551

Как мы можем заметить, KMeans работает значительно быстрее любого другого алгоритма, но сильно уступает в точности, поэтому, несмотря на лучшее соотношение Accuracy к времени работы, его нельзя считать оптимальным выбором.

**Заключение**

Анализ показал, что для кластеризации контуров объектов на изображении лучше использовать алгоритмы кластеризации, основанные на анализе плотности (density based). Для большинства задач лучше использовать DBSCAN: среди всех алгоритмов он имеет лучший баланс точности и производительности. При этом, если объект не является однородным, лучше использовать KMeans. К тому же, данный алгоритм лучше применять, если для выполнения задачи требуется очень высокая скорость работы и не такая высокая точность.

**Список литературы**

1. Xu, D., Tian, Y. A Comprehensive Survey of Clustering Algorithms. Ann. Data. Sci. 2, 165–193 (2015).
2. Suzuki, Satoshi and Keiichi Abe. “Topological structural analysis of digitized binary images by border following.” Comput. Vis. Graph. Image Process. 30 : 32-46 (1985)
3. Fabian Pedregosa, Gaël Varoquaux, Alexandre Gramfort, Vincent Michel, Bertrand Thirion, Olivier Grisel, Mathieu Blondel, Peter Prettenhofer, Ron Weiss, Vincent Dubourg, Jake Vanderplas, Alexandre Passos, David Cournapeau, Matthieu Brucher, Matthieu Perrot, and Édouard Duchesnay. 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python. J. Mach. Learn. Res. 12, null (2/1/2011), 2825–2830.
4. Lin, Tsung-Yi et al. “Microsoft COCO: Common Objects in Context.” European Conference on Computer Vision (2014).

**РАЗМЕРНОСТЬ УПОРЯДОЧЕННОГО МНОЖЕСТВА**

ВАЛЕЕВА А.А., ВОВЧЕНКО С.Е.

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

**Аннотация.** Представлены методы кодирования, а также нахождения размерности конечного упорядоченного множества. Работа акцентирует внимание на разработке алгоритмов кодирования и рассмотрении примеров. Результаты работы: введены все необходимые понятия и сформулированы

теоремы, необходимые для дальнейшего знакомства с материалом проекта, дано подробное изложение алгоритмов для нахождения «самого экономного» и «достаточно экономного» кодирования. Приведены примеры их реализации.

*Ключевые слова:* кодирование и размерность упорядоченного множества, линейное доупорядочивание порядка, Теорема Шильрайна, Теорема Душника-Миллера, алгоритм нахождения размерности упорядоченного множества.

### **Введение**

Под кодированием упорядоченного множества понимается представление его элементов в виде векторов, при котором соотношение порядка между элементами упорядоченного множества переходит в покомпонентное превосходство между представляющими их векторами. Размерность упорядоченного множества – это длина самого экономного кода. Для решения задач построения наиболее экономного кодирования и для нахождения размерности упорядоченного множества в настоящее время известен только переборный алгоритм. В данном докладе представлены результаты проекта по теме «Размерность упорядоченного множества». В частности, дано подробное изложение алгоритмов для нахождения «самого экономного» и «достаточно экономного» кодирования и приведены примеры их реализации.

### **Кодирование упорядоченного множества**

Под кодированием упорядоченного множества  $\langle A, \omega \rangle$  понимается такое соответствие, которое каждому элементу  $x \in A$  сопоставляет  $k$ -компонентный вектор  $\varphi(x) = (\varphi_1(x), \dots, \varphi_k(x))$  с целыми неотрицательными компонентами так, что для любых  $x, y \in A$  выполняется равносильность:

$$x \leq^\omega y \Leftrightarrow \varphi_i(x) \leq \varphi_i(y) \quad \forall i = 1, \dots, k, \quad (1)$$

при этом натуральное число  $k$  называется длиной кода.

*Лемма 1.* Всякое конечное упорядоченное множество допускает кодирование.

### **Алгоритм нахождения кода наименьшей длины и размерности упорядоченного множества**

Так как всякое конечное упорядоченное множество (у.м.)  $A$  допускает кодирование (см. Лемму 1), значит для него существует также код наименьшей возможной длины (обозначим его через  $k^*$ ). При этом в силу *Леммы 1* имеет место  $k^* \leq n$ , где  $n$  есть число элементов множества  $A$ . Данное число  $k^*$  называется размерностью упорядоченного множества  $A$  и обозначается  $\dim A$ . Перейдем к решению задачи нахождения размерности у.м.

Для у.м.  $\langle A, \omega \rangle$  нахождение его размерности связано с вопросом представления отношения порядка  $\omega$  в виде пересечения некоторого семейства линейных порядков на множестве  $A$  при наименьшем возможном  $k$ :

$$\omega = \bigcap_{s=1}^k \omega_s. \quad (2)$$

Заметим, что всякое отношение порядка  $\omega_s$ , стоящее в правой части (2), представляет собой линейное доупорядочение порядка  $\omega$ , а семейство линейных доупорядочений, для которых выполняется равенство (2), называется полным [2].

*Основная Теорема.* Пусть  $(\omega_s)(s = 1, \dots, k)$  – полное семейство линейных доупорядочений порядка  $\omega$ . Тогда отображение, которое каждому элементу упорядоченного множества ставит в соответствие последовательность номеров этого элемента в перестановках, соответствующих этим линейным доупорядочениям, является кодированием данного у.м.

*Следствие.* Размерность у.м. совпадает с наименьшим числом  $k$  в равенстве (2).

*Замечание 1.* При нахождении кода наименьшей длины также находится и размерность у.м. Обратно, нахождение размерности у.м. требует нахождения кодирования наименьшей длины. Таким образом, указанные две задачи фактически эквивалентны и сводятся к следующей основной задаче.

### **Основная задача. Метод оценки размерности у.м.**

Для заданного у.м.  $\langle A, \omega \rangle$  требуется найти наименьшее по мощности (т.е. по числу элементов) полное семейство его линейных доупорядочений. Математической основой проекта служат следующие две теоремы:

*Теорема Шпильрайна.* Всякое у.м. имеет линейное доупорядочение [1].

*Теорема Душника-Миллера.* Всякое отношение порядка совпадает с пересечением всех его линейных доупорядочений [1].

Другими словами, этот результат означает, что семейство всех линейных доупорядочений у.м. является полным. Но набор всех линейных доупорядочений, как правило, не является наименьшим по мощности, т.е. требуется переходить к его частям, которые называются «семейства». Для этой цели полезен следующий результат.

*Лемма 2.* Семейство линейных доупорядочений  $(\omega)_{i \in I}$  является полным тогда и только тогда, когда для любых  $a_1 \parallel a_2$  найдутся индексы  $i_1, i_2 \in I$ , для которых  $a_1 <^{\omega_{i_1}} a_2$  и  $a_2 <^{\omega_{i_2}} a_1$ .

Для получения точного значения размерности упорядоченного множества в настоящее время известен лишь переборный алгоритм. Схематически он состоит в следующем. Если заданное упорядоченное множество  $\langle A, \omega \rangle$  является линейно упорядоченным, то его размерность равна 1. Далее рассматриваем случай, когда  $\langle A, \omega \rangle$  не является линейно упорядоченным. Вначале находим все линейные доупорядочения упорядоченного множества  $\langle A, \omega \rangle$ , используя алгоритм нахождения линейных доупорядочений. Затем составляем всевозможные двухэлементные семейства линейных доупорядочений и проверяем наличие среди них полных семейств линейных доупорядочений, используя Лемму 2. В случае положительного ответа получаем, что размерность упорядоченного множества равна 2. В противном случае составляем всевозможные трехэлементные семейства линейных доупорядочений и проверяем наличие среди них полных семейств линейных доупорядочений и т. д.

Метод оценки размерности упорядоченного множества, разобранный на Примере 1.

*Пример 1.*

Требуется найти размерность и самое экономное кодирование у.м., диаграмма которого приведена на рис. 1.

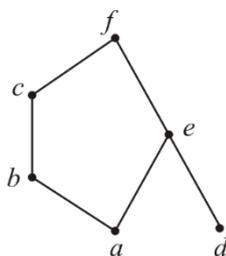
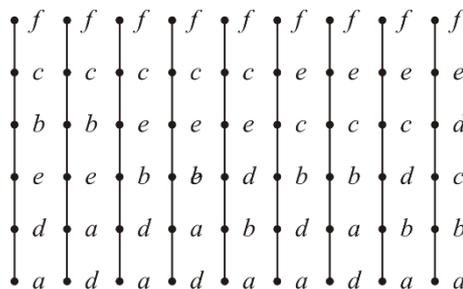


Рис 1. Диаграмма упорядоченного множества

Шаг 1. Составим квадратную таблицу, строки и столбцы которой помечены элементами множества, и отметим те клетки этой таблицы, которые соответствуют парам несравнимых элементов относительно порядка  $\omega$ . Далее, пользуясь алгоритмом, находим все линейные доупорядочения нашего у.м. в виде перестановок и изображаем их с помощью диаграмм (см. рис. 2).

	a	b	c	d	e	f
a				*		
b				*	*	
c				*	*	
d	*	*	*			
e		*	*			
f						

а)



б)

Рис 2. Линейные доупорядочения

Шаг 2 связан с нахождением минимального полного семейства линейных доупорядочений. «Ключом» к условию полноты подсемейства линейных доупорядочений служит Лемма 2: сокращение числа несравнимых пар происходит за счет «разнонаправленности» расположений элементов в перестановках этого подсемейства. Замечаем, что в нашем примере в перестановке №2 элементы  $a, b, c$  расположены после  $d$ , а в перестановке №9 эти элементы расположены перед  $d$  (т.е. получается сразу 3 разнонаправленных пары); поэтому рассматриваем подсемейство из двух линейных доупорядочений  $\{\omega_2, \omega_9\}$ . Далее отмечаем на рис.2 а) - для каких несравнимых пар (отмечены звездочками) условие разнонаправленности относительно подсемейства оказалось выполненным - обводим в кружок указанные звездочки. Так как оказалось, что условие разнонаправленности выполнено здесь для всех несравнимых пар, то в силу Леммы 2 получаем, что подсемейство линейных доупорядочений  $\{\omega_2, \omega_9\}$  является полным. Как только найдено полное семейство линейных доупорядочений, обе задачи: нахождение размерности у.м. и нахождение самого экономного кодирования – решаются автоматически согласно основной теореме. А именно, в нашем примере это выглядит так:

Шаг 3. Согласно следствию из основной теоремы, размерность нашего у.м. не превосходит 2. А так как размерность, равную 1, имеют только линейно упорядоченные множества, то получаем окончательно, что размерность нашего у.м. равна 2.

*Шаг 4.* Согласно основной теореме находим кодирование с наименьшей длиной кода. А именно, кодом каждого элемента является последовательность номеров этого элемента в перестановках, соответствующих линейным доупорядочениям. Получаем следующее кодирование с длиной кода 2:  $a(2,1), b(4,2), c(5,3), d(1,4), e(3,5), f(6,6)$ .

Заметим, что за исключением таких особых случаев указанный алгоритм является весьма громоздким. Далее мы укажем один метод, позволяющий найти достаточно экономное кодирование, что приводит также к оценке размерности упорядоченного множества.

#### **Достаточное экономное кодирование упорядоченного множества**

Здесь мы укажем альтернативный метод, который приводит к достаточно экономному кодированию (в отношении длины кода), и который является гораздо менее трудоемким, чем алгоритм, реализованный в базовом примере. Этот метод основан на представлении неразложимых элементов у.м. в виде объединения цепей. Имеет место следующая теорема.

*Теорема 1.* Пусть  $\langle A, \omega \rangle$  – конечное упорядоченное множество, имеющее наименьший элемент 0,  $B$  – множество его неразложимых элементов, отличных от нуля. Рассмотрим представление множества  $B$  в виде объединения цепей  $B = \bigcup_{k \in K} C_k$  и положим  $C_k^0 = C_k \cup \{0\}$  для  $k \in K$ . Определим при каждом  $k \in K$  отображение  $\varphi_k : A \rightarrow C_k^0$ , полагая:  $\varphi_k(x) = \sup\{y \in C_k^0 \mid y \leq x\}$ .

Тогда отображение  $\varphi$ , определенное равенством  $\varphi(x) = (\varphi_k(x))_{k \in K}$ , определяет кодирование нашего упорядоченного множества.

#### **Список литературы**

1. В. В. Розен, Ю. А. Бродская, «Логико-алгебраические основы дискретной математики» // Учебное пособие // Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 428 с.
2. Оре О. пер. с англ. И. Н. Врублевской под редакцией Н. Н. Воробьева, «Теория графов» // Москва: Наука, 1968. – 428 с.

## **МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ПЕРВОГО ЭЛЕМЕНТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СДВИНУТОЙ ТАБЛЦЕ ЮНГА**

ГРИГОРЬЕВА О.В.

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

**Аннотация.** Предметом статьи является вариант соответствия Робинсона-Шенстеда-Кнута (RSK), предложенный Б. Саганом. Это соответствие осуществляет биекцию между перестановками и парами сдвинутых таблиц Юнга, одна из которых имеет специальную разметку. В статье рассматриваются возможные положения первого элемента перестановки в записывающей таблице после применения алгоритма Робинсона-Шенстеда-Кнута в модификации Сагана. Так же проводится сравнение результатов с аналогичными результатами, известными для прямых таблиц.

*Ключевые слова: таблицы Юнга, сдвинутые таблицы Юнга, алгоритм RSK, преобразование Шютценберже, численный эксперимент, вероятностное распределение, нормальное распределение*

### Введение

Имея пару стандартных таблиц Юнга прямой формы, можно получить всю информацию о соответствующей им (с помощью алгоритма RSK) перестановке, в том числе положение первого элемента перестановки в записывающей таблице P. Из алгоритма Робинсона-Шенстеда-Кнута следует, что первый элемент перестановки будет находиться в первом столбце записывающей таблицы P. В работе [1] был описан вычислительный эксперимент для нахождения вероятностей появления первого элемента в той или иной клетке таблицы P. Помимо таблиц Юнга прямой формы, существуют сдвинутые таблицы Юнга. Данная статья посвящена исследованию возможных позиций первого элемента последовательности в сдвинутых таблицах Юнга.

### Ограничения местоположения первого элемента

В сдвинутой таблице Юнга нельзя ограничить местоположение первого элемента только первым столбцом. Благодаря предложенному Саганом [2] алгоритму RSK для сдвинутых таблиц Юнга, можно ограничить местоположение первого элемента следующим образом:

1. Так как при сдвиге по столбцам элемент двигается всегда справа налево и сверху вниз, то элемент может подвинуться вправо только при вставке в столбец. Более того, одна вставка в столбец может подвинуть элемент только на один столбец правее. Таким образом, первый элемент может подвинуться только на  $i$  столбцов правее, где  $i$  - это количество вставок в строку, то есть элементов, помеченных кружком, как соответствующих не шенстедевским вставкам.
2. Местоположение первого элемента можно ограничить и другим методом. Если элемент вставлялся с помощью вставки в столбец, то правее или ниже него в нумерующей таблице обязательно появится элемент с кружком. Таким образом, первый элемент последовательности лежит точно не правее, чем самый правый элемент с кружком в нумерующей таблице.

Есть и более сильные ограничения. Так, если в нумерующей таблице нет элементов с кружками в первой строке, то первый элемент последовательности находится в первой строке и первом столбце.

### Точное местоположение первого элемента

В таблицах прямой формы положение первого элемента в первом столбце записывающей таблицы определяется концом нерва Шютценберже таблицы Q. Это основано на том факте, что преобразование Шютценберже таблицы Q эквивалентно забыванию первого элемента входной последовательности. Но для сдвинутых таблиц данное утверждение не является верным. Так, например, для перестановки (7, 12, 5, 14, 1, 4, 2, 0, 13, 16, 18, 9, 11, 8, 6, 17, 19, 10, 15, 3) таблицы можно увидеть на рис. 1 а), а для перестановки (12, 5, 14, 1, 4, 2, 0, 13, 16, 18, 9, 11, 8, 6, 17, 19, 10, 15, 3) – на рис. 1. б).

0	1	2	3	6	8	10	15	17	19				1	2	(3)	4	(5)	(7)	(8)	10	11	17
	4	5	9	11	13	16								6	9	13	(15)	16	(20)			
		7	12	18											12	(14)	19					
				P													Q					



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	
4				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	2	0	
5					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	8	5	2	0	
6						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	32	36	19	3	1	0	0	
7							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	45	72	64	26	3	0	0	0	0	
8								0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	58	139	185	93	33	2	0	0	0	0	0	0	0
9									0	0	0	0	0	0	2	24	126	271	286	155	33	4	0	0	0	0	0	0	0	0
10										0	0	0	9	63	243	469	383	159	24	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11											1	2	20	115	398	651	463	163	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12												50	161	502	750	540	163	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13													537	790	581	146	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14														558	156	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15															47	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Результаты эксперимента

В пределе это двумерное распределение не является дискретным. Так же компьютерный эксперимент показал, что распределения на диагонали и на прямых, параллельных ей, близки к нормальным.

### Заключение

Были приведены методы для ограничения местоположения первого элемента в сдвинутых таблицах Юнга. Был проведен компьютерный эксперимент для определения распределений позиций первого элемента для последовательности с несколькими фиксированными значениями этого элемента и фиксированной длиной входной последовательности. В результате, которого были получены вероятностные распределения при различных ограничениях на входную последовательность.

### Список литературы

1. Васильев Н. Н., Дужин В. С., Кузьмин А. Д. Исследование свойств классов эквивалентности перестановок с помощью обратного преобразования Робинсона — Шенстеда — Кнута. Информационно-управляющие системы, 2019, № 1, с. 11–22. doi:10.31799/1684-8853-2019-1-11-22
2. Sagan, B.E.: Shifted tableaux, Schur Q-functions, and a conjecture of R. Stanley. J. Combin. Theory Ser. A 45.1, 62–103 (1987). [https://doi.org/10.1016/0097-3165\(87\)90047-1](https://doi.org/10.1016/0097-3165(87)90047-1)

## КОМБИНАТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ. СОСТАВЛЕНИЕ РАСПИСАНИЯ СЪЁМКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

ИВАШИННИКОВ Л.Д., УЛЬЯНОВА Е.А.

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

**Аннотация.** Планирование съёмки и передачи данных со спутниковой группировки дистанционного зондирования Земли представляет собой сложную задачу комбинаторной оптимизации. За долгое время любую задачу комбинаторной оптимизации можно решить полным перебором, но для большого класса задач можно найти весьма хорошие аппроксимации. В данной работе представлен эвристический алгоритм составления расписания съёмки и передачи данных так, чтобы максимизировать объём переданного на наземные станции контента. Приведены количественные результаты, осуществлена проверка корректности полученного расписания.

*Ключевые слова:* комбинаторная оптимизация, жадный алгоритм, локально-оптимальный выбор

## Введение

Имеется спутниковая группировка дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), состоящая из аппаратов, находящихся на низких околоземных солнечно-синхронных орбитах следующим образом: 20 равномерно разнесённых друг относительно друга плоскостей орбит (плоскости равномерно разнесены по долготе восходящего узла), с высотой орбит 600 км, каждая из которых содержит по 10 равноудалённых друг от друга спутников, движущихся друг за другом синхронно.

Аппараты двигаются по круговым орбитам, каждый совершает одно обращение (виток) вокруг Земли примерно за 6000 сек. Из 6000 секунд примерно 500 секунд любой из спутников находится над территорией России. В это время он движется или с севера на юг (т.н. нисходящий виток), или с юга на север (восходящий виток). Аппараты оснащены камерами ДЗЗ и предназначены для съёмки территории России. Получаемые изображения они сначала записывают в собственную бортовую память, а затем сбрасывают накопленные данные на наземные станции, расположенные в России и других странах.

При составлении расписания необходимо учитывать следующие моменты: так как аппараты осуществляют съёмку территории России и передают данные на станции, некоторые из которых расположены в России, существуют пересекающиеся интервалы съёмки и передачи данных для каждого спутника; несколько спутников могут оказаться в зоне видимости одной станции; один спутник может оказаться в зоне видимости нескольких станций; если своевременно не освободить память записывающего устройства (ЗУ) путём передачи данных, то съёмка будет невозможна в связи с переполнением ЗУ.

Цель работы заключается в составлении корректного расписания, при котором любой спутник одновременно не осуществляет съёмку и передачу данных, не передаёт данные на несколько станций, как и любая станция в одно время не принимает данные с нескольких спутников, съёмка не ведётся при заполненной памяти ЗУ, а также обеспечивается передача как можно большего объёма данных со спутников.

Для решения поставленной задачи в работе реализован жадный алгоритм, осуществляющий локально-оптимальные выборы на основе ряда критериев.

## Постановка задачи

Дано  $N = 200$  спутников двух типов. В зависимости от типа для каждого спутника  $S_i$  определены характеристики, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики спутников

Тип	Киноспутник	Зоркий
Индексы (i)	1, 2, ..., 50	51, 52, ..., 150
Скорость съёмки ( $v_{sh}$ )	4 Гбит/сек	4 Гбит/сек
Объём ЗУ на борту (С)	1 Тб	0.5 Тб
Скорость передачи данных ( $v_{tr}$ )	1 Гбит/сек	0.25 Гбит/сек

Также дано  $M = 14$  наземных станций  $O_j$ . Для каждого спутника  $S_i$  дано множество интервалов, на которых указанным спутником может осуществляться съёмка. Для каждой пары спутник  $S_i$  - станция  $O_j$  – множество интервалов, на которых может осуществляться передача данных с указанного спутника на указанную станцию.

При этом в задаче имеется ряд ограничений:

1. Спутник не может одновременно осуществлять съёмку и передавать данные на станцию.
2. Спутник не может вести съёмку при заполненной ЗУ.
3. Передача с одного спутника может быть только на одну станцию.
4. Станция не может принимать данные одновременно с двух или более спутников.

По мере передачи данных они исчезают из ЗУ. Передача данных при пустом ЗУ невозможна. Спутник может в любой момент переключаться в любое из состояний, а также менять станции. Станция также может в любой момент переключаться с одного спутника на другой.

Требуется составить расписание съёмки и передачи данных на интервале времени, соответствующем входным данным, при котором передаётся максимальное количество данных и соблюдается ряд указанных ограничений.

### **Предварительный анализ условия**

Исходный набор допустимых интервалов съёмки и передачи данных можно преобразовать в последовательность непересекающихся временных промежутков, границами которых станут границы интервалов из входных данных. На каждом из полученных промежутков будет однозначно определён набор доступных действий, среди которых могут быть: съёмка спутником  $S_i$ , передача данных спутником  $S_i$  на станцию  $O_j$ , бездействие спутника  $S_i$ . Таким образом, будут получены последовательные временные участки, на каждом из которых можно осуществить локально-оптимальный выбор, «жадность» которого будет заключаться в подборе наиболее подходящего по некоторым критериям спутника для свободных станций, то есть наиболее подходящего действия из списка доступных на рассматриваемом временном интервале. При этом будут учитываться указанные ранее ограничения. На основе совершённых выборов и будет строиться итоговое расписание, удовлетворяющее условиям задачи, при котором количество передаваемых данных стремится к максимуму.

### **Описание решения**

#### **1. Разбиение на временные слоты**

Выделены следующие типы событий:

- Съёмка спутником  $S_i$  (начало и окончание).
- Видимость спутника  $S_i$  станцией  $O_j$  (начало и окончание).

Всего получено 678414 событий. На основе входных данных сформирована хронологическая последовательность таких событий. Полученная последовательность обрабатывается по алгоритму:

- Событие является началом – его тип добавляется в набор доступных действий.
- Событие является концом – его тип удаляется из набора доступных действий.
- Последующее событие по времени не совпадает с предшествующим – формируется временной промежуток (слот), содержащий текущий набор доступных действий.

Таким образом, на основе исходных данных создаётся последовательность непересекающихся временных слотов, на каждом из которых любой спутник может либо снимать, либо передавать данные, либо бездействовать, и любая станция может либо принимать данные, либо бездействовать.

Всего получено 504795 слотов длительностью в среднем 2.39 секунд.

## 2. Жадный алгоритм

Набор слотов обрабатывается в хронологическом порядке. На каждом рассматриваются все станции, которые могут принимать данные, каждая выбирает спутник, с которого будет принимать данные, исходя из следующих критериев:

- Приоритетом обладают киноспутники, так как они имеют преимущество в скорости передачи.
- У спутника достаточно данных для передачи на интервале.
- Спутник не ведёт съёмку на рассматриваемом слоте.
- Спутник не находится в зоне видимости других станций, которые ещё не совершили выбор на данном слоте.

Если спутников, удовлетворяющих всем вышеперечисленным критериям, в зоне видимости станции несколько, то среди них выбирается спутник с наибольшим заполнением ЗУ. Если таких спутников в зоне видимости станции нет, выбирается другой спутник с наибольшим заполнением ЗУ.

Выбор спутника для передачи данных влияет на выбор других действий на данном слоте:

- Спутнику, осуществляющему передачу, запрещается съёмка.
- Спутнику, находящемуся в зоне видимости нескольких станций, разрешается передача лишь на одну из них.
- Съёмка запрещена спутникам, у которых нет свободного места на ЗУ.

## 3. Валидация

Составленное расписание дополнительно проверяется на соответствие ограничениям. В ходе выполнения работы данный этап позволил выявить ошибки в программе. Осуществляется проверка того, что в расписании отсутствуют интервалы, на которых: спутник одновременно снимает и передаёт данные, станция принимает с нескольких спутников, данные передаются с пустого спутника, спутник передаёт на несколько станций, спутник снимает с заполненной памятью.

## Заключение

С помощью реализованного жадного алгоритма составлено расписание, удовлетворяющее условиям задачи, при котором наземными станциями со спутников получено 820419 Гб данных. Время работы программы (на процессоре AMD Ryzen 5 5500U 2.10 GHz) составляет 1 минуту 30 секунд. Вес итогового файла с расписанием 296 Мб.

При этом важно понимать, что результат, полученный с помощью жадного алгоритма, нельзя считать точным и количество передаваемых данных можно увеличить. Данная задача представляет интерес в дальнейшем изучении, путём внесения изменений в критерии принятия решения на слоте, а также рассмотрением других способов решения.

## Список литературы

1. Hao Chen, Baorong Zhai, Jiangjiang Wu, Chun Du, Jun Li, "A Satellite Observation Data Transmission Scheduling Algorithm Oriented to Data Topics"// International Journal of Aerospace Engineering, vol. 2020, Article ID 2180674, 16 pages, 2020.
2. Кодуков А., Павлов Д.А., Субботин М.О., "Сервис планирования передачи данных от космических аппаратов на земные станции" [электронный ресурс]: [https://docs.google.com/document/d/15\\_z6296t\\_Hnb-17LV3QNwxJAKrJx40v0NXTwO\\_Y56tE/edit](https://docs.google.com/document/d/15_z6296t_Hnb-17LV3QNwxJAKrJx40v0NXTwO_Y56tE/edit)

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ МГД-МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Кодуков А.В., Субботин М.О., Арутюнян С.Н.

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

**Аннотация.** Представлена реализация методики прогноза плотности и скорости солнечной плазмы. Решение состоит из реализованного ранее МГД-симулятора солнечного ветра с 21.5 Rs на основе математического пакета PLUTO, а также нового модуля вычисления граничных условий для симулятора по эмпирической модели WSA, его описанию посвящена данная работа. Модель солнечной короны в свою очередь делится на 3 этапа: вычисление магнитного поля PFSS (1-2.5 Rs), SCS (2.5-21.5 Rs), после чего применяются эмпирические соотношения, позволяющие из свойств рассчитанного магнитного поля вычислить скорость солнечной плазмы на 21.5 Rs, а из нее температуру и плотность. В докладе описаны подробности реализации данной методики, продемонстрированы результаты вычисления прогнозов на основе магнитограмм Кисловодской ГАС ГАО РАН, проведены сравнения с аналогичными зарубежными службами.

*Ключевые слова:* солнечный ветер, МГД-моделирование, прогноз космической погоды

### **Введение**

Крупные выбросы солнечной плазмы, достигающие Земли, могут представлять опасность для спутников, электросетей, навигационных систем, авиаперелетов и выходов в космос. Полностью защититься от ущерба практически невозможно, поэтому для минимизации убытков во всем мире разрабатываются службы прогнозирования космической погоды, позволяющие заблаговременно подготовить уязвимую инфраструктуру к магнитной буре или иным неблагоприятным воздействиям.

