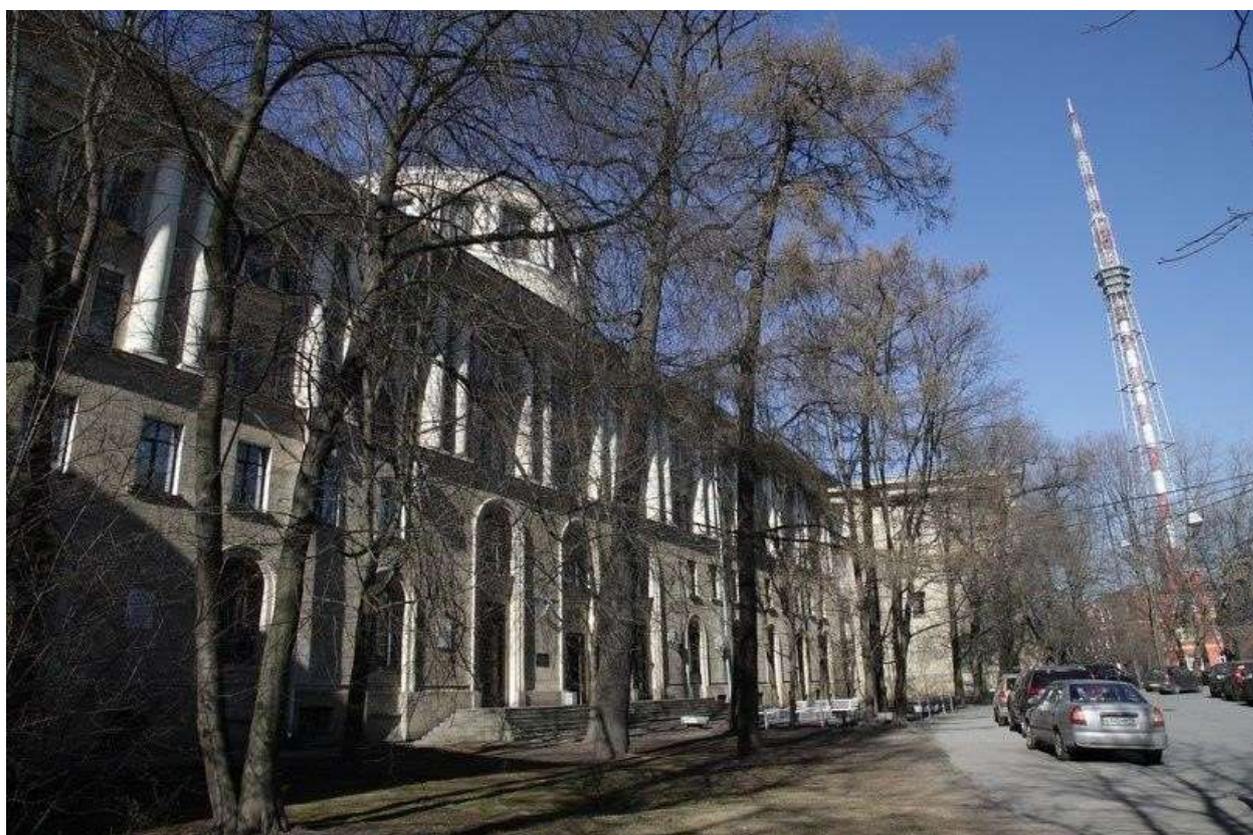


Министерство образования и науки РФ  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)

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



**Сборник материалов конференции  
18 – 20 мая 2023**

**Том II**

Санкт-Петербург  
2023

УДК 001.2

**ХІ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО» ДЛЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ. Том 2. Сборник материалов конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. 238 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**

- *Биотехнические системы и технологии*
- *Приборостроение*
- *Техносферная безопасность*
- *Электропривод, автоматика и электротехнологии*
- *Мехатроника и робототехника*
- *Лингвистика*
- *Реклама и связи с общественностью*
- *Информатика и управление в технических системах и ВТ*
- *Системный анализ и информационная безопасность*
- *Программная инженерия и автономные интеллектуальные системы*
- *Алгоритмическая математика*
- *Искусственный интеллект в прикладных областях*
- *Электроника, нанотехнологии, наноматериалы*
- *Технологическое предпринимательство: от проектного замысла к рыночному позиционированию*
- *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*

Сборник материалов содержит доклады, представленные на XI Научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых, состоявшейся 18 – 20 мая 2023 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.