Подобные службы действуют в США (SWPC [1]) и Европе (ESA SWO [2]). В России существует центр прогнозов космической погоды ИЗМИРАН [3], действующий на основе наблюдений и физических симуляций Кисловодской Горной Астрономической Станции (КГАС ГАО РАН) [4]. Данный симулятор использует упрощенную баллистическую модель, которая не позволяет моделировать корональные выбросы массы (КВМ), несущие наибольшую опасность. Все иностранные службы используют трехмерную модель магнитной гидродинамики (МГД), где движение проводящей плазмы и магнитного поля рассматриваются согласованно, что более точно описывает физику распространения солнечного ветра и дает возможность симулировать КВМ. Программные коды иностранных служб EUNFORIA [5] и ENLIL [6] закрыты. Целью исследования является создание собственной платформы для МГД-моделирования, способной работать с данными, доступными из РФ.

В ходе работы воссоздана многоэтапная методика построения прогноза солнечного ветра. Проверена возможность использовать отечественные наблюдательные данные – магнитограммы КГАС, произведен анализ результатов моделирования путем сопоставления с другими источниками данных и службами космической погоды.

### **Синоптические карты**

Входными данными для прогноза являются карты магнитного поля на фотосфере Солнца, формируемые на наземных наблюдательных станциях. Каждая клетка на такой карте соответствует значению радиальной составляющей индукции магнитного поля (МП) в центре клетки на сферической сетке поверхности Солнца. Количество систем с

необходимыми для прогноза параметрами в мире невелико: GONG [7] и WSO [8], принадлежащие США, и телескоп СТОП [9], находящийся в КГАС в РФ. Было показано [10], что прогнозы скорости солнечного ветра в верхней короне Солнца по магнитограммам телескопа СТОП не уступают аналогам и соответствуют реальным наблюдениям со спутников.

### Метод моделирования

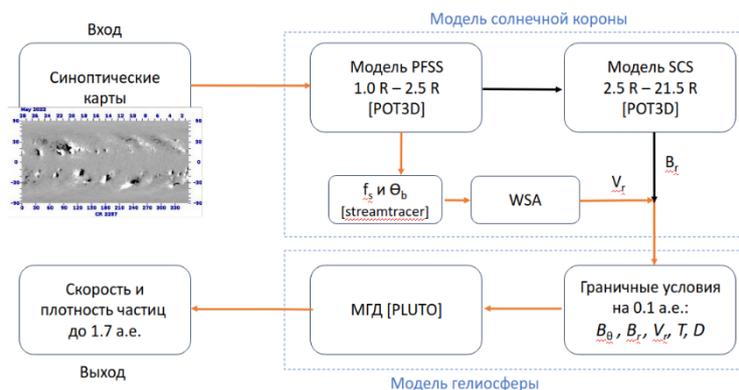


Рис. 1. Схема метода моделирования

Механизмы ускорения солнечного ветра до сих пор не изучены до конца, однако наблюдения за солнечной короной и гелиосферой позволили вывести полуэмпирические законы. На рис. 1 представлена общепринятая схема прогнозирования распространения солнечного ветра [6].

Все последующие вычисления происходят на сферической трехмерной сетке с разрешением 2 градуса по угловым координатам. Модель потенциального магнитного поля с поверхностью источника [11] (PFSS) использует предположения о том, что вектора индукции коронального магнитного поля направлены радиально на расстоянии 2.5 солнечных радиуса ( $R_s$ ) от фотосферы, а также о незначительности электрических токов в солнечной короне. Эти предположения свели задачу вычисления магнитного поля к виду уравнения Лапласа относительно потенциала поля  $\nabla^2\psi = 0$ , решаемого современными математическими пакетами, где граничными условиями является магнитограмма на фотосфере.

Далее применяется модель токового слоя [12] (SCS). Все векторы, направленные в сторону фотосферы, инвертируются, решение продолжается до 21.5  $R_s$  (0.1 а.е.). В этой модели подразумевается существование токов в плазме между магнитными полями разной полярности. Для применения моделей PFSS и SCS был использован пакет POT3D [13].

Модель WSA [14] связывает скорость солнечного ветра в каждой точке  $P$  на сфере радиуса 21.5  $R_s$  с величинами  $\theta_b$  – углового расстояния от  $P$  до ближайшей корональной дыры и  $f_s$  – коэффициента расширения магнитной трубки от фотосферы до поверхности источника (2.5  $R_s$ ). Для вычисления этих величин необходимо провести трассировку силовых линий магнитного поля от фотосферы до границ моделирования WSA 21.5  $R_s$ . За начало линии МП берется центр клетки сферической сетки на фотосфере. Трассировка реализована на основе библиотеки streamtracer [15].

Коэффициенты расширения магнитных трубок вычисляются по формуле:

$$f_s = \frac{|B(R_0)|R_0^2}{|B(R_s)|R_s^2},$$

где  $R_0 = 1R_s, R_s = 2.5R_s$ .

Вычисленные значения переносятся по трассированным линиям на граничные клетки сферической сетки на  $21.5 R_s$ , где используются моделью WSA для вычисления радиальной скорости солнечного ветра по формуле:

$$V_r \left[ \frac{km}{s} \right] = a_1 + \frac{a_2}{(1 + f_s)^{a_3}} \left[ a_4 - a_5 \exp \left\{ - \left( \frac{\theta_b}{a_6} \right)^{a_7} \right\} \right]^{a_8},$$

где  $a_1 - a_8$  – константы, калибруемые с помощью реальных наблюдений скорости СВ.

Из имеющихся значений  $V_r, B_r$  выводятся остальные необходимые для МГД-моделирования значения: температура  $T$ , плотность  $D$  и коширотная составляющая вектора МП  $B_\theta$  на основе следующих допущений [6]:

$$dv^2 = d_{fast} v_{fast}^2 (\text{momentum flux})$$

$$\frac{T}{v^2} = \frac{t_{fast}}{v_{mid}^2} (\text{pressure balance})$$

$$dT = const (\text{если } T = T_{max})$$

$$B_\theta / B_r = -v_{rotational} / v_{wind}$$

Дальнейшее распространение солнечного ветра может быть вычислено МГД-симулятором, разработанным ранее [16].

### Анализ результатов

Было проведено сравнение за одну дату граничных условий, предоставленных службой SWPC на основе магнитограмм GONG и граничных условий, рассчитанных реализованной методикой на основе магнитограмм GONG и STOP. Численные результаты сравнения  $B_r$ (Тл) и  $V_r$ (м/с) приведены в табл. 1, карты – на рис. 2.

Таблица 1

Сравнение граничных условий с SWPC

Данные и метод	Среднее значение	Диапазон		Среднеквадратическое отклонение	Нормализованное среднеквадратическое отклонение	
		min	max			
GONG+SWPC	$B_r$	3.6678e-7	3.5182e-7	3.7995e-7	-	-
	$V_r$	408 799	220 009	689 573	-	-
GONG+Ours	$B_r$	3.6962e-7	3.4681e-7	3.8941e-7	4.9976e-9	0.0136
	$V_r$	369 726	218 511	693 411	68 554	0.1677
STOP+Ours	$B_r$	5.4155e-7	5.0871e-7	5.7589e-7	1.7529e-7	0.4779
	$V_r$	406 628	220 203	700 000	90 986	0.2226

Оба прогноза на основе GONG близки как по значениям, так и визуально. Прогнозы по STOP отличаются более заметно, что объяснимо разным разрешением магнитограмм, детальное объяснение различий потребуют систематических исследований на большем наборе данных.

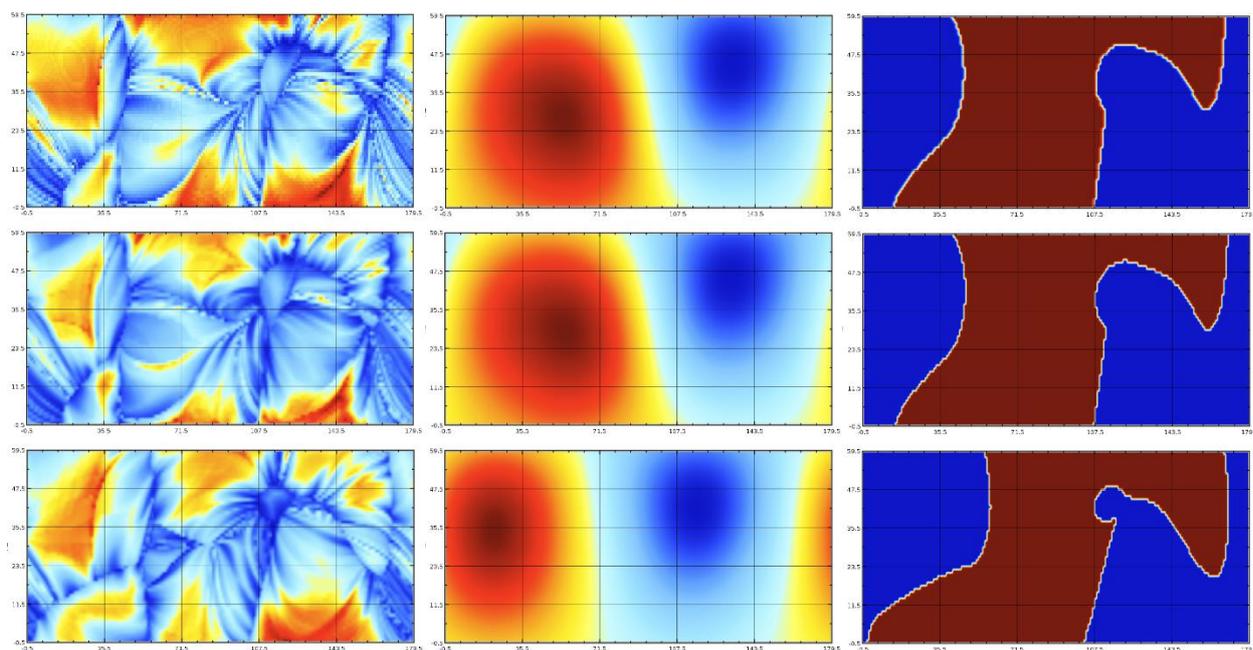


Рис. 2. Сравнение карт  $V_r$  (слева),  $B_r$  (посередине), полярности МП (справа). Первая строка – GONG+SWPC, вторая – GONG+реализованная методика, третья – STOP+реализованная методика.

### Список литературы

1. SWPC / URL: <https://www.swpc.noaa.gov/>
2. SWO / URL: <https://swe.ssa.esa.int/current-space-weather/>
3. Центр космической погоды ИЗМИРАН / URL: <http://spaceweather.izmiran.ru/index.html>
4. КГАС ГАО РАН / URL: <http://solarstation.ru/sun-service/forecast>
5. Pomoll J, Poedts S. 2018. EUHFORIA: European heliospheric forecasting information asset. J. Space Weather Space Clim. 8: A35
6. Odstrcil D. Modeling 3-D solar wind structure // Advances in Space Research. – 2003. – Т. 32. – №. 4. – С. 497-506.
7. GONG / URL: <https://gong.nso.edu/>
8. WSO / URL: <http://wso.stanford.edu>
9. Peshorov V.S., Grigor'ev V.M. Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения // Автометрия – 2013. – Т. 49 – №. 6 – с. 62-69.
10. Berezin, I.A., Tlatov, A.G. Comparative Analysis of Terrestrial and Satellite Observations of Photospheric Magnetic Field in an Appendix to Simulation of Parameters of Coronal Holes and Solar Wind // Geomagnetism and Aeronomy – 2020. – Т. 60 – С. 872–875
11. K. H. Schatten, J. M. Wilcox. A model of interplanetary and coronal magnetic fields // Sol. Phys. – 1969 – Т. 6 – С. 442
12. K. H. Schatten. Current sheet magnetic model for the solar corona // Cosmic Electrodynamics – 1971 – Т. 2 – С. 232
13. POT3D / URL: <https://github.com/predsci/POT3D>
14. Arge C. N., Pizzo V. J. Improvement in the prediction of solar wind conditions using near-real time solar magnetic field updates // Journal of Geophysical Research: Space Physics. – 2000. – Т. 105. – №. A5. – С. 10465-10479.
15. streamtracer / URL: <https://github.com/sunpy/streamtracer>
16. С. Арутюнян, А. Кодуков, М. Субботин, Д. Павлов. Прототип службы прогноза спокойного солнечного ветра на основе МГД-моделирования и граничных условий модели WSA // Космические исследования – 2023 – Т. 61 – № 6 – С. 447-453

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НАЧАЛА ГРАФА ЮНГА

КОРЮКИН Ю.Е., ШУМАРИН А.Д.

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

**Аннотация.** Граф Юнга является важным объектом изучения в комбинаторике, теории представлений, математической физике и других областях науки. Визуализация как самого графа, так и его подграфов может быть полезна в исследованиях. Написана программа, визуализирующая начало графа Юнга. Реализована возможность вывода ребер. Результатом работы программы является pdf файл с изображением начала графа. В дальнейшем планируется расширение функционала программы: связь с ИИ для анализа подграфов графа Юнга, подкрашивание диаграмм и ребер графа Юнга, отображение весов на ребрах.

*Ключевые слова:* Граф Юнга, Градуированный граф, Диаграммы Юнга, Таблицы Юнга, Визуализация графа, Асимптотическая комбинаторика.

### Введение

Граф Юнга является важным объектом изучения в комбинаторике, теории представлений, математической физике и других областях науки. Вершинами графа Юнга являются диаграммы Юнга. Каждая диаграмма Юнга представляет собой совокупность клеток, выровненных по левому и нижнему краю, и соответствует целочисленному разбиению числа, слагаемые которого упорядочены в порядке невозрастания [1].

Программа для визуализации графа Юнга может быть полезна для исследования различных свойств диаграмм Юнга и путей на графе Юнга и на различных его подграфах. Один из важных вопросов, связанных с графом Юнга, заключается в поиске диаграмм Юнга максимальных размерностей, состоящих из фиксированного количества клеток [2, 3]. Под размерностью диаграммы Юнга понимается количество путей, ведущих в эту диаграмму из корня графа. В работах [3, 4] доказаны некоторые геометрические свойства диаграмм максимальных размерностей. Визуализация диаграмм, удовлетворяющих этим свойствам, может быть полезна для дальнейших исследований в этой области.

Другим возможным приложением, разработанной в настоящей работе программы, является визуализация путей на графе Юнга, в том числе т. н. жадных планшерелевских путей, свойства которых были исследованы в [2].

### Построение начала графа Юнга

Диаграмма Юнга представлена в памяти как одномерный массив, состоящий из высот ее столбцов. Например, диаграмме, изображенной на рис. 1, соответствует массив “5441”. Для хранения графа Юнга используется связный список, каждый элемент которого включает в себя диаграмму Юнга, массив исходящих ребер и их количество. Ребром считается указатель на другой элемент списка. На рисунке 1 красным выделены позиции, добавление клеток к которым соответствует переходам по ребрам в графе Юнга.

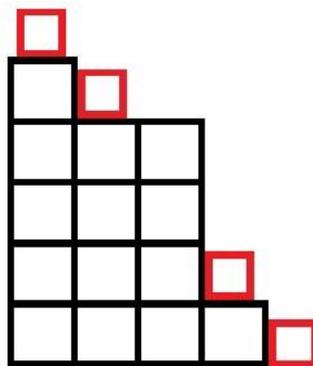


Рис. 1. Пример диаграммы Юнга

Изначально в список помещается диаграмма, состоящая из 1 клетки. Затем осуществляется обход первых  $k$  уровней графа Юнга в глубину. За добавление диаграмм в список отвечает функция, получающая на вход одномерный массив высот столбцов диаграммы, которая уже была добавлена. Добавление клетки соответствует инкременту одного из чисел в этом массиве. Добавить новую клетку можно лишь в одну из  $m$  корректных позиций (см. красные квадраты на рис. 1). В итоге создаются  $m$  новых диаграмм Юнга, которые сразу заносятся в общий список. Если количество клеток в новых диаграммах меньше  $k$ , то для них также вызывается функция генерации потомков. Для каждой новой диаграммы создается новый элемент, который помещается в конец списка. Указатель на этот элемент добавляется в массив исходящих ребер исходной диаграммы.

Так как функция вызывается для новой диаграммы сразу же, как та была создана, не дожидаясь при этом завершения генерации остальных потомков диаграммы, которую получила на вход, то элементы добавляются в список аналогично обходу графа в глубину. Так, для построения трех этажей мы будем получать диаграммы в таком порядке (указан массив значений для диаграмм): “1”, “2”, “3”, “21”, “11”, “21”, “111”. Так как “21” уже была добавлена, то при повторном ее получении устанавливается связь с уже существующей.

Программа написана на языке программирования C++. Выходные данные, а именно полученный список диаграмм Юнга и матрица смежности, в которой сохраняются связи между узлами графа, записываются в файл. После чего вызывается программа-визуализатор, на вход она получает готовый файл.

### Визуализация начала графа Юнга

В качестве средств визуализации была выбрана библиотека `svgwrite` для языка программирования Python, которая имеет ряд преимуществ в работе с графами:

1. предназначена для работы с векторной графикой;
2. проста в использовании;
3. имеет удобные инструменты для рисования простых геометрических фигур, таких как квадраты и линии.

Для графического отображения начала графа Юнга используется список с диаграммами, полученными программой, описанной в предыдущем разделе. Диаграммы визуализируются в порядке размещения их в списке.

Первая диаграмма из списка считается корневой и размещается сверху по центру холста. Координаты каждой следующей диаграммы будут вычисляться как смещение

относительно предыдущей. Для этого происходит спуск вниз и влево, если количество клеток в новой диаграмме не совпадает с количеством клеток в предыдущей диаграмме, и вправо в противном случае. Отступы между диаграммами фиксированные.

Так как в каждую диаграмму могут входить ребра и выходить из нее, то необходимо вычислить координаты точек входа и выхода. Точка входа находится сверху по центру диаграммы, а точка выхода - снизу по центру. Таким образом для каждой диаграммы хранится 4 значения:  $x$  и  $y$  точки входа и  $x$  и  $y$  точки выхода. Ребра графа отображаются по желанию пользователя.

### Примеры работы программы

На рисунке 2 изображены первые 9 этажей графа Юнга с отображением ребер.

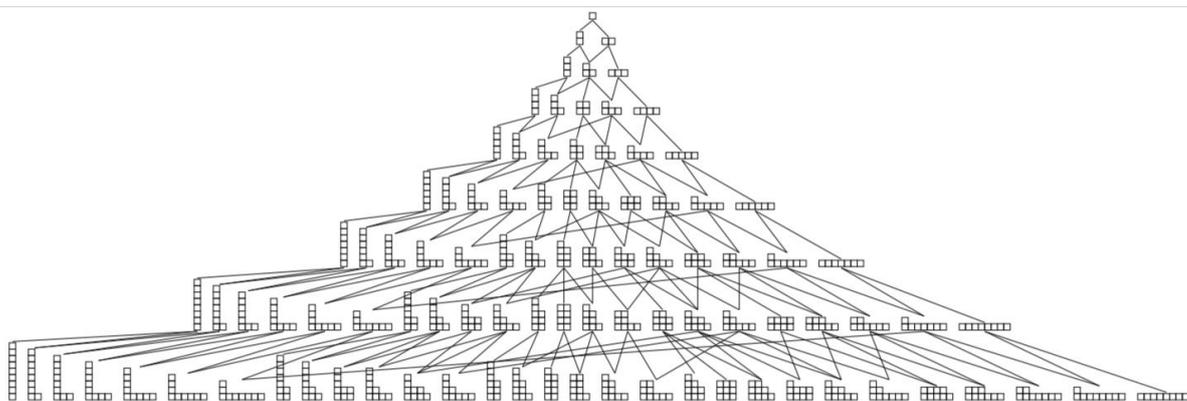
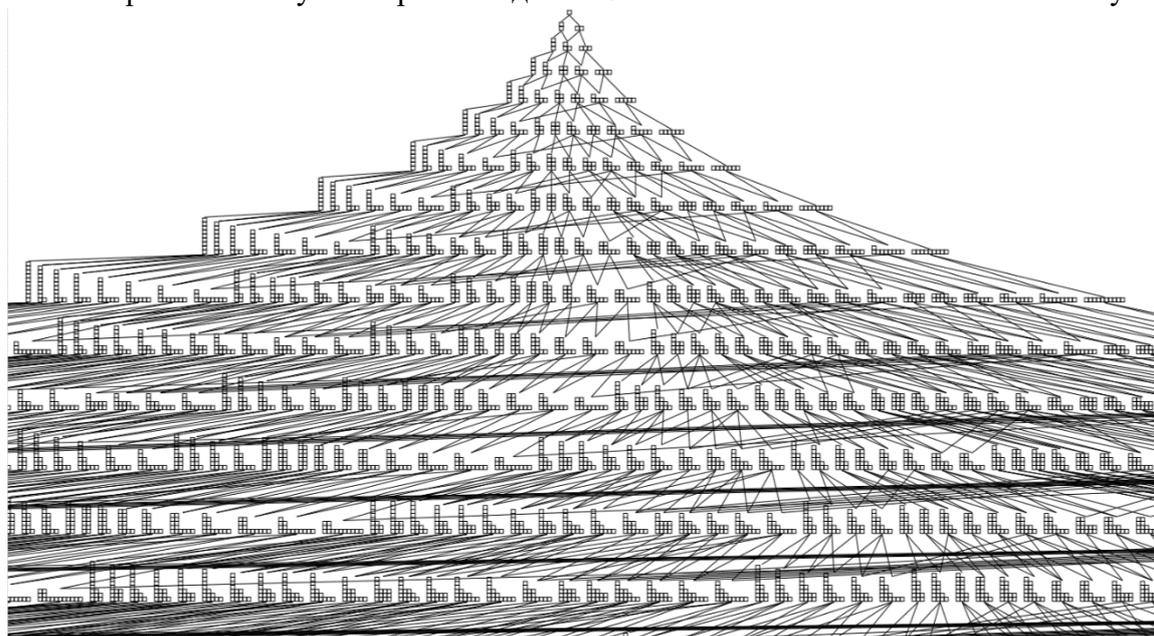


Рис.2. Первые 9 этажей графа Юнга с отображением ребер

Заметим, что, поскольку с ростом числа этажей графа Юнга количество ребер растет экспоненциально, при визуализации графа ребра могут стать абсолютно нечитаемыми, что делает невозможным отслеживание маршрутов на графе (см. рис. 3). Графы с большим количеством этажей требуют высокой оптимизации работы алгоритма, чего крайне сложно достичь. В противном случае обработка даже 20-ти этажей занимает несколько минут.



*Рис.3. Первые 20 этажей графа Юнга с отображением ребер (фрагмент)*

Поскольку в будущем планируется использование данного визуализатора для исследования подграфов графа Юнга и путей на них, то пользователь не столкнется с данными проблемами, т. к. размеры подграфов будут существенно меньше.

### **Заключение**

Разработана программа, которая визуализирует начало графа Юнга и состоит из двух частей. Первая строит массив из диаграмм Юнга и массив исходящих ребер – эта часть написана на C++. Вторая часть, используя полученные массивы, визуализирует начало графа Юнга до указанного пользователем этажа, вычисляя координаты расположения каждой диаграммы Юнга, – эта часть написана на Python. Результатами работы этой программы являются pdf файлы, в которых содержится изображение с определенным пользователем количеством этажей начала графа Юнга. Также реализована возможность отображение ребер графа.

Данная работа имеет огромное пространство для расширений и улучшений, например:

1. построение произвольных подграфов графа Юнга, интересных для исследователей;
2. расширение инструментов для визуализации: подкрашивание диаграмм и ребер графа Юнга, отображение весов на ребрах и др.;
3. возможная связь с ИИ для анализа подграфов графа и диаграмм Юнга.

Мы надеемся, что программа для визуализации графа Юнга получит свое развитие в будущем и станет полезным инструментом в исследованиях, связанных с графом Юнга.

### **Список литературы**

1. У. Фултон. Таблицы Юнга и их приложения к теории представлений и геометрии // М. : МЦНМО, 2006.
2. Н. Н. Васильев, В. С. Дужин. Исследование роста максимальных и типичных размерностей строгих диаграмм Юнга // Записки научных семинаров ПОМИ, том 437, 2015.
3. Vasilij Duzhin, Egor Smirnov-Maltsev. On Young diagrams of maximum dimension // Communications in Mathematics, v. 31, no. 3, 2023.
4. Vasilij Duzhin, Egor Smirnov-Maltsev. Some geometric properties of shifted Young diagrams of maximum dimensions // International Conference “Polynomial Computer Algebra 2024”, Saint-Petersburg, April 15-20, 2024.

## **ПОИСК ЦЕНТРАЛЬНЫХ МЕР НА КОНЕЧНЫХ ГРАДУИРОВАННЫХ ГРАФАХ**

КРУГЛОВА В.Д.

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

**Аннотация.** Реализован алгоритм поиска центральной меры на произвольном конечном градуированном графе. Проведен ряд вычислительных экспериментов по поиску центральных мер на графах, состоящих из  $k$  первых этажей графа Юнга, где каждая из диаграмм  $k$ -го этажа соединена единственным исходящим ребром со стоком. Исследована динамика изменения переходных вероятностей центральных мер на рёбрах этих графов с ростом  $k$ . Результаты исследования показали, что эта зависимость хорошо описывается гиперболой, свободный член уравнения которой оказался близок к планшерелевской вероятности рассматриваемого ребра.

*Ключевые слова:* центральная мера, граф Юнга, асимптотическая комбинаторика, мера Планшереля

## Введение

На градуированном графе можно задать процесс случайного блуждания или процесс Маркова. В этом случае каждому ребру будет сопоставлен вес, равный вероятности перехода по этому ребру. Таким образом на графе задается вероятностная мера. Если эта мера удовлетворяет такому свойству, что вероятности перехода по двум разным путям между фиксированной парой вершин равны, то она называется центральной. Поиск центральных мер на градуированных графах является актуальной проблемой асимптотической комбинаторики [1]. Существуют различные способы поиска центральной меры на градуированных графах, в данной работе используется алгоритм двучленных путей, который итеративно сближает вероятности путей, соединяющих вершину  $i$ -го этажа с вершиной  $(i+1)$ -го этажа.

Граф Юнга [2] – бесконечный градуированный граф, вершины которого являются диаграммами Юнга, а каждое ребро соединяет диаграмму  $\lambda_i$   $i$ -го этажа с диаграммой  $\lambda_{i+1}$ , полученную добавлением одной клетки к  $\lambda_i$ , как показано на рисунке 1.

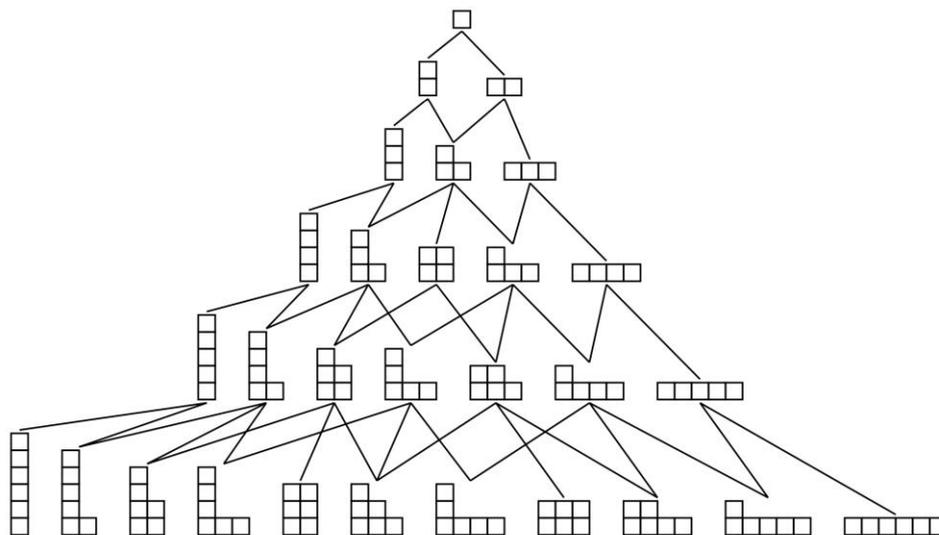


Рис. 1. Первые 6 этажей графа Юнга

На множестве путей в графе Юнга существует единственная центральная мера, сосредоточенная на путях, проходящих через диаграммы с медленным ростом вдоль координатных осей – мера Планшереля [3]. Планшерелевская переходная вероятность может быть вычислена при помощи формулы крюков:

$$p(\lambda, x, y) = \prod_{i=0}^{x-1} \frac{h(\lambda, i, y)}{h(\lambda, i, y) + 1} \prod_{j=0}^{y-1} \frac{h(\lambda, x, j)}{h(\lambda, x, j) + 1}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – диаграмма Юнга,  $x$  и  $y$  – координаты добавляемой клетки,  $h$  – длина крюка с вершиной в добавляемой клетке, то есть количество клеток, расположенных выше в том же столбце и правее в той же строке, включая саму клетку.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что вероятности (1) могут быть эффективно оценены с помощью алгоритма двучленных путей. Существует

множество градуированных графов, для которых не известна центральная мера. В дальнейшем предполагается применить предлагаемый в данной работе подход для поиска центральных мер на других градуированных графах.

### Алгоритм поиска центральной меры на градуированном графе

Алгоритм основан на уравнивании вероятностей двучленных путей – путей, соединяющих вершину  $k$ -го этажа с вершиной  $(k+2)$ -го этажа. На рисунке 2 представлен пример двух таких путей. Для выполнения свойства центральности ребро  $p_3$  центрируется:

$$p_3 = \frac{p_1 \cdot p_2}{p_4}.$$

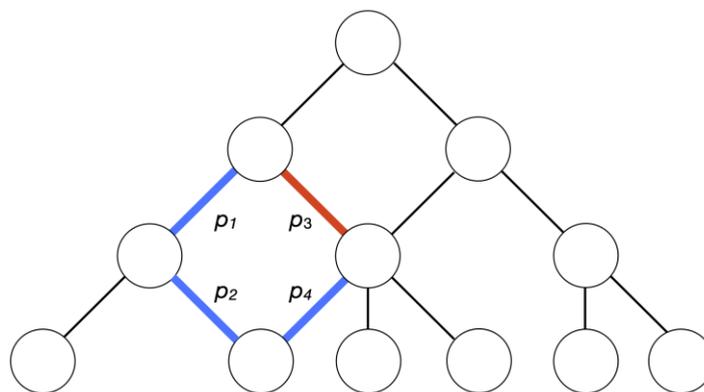


Рис. 2. Двучленные пути на градуированном графе

После рассмотрения всех таких путей для вершины на уровне  $k$ , исходящие из нее ребра нормируются так, чтобы сумма вероятностей перехода по ним равнялась единице. Таким образом последовательно обрабатываются все вершины в графе.

Процесс центрирования и нормирования повторяется итерационно, пока среднее квадратическое отклонение значений переходных вероятностей на последней и предпоследней итерациях не будет меньше  $\varepsilon = 10^{-5}$ . Вероятностная мера, полученная в результате работы данного алгоритма, будет стремиться к центральной при  $\varepsilon \rightarrow 0$ .

### Исследование динамики изменения центральной меры на градуированном графе с ростом количества этажей

Рассмотрим подграф, состоящий из всех вершин первых  $k$  этажей графа Юнга, при этом каждая вершина  $k$ -го этажа соединена единственным исходящим ребром с абстрактной вершиной (стоком). На этом подграфе с помощью алгоритма двучленных путей можно найти центральную меру и проследить динамику ее изменения с увеличением рассматриваемого графа.

Рассматривались графы, состоящие из первых 20, 21, ..., 33 этажей графа Юнга. Изначально для каждой вершины были заданы одинаковые исходящие переходные вероятности  $1/m$ , где  $m$  – количество исходящих ребер.

В результате работы алгоритма вычислены переходные вероятности центральной меры на каждом из этих графов. То есть для каждого ребра на первых двадцати этажах результатом работы алгоритма станет последовательность из 14 вероятностей.

На рисунке 3 отмечены значения вероятностей перехода по ребру  $\{2\} \rightarrow \{3\}$ , а пунктирной линией обозначена планшерелевская вероятность (1) этого ребра. С помощью

утилиты gnuplot [4] было установлено, что динамика изменения вероятностей перехода центральной меры хорошо описывается гиперболой:

$$y = \frac{a}{x+b} + c \quad (2)$$

Мы предполагаем, что в пределе параметр  $c$  стремится к вероятности (1).

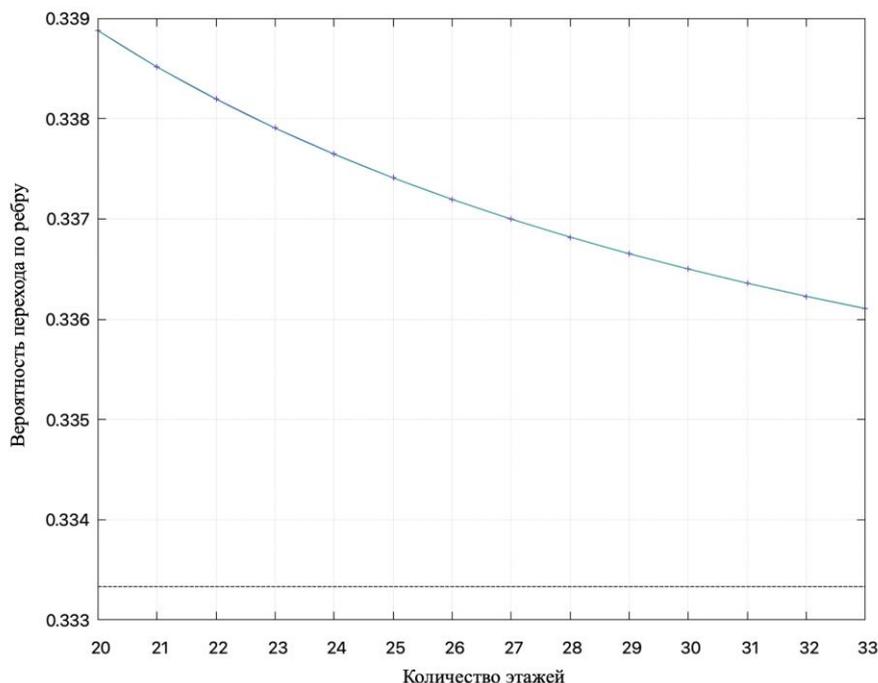


Рис. 3. Переходные вероятности ребра  $\{2\} \rightarrow \{3\}$  на графах, состоящих из первых 20, ..., 33 этажей графа Юнга

Зеленой линией на рисунке 3 обозначена функция гиперболы с параметрами, найденными с помощью утилиты gnuplot. Заметим, что вероятность перехода по ребру  $\{2\} \rightarrow \{3\}$  приближается к планшерелевской с увеличением количества этажей. Это хорошо видно в таблице 1, где приведены значения параметра  $c$  из (2) для ребер до 4-го этажа в сравнении со значением переходной вероятности (1).

Таблица 1

**Сравнение планшерелевских вероятностей и их оценок на ребрах графа Юнга**

Ребро	$c$	$p$	$ c - p $
$\{2\} \rightarrow \{3\}$	0.332699	0.(333)	0.000634(333)
$\{2\} \rightarrow \{2, 1\}$	0.667299	0.(666)	0.000632(333)
$\{1, 1\} \rightarrow \{2, 1\}$	0.667299	0.(666)	0.000632(333)
$\{1, 1\} \rightarrow \{1, 1, 1\}$	0.332699	0.(333)	0.000634(333)
$\{3\} \rightarrow \{4\}$	0.2481859	0.25	0.0018141
$\{3\} \rightarrow \{3, 1\}$	0.751814	0.75	0.001814
$\{2, 1\} \rightarrow \{3, 1\}$	0.3747621	0.375	0.0002379

$\{2, 1\} \rightarrow \{2, 2\}$	0.25047766	0.25	0.00047766
$\{2, 1\} \rightarrow \{2, 1, 1\}$	0.3747621	0.375	0.0002379
$\{1, 1, 1\} \rightarrow \{2, 1, 1\}$	0.751814	0.75	0.001814
$\{1, 1, 1\} \rightarrow \{1, 1, 1, 1\}$	0.2481859	0.25	0.0018141

Максимальное значение модуля разности между планшерелевской вероятностью и значением, к которому стремится переходная вероятность, равно 0.001814 для ребер до 4-го этажа графа Юнга. Это говорит о том, что алгоритм достаточно точно находит значение центральной меры на первых этажах графа Юнга и, по всей видимости, эти значения с ростом числа этажей приближаются к планшерелевским.

### Заключение

Исследовалась динамика изменения переходных вероятностей центральных мер на графах, состоящих из  $k$  первых этажей графа Юнга, где каждая из диаграмм  $k$ -го этажа соединена единственным исходящим ребром со стоком. Поиск центральных мер выполнялся при помощи алгоритма двучленных путей. С помощью него были получены значения центральной меры на графах, включающих в себя первые 20, 21, ..., 33 этажа графа Юнга. В результате проведенных вычислительных экспериментов обнаружено, что динамика изменения вероятностей перехода по ребрам первых четырех этажей хорошо описывается гиперболической функцией. Установлено, что алгоритм двучленных путей достаточно точно находит значение центральной меры на первых этажах графа Юнга и эти значения с ростом числа этажей приближаются к планшерелевским.

В дальнейшем планируется применение алгоритма для поиска центральной меры на графе 3D диаграмм Юнга и других градуированных графах.

### Список литературы

1. Thoma E. Die unzerlegbaren, positiv-definiten Klassenfunktionen der abzählbar unendlichen, symmetrischen Gruppe. *Mathematische Zeitschrift*, 1964, vol. 85, pp. 40–61.
2. Stanley R. P. *Enumerative Combinatorics. Vol. 2.* Cambridge University Press, Cambridge, 1999. 595 p.
3. Vershik A. M., Kerov S. V. Asymptotic of the largest and the typical dimensions of irreducible representations of a symmetric group. *Functional Analysis and its Applications*, 1985, vol. 19, iss. 1, pp. 21–31. doi:10.1007/BF01086021
4. gnuplot [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gnuplot.info> (дата обращения 03.05.2024)

## РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЁРА ПО АЛГОРИТМУ ЕВКЛИДА

КУЗЬМИНЫХ Е.М., ДАМАКИН Р.П., ШУРЫГИН Д.Л.

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

**Аннотация.** Данный доклад посвящен разработке приложения для обучения студентов решению задач на Алгоритм Евклида, схему Горнера, быстрое возведение в степень, теореме Безу и перевод в другую СС. Основное внимание уделено процессу разработки приложения и актуальности проекта.

*Ключевые слова:* разработка тренажера, алгоритм Евклида, схема Горнера, быстрое возведение в степень, теорема Безу, перевод в другую СС

Данная работа посвящена созданию приложения - тренажера для отработки решения заданий, основанных на алгоритме Евклида и других алгоритмах.

Для разработки приложения был выбран язык программирования Dart и фреймворк Flutter. Выбор обоснован тем, что в современном мире немаловажным критерием качественного приложения является поддержка основных существующих операционных систем. Flutter прекрасно подходит под этот запрос, так как позволяет использовать одну базу кода для сборки приложения под Windows, Linux, а также под мобильные устройства на базе Android и IOS. Были выбраны данные инструменты разработки, так как данный язык поддерживает парадигму ООП, является кроссплатформенным, что сильно облегчит работу над проектом и позволит использовать уже написанные единожды алгоритмы и портировать их на разные операционные системы. Кроме этого, Dart на данный момент поддерживается Google, активно обновляется вместе с Flutter, а также востребован на рынке кроссплатформенной разработки, что говорит о том, что через несколько лет он не устареет и приложение может поддерживаться.

Основной задачей в процессе разработки являлся перенос функционала тренажера Евклида версии 2004 г. (под редакцией Ларина), обновление пользовательского интерфейса, а также добавление новых модулей для отработки следующих алгоритмов: схема Горнера, теорема Безу, алгоритм быстрого возведения в степень, алгоритм перевода из одной системы счисления в другую, основанный на схеме Горнера. В качестве материала для разработки был предоставлен репозиторий с наработанным материалом предыдущих лет по разработке веб-версии приложения и непосредственно приложение Ларина в виде исполняемого файла. После изучения задачи и представленных материалов было принято решения создать приложение с нуля в связи со сложностью декомпиляции исполняемого файла и неадаптивностью кода веб-версии.

В начале процесса разработки была определена uml диаграмма исходного приложения и были расписаны возможные сценарии взаимодействия пользователя с ним (userflow приложения). Далее была выбрана архитектура приложения в соответствии с Client Architecture (стандарт для разработки на Flutter). Структура приложения создана таким образом, чтобы добавление новых задач не было проблематичным. После были разработаны макеты предварительного дизайна приложения с помощью графического редактора Figma, которые использовались для верстки интерфейса. В течение разработки вносились корректировки предварительных макетов.

Разработанные алгоритмы:

- 1) Алгоритм Евклида.
- 2) Схема Горнера.
- 3) Алгоритм быстрого возведения в степень.
- 4) Алгоритм перевода в другую систему счисления.
- 5) Теорема Безу.

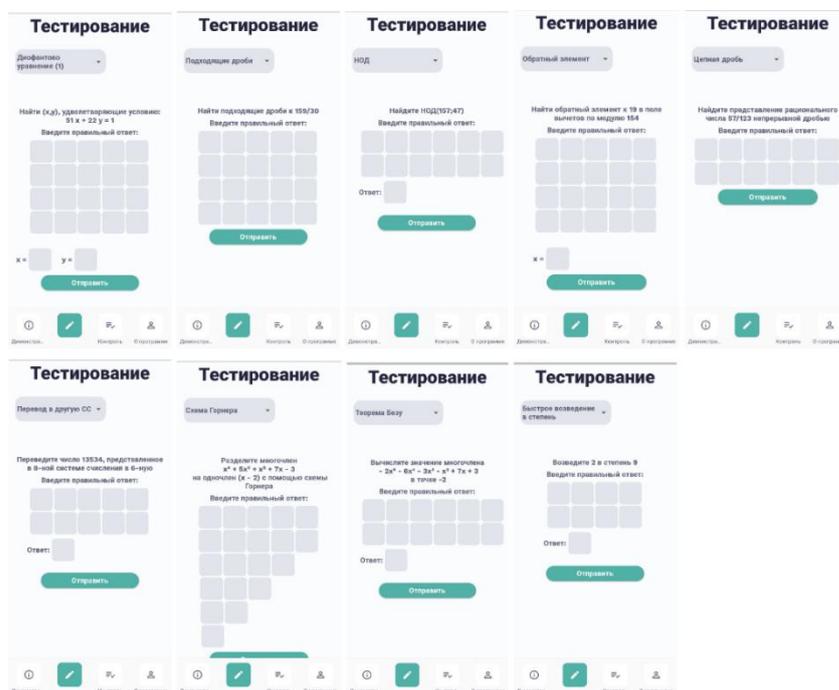


Рис. 1. Демонстрация доступных для решения задач

Для каждого алгоритма и его модулей были разработаны генераторы задач, каждая задача создается со случайными условиями. При этом были учтены некоторые ограничения для генерации:

- 1) Объем данных для корректного вывода на экраны мобильных устройств.
- 2) Длина чисел для корректного заполнения таблиц.
- 3) Собственные ограничения реализуемых алгоритмов.

При запуске приложения пользователя встречает экран “Демонстрация”, где кратко представлена информация о приложении и приведено описание разделов с алгоритмами:

- 1) Диофантово уравнение.
- 2) Обратный элемент.
- 3) НОД.
- 4) Цепная дробь.
- 5) Подходящие дроби.
- 6) Перевод в другую СС.
- 7) Быстрое возведение в степень.
- 8) Теорема Безу.
- 9) Схема Горнера.

В нижней части экрана находятся кнопки для переключения между экранами (режимами приложения). В приложении представлены следующие режимы:

- 1) Демонстрация.
- 2) Тестирование: раздел предназначен для тренировки навыков решения задач.
- 3) Контроль: раздел предназначен для проверки знаний и навыков решения задач.
- 4) О приложении: здесь указана краткая информация о предназначении программы и разработчиках.

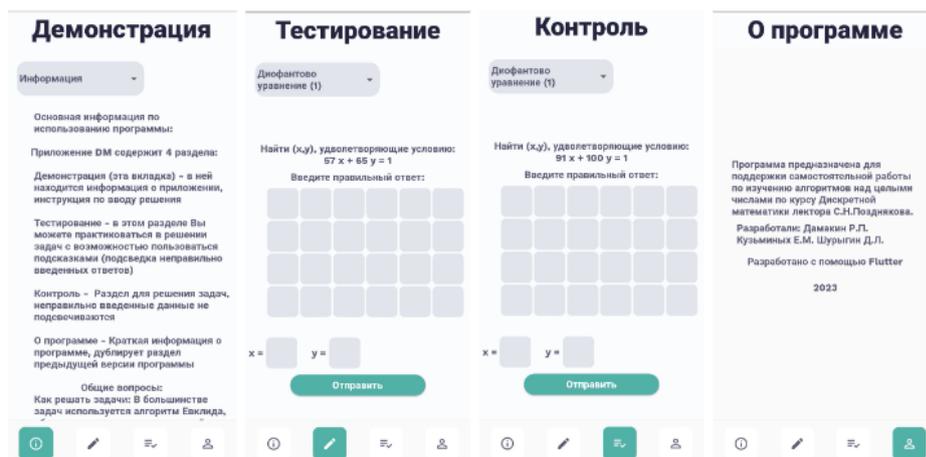


Рис. 2. Пример навигации в приложении

На данный момент продолжается разработка данного приложения, внедряются новые модули, связанные с алгоритмами на графах. Итоговый вариант приложения будет предоставлен для использования студентами в рамках курсов “Дискретная математика и информатика” и “Комбинаторика и теория графов”.

### Список литературы

1. Dart документация [Электронный ресурс]. URL: <https://dart.dev/language>
2. Flutter документация [Электронный ресурс] URL: <https://docs.flutter.dev/get-started/install>
3. Основы управления состоянием в Flutter [Электронный ресурс] URL: <https://medium.com/codechai/basics-of-state-management-in-flutter-497ddb506608>
4. Awesome Flutter. Сборник информации для разработки на Flutter [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/Solido/awesome-flutter#state-management>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕДИНЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ДИФфуЗИОННОЙ МОДЕЛИ И ТРАНСФОРМЕРА ДЛЯ ЗАДАЧИ СЕМАНТИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ

ПЛУСОВ Д.А.

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

**Аннотация.** В представленном докладе будет рассмотрен способ решения одной из самых сложных задач компьютерного зрения - поиск семантического соответствия двух и более изображений. Рассматриваемый подход [1] основан на использовании объединенных "признаков" двух разных моделей - диффузионной модели Stable Diffusion и трансформерной модели DiNOv2, дополняющих друг друга для получения впечатляющих результатов на известных датасетах.

*Ключевые слова:* компьютерное зрение, диффузионные модели, трансформеры

### Введение

Задача семантического соответствия заключается в сопоставлении семантики между пикселями или регионами двух или более изображений. Данная задача решается различными методами обучения с учителем [1], но рассматриваемый в докладе подход не предполагает дообучения под поставленную задачу, то есть способ является «Zero-shot»

решением. Диффузионные модели [2] с каждым годом набирают популярность и являются SOTA подходом для генерации любых непрерывных данных. Кроме этого, эти генеративные модели подходят и для решения других задач компьютерного зрения - классификации, сегментации, детекции. Решать задачи, не предполагающие по своей сути генерацию чего-либо, помогают этой модели собственные «признаки» - результаты вычислений нейронной сети, взятые с какого-либо слоя и нужным способом обработанные. Вторая модель, чьи признаки будут использоваться в решении задачи - DINOv2 [3], трансформерная модель для задач компьютерного зрения. Выяснилось, что признаки этих двух моделей имеют разные сильные стороны, что позволяет использовать их в совокупности для решения поставленной задачи.

### **DINOv2**

DINOv2 - трансформер для зрения, обученный методом DINO [4]. Основная идея метода лежит в самодистилляции предобученной модели: как и в классической дистилляции [5], имеется две модели: ученик и учитель, но в нашем случае изначально учитель не обучен. Через модель учителя пропускается случайный патч (часть, вырезка) изображения, а через модель студента пропускается случайный патч меньшей размерности. После чего на выходе двух моделей K-мерные вектора, которые сравниваются с помощью кросс-энтропии, и соответствующая ошибка распространяется назад, но только по модели студента. Веса учителя же обновляются как экспоненциально скользящее среднее  $W_t = \alpha \cdot W_t + (1 - \alpha) \cdot W_s$ . Такой метод обучения помогает модели научиться глубоко понимать семантику изображений. В качестве backbone в DINOv2 рассматривается классический трансформер для зрения - ViT-B/14 [6], то есть обучаемый на патчах размера 14 на 14.

### **Stable Diffusion**

Stable Diffusion [7] - шумевная генеративная диффузионная модель 2022 года. Это стандартная диффузионная модель, которая действует в латентном пространстве предварительно обученного VQ-GAN [8]. Backbone модели состоит из классического U-Net [9], отлично подходящего под любые задачи с изображениями. Именно вычисления U-Net будут использоваться в качестве признаков изображений.

### **Решение задачи семантического zero-shot соответствия**

Каким же образом эти две модели помогут решать задачу семантического соответствия двух и более изображений? Мы будем использовать признаки, выделенные этими моделями, нужным образом их анализировать и затем объединять. Начнем с признаков Stable Diffusion. Как уже было сказано, сеть состоит из обучаемой сети U-Net и энкодер-декодер архитектуры VQ-GAN. Признаки будем брать из U-Net. Были рассмотрены признаки с разных слоев U-Net: 2, 5, 8, 11. Признаки - тензор какой-то размерности. Как же проанализировать их, понять, на что именно акцентирует свое внимание модель? Все просто, тензор преобразуется по методу главных компонент таким образом, чтобы в итоге остался тензор размерности (w, h, 3), то есть для того чтобы визуализировать его в качестве RGB сигнала. По изображениям рисунка 1 видно, что ранние слои модели не четко описывают семантику изображения, а самый поздний слой выделяет слишком мелкие детали. Было принято решение объединить 2, 5, 8 слой, после чего применить уже описанный выше метод главных компонент для визуализации.

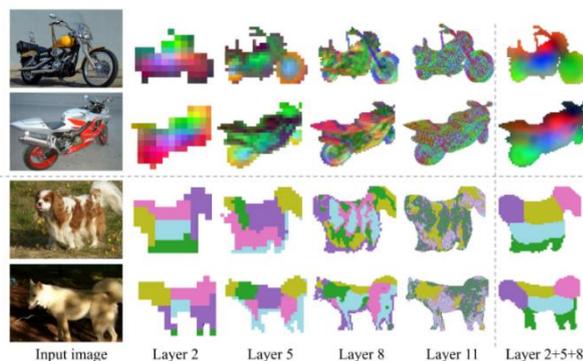


Рис. 1 Визуализация слоев SD.

По получившимся признакам разных изображений видно, что соответствующие элементы изображений выделяются моделью одинаковым цветом, что говорит о том что модель способна видеть семантическое соответствие между разными изображениями. Также для большей наглядности применяется венгерский метод поиска оптимального соответствия между кластерами. Изначально получившиеся изображения кластеризуются с помощью метода K-Means ( $k=5$ ), после чего между кластерами находятся соответствие приведенным выше графовым алгоритмом. Видно, что признаки диффузионной модели улавливают и глубину исходного изображения. Теперь о том, как и откуда будут извлекаться признаки модели DINOv2. Были проанализированы признаки DINOv2 с разных слоев внимания модели, и после различных экспериментов, последний, т.е. 11 слой был выявлен наилучшим с точки зрения семантики изображений. Что примечательно, предыдущая версия DINOv1 имела лучшие признаки на своих первых слоях. В целом оказалось, что признаки DINOv2 сообщают нам более точные, но разреженные соответствия рис. 2, в то время как признаки Stable Diffusion дают более плотные, но порой неточные соответствия между двумя изображениями. Было принято решение объединить эти признаки для того, чтобы использовать лучшие качества этих признаков сразу. Были рассмотрены разные признаки для объединения, но наилучший результат получится если отнормировать оба тензора, а после этого просто сконкатенировать, домножив тензоры на 0.5 (потом, разумеется, тот же метод главных компонент). Такое объединение позволяет признакам получить лучшее от двух рассматриваемых моделей, а также получить улучшение качества по стандартным метрикам на известных датасетах.

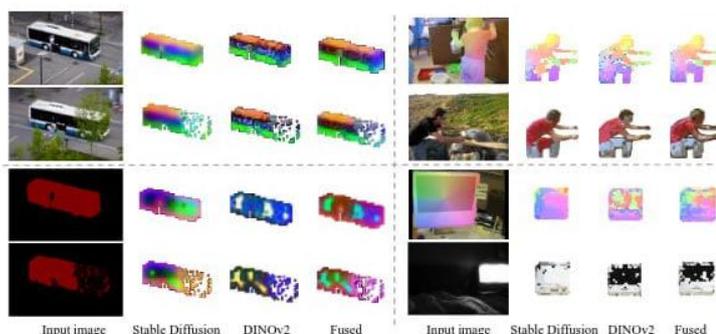


Рис. 2. Объединенные признаки двух моделей.

## Эксперименты

Модель изначально тестировалась на датасетах, размеченных для задачи плотного семантического соответствия (нужно сопоставить область изображений другой области). Было решено проверить работоспособность модели на более простой задаче - задаче разреженного соответствия, в которой нужно сопоставить «точку», указывающую на какой-то объект на одном изображении, такому же объекту на другом изображении (предсказание засчитывается в итоговую метрику РСК (Percentage of Correct Keypoints), если предсказанная точка попала в нужный bounding box). Трансформировать исходную задачу в задачу разреженной соответственности оказалось несложно: достаточно просто взять вектор признака пикселя на первом изображении, и найти к нему ближайшего соседа со второго изображения. Эту точка берется в качестве результата. Тестирование проводилось на датасете PF-WILLOW [10] со значением  $\alpha = 0.1$  в РСК и показало результат 0.74, то есть в 74 процентах случается попадание в нужный bounding-box, что достаточно неплохо для zero-shot метода.

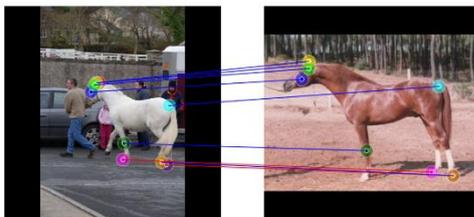


Рис. 3. Пример решения задачи разреженного соответствия из датасета PF-WILLOW.

## Вывод

Потенциал внутренних представлений моделей Stable Diffusion и DINOv2 достаточно велик и разнообразен, что позволяет решать совсем разные задачи компьютерного зрения, не обучая под них отдельную модель, а просто грамотно используя имеющиеся признаки. Но проблемой такого подхода является огромное количество весов в сильных моделях для зрения, что делает весь пайплайн решения медленным, но в то же время эффективным.

## Список литературы

1. Sunghwan Hong, Seokju Cho, Jisu Nam, Stephen Lin "Cost Aggregation with 4D Convolutional Swin Transformer for Few-Shot Segmentation". 1. Junyi Zhang, Charles Herrmann, Junhwa Hur, Luisa Polania Cabrera - "A Tale of Two Features: Stable Diffusion Complements DINO for Zero-Shot Semantic Correspondence"
2. Jonathan Ho, Ajay Jain, Pieter Abbeel - "Denoising Diffusion Probabilistic Models"
3. Maxime Oquab, Timothée Darcet, Théo Moutakanni, Huy Vo, Marc Szafraniec и др. - "DINOv2: Learning Robust Visual Features without Supervision"
4. Mathilde Caron, Hugo Touvron, Ishan Misra, Hervé Jégou и др. - "Emerging Properties in Self-Supervised Vision Transformers"
5. Geoffrey Hinton, Oriol Vinyals, Jeff Dean "Distilling the Knowledge in a Neural Network".
6. Alexey Dosovitskiy, Lucas Beyer, Alexander Kolesnikov, Dirk Weissenborn и др. "An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale"
7. Robin Rombach, Andreas Blattmann, Dominik Lorenz, Patrick Esser и др. "High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models"
8. Patrick Esser, Robin Rombach, Björn Ommer, "Taming Transformers for High-Resolution Image Synthesis"
9. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation".
10. Bumsub Ham, Minsu Cho, Cordelia Schmid, Jean Ponce, "Proposal Flow: Semantic Correspondences from Object Proposals".

## **АЛГОРИТМИЗАЦИЯ, ПОИСК И КЛАССИФИКАЦИЯ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ (CNN)**

Пшеничный В.В., Мясников Ю.Н., Глущенко А.Г.

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

**Аннотация.** Проведено исследование применения сверточного алгоритма для обнаружения и классификации опухолей головного мозга. Результаты данного метода достигают 99% точности определения наличия опухоли головного мозга и, в случае обнаружения, ее класса и указывают на необходимость вмешательства медицинского персонала для дальнейшего определения метода лечения.

*Ключевые слова:* нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, CNN, опухоли головного мозга, компьютерное зрение

### **Введение**

Выбор использования сверточной нейронной сети для поиска и определения опухолей головного мозга является хорошим и аргументированным благодаря высокой точности, что является очень весомым показателем в отраслях медицины. При достаточном времени, выделенном на обучение, и необходимом объеме входных данных, поступающих в модель, результаты работы данного метода могут помочь сократить нагрузку на врачебный состав.

### **Пример алгоритмизации поиска и классификации для обучения модели при помощи сверточной нейронной сети для исследования головного мозга**

Сверточная нейронная сеть (CNN) — это алгоритм глубокого обучения, в перечень возможностей которого входят обработка входных изображений, выделение важных объектов на изображениях, а также нахождение отличий между ними. Плюсом этого метода в сравнении с другими являются меньшие объемы предварительной обработки входного материала. В CNN обученные сети могут самостоятельно автоматически применять фильтры и характеристики, не требуется их ручное создание, как в некоторых примитивных методах. На фоне других алгоритмов CNN отличается использованием сверточных слоев, которые при помощи фильтров способны находить структуры и объекты на обрабатываемых изображениях. Эти фильтры позволяют оценивать изображение и выделять на нем специфические элементы, будь то края, цвета и др., ориентируясь на которые сети будет проще распознавать объекты.

Если оценивать сравнительные плюсы CNN относительно альтернатив, обязательно следует обратить внимание на отсутствие требования человеческого контроля, самостоятельное, автоматическое извлечение критериев, признаков, высокая точность распознавания изображений, качественная процедура классификации, а также возможность принимать для работы и обработки большие объемы входных данных.

Выбор использования сверточной нейронной сети для поиска и определения опухолей головного мозга является хорошим и аргументированным благодаря высокой точности, что является очень весомым показателем в отраслях медицины. При достаточном времени, выделенном на обучение, и необходимом объеме входных данных, поступающих в модель, результаты работы данного метода могут помочь сократить нагрузку на врачебный состав.

Входной датасет изображений, содержащий в себе снимки МРТ головного мозга, был разделен на два набора. Предназначением первого является обучение модели, а второго -

тестирование (классическое разделение на обучающий и тестовый). Входные данные были предварительно проанализированы и разделены на классы, впоследствии они были сгруппированы по папкам и в итоге в таком виде были отправлены на обучение модели.

Был воспроизведён подсчет имеющихся в каждой папке изображений. Результаты можно представить в виде гистограммы. Таким образом, можно наглядно увидеть соотношение объемов групп (классов) в тренировочном наборе данных.

Аналогичное действие было выполнено и для тестового набора. Изучив обе гистограммы, можно заметить, что данных каждого типа "хватает" - нет класса, представленного слишком малым объемом изображений в датасете.

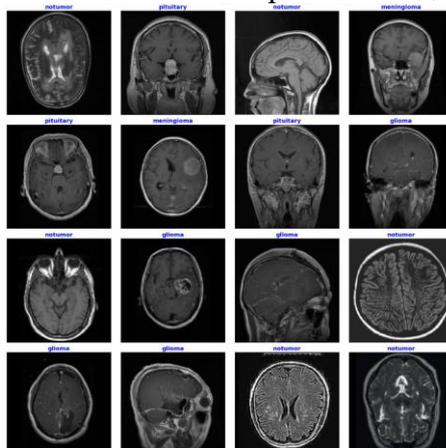


Рис. 1. Визуализация изображений из обучающего набора

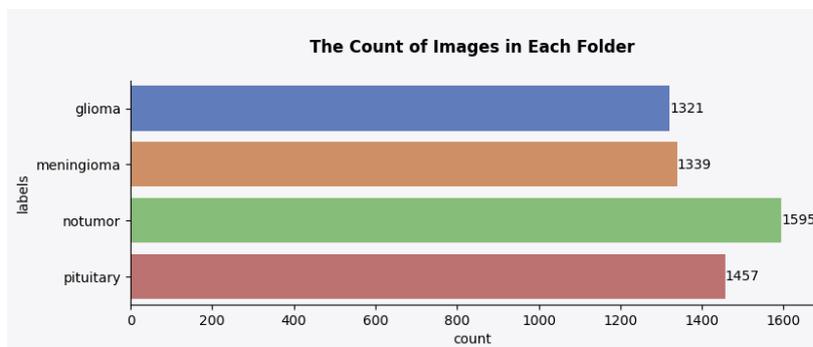


Рис. 2. Визуализация распределения классов в тренировочном наборе данных

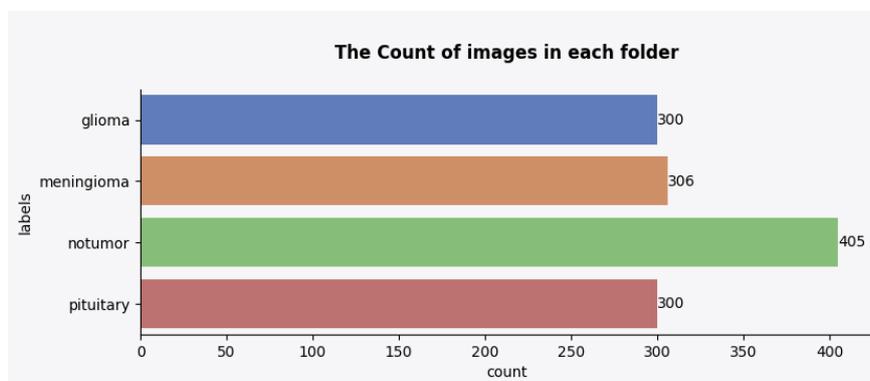


Рис. 3. Визуализация распределения классов в тренировочном наборе данных

Далее представлены данные о структуре модели. Запись о каждом слое состоит из типа вышеупомянутого и набора аргументов, среди которых, например, присутствует количество фильтров.

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d (Conv2D)	(None, 224, 224, 64)	1,792
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 224, 224, 64)	36,928
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 112, 112, 64)	0
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 112, 112, 128)	73,856
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 112, 112, 128)	147,584
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 56, 56, 128)	0
conv2d_4 (Conv2D)	(None, 56, 56, 256)	295,168
conv2d_5 (Conv2D)	(None, 56, 56, 256)	590,080
conv2d_6 (Conv2D)	(None, 56, 56, 256)	590,080
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 28, 28, 256)	0
conv2d_7 (Conv2D)	(None, 28, 28, 512)	1,180,160
conv2d_8 (Conv2D)	(None, 28, 28, 512)	2,359,808
conv2d_9 (Conv2D)	(None, 28, 28, 512)	2,359,808
max_pooling2d_3 (MaxPooling2D)	(None, 14, 14, 512)	0
conv2d_10 (Conv2D)	(None, 14, 14, 512)	2,359,808
conv2d_11 (Conv2D)	(None, 14, 14, 512)	2,359,808
conv2d_12 (Conv2D)	(None, 14, 14, 512)	2,359,808
max_pooling2d_4 (MaxPooling2D)	(None, 7, 7, 512)	0
flatten (Flatten)	(None, 25088)	0
dense (Dense)	(None, 256)	6,422,784
dense_1 (Dense)	(None, 64)	16,448
dense_2 (Dense)	(None, 4)	260

Total params: 21,154,180 (80.70 MB)

Trainable params: 21,154,180 (80.70 MB)

Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Рис. 4. Вывод информации о структуре модели

Изображённые на рис. 5 графики являются изображением метрик качества модели и одним из способов для ее оценки. Они иллюстрируют ее качество на обучающем и на проверочном наборе данных. Графики построены на основании проведения 10 эпох обучения. На первом графике изображена "ошибка" (loss), а на втором - "точность" (accuracy).

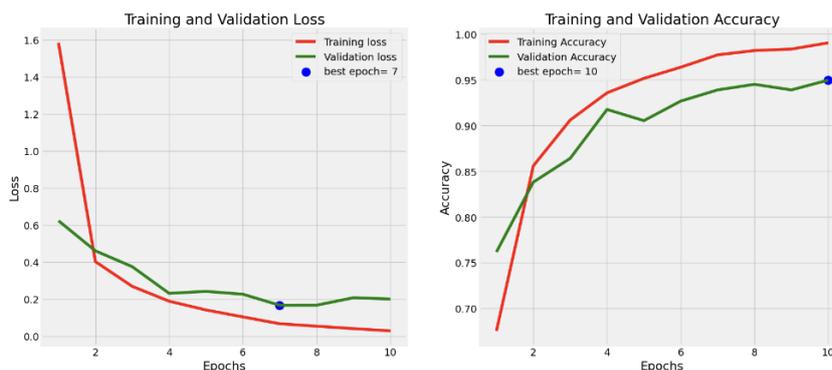


Рис. 5. Вывод метрик оценки качества модели

Далее изображена матрица ошибок (confusionmatrix). Читать ее нужно следующим образом. Представим, что мы смотрим на ячейку (X, Y). Это означает, что модель предсказала для n-го (указано в самой ячейке) количества снимков определение в класс Y, а на самом деле эти снимки принадлежат классу X. То есть на диагонали мы наблюдаем ячейки с количеством верных предсказаний для каждого класса, ведь в таком случае условные X и Y представляют один и тот же класс.

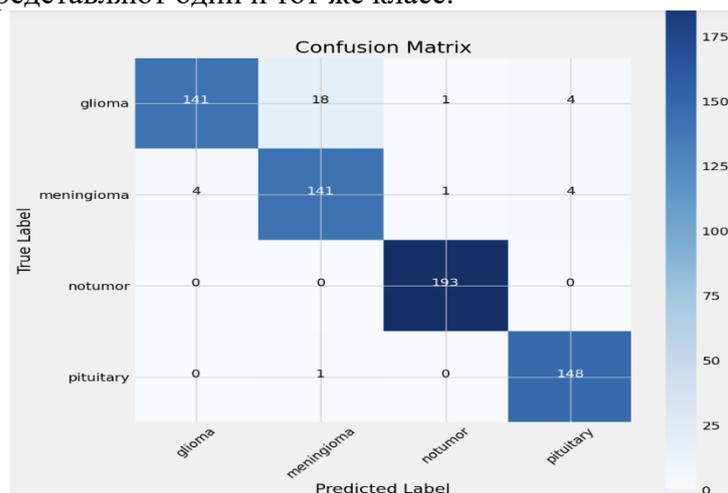


Рис. 5. Визуализация матрицы ошибок

Был воспроизведён подсчет значений оценочных показателей, среди которых фигурируют precision, recall и f1-score.

	precision	recall	f1-score	support
glioma	0.97	0.86	0.91	164
meningioma	0.88	0.94	0.91	150
notumor	0.99	1.00	0.99	193
pituitary	0.95	0.99	0.97	149
accuracy			0.95	656
macro avg	0.95	0.95	0.95	656
weighted avg	0.95	0.95	0.95	656

Рис. 6. Вывод отчета о классификации

## Заключение

Подводя итог исследования, можно сделать вывод, что модель неплохо себя продемонстрировала, показав точность в 91% в целом, а на предмет отсутствия опухоли смогла выдать результат в 98,9%.

## Список литературы

1. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521(7553). 436–444 с.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. 25 с.
3. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNetClassification with Deep Convolutional Neural Networks. Advances in Neural InformationProcessing Systems 25 (NIPS 2012). 12 с.
4. Zeiler, M. D., & Fergus, R. (2014). Визуализация и понимание сверточных сетей. Европейская конференция по компьютерному зрению (ECCV 2014). 16 с.

## **СИНХРОНИЗАЦИЯ В МУЛЬТИПЛЕКСНЫХ СЕТЯХ ФАЗОВЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ: УЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА**

РЯБОВ К.С.

*НИУ ВШЭ (Нижний Новгород)*

**Аннотация.** В рамках этой работы было рассмотрено влияние связи слоев на синхронизацию в мультиплексных сетях фазовых осцилляторов. В ходе работы были исследованы, а затем реализованы алгоритмы для этого. В процессе исследования разработана программа, имитирующая нейро-глиальные сети. В глиальной сети элементы образуют между собой упорядоченную двумерную решетку, в которой каждый элемент связан с тремя соседями, поскольку глиии не имеют дальнедействующих связей. Связи между нейронами представлены случайным графом. В ходе выполнения работы были разработаны программы, моделирующие синхронизацию каждого из слоев мультиплексной сети, приведены физические и биологические объяснения возникающим явлениям.

*Ключевые слова:* уравнение Курамото, синхронизация, нейрон-глиальные сети

### **Введение**

В данной работе будет рассматриваться вопрос синхронизации мультиплексной нейрон-глиальной сети. Для этого необходимо отдельно рассмотреть глиальную и нейронную сеть. Наиболее популярная математическая модель для этого - модель Курамото. Она описывает поведение большого числа связанных друг с другом осцилляторов. А именно сеть глобальных связанных осцилляторов: все со всеми. За последние несколько лет особенно успешным было исследование в понимании фазовой синхронизации многослойных глобально связанных ансамблей Курамото с различным частотным распределением. В данной работе будет исследовано явление синхронизации в сети фазовых осцилляторов, моделирующей активность нейронного слоя сети. Также будет рассмотрена и глиальная сеть. Для рассмотрения будет использована модель, в которой нейронный слой представляет собой граф со случайно сгенерированными связями.

### **Методы исследования**

Целью работы является разработка программного решения для моделирования мультиплексной сети фазовых осцилляторов. Для этого необходимо исследовать строение и функции нейронной и глиальной сети. Изучить природу передачи импульсов в них, исследовать математическую модель нейроно-глиальной сети, и, опираясь на научные публикации в данной теме, отдельно рассмотреть поведение сети нейронов с различными порядками связей. В триплетной связи изучить явление возникновения гистерезиса. Проанализировать глиальные сети на предмет фазовой и частотной синхронизации. Рассмотреть существующие программные решения для данной задачи, понять алгоритмы работы, а также выявить преимущества и недостатки. После чего необходимо проанализировать полученную информацию, а затем реализовать и протестировать собственные эффективные алгоритмы моделирования синхронизации мультиплексной нейроно-глиальной сети.

### **Результаты исследования**

Запишем уравнение, которое задает динамику изменения узлов в нейронном слое с течением времени:

$$\dot{\theta}_i = \omega_i + \frac{K_1}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\theta_j - \theta_i) + \frac{K_2}{N^2} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sin(2\theta_j - \theta_k - \theta_i).$$

Для того, чтобы найти условие возникновения синхронного режима нашей модели проведём численное интегрирование системы методом Рунге-Кутты 4-го порядка: шаг по времени  $dt=0.01$  на времени  $T=1000$ .

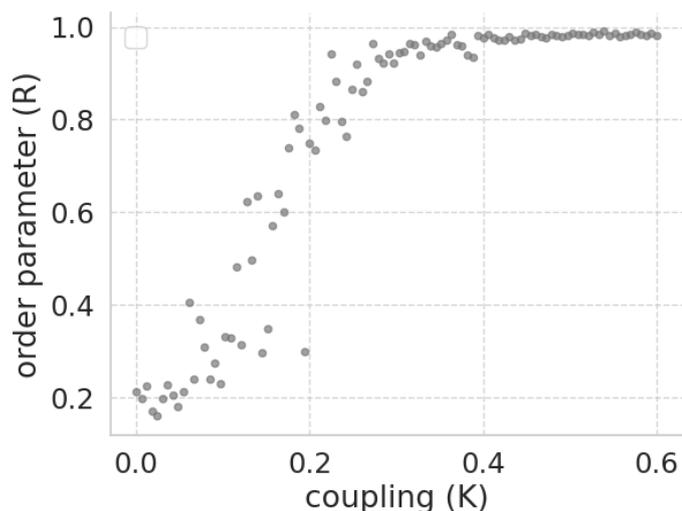


Рис.1. Изменение параметра порядка с симплексами первого порядка ( $N=25$ ).

Как мы видим, осцилляторы можно явным образом разделить на 2 кластера: те, где синхронизация произошла, и где ее нет. Переход происходит достаточно плавно, но есть некоторый разброс точек. Для того, чтобы переход был виден более ярко - многократно, а конкретно в 10 раз, увеличим число осцилляторов.

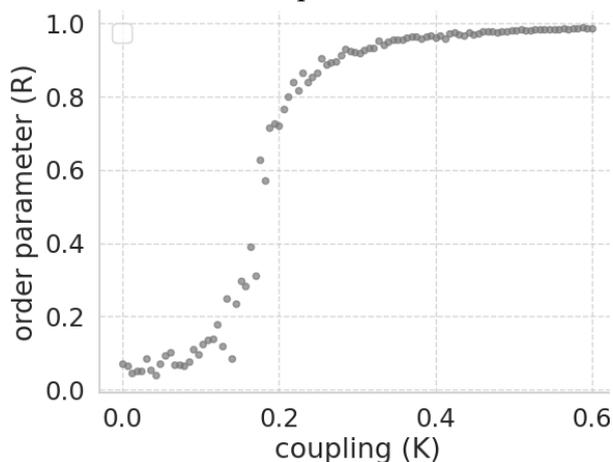


Рис.2. Изменение параметра порядка с симплексами первого порядка ( $N=250$ )

Как мы видим, переход стал еще более плавный. Это переход от асинхронной динамики элементов сети к полностью синхронному поведению в смысле фазовой хаотической синхронизации, который происходит постепенно, когда по мере увеличения силы связи

между отдельными элементами сети все большее и большее количество осцилляторов становятся синхронизованы.

Мы видим, что есть области без синхронизации и с синхронными фазами. Точка перехода близка к 0.2. При меньших значениях осцилляторы не синхронизируются, при больших - значительная часть ансамбля синхронна.

Теперь изучим задачу поиска синхронизации в нейронных сетях с симплексами второго порядка. Возьмем  $N=25$ , как и в предыдущих численных экспериментах. Для этого в уравнении параметр  $K2$  примем равным 0.15. Проведя интегрирование методом Рунге-Кутты 4-го порядка при параметре шага  $dt=0.01$  на времени  $T=1000$ , получим следующую картину.

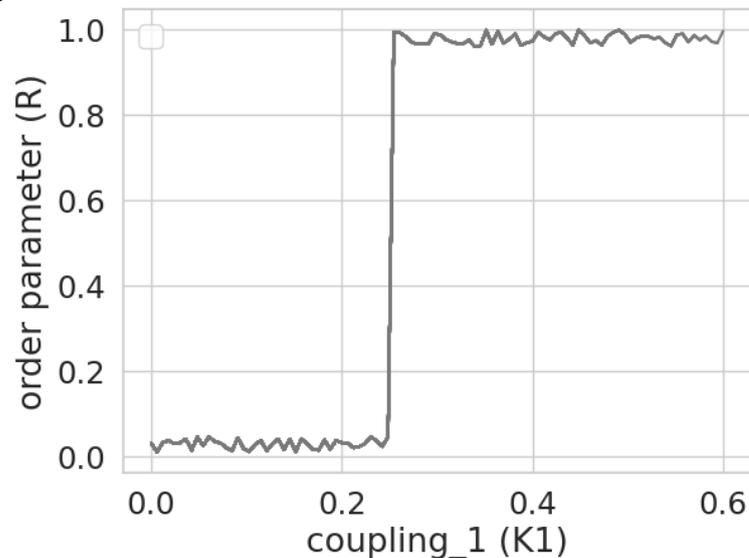


Рис.3. Изменение параметра порядка с симплексами второго порядка ( $N=25$ )

Видим, что в отличие от симплексов первого порядка, тут переход происходит не так плавно (скачком). Резко возникает бассейн глобально синхронизованных осцилляторов. Для подобного типа связей характерно явление гистерезиса.

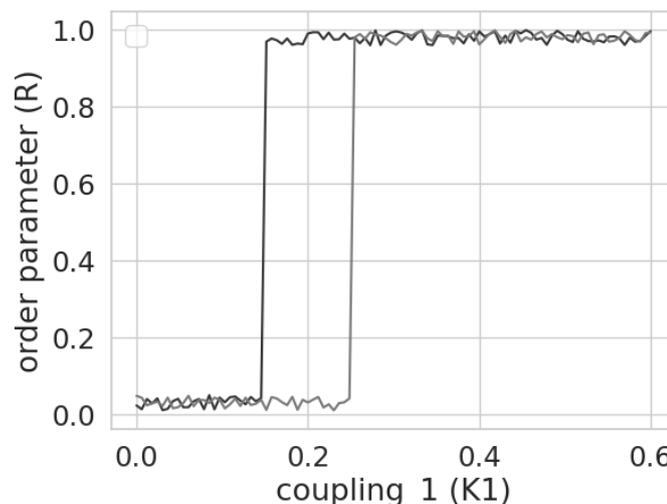


Рис.4. Явление гистерезиса в симплексах второго порядка ( $N=25$ )

### **Выводы**

В заключении стоит отметить, что большинство поставленных задач было выполнено. Проведено исследование математической модели мультиплексной сети связанных осцилляторов. Отдельно были рассмотрены вопросы синхронизации в каждом слое нейрон-глиальной сети.

В нейронной сети были рассмотрены несколько различных вариантов симплексных связей между элементами. При дуплетной связи был рассмотрен эффект перехода Курамото (переход второго рода), рассмотрено поведение ансамблей различной численности. Было обнаружено, что при увеличении числа связанных друг с другом осцилляторов точка перехода становится значительно более видимой, переход становится более четким. В триплетной связи мы увидели совершенно другую картину. Переход стал происходить иначе, происходил скачкообразный переход первого рода. В рассмотрении также была и глиальная сеть, которая представлена упорядоченной двумерной сетью, где у каждого элемента четыре соседа. Было рассмотрено явление гистерезиса.

### **Список литературы**

1. M. Komarov and A. Pikovsky, Phys. Rev. E 92, 012906 (2015)
2. S. Lück and A. Pikovsky, Phys. Lett. A 375, 2714 (2011)
3. Kuramoto Y. Chemical Oscillations, Waves and Turbulence. Berlin: Springer-Verlag, 1984
4. Y. Terada and T. Aoyagi, Phys. Rev. E 94, 012213 (2016)
5. B. Pietras, N. Deschle, and A. Daffertshofer, Phys. Rev. E 94, 052211 (2016)

## **ОЦЕНКА РИСКА СБЛИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ПРОЦЕССЕ ПОЛЁТА**

СУББОТИН М. О.

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

**Аннотация.** В ближайшем будущем плотность операций беспилотных воздушных судов (БВС) в низковысотном воздушном пространстве будет быстро расти. Из-за сложности и риска, связанных с высокой плотностью полётов БВС, оценка безопасности стала важной областью исследований. В работе представлены метод Монте-Карло и метод аппроксимации седловой точки для оценки вероятности сближения двух БВС.

*Ключевые слова:* оценка вероятности, БВС, метод Монте-Карло

### **Введение**

При планировании полёта парка БВС требуется оценивать вероятность их столкновения. Задача заключается в том, чтобы на протяжении всего полета одного БВС выделить места с наибольшей вероятностью сближения с другим БВС и в таких местах построить функцию распределения расстояния. Входными данными являются кортежи  $(t, x, y, z)$ , где  $t$  – время и  $x, y, z$  – координаты БВС в пространстве. Также для каждого БВС даны ошибки положения и скорости в виде матриц ковариации.

### Вычисление оценки дисперсии ошибки времени

Методика расчёта ошибки времени прибытия БВС в конечную точку  $k$ -го сегмента трассы представлена в статье [1]. Оценка дисперсии времени полёта на  $k$ -м сегменте по координате  $j$  вычисляется по формуле:

$$\sigma_{t_{j,k}}^2 = \begin{cases} \Delta t_k^2 \frac{\sigma_{v_{j,k}}^2}{v_{j,k}^2}, & v_{j,k} \neq 0 \\ 0, & v_{j,k} = 0 \end{cases},$$

где  $\Delta t_k$  – время полёта на  $k$ -м сегменте,  $v_{j,k}$  – компонента  $j$  в векторе скорости полёта на  $k$ -м сегменте и  $\sigma_{v_{j,k}}^2$  – дисперсия ошибки  $j$ -й компоненты скорости.

Оценка дисперсии времени полёта на  $k$ -м сегменте:

$$\sigma_{t_k}^2 = \max_{j \in x,y,z} \sigma_{t_{j,k}}^2.$$

Дисперсия времени прибытия в конечную точку  $k$ -го сегмента равна сумме дисперсий  $\sigma_{t_i}^2$  на предыдущих и текущей точке:

$$\sigma_{t_{a,k}}^2 = \sum_{i=1}^k \sigma_{t_i}^2.$$

### Вычисление распределения вероятности сближения в точке с помощью метода Монте-Карло

Здесь и далее – сближением называется ситуация, в которой расстояние между БВС не превосходит заданного безопасного расстояния  $r_0$ .

Значение вероятности сближения представляется в виде интеграла:

$$F_t(r_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} d(\Delta x) d(\Delta y) d(\Delta z) dt_1 dt_2 \begin{cases} 0, & r(t_1, t_2, \Delta x, \Delta y, \Delta z) > r_0 \\ 1, & r(t_1, t_2, \Delta x, \Delta y, \Delta z) \leq r_0 \end{cases},$$

где  $t_1 \sim N(t, \sigma_1), t_2 \sim N(t, \sigma_2)$  ( $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  отражают неопределенность БВС в привязке к траектории по времени);  $r(t_1, t_2, \Delta x, \Delta y, \Delta z) = |d|$  (расстояние между двумя БВС с учётом неопределенности относительно положения).

Такой интеграл можно аппроксимировать методом Монте-Карло. Алгоритм для заданного момента времени  $t$ :

1. Генерируются  $n$  пар нормальных случайных величин времени: в точке основного БВС  $t_1 \sim N(t, \sigma_1)$  и точке другого БВС  $t_2 \sim N(t, \sigma_2)$ . Значения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  получаются путём интерполяции значений ошибок по времени каждого БВС.

2. Для  $t_1$  и  $t_2$  вычисляются координаты  $\mathbf{p}_1 = (x_1, y_1, z_1)$  и  $\mathbf{p}_2 = (x_2, y_2, z_2)$  через линейную интерполяцию точек траектории. Генерируются  $m$  трёхмерных случайных векторов разности положений  $\mathbf{d} \sim N(\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2, \Sigma_{p_1} + \Sigma_{p_2})$ . Значения  $\Sigma_{p_1}$  и  $\Sigma_{p_2}$  даны во входных данных (матрица ковариации).

3. Строится гистограмма длин векторов  $\mathbf{d}$  на интервале  $[0, r_{max}]$ , где  $r_{max}$  – значение максимального расстояния. Гистограмма нормализуется на  $n \cdot m$ , после чего каждый  $i$ -й столбец преобразуется в сумму столбцов от 1-го до  $i$ -го включительно. В результате получается аппроксимация  $F(d_i) = P(d \leq d_i)$ .

### Вычисление вероятности сближения методом SPA

Квадрат Евклидова расстояния является квадратичной формой нормально распределенных случайных величин  $X \sim N(\mu, \Sigma)$ :

$$r^2 = XX^T = [x \ y \ z] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = x^2 + y^2 + z^2.$$

Для такой квадратичной формы существует производящая функция моментов (moment-generating function, mgf) [2]. Есть несколько методов преобразования производящей функции моментов в функцию плотности [3]. В работе был использован метод аппроксимации седловой точки (SPA) [4,5]. SPA применяется при следующих ограничениях:

- Этот метод эффективен для расчёта единичного значения вероятности сближения (но уступает методу Монте-Карло при вычислении полной функции распределения вероятности сближения, поэтому не применяется в этом случае).
- Метод применим только при некоррелированных координатах  $x, y, z$ .

### Сравнение метода Монте-Карло и SPA

Метод Монте-Карло вычисляет полное распределение  $[0, r_{max}]$  для заданного  $t$  за одно выполнение алгоритма. В то же время метод SPA вычисляет функцию распределения для заданного  $t$  только для определенного  $r_0$ . Чтобы получить значения на всём интервале  $[0, r_{max}]$  следует вызывать метод в каждой точке интервала. Сравнение времени работы представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение времени работы методов

	Распределение $P(X \leq r_0)$ в точке $t$	Полное распределение в точке $t$
Монте-Карло	0.25 с	0.25 с
SPA	0.003 с	3 с

### Выводы

Были реализованы метод SPA и метод Монте-Карло для вычисления функции распределения расстояния между двумя БВС. Проведено сравнение методов, по результатам которого было решено применить каждый метод для отдельной задачи.

### Список литературы

1. Banerjee, Portia and Corbetta, Matteo. In-Time UAV Flight-Trajectory Estimation and Tracking Using Bayesian Filters. 2020 IEEE Aerospace Conference. 10.1109/aero47225.2020.9172610
2. Mathai & Provost, Quadratic forms in random variables: theory and applications, 1992
3. Gaponenko, Darya & Sidnev, Alexander. (2021). Moment Generating Function to Probability Density Function Transform Methods.
4. Paolella, Marc S. (2018) Linear Models and Time-Series Analysis: Regression, ANOVA, ARMA and GARCH. Wiley Series in Probability and Statistics. 10.1002/9781119432036
5. Paolella, Marc S. (2018) Distribution of Quadratic Forms. Wiley Series in Probability and Statistics. 10.1002/9781119432036.app1

## СЕКЦИЯ ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И АВТОНОМНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

### ЦИФРОВОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА, ЗАНИМАЮЩЕГОСЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫСЛЕ

Будаков К.А., Гатиятуллин Т.Р., Дружинская Е.В., Пензин А.В.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

**Аннотация.** В статье рассматривается разработка мобильного приложения-справочника по станкам-качалкам, используемым для эксплуатации нефтяных скважин. Приложение создано с применением технологий компьютерного зрения и дополненной реальности и предназначено для быстрой идентификации оборудования непосредственно на промысле. Оно позволяет распознавать станки-качалки с помощью камеры смартфона, визуализировать их 3D-модели в дополненной реальности и предоставлять доступ к справочной информации. Данное решение направлено на оптимизацию процесса адаптации и обучения персонала, занимающегося техническим обслуживанием нефтедобывающего оборудования.

*Ключевые слова:* цифровизация, нефтегазовая отрасль, станки-качалки, мобильное Android-приложение, компьютерное зрение, дополненная реальность, ARCore, MediaPipe.

В современных реалиях цифровизация становится неотъемлемой частью развития различных отраслей промышленности, в том числе и нефтегазовой сферы. Компании стремятся внедрять инновационные решения для повышения эффективности производственных процессов, обеспечения безопасности и снижения издержек. Одним из ключевых направлений цифровой трансформации в нефтегазовом секторе является разработка информационных систем и программных решений, призванных оптимизировать различные аспекты деятельности предприятий. Эти усилия вписываются в концепцию Индустрии 4.0 - новой промышленной революции, характеризующейся массовым внедрением киберфизических систем в производственные процессы.

Эффективная эксплуатация и обслуживание нефтедобывающего оборудования требует наличия квалифицированных специалистов-наладчиков, способных быстро идентифицировать и классифицировать различные типы станков-качалок. Станки-качалки — это тип наземных приводов скважинных штанговых насосов (ШСН), используемый при эксплуатации нефтяных скважин. Они представляют собой механизмы, обеспечивающие механизированную добычу нефти из скважин [1]. Однако, для новичков, зачастую возникают сложности с распознаванием оборудования в реальных полевых условиях. Традиционные бумажные справочники являются громоздкими и неудобными для использования на промысле, а иллюстрации в них могут существенно отличаться от реального оборудования. Это затрудняет адаптацию персонала и приводит к потере времени на идентификацию нефтепромыслового оборудования.

В целях решения данной проблемы и оптимизации процесса обучения была разработана информационная система в виде мобильного приложения-справочника по станкам-качалкам с применением компьютерного зрения и дополненной реальности для устройств под управлением операционной системой Android версии 8.0 и выше. Данное решение позволяет наладчикам быстро идентифицировать тип установки и сокращает время на

адаптацию новых сотрудников за счет предоставления актуальной информации и визуальных подсказок непосредственно на месте эксплуатации оборудования. Работа выполнена в лаборатории иммерсивных технологий Уфимского государственного нефтяного технического университета при сотрудничестве двух кафедр: теоретическое исследование, описание и моделирование нефтедобывающего оборудования выполнялось на кафедре "Машины и оборудование нефтегазовых промыслов", программная реализация приложения выполнена на кафедре "Вычислительная техника и инженерная кибернетика. При создании приложения использованы готовые решения от разработчиков системы Android. Для реализации компьютерного зрения и идентификации использована библиотека MediaPipe, дополненная реальность выполнена с применением фреймворка ARCore.

ARCore представляет собой платформу для разработки приложений дополненной реальности, созданную компанией Google [2]. Она предоставляет комплексный набор инструментов и программных интерфейсов (API) для решения различных задач, связанных с дополненной реальностью, таких как распознавание объектов, отслеживание движения, визуализация 3D-моделей и другие.

Mediapipe – это открытая библиотека машинного обучения, разработанная компанией Google и специализирующаяся на задачах компьютерного зрения [3]. Она предназначена для решения та-ких задач, как распознавание лиц, жестов и объектов.

Выбор ARCore и Mediapipe в качестве основных технологий для разработки приложения обусловлен их широкими функциональными возможностями, высокой производительностью, кроссплатформенной совместимостью, а также активной поддержкой и развитием со стороны разработчиков Google.

Разработанное мобильное приложение-справочник обеспечивает следующий функционал:

- 1) распознавание станков-качалок с помощью технологий компьютерного зрения при наведении камеры смартфона на оборудование;
- 2) визуализацию распознанной установки в виде 3D-модели, наложенной на реальное изображение с использованием дополненной реальности;
- 3) доступ к полной информации о различных типах станков-качалок, включая характеристики, устройство, инструкции по эксплуатации и обслуживанию;
- 4) интуитивно понятный пользовательский интерфейс для быстрого поиска и навигации по справочным материалам.

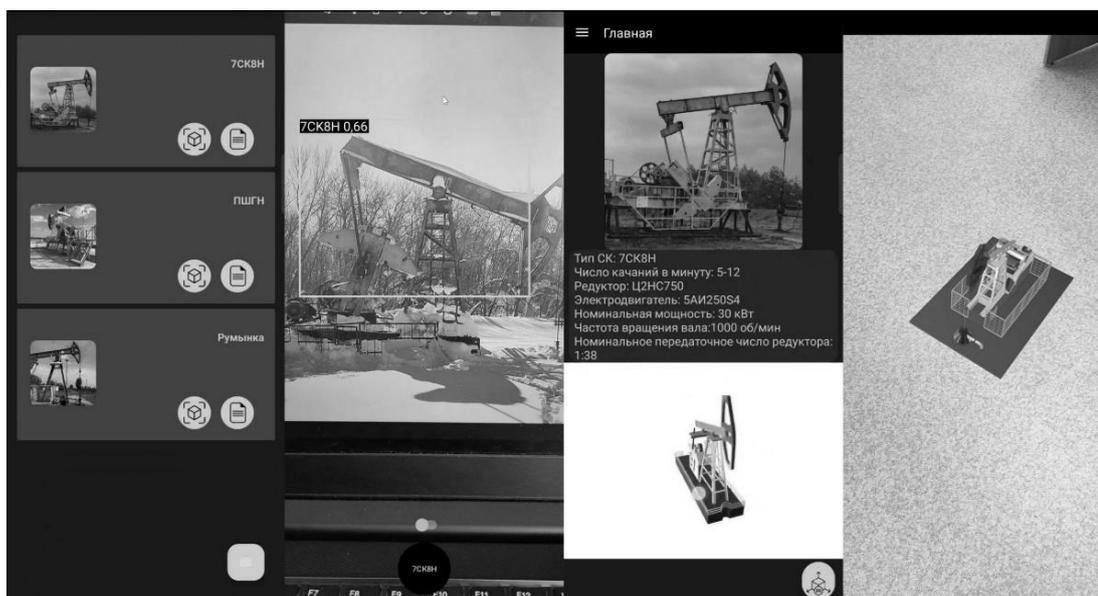


Рис. 1. Скриншоты приложения

Использование локальной базы данных делает приложение независимым от наличия интернет соединения, что выгодно в полевых условиях. При этом проведена оптимизация хранения данных так, чтобы требования к устройству, на котором приложение работает, не были завышенными. Минимальные требования к устройству: Android 8.0 или выше (и совместимые с ней мобильные операционные системы), 4 ГБ ОЗУ, 300 МБ свободного места на диске.

Таким образом, разработанная информационная система в виде мобильного приложения-справочника по станкам-качалкам с элементами дополненной реальности и машинного обучения позволяет наладчикам быстро идентифицировать оборудование непосредственно на промысле. Это существенно сокращает время на адаптацию и обучение персонала, обеспечивая доступ к актуальной справочной информации в удобном формате. Данное решение вносит вклад в цифровую трансформацию нефтегазовой отрасли в рамках концепции Индустрии 4.0 и может быть интегрировано с другими информационными системами предприятия для дальнейшего расширения функционала.

### Список литературы

1. Официальный сайт Neftegaz.RU [Электронный ресурс] //Станок-качалка. URL: <https://neftgaz.ru/tech-library/nasosnoe-i-kompressornoe-oborudovanie/553233-stanok-kachalka/> (дата обращения: 06.03.2024).
2. Google Developers [Электронный ресурс] //ARCore. URL: <https://developers.google.com/ar?hl=ru> (дата обращения: 06.03.2024).
3. Google Developers [Электронный ресурс] //MediaPipe. URL: <https://developers.google.com/mediapipe> (дата обращения: 06.03.2024).

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗМЕТКИ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ТЕЛА ЖИВОТНОГО НА ВИДЕО

БУХАРЕВ Д.В., ИЛЬИН С.Е.

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

**Аннотация.** В статье проводится краткий обзор и сравнение существующего программного обеспечения для автоматического обнаружения ключевых точек тела животного по видеоданным и предлагаются возможные направления для улучшения этих инструментов. Описывается разработанный в ходе выполнения работы программный комплекс – локальное приложение, веб-приложение и два микросервиса. Программный комплекс даёт пользователю возможность локально подготавливать данные для обучения нейросетей, обнаруживающих ключевые точки тела животного по видеоданным, а также обучать 50 различных архитектур таких нейросетей и проводить анализ видеороликов на удалённом сервере.

*Ключевые слова:* ключевые точки, животные, разметка ключевых точек, автоматическая разметка, программный комплекс, нейронные сети

### **Введение**

Разметка ключевых точек – это задача компьютерного зрения по определению различных особенных точек или областей на изображении или видео [1]. На сегодняшний день автоматическая разметка ключевых точек применяется для разных целей. Так, например, автоматическая разметка точек может использоваться в программном обеспечении для животноводства для отслеживания позы и поведения животного с целью оценки состояния животного и поддержания его здоровья, в медицинском программном обеспечении для отслеживания подвижности пациента и его осанки [1].

Задача автоматической разметки ключевых точек на теле животного по видеоданным является сложной, потому что в отличие от людей, среди животных существует множество различных видов, в связи с чем строение тела двух животных может сильно различаться. Также стоит учитывать, что некоторые животные могут обладать уникальными частями тела, не свойственными другим животным [1]. Высокое разнообразие строения тела животных между видами в свою очередь приводит к недостатку данных для обучения для каждого вида животного и к сложностям с обобщением работы обученных нейросетей на наборах данных с другими животными. В связи с этим нейронные сети для поиска ключевых точек тела животного на видео и ПО, их использующее, отличается от этих же средств для обнаружения ключевых точек по видеоданным на теле человека.

Целью настоящей работы является разработка программного комплекса, позволяющего осуществлять подготовку обучающих данных и последующее обучение нейросетей для обнаружения ключевых точек на теле животного по видеоданным. Для этого необходимо провести сравнение существующих программных решений, определить направления, в которых существующие решения возможно улучшить, и разработать программный комплекс, учитывающий эти варианты расширения возможностей пользователя.

### **Обзор и сравнение существующего программного обеспечения**

Существует несколько популярных инструментов и программ, использующих нейронные сети для обнаружения ключевых точек тела животного на видео. Примерами таких инструментов являются DeepLabCut, SLEAP, DeepPoseKit и AlphaTracker.

DeepLabCut [2] – это инструмент, позволяющий проводить двумерную и трёхмерную оценку поз животных с использованием технологий трансферного обучения и нейронных сетей.

SLEAP [3] – это программа, использующая технологии глубокого обучения и нейронные сети для оценки поз нескольких животных одновременно.

DeepPoseKit [4] – это набор средств ПО, включающий библиотеку для языка программирования Python и интерфейс для разметки кадров, использующий технологии глубокого обучения для двумерной оценки поз животных.

Инструмент AlphaTracker [5] предназначен для оценки поз, отслеживания ключевых точек тела животного на видео, а также кластеризации поведения нескольких животных.

В результате использования перечисленных инструментов, исходя из предназначения и возможностей каждого из них, была составлена сравнительная таблица 1.

*Таблица 1*

**Сравнение существующих программных средств**

	DeepLabCut	SLEAP	DeepPoseKit	AlphaTracker
Количество доступных к использованию нейросетей	14	36	16	1
Графический интерфейс для подготовки данных для обучения	+	+	+	+
Графический интерфейс для работы с нейросетями	+	+	–	–
Облачная среда разработки	+	+	+	+
Веб-приложение	+	–	–	–

По результатам сравнения программных средств видно, что в актуальном виде они предлагают как локальный, так и удаленный вариант работы, а также в большинстве случаев позволяют работать с разными вариантами архитектур нейронных сетей. При этом наборы доступных архитектур различаются, а пользователю для обучения нейронных сетей на своих данных могут потребоваться навыки работы с кодом. Это оказывается особенно актуально для удаленного варианта обучения нейросетей, организованного на базе облачной среды разработки. Представленное в одном из решений веб-приложение, насколько удастся понять, позволяет пользователям участвовать в разметке датасетов, делиться с сообществом обученными моделями нейронных сетей, а также использовать два варианта предобученных сетей для разметки пользовательских изображений. Вариант обучения нейронных сетей с использованием веб-приложения, а также расширения каталога доступных в веб-приложении сетей обнаружить не удастся. В этом плане возможности пользователя могут быть расширены за счёт предоставления дополнительных вариантов обучения нейросетей и анализа видео на удаленном сервере через веб-приложение, совместного использования нейросетей в составе различных инструментов для увеличения спектра доступных архитектур, а также предоставления пользователю графических интерфейсов для выполнения всех необходимых операций без обращения к коду.

### **Описание разработанного программного комплекса**

Разработанный программный комплекс даёт пользователю возможность подготовить тренировочный набор данных для автоматической разметки ключевых точек тела одного животного на видео через локальное приложение, а обучение нейросетей и анализ видео производить через веб-приложение, работающее на удалённом сервере. В программном комплексе реализована возможность обучать и использовать для поиска ключевых точек тела животного на видео две архитектуры нейронных сетей: DeepLabCut и SLEAP, каждая из которых внутри себя может использовать множество других архитектур: 14 для DeepLabCut и 36 для SLEAP. Таким образом, в совокупности в приложении доступно 50 архитектур.

Для предотвращения возникавших в процессе разработки конфликтов зависимостей используемых библиотек, а также для обеспечения возможности расширения приложения и добавления в него нового функционала веб-приложение было разделено на основное веб-приложение и 2 микросервиса. Основное веб-приложение предоставляет пользователю графический интерфейс для работы с датасетами и видео, для обучения нейросетей и анализа видео, а каждый из микросервисов реализует программный интерфейс для использования своей архитектуры нейронной сети (DeepLabCut или SLEAP соответственно).

Локальное приложение, основное веб-приложение и микросервисы реализованы на языке программирования Python. Локальное приложение использует библиотеку Tkinter для реализации интерфейса пользователя. Основное веб-приложение реализовано при помощи бэкенд фреймворка Django, а микросервисы – с использованием бэкенд фреймворка Flask. Для реализации параллельного и периодического выполнения задач в микросервисах и в основном веб-приложении используется очередь задач Celery.

При помощи локального приложения пользователь может через графический интерфейс осуществлять следующие действия:

1. Создание описания скелета животного,
2. Извлечение в автоматическом или ручном режиме кадров из видеоролика,
3. Подготовка тренировочного датасета путём разметки ключевых точек тела одного животного на извлечённых кадрах с использованием описанного скелета.

В основном веб-приложении для пользователя предусмотрены следующие варианты действий, которые он может осуществлять при помощи графического интерфейса:

1. Загрузка и просмотр тренировочных датасетов,
2. Обучение нейронных сетей DeepLabCut или SLEAP и вывод статистики обучения – изменения значения функции потерь и learning rate в зависимости от эпохи обучения,
3. Загрузка и просмотр видео для дальнейшего анализа,
4. Анализ обученными нейросетями видео с возможностью генерировать как файл с описанием разметки для каждого кадра, так и размеченный видеоролик.

Основное веб-приложение коммуницирует с микросервисами через API, основанном на JSON. Оно посылает запросы пяти различных видов для обеспечения обучения нейронных сетей, анализа видео и информирования пользователя о состоянии этих процессов:

1. Запрос на обучение нейронной сети,
2. Запрос статистики обучения заданной нейронной сети,
3. Запрос времени окончания обучения нейросети,

4. Запрос на анализ видеоряда обученной нейросетью,
5. Запрос результатов анализа заданного видеоряда.

На рисунке 1 показана архитектура основного веб-приложения. Пользователь взаимодействует с бэкендом на Django через графический интерфейс в браузере. Бэкенд сохраняет информацию о датасетах, видео для анализа, нейросетях и результатах анализа видео в базе данных. Запросы на обучение нейросети и на анализ видео бэкенд передаёт микросервисам. Помимо этого, бэкенд отправляет микросервисам запросы на получение статистики обучения нейронных сетей. Бэкенд также передаёт брокеру задач Celery запросы на разметку видео по готовым результатам анализа видео. Брокер задач Celery реализует очередь задач, используя очередь сообщений Redis. Помимо разметки видео он также выполняет периодические запросы к микросервисам для получения времени окончания обучения нейросетей и результатов анализа видео и сохраняет получаемую информацию в базу данных.



Рисунок 6. Архитектура основного веб-приложения

## Заключение

В ходе выполнения работы была достигнута цель – разработан программный комплекс, состоящий из локального приложения, основного веб-приложения и двух микросервисов. Программный комплекс позволяет обучать 50 архитектур нейросетей. Благодаря переносу вычислительно сложных операций на удалённый сервер пользователи приложения не будут испытывать проблем из-за высокой нагрузки на их персональные компьютеры и длительности обучения. При этом все операции выполняются пользователем через графический интерфейс, что повышает удобство использования программного комплекса.

## Список литературы

1. Potrimba P. What is keypoint detection? // Roboflow blog [Электронный ресурс]. – URL: <https://blog.roboflow.com/what-is-keypoint-detection/> (дата обращения 01.05.2024).
2. Mathis A., Mamidanna P., Cury K. M., Abe T., Murthy V. N., Mathis M. W., Bethge M. DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning // Nature Neuroscience. – 2018. – Vol. 21. – Pp. 1281-1289.
3. Pereira T. D., Tabris N., Matsliah A., Turner D. M., Li J., Ravindranath Sh., Papadoyannis E. S., Normand E., Deutsch D. S., Wang Z. Y., McKenzie-Smith G. C., Mitelut C. C., Castro M. D., D’Uva J., Kislin M., Sanes D. H.,

- Kocher S. D., Wang S. S.-H., Falkner A. L., Shaevitz J. W., Murthy M. SLEAP: A deep learning system for multi-animal pose tracking // Nature Methods. – 2022. – Vol. 19. – Pp. 486-495.
4. Graving J. M., Chae D., Naik H., Li L., Koger B., Costelloe B. R., Couzin I. D. DeepPoseKit, a software toolkit for fast and robust animal pose estimation using deep learning // eLife [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <https://elifesciences.org/articles/47994> (дата обращения 01.05.2024).
5. Chen Z., Zhang R., Zhang Y. E., Fang H.-Sh., Zhou H., Rock R. R., Bal A., Padilla-Coreano N., Keyes L., Tye K. M., Lu C. AlphaTracker: A multi-animal tracking and behavioral analysis tool // Frontiers in Behavioral Neuroscience [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbeh.2023.1111908/full> (дата обращения 01.05.2024).

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПРЕСС-ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ КОНСТРУКТОРА ЧАТ-БОТОВ LEADTEX НА ПЛАТФОРМЕ TELEGRAM

ГЕВОНДЯН В.А., ШОШКОВ Н.О., НОВОСЕЛЬЦЕВ А.М.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»*

**Аннотация.** В статье описывается новый инструмент для автоматизации педагогического процесса в высшей школе. Предлагается инновационный метод быстрой проверки знаний студентов с использованием чат-ботов (чат-ботизация) на примере платформы Telegram. Данное решение предназначено для проведения коротких опросов студентов по материалам предыдущей лекции, что оптимизирует процесс оценки знаний и улучшает качество образования. Описывается метод создания чат-бота с помощью конструктора LeadTex. В качестве примера выбрана задача интеграции чат-ботов в образовательный процесс. Выявлены преимущества и возможные сложности использования этого решения для преподавателей. Функционал данного решения разработан с учетом требований, как со стороны преподавателя, так и со стороны студента и включает в себя: загрузку вопросов, автоматическое выставление оценки, анализ статистики по участникам тестов.

*Ключевые слова:* чат-ботизация, экспресс-тестирование студентов, чат-бот Telegram, инновации в образовании, LeadTex

### **Актуальность**

В современном высшем образовании существует необходимость оптимизировать процесс проверки знаний студентов и повысить их активность на занятиях. Одним из решений данной проблемы является создание удобного инструмента для экспресс-проверки знаний, который стимулировал бы студентов повторять материалы предыдущей лекции перед занятием, мотивировал их вовремя посещать лекции, а преподавателям предложил современный и удобный способ коммуникации со студентами. Также важно, чтобы это решение было не слишком трудоемким для преподавателя. Авторы предлагают автоматизировать процесс коммуникации преподавателя и студентов, с помощью чат-ботов, новой информационной технологии, которую можно реализовать на инфокоммуникационных платформах таких как Telegram, WhatsApp, Viber.

### **Объект исследования и предмет исследования**

Объектом исследования является no-code платформа LeadTex для создания чат-ботов. Предметом исследования выступает чат-бот для экспресс проверки знаний студентов в среде Telegram.

### **Преимущества**

Предлагаемый чат-бот автоматизирует процесс коммуникации преподавателя и студентов, благодаря чему уменьшаются затраты времени на проверку работ студентов. По мнению авторов, благодаря использованию чат-бота для экспресс-контроля знаний, студенты будут больше вовлечены в изучение предмета, что улучшит процесс обучения.

### **Способы реализации**

Есть два способа разработки чат-ботов: традиционный full-code и новый no-code.

Традиционным подходом для разработки является full-code подход с использованием современных языков программирования таких, как Python [1], который предоставляет разработчикам широкие возможности для создания сложных и интегрированных решений. Он позволяет полностью создать чат-бота с любой функциональностью и обеспечить его соответствие конкретным потребностям учебного процесса. Однако этот подход требует глубоких знаний программирования, временных и денежных ресурсов на разработку и поддержку.

Современным трендом в разработке информационных систем является внедрение технологии no-code платформ [2], которое позволяет быстро разрабатывать программные решения без необходимости в глубоких знаниях программирования. В данной статье рассматривается применение no-code технологий для создания чат-бота в Telegram с помощью платформы LeadTex.

### **Особенности использования LeadTex**

LeadTex - это мощный инструмент для создания чат-ботов без знания программирования. Современная инновационная платформа с использованием принципов no-code, предназначенная для широкого круга пользователей, включая бизнес и образование.

Простой интерфейс: платформа LeadTex предоставляет интуитивно понятный интерфейс, который позволяет пользователям без специальных навыков программирования легко создавать и настраивать чат-боты.

Интеграция с ведущими платформами: LeadTex предоставляет возможность интеграции с различными популярными сервисами для управления контактами, аналитикой и автоматизации маркетинговых кампаний, что позволяет пользователям эффективно использовать чат-боты в своих проектах.

Аналитика и отчетность: LeadTex предоставляет обширные возможности аналитики и отчетности, позволяя пользователям отслеживать результативность своих чат-ботов для оптимизации их работы.

### **IT-решения для решения реальных проблем**

Роль информационных технологий в обществе заключается в том, чтобы с их помощью помогать людям решать реальные проблемы. В данном случае, чат-ботизация в университетской среде способствует улучшению процесса обучения. С одной стороны чат-боты позволяют повысить производительность труда преподавателей, предоставляя им инструмент для эффективной проверки знаний студентов, а с другой стороны использование чат-ботов повысит вовлеченность студентов, предоставляя им удобный и интерактивный способ взаимодействия с учебным материалом с возможностью мгновенно получать обратную связь.

### Алгоритм работы чат-бота

Настройка сценариев работы производится в окне работы с чат-ботом платформы LeadTex. Наш бот для экспресс-проверки знаний студентов включает четыре сценария: главный, регистрация, тестирование, редактирование теста.

Главный сценарий (рис. 1). При начале работы с чат-ботом все пользователи проверяются на наличие в списках преподавателей, в результате идет разветвление на две ветви: преподаватели и студенты. Преподавателю будет доступен функционал управления тестом. Студенты проверяются на существование в списке зарегистрированных. Если система не находит, то они переходят на сценарий регистрации. При успешной проверке студенты переходят к тестированию.

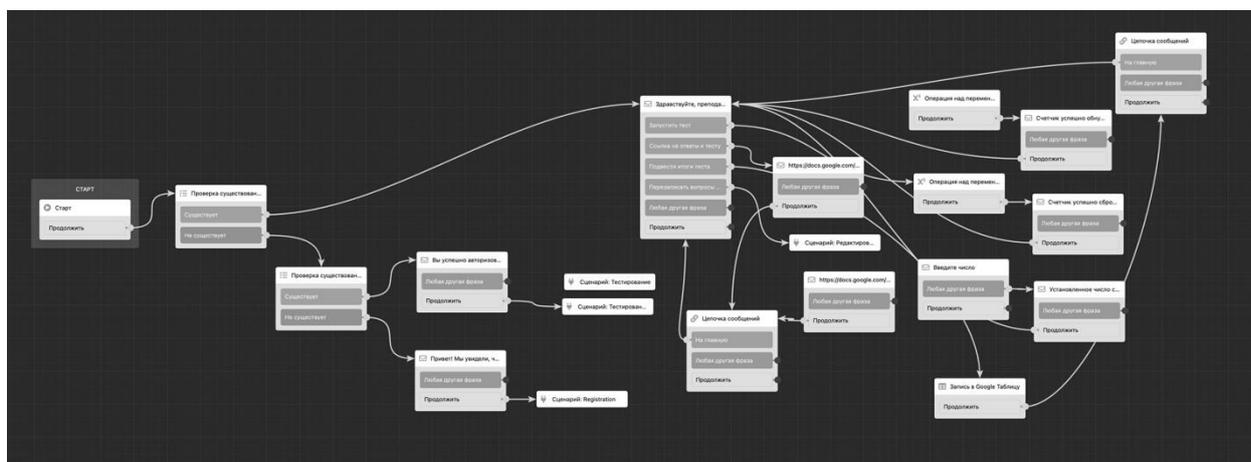


Рис. 1. Главный сценарий

Сценарий: Регистрация (рис. 2). Пользователям попавшим на данный сценарий необходимо выбрать свою группу и написать ФИО, система проверит эти данные на существование в списках студентов, при успешной проверке студенту в списке присвоится данный telegram аккаунт, с которого проходила регистрация. Если пользователь не найден, появится соответствующее сообщение. Далее студент переходит к сценарию тестирования.

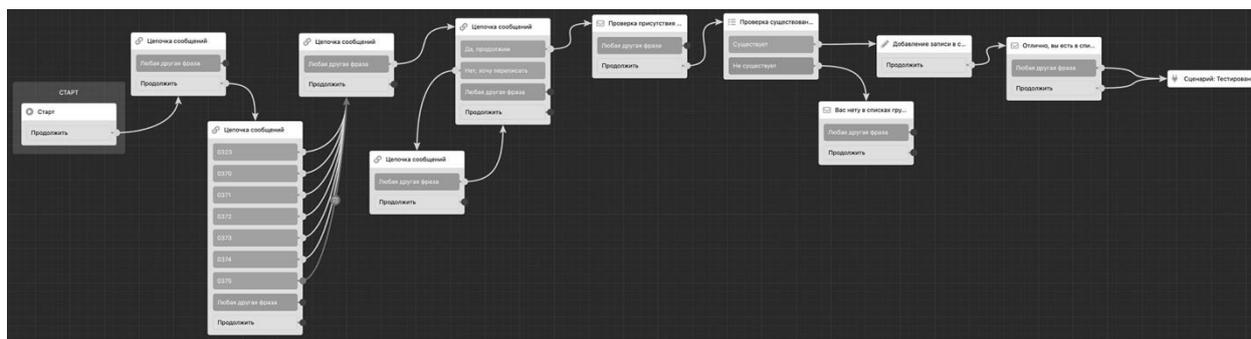


Рис. 2. Сценарий: Регистрация

Сценарий: Тестирование (рис. 3). В начале данного сценария проверяется есть ли на данный момент открытые тесты, при их отсутствии студенту выводится соответствующее сообщение. Если есть активный тест – пользователю предлагается начать его, чат-бот поочередно присылает вопросы на тест, после ответа на них система записывает баллы за правильные ответы в переменную “Ответы\_Сумм”, тем самым в конце теста будут выведены баллы за прохождение теста. Также при каждом ответе система записывает

вариант ответа на каждый вопрос, чтобы преподаватель мог посмотреть, как именно студент отвечал на вопросы.

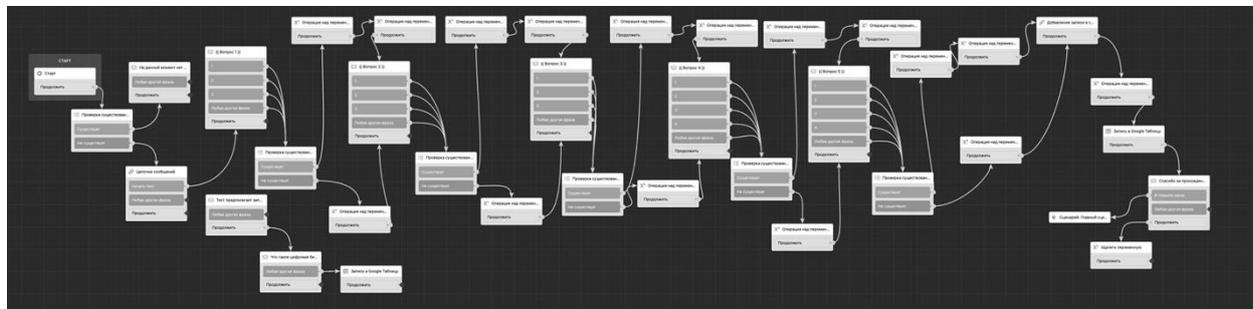


Рис. 3. Сценарий: Тестирование

Сценарий: Редактирование теста (рис. 4). У преподавателя есть возможность откорректировать вопросы в тесте, для этого при заходе на чат-бот ему необходимо нажать на кнопку “Редактировать тест”, после этого он будет перенаправлен на данный сценарий. В нем преподаватель поочередно будет вносить вопросы на тест, после система сохранит эти данные и заменит вопросы в тесте.

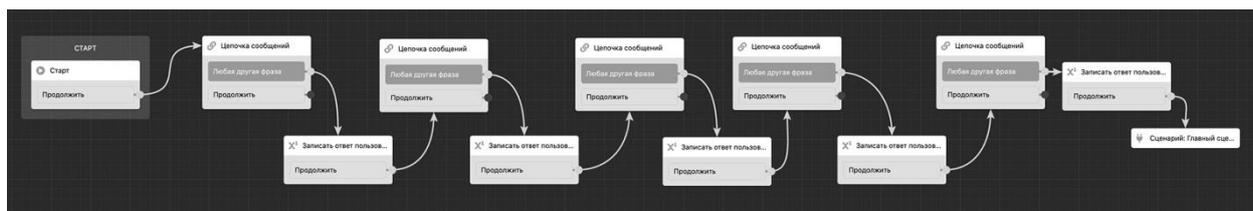


Рис. 4. Сценарий: Редактирование теста

Результаты теста (рис. 5) записываются в excel -таблицу и доступны преподавателю по ссылке из чат-бота. Система выводит ФИО всех участников теста, их telegram аккаунты, оценку, дату прохождения и ответы на каждый вопрос теста.

Группа студента	ФИО студента	Username	Оценка	Дата создания	1 вопрос	2 вопрос	3 вопрос	4 вопрос	5 вопрос	Порядок
375	Камшилов Анатолий Сергеевич	@MrSinty	5	2024-03-23 9:49:18	2	1	3	4	3	1
372	Пахаревская Элина Станиславовна	@mibulochka	4	2024-03-23 9:49:31	2	1	3	4	1	2
375	Астафьева Анастасия Игоревна	@kikipokitata	4	2024-03-23 9:49:31	2	1	3	4	1	3
323	Косвенко Анастасия Романовна	@broccoolya1	4	2024-03-23 9:49:45	1	1	3	4	3	4
370	Беляев Константин Павлович	@Meonmeowchokochc	4	2024-03-23 9:50:09	2	1	1	4	3	5
371	Гундерчук Анастасия Валерьевна	@Axia13	3	2024-03-23 9:52:20	1	1	3	4	1	6
374	Просин Степан Дмитриевич	@Stepan_Prostin	4	2024-03-23 9:52:28	2	1	3	4	1	7
323	Землянский Дмитрий Анатольевич	@DimychTiger	5	2024-03-23 10:00:52	2	1	3	4	3	8
374	Крылова Елизавета Петровна	@ggjiiuiu	5	2024-03-23 10:00:52	2	1	3	4	3	9
372	Черницкая Екатерина Дмитриевна	@katechernitskaya	4	2024-03-23 10:00:52	2	1	3	4	1	10
371	Гевондян Вячеслав Александрович	@slava_gevondyan	3	2024-04-08 10:27:17	2	1	3	3	4	11
Итого		Средний балл:	4,09						Кол-во чел:	11

Рис. 5. Результаты теста

## Заключение

Использование чат-ботов в высшей школе для автоматизации процесса коммуникации между преподавателями и студентами представляет собой инновационный подход, способный улучшить процесс обучения. Этот инструмент не только поможет оптимизировать время и ресурсы преподавателей, но и повысит мотивацию и активность студентов, что приведет к улучшению общего качества образования.

### Список литературы

1. Шумилина, М.А., Коробко, А.В. Разработка чат-бота на языке программирования python в мессенджере "telegram".
2. Магомадов, В.С. Платформы low-code и no-code как способ сделать программирование более доступным для широкой общественности.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОМОЩИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ TASK-MANAGEMENT'А

ГОЛУБЕВ Д.А., НОВОСЕЛЬЦЕВ А.М., ГЕВОНДЯН В.А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»*

**Аннотация.** Наш инструмент значительно облегчает работу команд разработчиков, предоставляя им возможность эффективно вести проекты в соответствии с методологиями гибкой разработки Scrum и Kanban. С его помощью можно создавать доски с задачами, планировать спринты и оптимально распределять задания между участниками команды, что способствует более эффективному выполнению проекта. Использование инструмента поможет в структурировании процессов разработки и делает их более понятными для всех участников проекта. Таким образом, данное средство может стать помощником в организации работы разработчиков и повышении эффективности процесса разработки программного обеспечения.

*Ключевые слова:* оптимизация рабочего процесса, task-management, scrum, kanban

### Актуальность

В современном мире конкуренция на рынке IT продуктов постоянно растет, и компании стремятся к более быстрой и качественной поставке продуктов на рынок. Методологии гибкой разработки, такие как Scrum и Kanban [1], становятся стандартом в индустрии, и инструменты, которые помогают командам эффективно применять эти методологии, имеют большой спрос. Недостаточная организация и структурирование процессов разработки могут привести к задержкам в сроках, неполной реализации функциональности и неудовлетворенности клиентов. Инструменты для оптимизации рабочего процесса становятся необходимым помощником в работе разработчиков, что делает данную работу актуальной в современных подходах разработки ПО.

### Реализация программы

Для более удобного доступа к программе было решено реализовать его в виде веб-приложения с использованием JavaScript, что открывает множество возможностей для создания интерактивного пользовательского интерфейса, который может быть легко доступен через веб-браузер. Данная программа была реализована с использованием фреймворка Vue.js [2]. Данный фреймворк позволил облегчить разработку, предоставляя возможность создавать готовые компоненты и инструменты для написания программы.

Использование JavaScript также обеспечивает возможность создания асинхронных запросов к серверу с использованием технологии AJAX, что позволяет обновлять содержимое страницы без необходимости её полной перезагрузки.

Кроме того, для обеспечения взаимодействия с серверной частью приложения, также используется JavaScript. На сервере применяется библиотека Node.js, которая позволяет запускать JavaScript-код на сервере. Это обеспечивает единый язык программирования как

на клиентской, так и на серверной стороне приложения, что упрощает разработку и поддержку.

### Авторизация в системе

При первом заходе перед пользователем появится окно, где ему необходимо зарегистрироваться в системе. При повторном заходе на сайт необходимо авторизоваться, указав свой логин и пароль (рис. 1).

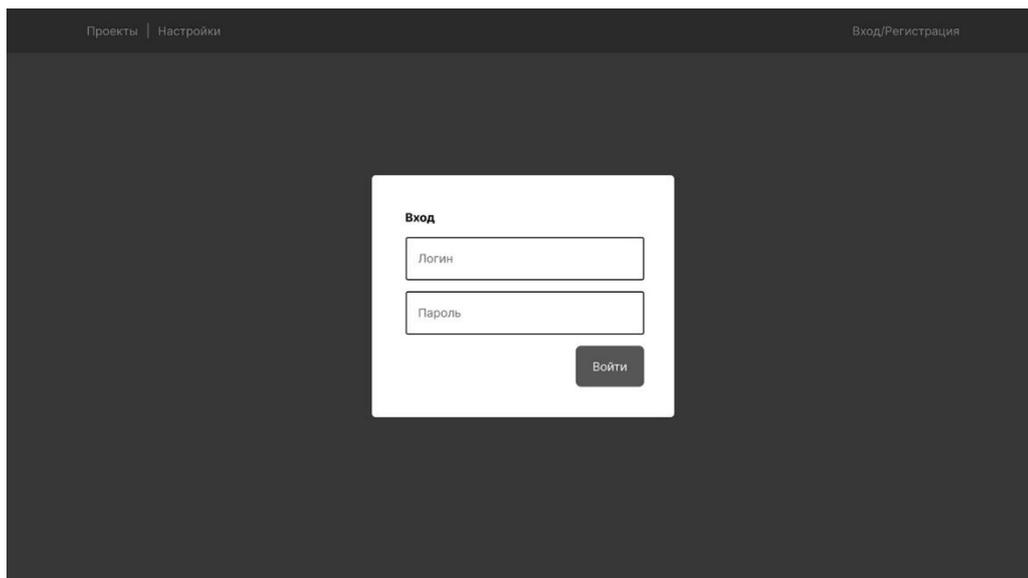


Рис. 1. Окно авторизации пользователя

### Основное меню

После успешной авторизации пользователь попадает в главное меню (рис. 2). Страница представляет собой интерфейс, который позволяет пользователям легко создавать, управлять и настраивать проекты.

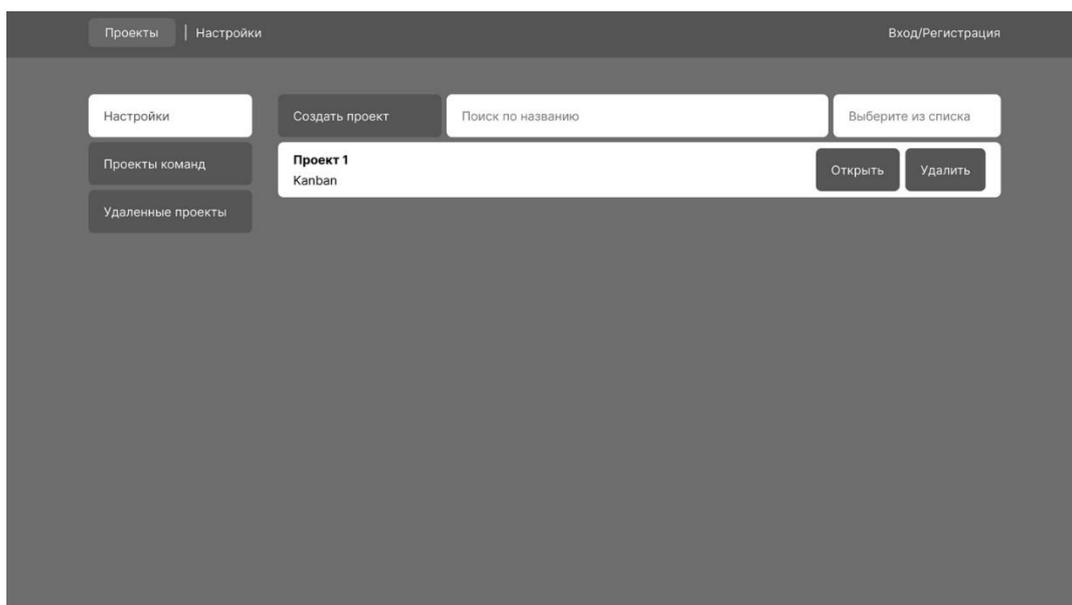


Рис. 2. Окно главного меню

Пользователь может нажать на кнопку "Создать проект". После этого появляется модальное окно, где пользователь может указать название нового проекта и тип методологии: Kanban или Scrum. Далее подтвердить введенные данные.

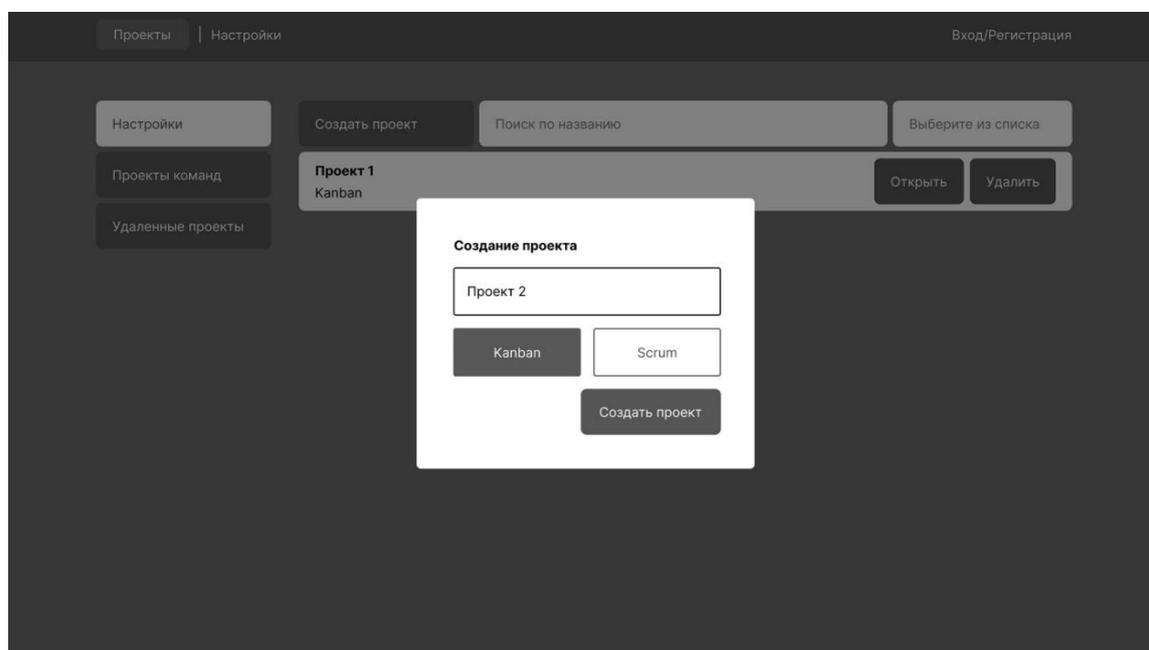


Рис. 3. Модальное окно создания проекта

### Пример управления проектом Kanban

В нашем примере окно программы представляет собой интерфейс, состоящий из трёх столбцов, которые отображают различные этапы выполнения задач (рис.4). Эти столбцы представлены в виде доски, где каждый столбец соответствует определенному состоянию задачи в процессе выполнения. Для примера мы реализовали основные состояния по методологии Kanban.

**Очередь:** в этом столбце отображаются задачи, которые ещё не были запланированы для выполнения. Это может быть список всех задач, которые нужно выполнить, но которые пока не приоритетны.

**В работе:** задачи, которые в данный момент активно выполняются членами команды, отображаются в этом столбце.

**Готово:** в этом столбце отображаются задачи, которые успешно завершены и готовы к релизу или к использованию заказчиком.

Пользователи могут перетаскивать задачи между этими столбцами, чтобы отслеживать их прогресс и текущее состояние выполнения. Такой подход позволяет команде иметь ясное представление о том, какие задачи уже выполнены, какие находятся в работе, и какие ещё предстоит выполнить, что способствует более эффективному управлению проектом.

В программе есть возможность настройки названий столбцов в соответствии с уникальными потребностями и процессами команды. Пользователи могут изменять названия существующих столбцов и добавлять новые, чтобы лучше отражать этапы выполнения задач в их проекте. Например, помимо стандартных столбцов "Очередь", "В работе" и "Готово", пользователи могут добавить столбец "Проверка" этот этап может включать в себя тестирование и другие процессы проверки качества.

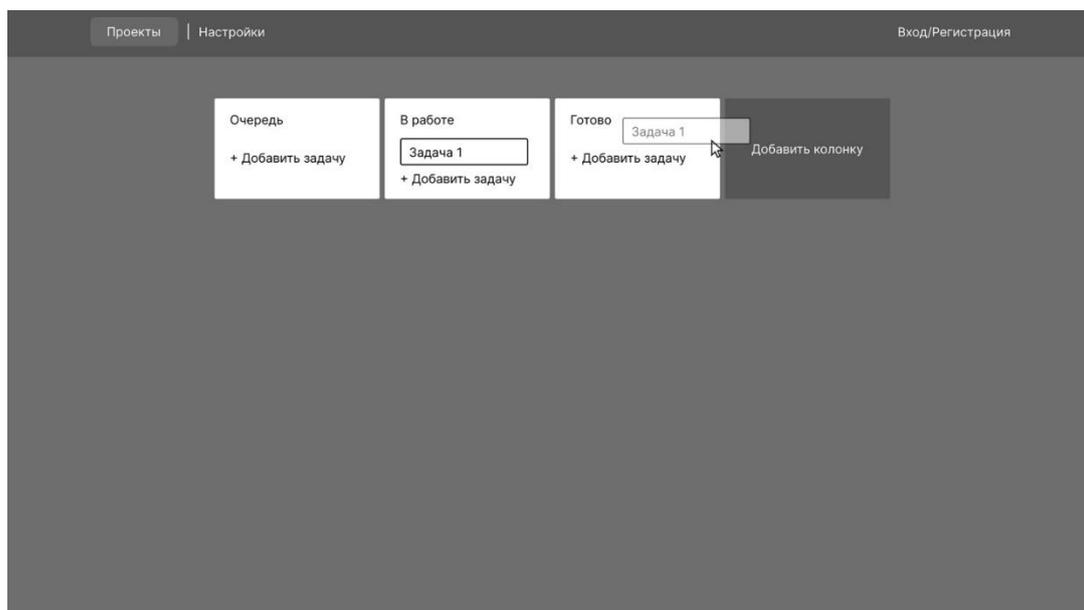


Рис. 4. Окно взаимодействия с доской Kanban

### Заключение

Разработка программного обеспечения является сложным и многогранным процессом, требующим эффективного управления и организации. Методологии гибкой разработки, такие как Scrum и Kanban, становятся всё более популярными в индустрии благодаря своей способности обеспечить более гибкий и прозрачный подход к разработке.

### Список литературы

1. Леонтьев, С.М. Применение Agile-подходов в оптимизации производственных процессов: гибкость в действии
2. Язгельдыев Ш., Гурбанмырадов Б., Гапуров А. Исследование средств создания веб-приложений на клиентской и серверной сторонах

## РАЗВИТИЕ И ПОДДЕРЖКА API ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СЕРВЕРНОЙ ЧАСТЬЮ ПОРТАЛА "СТУДЕНТОР"

ЛЕСНИЧЕНКО А.О.

ООО «Smartilizer»

**Аннотация.** Данная статья рассматривает процесс разработки и поддержки API для взаимодействия с серверной частью портала "Студентор". Основной акцент делается на опыте разработки серверной части на Python с использованием docker, redis и aiohttp. Цель этой статьи - представить обзор поддержки серверной части, ключевые этапы и результаты работы над API для портала "Студентор".

*Ключевые слова:* API, поддержка, Python, Студентор

### Введение

Современные веб-порталы играют ключевую роль в организации информационного взаимодействия студентов, преподавателей и администрации учебных заведений. В контексте этой значимости разработка и поддержка Application Programming Interface (API) для взаимодействия с серверной частью портала становятся неотъемлемой частью его

функциональности. В данной статье рассматривается опыт разработки и поддержки API для портала "Студентор", сфокусированный на использовании современных инструментов и подходов в веб-разработке.

Цель этой статьи - представить обзор поддержки серверной части, ключевые этапы и результаты работы над API для портала "Студентор". Подробное изучение методов, инструментов и применяемых решений позволит другим разработчикам лучше понять особенности создания и поддержки API для веб-приложений, а также принять во внимание опыт при разработке своих проектов.

### **Разработка нового модуля "Мероприятия"**

Необходимо добавить в API понятие «Мероприятия» (это может быть мастер-класс, экскурсия, профессиональный конкурс и т.п.). Карточка создания мероприятия должна открываться по клику на кнопку «Добавить» на странице Мероприятия и должна включать следующую информацию:

1. Название
2. Описание
3. Место проведения
4. Дату и время проведения (начала и окончания)
5. Чекбокс «Регистрация участников на сайте организаторов» (не на Студенторе)
6. Ссылку на сайт организаторов или страницу мероприятия – активно, если заполнен чекбокс «Регистрация участников на сайте организаторов»
7. Контакты организатора (город, адрес мероприятия, телефон, емейл)
8. Фильтр для типа пользователя Работодатель по виду экономической деятельности
9. Кнопка "Опубликовать и отправить приглашение"

На данный момент разработана поддержка с серверной части:

1. Созданы таблицы `activities` и `activities_participants` для учёта мероприятий и записи участников на мероприятия.
2. Добавлены обработки запросов для соответствующих эндпойнтов.

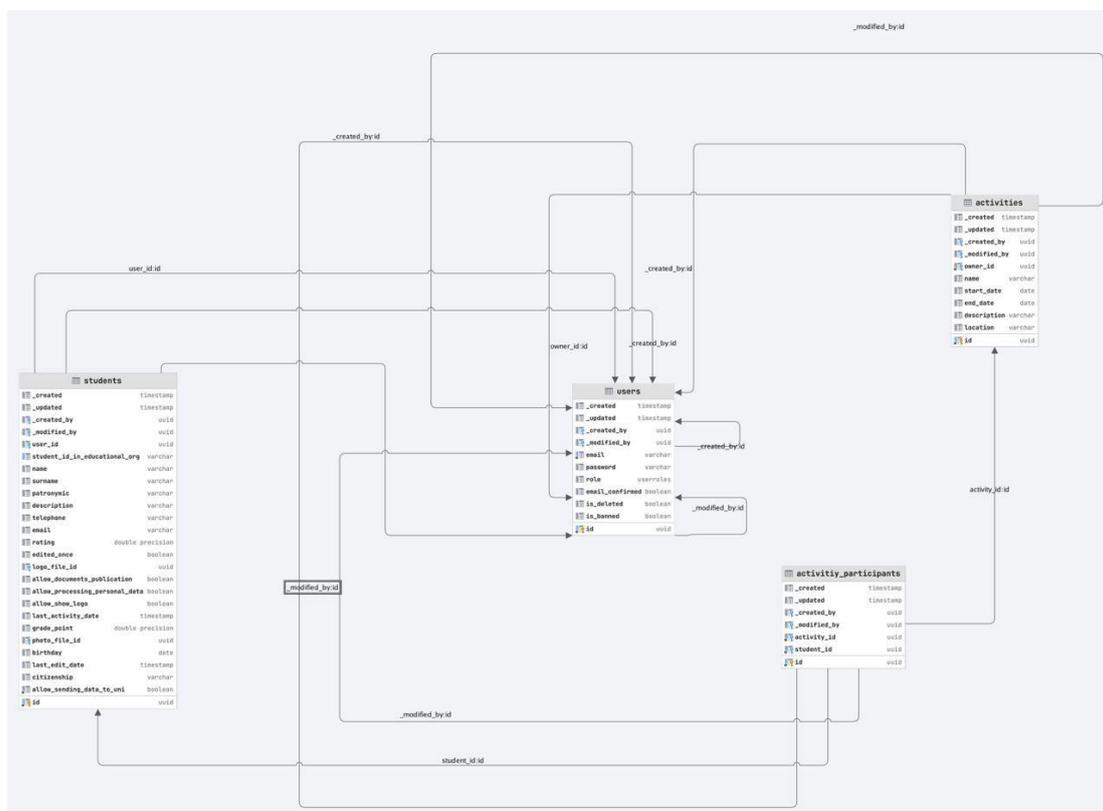


Рисунок 1 - Структура таблиц раздела «Мероприятия»

### Поиск и устранение уязвимостей портала

SQL-инъекция (SQLi) - это уязвимость веб-безопасности, которая позволяет злоумышленнику вмешиваться в запросы, которые приложение делает к своей базе данных. Как правило, это позволяет просматривать данные, которые он обычно не может получить. Это могут быть данные других пользователей, или любые другие данные, доступ к которым имеет само приложение.

SQLmap - это инструмент для автоматического обнаружения и эксплуатации уязвимостей SQL-инъекций в веб-приложениях. Он написан на языке Python и позволяет тестировать безопасность веб-приложений, нацеленных на базы данных, работающих на системе управления базами данных (СУБД) MySQL, Oracle, PostgreSQL, Microsoft SQL Server, SQLite и др. SQLmap автоматизирует процесс поиска и эксплуатации таких уязвимостей.

Проверим на уязвимость все URL (`sqlmap -u URL`), в которых можно передавать пользовательский ввод (следовательно, данные, которые передаются в запрос SQL). Результаты проверки представим в виде таблицы.

Таблица 1

#### Проверка URL на уязвимости

<p><code>https://studentor-dev.smartilizer.ru/ admin/students?name=Юрий? level=Бакалавр</code></p>	<p>[21:32:33] [WARNING] URI parameter '#1*' does not seem to be injectable</p>
--	--

	[21:32:33] [CRITICAL] all tested parameters do not appear to be injectable
<a href="https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/vacancies?type=INTERNSHIP?name='Программист'?min_salary=40">https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/vacancies?type=INTERNSHIP?name='Программист'?min_salary=40</a>	[21:22:13] [WARNING] URI parameter '#1*' does not seem to be injectable [21:22:13] [CRITICAL] all tested parameters do not appear to be injectable
<a href="https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/organizations?name='OOO'">https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/organizations?name='OOO'</a>	[21:23:05] [WARNING] URI parameter '#1*' does not seem to be injectable [21:23:05] [CRITICAL] all tested parameters do not appear to be injectable
<a href="https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/theme?name='Python'">https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/theme?name='Python'</a>	[21:25:06] [WARNING] URI parameter '#1*' does not seem to be injectable [21:25:06] [CRITICAL] all tested parameters do not appear to be injectable
<a href="https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/reviewers?name='Максим'">https://studentor-dev.smartilizer.ru/admin/reviewers?name='Максим'</a>	[21:28:09] [WARNING] URI parameter '#1*' does not seem to be injectable [21:28:09] [CRITICAL] all tested parameters do not appear to be injectable

### Выводы

Результатом проделанной работы является готовое API для проекта «Студентор». В ходе статьи рассмотрена архитектура и серверная часть нового модуля «мероприятия», а также результаты сканирования портала на SQL – инъекции.

### Список литературы

1. Gutshe A. Flask Web Development: Developing Web Applications with Python. - O'Reilly Media, 2018.
2. Yaron H. Python Web Development with Django. - Packt Publishing, 2020.
3. Brunton S. Flask Mega-Tutorial: A Step-by-Step Guide to Building Web Applications with Python and Flask. - CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017.
4. Reitz K., Schlusser T. The Hitchhiker's Guide to Python: Best Practices for Development. - O'Reilly Media, 2016.
5. Percival H. Test-Driven Development with Python: Obey the Testing Goat: Using Django, Selenium, and JavaScript. - O'Reilly Media, 2017.
6. McKinney W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. - O'Reilly Media, 2017.
7. van Rossum G., Drake F.L. Python 3 Reference Manual. - CreateSpace Independent Publishing Platform, 2009.16:12

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ БВС

МАМЕДОВ Г. А.

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

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются системы навигации для беспилотных воздушных средств (БВС), с особым упором на оптическую навигацию в ситуациях с ограниченным или отсутствующим спутниковым сигналом. Основное внимание уделяется принципам использования реперных точек, которые позволяют беспилотным аппаратам определять своё местоположение независимо от внешних сигналов. В статье предлагается два алгоритма локализации, отличающиеся скоростью своей работы и точностью определения местоположения.

*Ключевые слова:* БВС, локализация, SLAM алгоритмы

### Введение

Навигационная система играет ключевую роль в функционировании беспилотных летательных аппаратов (БВС). Обычно она базируется на радионавигации, но когда эти методы оказываются недоступными, например, из-за ограниченной доступности спутникового сигнала, требуются альтернативные методы навигации. Одним из наиболее эффективных в таких ситуациях является оптическая навигация, поскольку она не зависит от внешних сигналов. В данной статье представлены алгоритмы определения местоположения БВС на основе расположения реперных точек в пространстве, используя методы оптической навигации. Данные алгоритмы могут использоваться как часть алгоритмов SLAM – Simultaneous Localization and Mapping. Алгоритмы SLAM являются решением проблемы локальной навигации, ведь они предоставляют возможность как навигации по реперным точкам, так и построения карты местности используя эти точки. Главный недостаток этих алгоритмов заключается в их требованиях сильных вычислительных мощностей. В качестве альтернативы традиционных алгоритмов локализации и предлагаются алгоритмы, представленные в работе.

В дополнение к этому были разработаны аппаратные и программные структуры приложения, которые обеспечивают выполнение вышеописанных алгоритмов. Они основаны на популярных технологиях, таких как ROS (Robot Operating System) для управления роботами, Python для разработки алгоритмов и Flask для создания веб-

приложений. Это обеспечивает гибкость, надежность и удобство в разработке и использовании системы навигации.

### Основная часть

Современные GPS и ГЛОНАСС системы позиционирования БВС не всегда могут гарантировать точность в зданиях, помещениях и подземных сооружениях, так как их сигналы могут отражаться и блокироваться стенами и прочими конструктивными объектами. В данной работе были разработаны альтернативные методы позиционирования БВС, использующие оптическую навигацию на основе реперных точек. Эти методы позволяют БВС точно определять свое местоположение в тех средах, где другие системы позиционирования не работают стабильно. При использовании навигации по реперным точкам, БВС может полагаться только на свои сенсоры, что исключает возможные проблемы со связью, характерные для других систем позиционирования.

В данной работе представлены два алгоритма: первый подходит для любой камеры, установленной на БВС, второй специализируется на камерах глубины. Опишем работу каждого из алгоритмов.

### Первый алгоритм

Для первого алгоритма используется информация о камере – фокальное расстояние, угол обзора и т.д. При помощи этой информации создается проекция точки с полученного изображения на плоскость камеры, тем самым получая координаты искомой точки в системе координат, где центром является сама камера, как это представлено на рисунке 1.

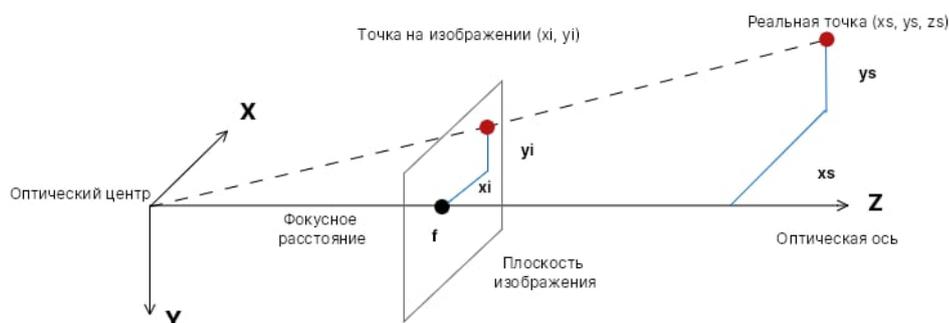


Рис. 1.

*Проецирование точки на плоскость изображения.*

При помощи несложных преобразований и применении матриц поворота, можно свести задачу перевода локальных координат в абсолютные.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ Y_{trans} \\ Z_{trans} \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Матрица преобразования

Тем самым, зная расстояние от реперных точек до камеры и координаты самих реперных точек, можно вычислить позицию камеры при помощи формулы на рисунке 3.

$$Camera = A_1 + \frac{a(A_2 - A_1)}{d} = \left( x_1 + \frac{R_1(x_2 - x_1)}{R_1 \pm R_2}, y_1 + \frac{R_1(y_2 - y_1)}{R_1 \pm R_2} \right)$$

Рис. 3. Формула определения координат камеры в абсолютной системе координат

Преимущество данного алгоритма в его простоте реализации и производительности: чтобы найти координаты камеры необходимо сделать простейшие математические операции, что позволяет алгоритму работать в реальном времени. Однако его недостаток в том, что при большем количестве реперных точек он менее эффективен, в связи с чем был разработан второй алгоритм.

### Второй алгоритм

Данный алгоритм работает при множестве реперных точек, причем чем больше точек, тем выше его точность.

Допустим, что  $(X, Y, Z)$  – координаты камеры,  $Q_i(x_i, y_i, z_i)$  – реперные точки,  $d_i$  – расстояние от  $i$ -ой реперной точки до камеры, полученное из камеры, а  $D_i$  – расстояние от  $i$ -ой реперной точки до камеры. Тогда рассмотрим систему уравнений типа:

$$F_k = (X - x_k)^2 + (Y - y_k)^2 + (Z - z_k)^2 - d_k^2 = 0$$

Вычтем каждое  $i$  уравнение из всех последующих, получим систему с формулами типа:  
 $(2x_i - x_k)X + (2y_i - y_k)Y + (2z_i - z_k)Z = (x_j^2 + y_j^2 + z_j^2 - d_j^2) - (x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - d_k^2)$ ,  
 где  $i = 1, 2, \dots, n - 1$ ;  $k = j + 1, \dots, n$

Система выше решается при помощи простой линейной регрессии.

Хоть приведенный алгоритм и работает медленней, он все равно остается алгоритмом реального времени, при этом его точность значительно выше.

### Выводы.

Проведен обзор существующих решений для данной задачи [1][2]. Были разработаны два алгоритма определения местоположения на основе реперных точек, в данной работе в качестве этих точек используются метки AprilTag [3]. Оба алгоритма работают в режиме реального времени, при чем отличительной чертой второго является повышение точности с повышением количества реперных точек.

### Список литературы:

1. Yoo J., Hong Y., Yoon S. Autonomous UAV navigation with domain adaptation //arXiv preprint arXiv:1712.03742. – 2017.
2. Schmid, Korbinian & Hirschmüller, Heiko. (2013). Stereo Vision and IMU based Real-Time Ego-Motion and Depth Image Computation on a Handheld Device. 10.1109/ICRA.2013.6631242;
3. M. Fiala, "ARTag, a fiducial marker system using digital techniques," in Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on, vol. 2. IEEE, 2005, pp. 590–596

## **СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ИХ В УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫЕ СРЕДСТВА С ЦЕЛЮ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

МЕНЩИКОВ П.А., БАШКИРОВ Р.М., СВИРИДОВ М.А., ТЕРЕХОВ Д.В.

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), Тамбов, Россия (392006, Тамбов, тер. Тамбов-6), e-mail:*

*nauchanajarota@yandex.ru.*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены способы организации подготовки специалистов систем специального назначения с помощью применения учебно-тренировочных средств к операторскому виду деятельности. Описано создание трехмерной графики для учебно-тренировочного средства. Описана программа для создания трёхмерной графики с помощью программного комплекса Cinema 4D.

*Ключевые слова:* моделирование учебно-тренировочных средств, среда разработки, системы специального назначения

Пару десятилетий назад трехмерная графика была недостижимой и вызывала восхищение. Сейчас она стала привычной обыденностью. С экранов телевизоров, компьютеров и мобильных телефонов льется информация, насыщенная трехмерными элементами.

Методы, позволяющие осваивать владение техникой, подготавливать специалистов к работе, проводить мониторинг уровня подготовки позволяет значительно снизить затраты на выпуск готовых специалистов.

Один из таких методов является применение учебно-тренировочных средств (далее – УТС). Они представляют собой системы устройств и приспособлений, имитирующих устройство и работу наиболее важных узлов и агрегатов техники, применяемое для изучения устройства и отработки практических навыков, необходимых для выполнения задач на реальных образцах.

Ни для кого не секрет, что качественное обучение – это теоретическая подготовка с закреплением знаний на практике, с неоднократным повторением соответствующих для требуемых навыков действий. При подготовке специалистов систем специального назначения уже долгое время используются УТС симулирующие работу на реальных образцах техники. Опыт эксплуатации существующих УТС в процессе обучения показывает, что современный УТС включает в себя две основные составляющие: конструктивную и программную.

На данный момент в УТС реализованы следующие модули:

### 1. Теоретический модуль.

Теоретический модуль УТС состоит из информации о назначении, составе и тактико-технических характеристиках, порядке работы ССН, выборе позиции и ориентировании, развертывании и свертывании ССН, условиях и порядке выполнения нормативов и задач. Данный материал представлен в виде текста и в виде презентаций. Для контроля теоретических знаний разработана система записи индикационных данных обучаемого, который вносит их перед началом тестирования. По окончании теста эти данные и результат теста записываются в специальную таблицу, который может просматривать преподаватель. К тестовой системе невозможно приспособиться, так как вопросы из общей базы данных формируются по-разному после каждого запуска системы.

### 2. Практический модуль.

Назначение практического модуля – самостоятельное обучение правильному выполнению нормативов и учебных задач, а также ведению работы. Большую наглядность при изучении отдельных блоков основных систем, изучаемых образцов техники, обеспечивает их выполнение с использованием 3-D графики.

Обучение операторов систем специального назначения проводится по принципу от простого к сложному. В отличие от контроля теоретических знаний, по завершению отработки нормативов отображается информация о выполнении или невыполнении того или иного элемента практических действий с выставлением итоговой оценки.

УТС включает три режима работы: режим обучения, режим тренировки, режим контроля.

Для создания моделей для УТС необходимо грамотно выбрать основную программу 3-D моделирования. В связи с этим были проанализированы возможности программ: 3 ds MAX, Maya, Cinema 4D и Blender.

Основные характеристики рассмотренных редакторов приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Основные технические характеристики 3-D редакторов**

Название	Операционные системы	Поддержка анимации	Поддерживаем форматы
3 ds MAX	Linux, Windows, mac OS	Имеет	3DS, OBJ
Maya	Linux, Windows, mac OS	Имеет	3DS, OBJ
Cinema 4D	Windows, mac OS	Имеет	3DS, BVH, CATProduct, cgr, dem, dae, FBX
Blender	Linux, Windows, mac OS	Имеет	OBJ, FBX, PLY, STL

Для создания 3-D моделей в УТС был выбран в качестве основного трехмерного графического редактора программный продукт Cinema 4D. Это связано, прежде всего с тем, что софт данной программы гораздо проще в освоении чем в других программах, и, при этом по своему функционалу не уступает аналогам.

Cinema 4D – это уникальный программный комплекс, позволяющий создавать реалистичный и красочный трехмерный мир.

Программа Cinema 4D предоставляет обширные возможности для решения практически всех специфических задач, начиная от простейших анимации и заканчивая сложными фигурами с эффектом лепки. Программа также имеет мощную систему фотореалистичной визуализации и удобные инструменты моделирования. Программа позволяет просчитывать эффекты глобального освещения и учитывает под поверхности рассеивания света.

Кроме того, все учебно-тренировочные и тренажерные средства должны отвечать следующим общим требованиям:

– максимально обеспечивать наглядность и доступность в освоении, эффективно использовать учебное время, вызывать интерес и повышать активность личного состава в процессе формирования профессиональной компетенции;

– осуществлять объективный контроль за действиями операторов и усвоением изучаемого ими материала, выявлять ошибки, допускаемые операторами, и недостаточно усвоенные вопросы. [3]

Требование к обеспечению максимальной наглядности и доступности в освоении и повышении интереса личного состава можно с помощью хорошо прорисованных 3-D моделей с реальной геометрией и правильно наложенной текстурой. В Cinema 4D есть весь нужный функционал для построения качественных 3-D моделей и наложения на них текстур с UV разверткой, для выполнения требований по адекватности моделей для УТС.

На рисунке 1 представлен вид рабочего пространства Cinema 4D.

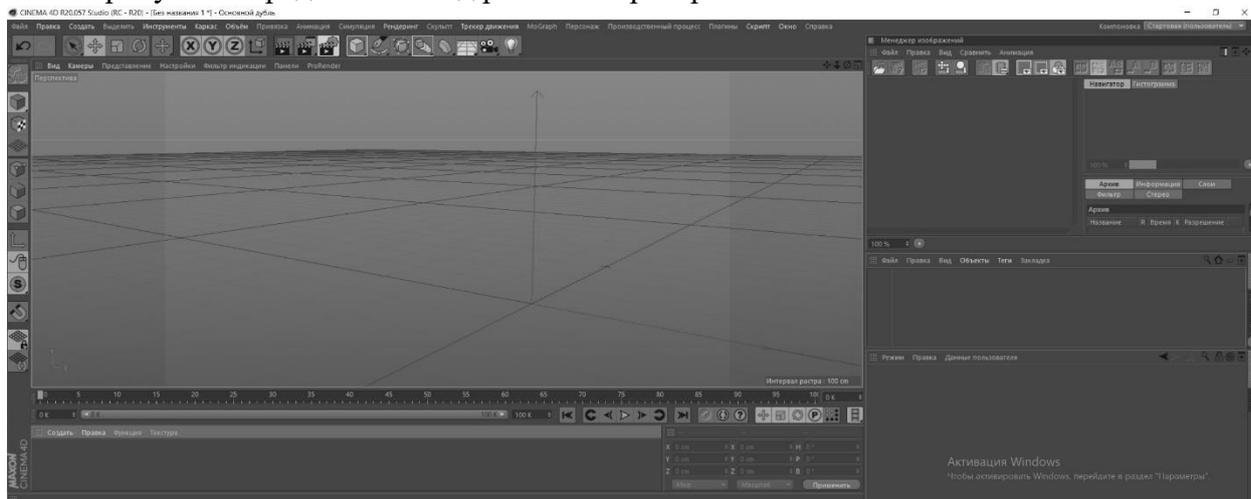


Рис. 1. Рабочее пространство в Cinema 4D.

На рисунке 2 представлен вид рабочего пространства с наложением текстур для моделей.

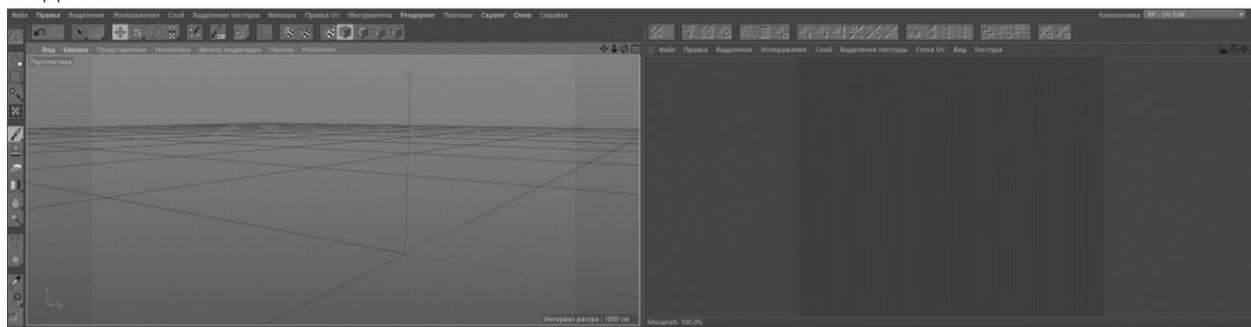


Рис. 2. Рабочее пространство для работы с модулем BP-UV Edit/

На рисунке 3 представлен пример работы с наложением текстуры на трехмерный элемент в среде Cinema 4D.



Рис. 3. Пример работы с наложением текстуры.

Таким образом, использование такого мощного инструмента как Cinema 4D для создания трехмерных моделей для УТС с целью подготовки специалистов специального назначения внесет ряд положительных изменений в данное направление.

Научный руководитель темы д.т.н. профессор Алексеев В.В., ТГТУ.

### Список литературы

1. Юрков Н.К., Интеллектуальные компьютерные обучающие системы / Н.К. Юрков // Пенза: Изд-во ПГУ. – 2010. – 304 с.
2. Б.Я. Советов, В.В. Цехановский, В.Д. Чертовской., Интеллектуальные системы и технологии. учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 320с
3. Шукшунов В.Е., Безруков Г.В., Душенко А.Г., Жук Е.И., Зубов Н.Е., Макаров А.М., Наумов Б.А., Потоцкий С.И., Фоменко В.В., Циблиев В.В. Интеллектуальные тренажерные комплексы и тренажеры: технологии разработки и опыт эксплуатации / Монография – 2015 – Москва – 465с.
4. Красовский А.А. Александров А.Г., Артемьев В.Н. и др. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.
5. Алексеев В.В., Анализ возможностей информационных технологий для построения средств освоения сложных интеллектуальных систем. / В. В. Алексеев. // Воронеж: Изд-во ВГУ. – 2017. – С.5.

## WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ЛЁГОЧНОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

ПАНЬКО И.С., БЕЛОВА Е.Ю.

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

**Аннотация.** Лёгочная артериальная гипертензия (ЛАГ) характеризуется низким процентом выживаемости пациентов. Мониторинг симптомов ЛАГ играет важную роль, поскольку их появление

зачастую свидетельствует о прогрессировании заболевания и необходимости внесения коррекций в процесс лечения. В настоящее время существуют сервисы, позволяющие осуществлять контроль за состоянием здоровья пациентов дистанционно, однако информация, которой обмениваются пациент и врач, чаще всего имеет разный формат и не структурирована. По этой причине разработка Web-приложения для мониторинга состояния пациентов с лёгочной артериальной гипертензией является актуальной. Серверная часть создана с использованием языка программирования Java и фреймворка Spring Boot, клиентская часть – с применением фреймворка Bootstrap. Пациенты в Web-приложении имеют возможность заполнять ряд опросников о состоянии их здоровья, а врачи – анализировать собранные результаты за счёт их визуализации в виде таблиц и графиков.

*Ключевые слова: лёгочная артериальная гипертензия, мониторинг пациентов, web-приложение, язык программирования Java*

### **Введение**

Лёгочная артериальная гипертензия (ЛАГ) является тяжелой формой лёгочной гипертензии и характеризуется высоким уровнем смертности. Для пациентов с ЛАГ с низким риском наступления фатального исхода летальность в течение года составляет 2,8%, для пациентов с промежуточным и высоким риском – 9,9% и 21,2% соответственно [1].

Ситуация для пациентов с ЛАГ усугубляется в случаях, когда заболевание не диагностировано своевременно или вовремя не начато проведение жизненно необходимой специфической терапии [2].

Мониторинг симптомов ЛАГ, таких как наличие одышки при нагрузке, утомляемость, общая слабость, отеки нижних конечностей, боль в груди, кровохарканье и других, играет важную роль, поскольку их появление зачастую свидетельствует о прогрессировании заболевания и необходимости внесения коррекций в процесс лечения [2].

Как правило, пациенты информируют лечащего врача о возникающих симптомах устно и заполняют опросники в бумажном виде прямо на приёме. В такой ситуации у медицинского специалиста нет возможности корректно оценить динамику развития заболевания, поскольку информация предоставляется нерегулярно и в разном формате.

В настоящее время существует ряд приложений, позволяющих врачам проводить дистанционный мониторинг пациентов. Например, сервисы «Яндекс.Здоровье» [3], «СберЗдоровье» [4], «Доктор Рядом Онлайн» [5]. Однако они не предоставляют пациентам возможность вносить информацию о возникающих симптомах заболевания и показателях своего здоровья. Пациент может информировать врача о своем самочувствии только в свободной форме путем отправки сообщений в виде текста, либо с использованием голосовой или видеосвязи. Такой подход приемлем для пациента, но неудобен для медицинского специалиста. В подобных описаниях сложно ориентироваться, а, следовательно, и выявлять изменения в динамике развития заболевания и своевременно реагировать на них.

Поэтому актуальным является создание Web-приложения для мониторинга состояния пациентов с лёгочной артериальной гипертензией с возможностью его использования как пациентами, так и врачами.

Цель работы состоит в разработке Web-приложения для мониторинга состояния пациентов с лёгочной артериальной гипертензией.

Основными задачами являются:

- выбор стека технологий для разработки Web-приложения;
- проектирование базы данных Web-приложения;
- написание кода Web-приложения.

Web-приложение должно предоставлять пациентам удобные для заполнения анкеты о показателях здоровья и симптомах, специфичных для ЛАГ, а врачам – обеспечивать визуализацию отправляемой пациентами информации в виде графиков и таблиц. Кроме того, для пациентов необходимо предусмотреть возможность отправки анамнеза, а также загрузки файлов с результатами анализов и обследований.

### **Материалы и методы**

Серверная часть Web-приложения разработана с использованием языка программирования Java в сочетании с фреймворком Spring Boot, а при реализации клиентской части приложения использован веб-фреймворк Bootstrap.

Основными критериями оценки приложения являются соответствие функциональным требованиям, удобство пользовательского интерфейса для врачей и пациентов, скорость ответа сервера на поступающие от клиентов запросы.

### **Результаты**

В результате выполненной работы разработано Web-приложение для мониторинга состояния пациентов с лёгочной артериальной гипертензией, а также спроектирована и создана база данных для этого приложения.

Работа в Web-приложении осуществляется с конкретными показателями и симптомами, имеющими отношение к лёгочной артериальной гипертензии. В их число входят артериальное давление, пульсоксиметрия, физические изменения, общее самочувствие, головокружение, кашель и другие. При этом все показатели являются составными: так, например, в случае с пульсоксиметрией собирается информация о проценте кислорода в крови, о пульсе, а также о том, был ли произведён замер до или после нагрузки.

Для каждой группы показателей и симптомов в БД создана отдельная таблица, в которой, помимо непосредственно информации, отправляемой пациентом, учтены также дата отправки и привязка к конкретному пациенту.

В свою очередь, для каждой таблицы базы данных, описывающей конкретную группу симптомов или показателей, приложением предоставляется соответствующая анкета, заполняя и отправляя которую пациент, таким образом, сохраняет данные в базе. Аналогичные таблица и опросник предусмотрены и для анамнеза, в который входит информация о том, имеются ли у пациента хронические заболевания сердца или лёгких, имелись ли они у его родственников и так далее.

Приложение даёт возможность пациентам, помимо заполнения анкет, также загружать на сервер PDF-файлы с результатами обследований, которыми в случае с ЛАГ являются эхокардиография, компьютерная томография органов грудной клетки, скинтиграфия лёгких и другие.

На рисунке 1 приведена анкета для сбора информации об артериальном давлении пациента.

### Давление

Верхнее (мм рт. ст.)

Нижнее (мм рт. ст.)

После нагрузки

Да  Нет

Отправить

Рис. 1. Анкета об артериальном давлении пациента

Подобным образом выглядят анкеты и для других показателей: спирометрии, пульсоксиметрии, ТБМХ, кашля и прочих. Наиболее сложными являются опросники о физических изменениях и общем самочувствии, так как содержат в себе достаточно много факторов, позволяющих судить о развитии ЛАГ.

На рисунке 2 приведена визуализация показателей пациента на примере графиков артериального давления до и после нагрузки.



Рис. 2. Графики артериального давления пациента

Для показателей, содержащих только текстовые данные (кашель, боль в груди, обморок и другие), предусмотрена визуализация в виде таблиц, а для тех, которые содержат числовые или текстовые и числовые данные (ТБМХ, артериальное давление, спирометрия и другие) – как в виде таблиц, так и в виде графиков.

Файлы, загружаемые пациентом на сервер, представляются в виде простого списка с возможностью их скачивания на локальный компьютер для просмотра.

Такие формы представления значений показателей и наличия симптомов являются информативными для врача, позволяют ему своевременно реагировать на возникающие изменения и оперативно принимать решения при выявлении ситуаций, связанных с рисками для здоровья пациента.

Разработанное приложение соответствует заданным критериям. Его функционал полностью реализован в соответствии с поставленными требованиями. Пользовательский интерфейс прост и понятен как для пациента, так и для врача. Пациент имеет возможность вносить информацию о своём состоянии здоровья и сохранять её, проходить опросы, используя кнопки навигации. Графическое представление статистики по данным, отправляемых пациентами, удобно для просмотра и анализа врачом.

Наконец, приложение работает с достаточно хорошей скоростью. Время ожидания клиентом ответа от сервера не превышает 1 секунду, а в среднем составляет всего 100-200 миллисекунд.

### **Дискуссия**

Разработанное Web-приложение для мониторинга состояния пациентов с лёгочной артериальной гипертензией имеет ряд аналогов, среди которых можно выделить популярные сервисы – «Яндекс.Здоровье», «СберЗдоровье», «Доктор Рядом Онлайн». Они позволяют врачам осуществлять дистанционное наблюдение за пациентами.

В отличие от аналогов, в созданном Web-приложении основное внимание уделено сбору и хранению в структурированном виде информации о конкретных симптомах и показателях, которые связаны с лёгочной артериальной гипертензией. В настоящее время существует достаточно много признаков, позволяющих судить о развитии данного заболевания, – отёки нижних конечностей, кровохарканье при кашле, ухудшение общего самочувствия и т.д. Они учтены в опросниках, предоставляемых пациентам.

Существующие сервисы в большей степени ориентированы на проведение телемедицинских консультаций: пациент пишет лечащему врачу текстовые сообщения, общается с ним по голосовой или видеосвязи. В разработанном Web-приложении информирование лечащего врача о состоянии здоровья пациента происходит путем отправки заполненных анкет о текущих симптомах и показателях, что обеспечивает более чёткое представление о ходе лечения.

### **Заключение**

В результате проведенной работы выбран стек технологий, спроектирована и создана база данных и разработано Web-приложение для мониторинга состояния пациентов с лёгочной артериальной гипертензией.

### **Список литературы**

1. Чазова И.Е., Мартынюк Т.В. от имени авторов. Резолюция экспертного совета по проблеме легочной артериальной гипертензии (ЛАГ) «Меняя парадигму лечения пациентов с легочной артериальной гипертензией». Терапевтический архив. 2019;91 (3): 114-116. DOI: 10.26442/00403660.2019.03.000185.
2. Клименко А.А., Шостак Н.А., Андрияшкина Д.Ю., Кондрашов А.А. Лечение легочной артериальной гипертензии: актуальные вопросы // Кардиология: новости, мнения, обучение. 2019. Т. 7, № 3. С. 46–55. doi: 10.24411/2309-1908-2019-13005.
3. Яндекс.Здоровье [Электронный ресурс]. – URL: <https://health.yandex.ru> (Дата обращения: 14.04.2024).
4. СберЗдоровье [Электронный ресурс]. – URL: <https://sberhealth.ru> (Дата обращения: 14.04.2024).
5. Доктор Рядом Онлайн [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.drclinics.ru/smsrenins> (Дата обращения: 14.04.2024).

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ АКТОРНОЙ СИСТЕМЫ

СИМАНОК Д.А.

*ООО «Роботикс Менеджмент Системс»*

**Аннотация.** В статье дано общее описание устройства акторной системы «RMS», а также описана архитектура ее модуля управления роботом. Описаны принципы и механизмы обработки ошибок в акторных системах. Предложены изменения архитектуры модуля управления роботом в соответствии с описанными принципами.

*Ключевые слова:* отказоустойчивость, модель акторов, система управления складом.

### **Введение**

Автоматизация складов в России растет уже несколько лет подряд. Например, как показывает исследование TAdviser [1], объем рынка систем управления складом вырос на 25% в 2022 году и сохранил позитивную динамику в 2023.

Компания «Роботикс Менеджмент Системс» (далее RMS) специализируется на разработке программного обеспечения, предназначенного для эффективного управления флотом роботов на складе. Разрабатываемый ею одноименный продукт интегрируется между программой управления складом и программным обеспечением роботов, что дает возможность первой эффективно управлять последними. В дальнейшем термином RMS будет обозначаться система RMS.

Для подобных систем очень важна возможность правильно функционировать в присутствии как программных так и аппаратных ошибок. Если система обладает таким свойством, ее называют отказоустойчивой.

При создании RMS используется авторский фреймворк, разработанный в компании. На момент написания статьи этот фреймворк не обладает механизмом обработки ошибок в разрабатываемых с его помощью компонентах системы. По этой причине возникновение ошибок зачастую грозит прекращением работы всей RMS, что делает ее не отказоустойчивой. Особенно подобным проблемам подвержен модуль управления роботом, поскольку имеет дело с аппаратными ошибками чаще других.

Замена фреймворка представляется для компании слишком трудо- и ресурсоемкой задачей. Таким образом, возникает необходимость в доработке фреймворка RMS и также переработке модуля управления роботом для повышения их отказоустойчивости.

### **RMS**

RMS представляет из себя систему управления группой складских роботов. Она встраивается между системой управления складом (далее WMS) и программным обеспечением роботов. WMS в этой связке занимается высокоуровневым менеджментом склада, таким как отслеживание хранимых на складе предметов или ведение учета заказов. RMS в то же время следит за состоянием роботов, таким как их заряд и местоположение, исполняет заказы WMS, а также привязывает абстрактные ячейки, которыми оперирует WMS к конкретным геолокациям на складе.

Взаимодействие RMS и WMS можно проиллюстрировать следующим образом. Пусть WMS пришел заказ на перевозку куртки и шапки со склада на станцию комплектации. WMS известны номера стеллажей, на которых хранятся эти предметы и она отправляет RMS команду об их перевозке. RMS выделяет роботов для выполнения команды, строит для них маршруты и командует роботами в процессе их езды. Таким образом WMS освобождается

от низкоуровневых деталей выполнения заказов, таких как количество доступных роботов, их маршруты и прочих.

RMS – акторная система, созданная на языке F#. Понятие акторной системы определил Карл Хьюитт в посвященной модели акторов статье [2]. Кратко это означает, что система состоит из множества вычислительных единиц, называемых акторами, обменивающихся сообщениями друг с другом. Каждое сообщение обрабатывается последовательно. Получив сообщение, актор может создать других акторов, отправить сообщения или изменить способ, которым он примет следующее сообщение. Это замечание важно, поскольку поиск механизмов отказоустойчивости снижается только до таковых в акторных системах.

Важной частью RMS является модуль управления роботом. Он представляет из себя связку из трех акторов: Task, Driver и Device. Эта связка служит для того, чтобы робот мог выполнить одну конкретную задачу, например, доехать из одной точки в другую или зарядиться. Task – это задача, данная роботу, она отдает Driver-у команды для своего выполнения. Driver транслирует эти команды в указания для конкретной модели робота и передает в Device. Последний представляет из себя математическую модель реального робота и обменивается с ним сообщениями.

Этот модуль, поскольку обрабатывает сообщения от реальных роботов, зависит от ошибок в них. Наиболее частой ошибкой, приводившей к отказу RMS являлось получение Driver-ом сообщений, не относящихся к той команде, которую исполняет робот.

### **Принципы и механизмы обработки ошибок в акторных системах**

С целью найти механизмы обеспечения отказоустойчивости были рассмотрены теоретические работы Карла Хьюитта и Джо Армстронга [3], а также наиболее известные реализации модели акторов такие как Mailbox Processor [4], Akka.NET [5] и Dapr [6]. Выбор именно этих трех реализаций связан с тем, что язык F#, на котором разработана RMS принадлежит к семейству .NET и все эти реализации будут с ним легко совместимы.

Карл Хьюитт в своей работе дает определение понятию «акторная система» и описывает такие ее фундаментальные концепции как акторы и асинхронность. Также в этой работе описываются детали того, как акторы обмениваются сообщениями и как один актор может узнать адрес другого для отправки сообщения. В качестве принципа построения надежных акторных систем Хьюитт предполагает следующее. Если один актор отправил запрос другому, то ему гарантируется получение либо ответа на запрос, либо Messaging Exception. Детали обработки таких исключений, как и других исключений, могущих возникнуть в процессе работы не оговариваются.

Джо Армстронг в свою очередь определяет понятие конкурентно-ориентированного программирования (далее COPL), а также его наименьшей единицы исполнения – процесса. Характеристики COPL, выделяемые Армстронгом, перечислены ниже.

- COPL поддерживает процессы.
- Процессы изолированы друг от друга и ошибка в одном из них не распространяется на остальные.
- У каждого процесса есть уникальный идентификатор (pid).
- Процессы не разделяют состояния и взаимодействуют друг с другом, посылая сообщения по pid.
- Доставка сообщений не гарантирована.
- Один процесс может определить, что в другом произошла ошибка и установить ее причину.

Из описания выше очевидно, что процесс в `COPL` слабо отличается от актора и, следовательно, предложенные Армстронгом принципы и механизмы отказоустойчивости в `COPL` будут применимы для акторных систем.

Армстронг предлагает следующие принципы для работы с ошибками.

- Восстановлением от ошибки занимается не тот процесс, в котором она произошла.
- Если процесс не может выполнить свою задачу, то он должен остановиться и породить ошибку (упасть).
- Падение процессов – нормальная ситуация.
- Программа работы процесса не должна писаться из расчётов на ошибку.

В связи с этим Армстронг предлагает разделять все процессы на рабочих и наблюдателей, после чего организовывать их в деревья наблюдения. Вершинами в таком дереве могут быть только наблюдатели. Их задача обнаруживать ошибки в дочерних процессах и восстанавливать их. Рабочие процессы в свою очередь непосредственно выполняют вычисления, необходимые для работы системы.

`MailboxProcessor` и `Dir` представляют из себя весьма базовые реализации модели акторов. Первый входит в стандартную библиотеку `F#`, в то время как второй используется для создания микро сервисов с помощью как с помощью `.NET`, так и с использованием инородных компонентов. Тем не менее, ни в одной из этих реализаций не уточняется способ работы с ошибками. Более того, в случае возникновения ошибки в одном из акторов в случае `MailboxProcessor`-а вся система завершит свою работу с ошибкой.

В то же время в `Akka.NET`, подобно тому как это делает Армстронг, акторы организуются в деревья наблюдения. При создании дочернего актора создающий сразу же становится его наблюдателем, а также выбирает один из способов обработки ошибки в дочернем акторе.

1. `Restart` – в случае ошибки создается новый дочерний актор. Этот новый актор заменяет тот, в котором случилась ошибка.
2. `Resume` – актор, в котором произошла ошибка пропустит вызвавшее ее сообщение и перейдет к обработке следующего.
3. `Stop` – дочерний актор навсегда прекращает свою работу.
4. `Escalate` – ошибка передается выше по иерархии наблюдения.

Подход `Akka.NET` отличается от предложенного Армстронгом главным образом в том, что разделение акторов на рабочих и наблюдателей отсутствует.

### **Изменения в RMS**

Повышение отказоустойчивости `RMS` было решено провести в три этапа.

Сначала `Driver` был переделан таким образом, чтобы не обрушивать всю систему при получении не подходящих сообщений. Для этого был создан подмодуль `Expectations`, отслеживающий, является ли пришедшее в `Driver` сообщение ожидаемым. Если да, сообщение пропускается, иначе `Driver` переводится в специальное ошибочное состояние. Операция перевода в это состояние обратима и обрушивает систему при своем исполнении. В остальном подмодуль `Expectations` никак не влияет на работу `Driver`-а, однако позволяет ему работать с самой часто встречающейся ошибочной ситуацией.

Затем `Driver` было решено разделить на несколько акторов, каждый из которых представляет из себя одну операцию, могущую завершиться успехом или провалом. Примером такой операции может быть «поднятие стеллажа» или «подъезд к зарядной станции». Роль самого `Driver`-а сводится в таком случае к пересылке сообщений акторам-

операциям и наблюдению (в терминах Армстронга) за этими акторами. На момент написания статьи реализован актор-операция, отвечающий за манипуляцию со стеллажом.

Последним этапом решено добавить стандартные механизмы наблюдения во фреймворк RMS, дабы это решение можно было использовать в любой части системы.

Несмотря на то, что еще не все предлагаемые изменения были выполнены в RMS, проведенная работа уже повысила отказоустойчивость системы.

### Список литературы

1. Российский рынок WMS. – URL: <https://www.tadviser.ru/a/99998>; (дата обращения: 20.12.2023).
2. Hewitt C. Actor model of computation: scalable robust information systems // arXiv preprint arXiv: 1008.1459. – 2010.
3. Armstrong J. Making reliable distributed systems in the presence of software errors: PhD thesis / Armstrong Joe. – 2003.
4. Kusumawardhono E. F# High Performance. – Packt Publishing Ltd, 2017.
5. Tedeschi S. Exception handling for robust multi-agent systems: PhD thesis / Tedeschi Stefano. – Ph. D. Dissertation. Universita degli Studi di Torino, Dipartimento di ..., 2021.
6. Russinovich M. Dapr for .NET Developers. – Microsoft Developer Division, .NET, Azure Incubations teams, 2023.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА РЕАБИЛИТАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ПАЦИЕНТОВ С СИНДРОМОМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ГЕМИПАРЕЗА В ПОСТИНСУЛЬТНЫЙ ПЕРИОД

ШВЕЦ С.А., ПЕТРАКОВА М.А., БЕЛОВА Е.Ю.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им.*

*В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Инсульт занимает первое место среди всех причин первичной инвалидности, представленной чаще всего нарушением двигательной функции. Данная работа направлена на разработку программного комплекса для удаленного мониторинга реабилитации функции ходьбы и равновесия пациентов с синдромом центрального гемипареза после инсульта. Web-приложение для врача-невролога позволит врачу выстроить план амбулаторного восстановления пациента и оценить его динамику. Мобильное приложение поможет пациенту быстрее восстановить двигательные функции, предоставляя доступ к индивидуальной программе упражнений лечебной физкультуры.

*Ключевые слова:* удаленный мониторинг, реабилитация, инсульт, гемипарез, программный комплекс

### Введение

На сегодняшний день инсульт является одним из наиболее распространенных неврологических заболеваний. Во всем мире ежегодно регистрируется 15 миллионов инсультов. В России, по данным Национальной ассоциации по борьбе с инсультом, регистрируется около 500 тысяч случаев в год [1].

Перенесшие заболевание пациенты сталкиваются с нарушением двигательных, речевых и когнитивных функций, до 80% больных имеют выраженную или умеренную инвалидность [2][3]. Двигательные нарушения в виде центрального гемипареза являются наиболее частой причиной инвалидности пациентов, перенесших инсульт [3]. Поэтому одной из основных задач восстановления больных после инсульта является проведение

физической реабилитации, которая в наибольшей степени влияет на социальную независимость и трудоспособность пациента [4]. После выписки пациента из стационара, дальнейшую реабилитацию он проходит в амбулаторных условиях.

Одним из основных методов реабилитации пациентов, перенесших инсульт, является лечебная физическая культура (ЛФК), цель которой — восстановление объема движений и силы мышц в пораженных конечностях [5].

Сегодня, чтобы снизить нагрузку на здравоохранение, во многих направлениях медицины активно внедряются телемедицинские технологии, в том числе, удаленный мониторинг пациентов [6]. Такой подход позволит автоматизировать процесс получения врачом прогресса в прохождении пациентом реабилитации, улучшить взаимодействие пациента с врачом и снизить нагрузку на врача, а также поможет достичь лучших результатов лечения за счет повышения вовлеченности пациентов. С помощью удаленного мониторинга реабилитация становится доступней для ограниченных в мобильности пациентов и пациентов, не имеющих доступа к услугам реабилитационных центров, вследствие малоразвитой инфраструктуры, нехватки врачей, удаленности их проживания.

На сегодняшний день существуют программы, позволяющие осуществлять удаленный мониторинг реабилитации пациента, однако при рассмотрении аналогов выяснилось, что в них не реализованы такие функции, как выбор врачом отслеживаемых показателей, контроль выполнения нагрузок ЛФК, визуализация данных, полученных от пациента и его носимых датчиков для оценки состояния здоровья, автоматическая отправка информации о выполнении упражнений лечащему врачу.

Таким образом, целью работы является создание программного комплекса, обеспечивающего взаимодействие мобильного приложения пациента и Web-приложения врача-невролога для удаленного мониторинга прохождения пациентом реабилитации двигательных нарушений в постинсультный период.

Основная идея программного комплекса заключается в обеспечении возможности пациенту проходить необходимую реабилитацию дистанционно, и врачу - удобным способом получать данные о прохождении реабилитации. Врач, проводя очный осмотр пациента, разрабатывает для него индивидуальный план восстановления, который пациент будет выполнять самостоятельно в домашних условиях. В основе этого плана лежит выполнение комплекса упражнений ЛФК, который является одним из ключевых методов реабилитации пациентов, перенесших инсульт. По завершении каждой тренировки пациенту предлагается оценить свое самочувствие в процессе выполнения упражнений, интенсивность болевых ощущений и мотивацию к продолжению реабилитации. Помимо этого, врач может включить в план реабилитации мониторинг артериального давления, контроль физической активности (при наличии у пациента способности к передвижению), а также проведение специального теста для самостоятельной оценки процесса реабилитации двигательных нарушений - пункты 5 и 6 шкалы инсульта национального института здоровья (NIHSS). При необходимости врач имеет возможность составить план приема пациентом лекарственных препаратов. Для более детальной обратной связи пациент имеет возможность воспользоваться встроенным чатом с лечащим врачом. Таким образом, данное приложение представляет собой универсальную платформу, предназначенную как для врачей, так и для пациентов, служащую инструментом дистанционной реабилитации после перенесенного инсульта для пациентов с синдромом центрального гемипареза.

Для эффективной реабилитации пациента важна регулярность выполнения лечебной физкультуры и других восстановительных мероприятий, поэтому он будет получать ежедневные напоминания о необходимости выполнения упражнений. Кроме того, сама система отслеживания, осуществляемая врачом, поможет пациенту не прекращать реабилитационный процесс. Текущая версия реализации позволяет осуществлять контроль состояния пациента без необходимости приобретения дополнительного оборудования: данные о физической активности доступны на любом смартфоне, для измерения артериального давления достаточно тонометра, который можно приобрести в ближайшей аптеке.

### **Материалы и методы**

Для разработки программного комплекса было пройдено несколько этапов - постановка задачи, построение архитектуры системы, разработка базы данных, написание кода серверной и клиентской части. В качестве сред разработки выбраны IntelliJ IDEA, Android Studio, Visual Studio Code, язык программирования - Java. Используются следующие фреймворки, библиотеки и инструменты: Spring, Retrofit, React, СУБД PostgreSQL. Программный комплекс должен обеспечивать удобный интерфейс для врача и пациента, должно быть учтено, что пользователи мобильного приложения, согласно статистическим данным, будут пожилого возраста (средний возраст развития инсульта 66,7 лет) [7]. Функциональные требования к программному комплексу должны соответствовать задаче и перечислены в разделе Введение.

### **Результаты**

Серверная часть разрабатываемого приложения построена на основе микросервисной архитектуры, которая, в отличие от традиционной монолитной, состоит из небольших модулей, каждый из которых ориентирован на решение определенной задачи.

В состав приложения входят следующие микросервисы:

- 1) модуль, который выполняет функции безопасности, администрирования и хранения данных о пользователях;
- 2) второй микросервис - модуль для составления шаблонных и индивидуальных программ ЛФК и получения их пациентами;
- 3) модуль, который принимает данные об отслеживаемых показателях, передаваемые пациентами.

Использование микросервисов повышает надежность и отказоустойчивость: при сбое и/или модификации одного из модулей система продолжит функционировать. Предполагается, что модуль получения информации от пациентов будет наиболее нагруженным. Микросервисная архитектура позволяет гибко настроить масштабирование - для запуска экземпляров этого микросервиса будет задействоваться больше вычислительных ресурсов. Во избежание падения производительности, модули спроектированы независимо друг от друга, чтобы один интерфейс API выполнял одну функцию.

В мобильном приложении пациент получает план реабилитации и отправляет результаты на сервер. Приложение поддерживает автономную работу, при отсутствии подключения устройства к сети Интернет или при временной недоступности сервера. При таком условии данные сохраняются на устройстве и отправляются на сервер, как только соединение будет восстановлено. Передача данных на сервер производится асинхронно в

фоновом режиме, что позволяет пользователю продолжать взаимодействие с приложением без необходимости ожидания завершения отправки. Приложение предоставляет возможность одновременного выполнения упражнений из тренировки и записи результатов, что обеспечивает эффективность и удобство использования. Таким образом, реализованное мобильное приложение гарантирует бесперебойную работу и создает комфортные условия для пациента на протяжении всего процесса удаленной реабилитации.

Клиентское веб-приложение предоставляет возможность врачу воспользоваться готовыми шаблонами или разработать полностью индивидуальные планы, учитывающие специфические потребности и особенности каждого пациента. Приложение также позволяет комбинировать оба подхода: использовать шаблоны в качестве основы и дополнять их персонализированными элементами. Приложение обеспечивает удобство и доступность всей необходимой информации для мониторинга: врач может выбрать пациента из списка своих больных и затем оценить динамику процесса реабилитации, представленную наглядно в форме таблицы или графика. При необходимости, приложение позволяет модифицировать программу восстановления. В отличие от других способов удаленного мониторинга, таких как отправка результатов по электронной почте или другим каналам связи, приложение предотвращает риск потери важной информации из-за большого количества пациентов или попадания в спам.

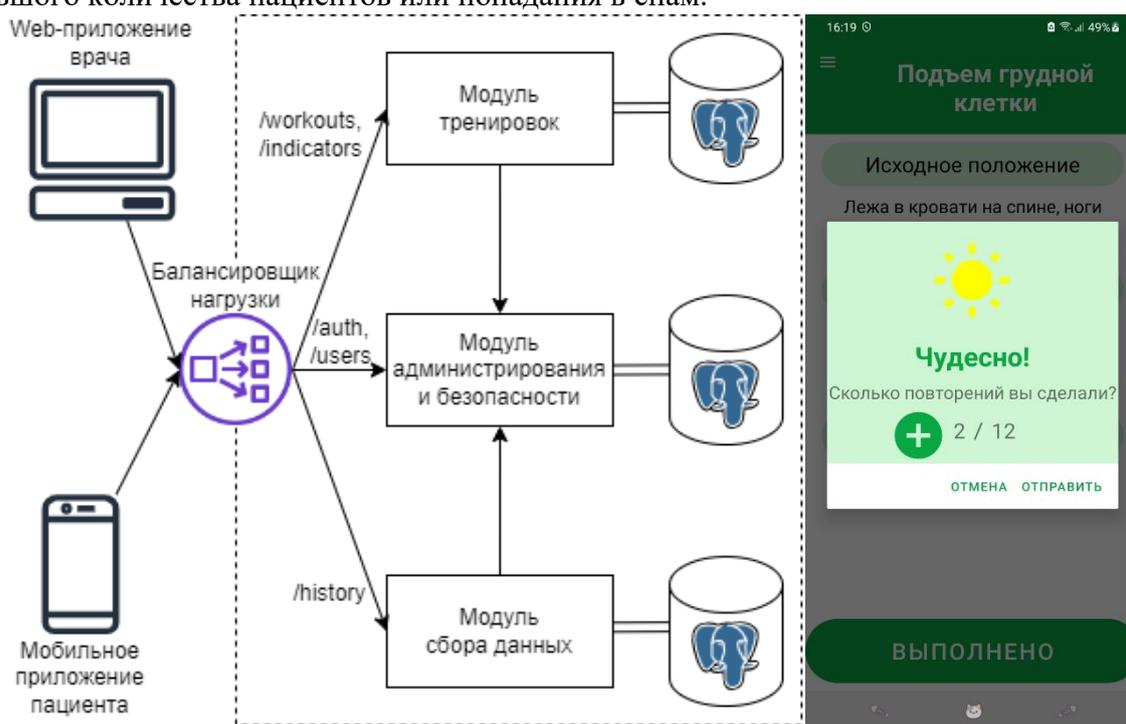


Рис. 1. Архитектура программного комплекса (слева) и интерфейс приложения (справа)

Согласно исследованиям, физическая активность ускоряет процесс реабилитации у пациентов, способных передвигаться самостоятельно [8]. Для отслеживания двигательной активности в систему была внедрена функция подсчета шагов. В настоящее время для получения данных о физической активности пациента мобильное приложение требует предоставления доступа к Google Fitness API. Собранные данные затем передаются на сервер, где они становятся доступными для анализа лечащим врачом.

### Список литературы

1. Позднякова О.Ю. Принципы ведения пациентов после перенесенных инсультов или транзиторных ишемических атак в общеврачебной практике : учебно-методическое пособие. ГБОУ ВО "СтГМУ" МЗ РФ, Кафедра Общей врачебной практики (Семейной медицины), 2021. 32 с.
2. Николаев В.А., Николаев А.А. Система телемедицинской реабилитации пациентов, перенесших инсульт: схема управления. Менеджер здравоохранения. 2021. №6.
3. Парфенов В.А. Постинсультные двигательные нарушения. МС. 2016. №11.
4. Диагностика и реабилитация нарушений функции ходьбы и равновесия при синдроме центрального гемипареза в восстановительном периоде инсульта. Клинические рекомендации. Вестник восстановительной медицины. 2016. № 2(72). С. 69-85.
5. Суцевич, Д. С., Рудченко И.В., Качнов В.А. Домашняя телемедицина в амбулаторном наблюдении и лечении пациентов с хроническими неинфекционными заболеваниями. Актуальные вопросы современной науки : Сборник статей по материалам XX международной научно-практической конференции. В 3-х частях, Томск, 11 апреля 2019 года. Том Часть 3. Томск: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2019. С. 119-126.
6. Игнатьева В.И., Вознюк И.А., Шамалов Н.А., Резник А.В., Виницкий А.А., Деркач Е.В. Социально-экономическое бремя инсульта в Российской Федерации. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски. 2023;123(8-2):5-15.
7. Министерство здравоохранения РФ. Ишемический инсульт и транзиторная ишемическая атака у взрослых, клинические рекомендации. URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/171\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/171_2)
8. Aguiar LT, Nadeau S, Martins JC, Teixeira-Salmela LF, Britto RR, Faria CDCM. Efficacy of interventions aimed at improving physical activity in individuals with stroke: a systematic review. Disabil Rehabil. 2020 Apr;42(7):902-917.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ БПЛА

ЩЕПИЛОВА В. В.

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

**Аннотация.** В статье были изучены и подвергнуты предварительному сравнительному анализу программные методы стабилизации БПЛА для эффективного использования этих устройств во время полета посредством поддержания стабильности полета благодаря избавлению от вибраций. В результате был сделан вывод о том, что наиболее эффективным с точки зрения временных затрат на реализацию, денежной стоимости, возможности внедрения в физические комплексы и доступности оказался метод стабилизации положения и управления БПЛА в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров.

*Ключевые слова:* БПЛА, вибрации, стабилизация, IMU

### Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой важное средство для решения множества задач в различных областях, включая фото- и видеосъемку, сбор данных, исследование объектов, геологоразведку и многие другие. Однако эффективное использование этих устройств зависит в значительной степени от их способности поддерживать стабильность во время полета. Вибрации, возникающие в процессе работы, могут серьезно повлиять на эту стабильность и в конечном итоге снизить качество функционирования БПЛА, за счет влияния на лидары, IMU, PID-регуляторы, что подчеркивает необходимость исследования эффективных методов для снижения вибрации.

### **Основная часть**

В данном исследовании проанализированы различные подходы к стабилизации БПЛА. После проведения предварительного анализа различных методов стабилизации было решено уделить особое внимание программным методам, поскольку они считаются наиболее влиятельными на вибрации БПЛА. Среди программных способов стабилизации, рассмотренных в данном исследовании, было выяснено, что наиболее эффективным оказался метод стабилизации положения и управления БПЛА в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров на снижение вибраций БПЛА, который в итоге был выбран для решения проблем с вибрацией и нестабильным полетом БПЛА.

Подход, описанный в данной концепции, связан с применением метода SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), который представляет собой способ создания карты окружающей среды при помощи различных сенсоров и последующего использования этой карты для точного определения текущего положения объекта в пространстве на протяжении времени. Основной задачей SLAM является ответ на два ключевых вопроса: "Каков облик окружающего мира?" и "Где находится объект в данный момент?».

Для решения задачи SLAM предлагается использовать разнообразные сенсоры, такие как стереокамеры, лазерные сканеры (лидары) и RGB-D камеры. Однако, на практике, использование подобных сенсоров в малых БПЛА, таких, как квадрокоптеры, может быть нерациональным из-за их высокой стоимости и значительной массы. Это особенно важно, если учитывать, что потеря такого БПЛА может повлечь значительные финансовые потери.

В данной работе рассматривается конкретный случай малого БПЛА с четырьмя фиксированными роторами - квадрокоптера. Один из основных аргументов в пользу использования легких и доступных камер, встроенных в квадрокоптер, заключается в том, что они позволяют применять метод SLAM с одной камерой как внутри помещений, так и на открытых производственных площадках. Однако для точного определения масштаба окружающей среды требуются дополнительные источники данных. В данном контексте наиболее разумным решением является использование инерциального измерительного блока (IMU), которые обеспечивают информацию о движении и ориентации объекта.

### **Описание технологии измерительного блока (IMU)**

Технология инерциального измерительного блока (IMU) с гироскопом и шестиосевым акселерометром, базирующаяся на применении PID-регулятора, используется для обеспечения стабильности беспилотных аппаратов в воздухе, особенно в горизонтальной плоскости. IMU представляет собой систему, которая определяет свое положение в пространстве на основе принципов инерции. Другими словами, IMU фиксирует угловое и осевое перемещение блока относительно его начальной позиции.

Для анализа точности оценки масштаба квадрокоптеру было поручено пролететь заданную фигуру, в то же время каждую секунду брался образец данных и масштаб оценивался повторно. После каждого полета мы измеряли истинную высоту над поверхностью вручную, устанавливая квадрокоптер к двум точкам измерения и сравнивая известную дистанцию с измеренной системой визуальной навигации.

### **Выводы**

Результаты данного исследования позволяют эффективно использовать полученные данные для проведения балансировки БПЛА и повышения его стабильности во время полета. Снижение вибраций модулей БПЛА позволяет повысить надёжность, производительность, безопасность использования, качество выполнения задач. Благодаря этому, БПЛА можно будет применять для выполнения задач, требующих более высокую точность управления, либо для сбора более чистых данных с помощью различных средств.

### **Список литературы:**

1. Локализация, картографирование и поиск пути для беспилотного наземного робота (БНР) при помощи группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с использованием активного коллективного технического зрения и планированием в общем доверительном пространстве группы роботов. kpfu.ru. URL: [HTTPS://KPFU.RU/ITIS/SCIENCE/KAFEDRA-INTELLEKTUALNOI-ROBOTOTENNIKI/LIRS/ISSLEDOVANIYA/LOKALIZACIYA-KARTOGRAFIROVANIE-I-POISK-PUTI-DLYA/LOKALIZACIYA-KARTOGRAFIROVANIE-I-POISK-PUTI-DLYA\\_326724.HTML](https://kpfu.ru/ITIS/SCIENCE/KAFEDRA-INTELLEKTUALNOI-ROBOTOTENNIKI/LIRS/ISSLEDOVANIYA/LOKALIZACIYA-KARTOGRAFIROVANIE-I-POISK-PUTI-DLYA/LOKALIZACIYA-KARTOGRAFIROVANIE-I-POISK-PUTI-DLYA_326724.HTML)
2. Улучшение алгоритма Hector-SLAM для полицейских БПЛА. cyberleninka.ru. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-algoritma-hector-slam-dlya-politseyskih-bpla/viewer>
3. Алгоритм навигации беспилотного летательного аппарата на основе улучшенного алгоритма одновременной локализации и картографирования с адаптивным локальным диапазоном наблюдения. vestnikprib.ru. URL: <http://vestnikprib.ru/articles/1034/1034.pdf>
4. Применение IMU в системе управления полетами БПЛА. electronix.ru. URL: <https://electronix.ru/forum/topic/171660-primeneniye-imu-v-sisteme-upravleniya-poletami-bpla/>
5. Анализ технологии управления беспилотными летательными аппаратами. cyberleninka.ru. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tehnologii-upravleniya-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami/viewer>

ННБ XII, Санкт-Петербург, 16 – 18 мая 2024

Сборник материалов  
XII Научно-практической конференции с международным участием  
«НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО»  
для студентов, аспирантов и молодых ученых  
состоявшейся 16-18 мая 2024 г.  
в г.Санкт-Петербурге  
Том I