**Научно-практическая конференция проведена при финансовой поддержке  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ».**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>СЕКЦИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ.....</b>	<b>8</b>
А.Д. Баранов ПЬЕЗОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ.....	8
Н. М. Батухтин, А. Э. Дегтерев, М. М. Романович, И.А. Ламкин ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ ОСИМУМ BASILICUM L.....	12
А.А. Богданов, М.М. Романович, И.А. Ламкин ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНОЙ ФИТОЛЕНТЫ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА БАЗИЛИКА .....	16
А. Бойко, А.Д. Кузьмина СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИЦА .....	19
В.В. Алексеев, Н.В. Орлова, В.С. Брызгалю ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ «КАРБОНОВОГО СЛЕДА» ТЕРРИТОРИИ.....	21
Д.С. Гвоздев, Е.М. Антонюк, П.Е.Антонюк АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ .....	26
А.Д. Кокорев РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ ВИНТА ДЛЯ БПЛА .....	30
П. А. Костин, А. А. Губина, М. М. Романович, И.А. Ламкин СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНОГО И ДНАТ ОСВЕЩЕНИЯ НА СКОРОСТЬ РАЗВИТИЯ ОСИМУМ BASILICUM L.....	34
И.И. Кот, Ф.Я. Беляев, Ш. Устаков ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ .....	38
Т.К. Лепехина, В. А. Парфенов ИССЛЕДОВАНИЕ КАРТИН ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ С ПОМОЩЬЮ ГИСТОГРАММ ЯРКОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ .....	42
В. Мамыкова АНАЛИЗ ШАБЛОНА ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ХОДЬБЕ ПО ЛЕСТНИЦЕ .....	46
И.С. Манько СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТНЫХ МАГНИТНЫХ СБОРОК И СБОРОК ХАЛЬБАХА .....	49
А.Д. Неелова, Т.К. Лепехина, Д.В. Журба, В.А. Парфенов ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА КОЖИ И ПЕРГАМЕНА.....	53
Н.В. Орлова, Г. Никифоров, В.К. Жуков, В.А. Саранцева ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА ПРИ МОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ МЕСТНОСТИ .....	57

М. Салхаб, Я. Джабр, Д.В. Журба, О.Г. Зотов, В.А. Парфенов ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕКОРАТИВНОГО ВОРОНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ .....	60
Н.В. Орлова, В.А. Саранцева СИСТЕМА АНАЛИЗА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ .....	64
В.К. Сизоненко ИНТЕГРАЦИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСС КОЛИЧЕСТВЕННОГО И КАЧЕСТВЕННОГО УЧЕТА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	68
<b>СЕКЦИЯ БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>71</b>
М. В. Богданова, Н. О. Ситков ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАССИВНОГО СМЕШЕНИЯ В КАНАЛАХ МИКРОФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ.....	71
К.Е. Брусина ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИФФУЗИОННЫХ СВОЙСТВ СУСПЕНЗИЙ .....	74
А.В. Гончарова, О.А. Тельминов, Г.А. Карнуп РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ, ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ В ПОСТИНСУЛЬТНОМ СОСТОЯНИИ .....	78
С. В. Дорошенко, Д. С. Краснокутский ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АКУСТОФЛЮИДНЫХ АКТЮАТОРОВ С УЗЛОМ МОНИТОРИНГА.....	81
В.В. Иванова, А.Е. Герасименко ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СЕГМЕНТАЦИИ НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО КАНАЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КТ .....	85
Я.С. Касьянова РАЗРАБОТКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СИНЕРГИИ БИОСИГНАЛОВ ЧЕЛОВЕКА .....	88
Е.А. Кошаев, А.И. Скоробогатова РАЗРАБОТКА РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ	93
Р. Пак, А. В. Пудова, И. В. Мандрик, Т. М. Зимина, Д. Д. Снарская РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНОГО БИОФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ .....	97
Р.Р. Сибгатов, К.Н. Зыбенко, Н.В. Пустовит РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КИНЕТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ СПЕКЛОВ ПРИ РАССЕЯНИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СУСПЕНЗИЕЙ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРИСУТСТВИИ АНТИБИОТИКОВ .....	101
А. С. Тарасов, Е.М. Фролов РЕГИСТРАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОКАЛИЗАЦИЙ, КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ ВЫРАЖЕННОСТИ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ И ЗООСОЦИАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ НА МОДЕЛЯХ НЕОНАТАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ ГРЫЗУНОВ.....	105

К.А. Уваров ПОСТРОЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА СТИМУЛ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	108
Д.И. Хасанова ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ В БИОЧИПАХ ДЛЯ АНАЛИЗА КРОВИ.....	112
Е.Н. Шевелева ХИРУРГИЧЕСКИЙ ШОВНЫЙ МАТЕРИАЛ С АНТИТРОМБОТИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ .....	115
<b>СЕКЦИЯ ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....</b>	<b>118</b>
Н.А. Березникова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИЧИНОК ZORNOBAS MORIO ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА .....	118
Е.Г. Казанина ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПОЛИВИНИЛФТОРИДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦИКЛ .....	121
В.Е. Храпунова, Е.А. Горобец, К.В. Кулаева, О.В. Смолова АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ БУМАГИ С ЦЕЛЬЮ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....	124
П.В. Манахова, А.П. Смирнова, М.И. Семенова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ВОДНОЙ СРЕДЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ БАКТЕРИЙ E.COLI.....	127
А.В. Смирнов МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ СРЕДЫ .....	132
Я.А. Хващевская, А. Соколов РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОД .....	136
М. В. Шапарева, С. С. Якутова, В. А. Биглова, В.А. Юрьева РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДАТЧИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ У КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ .....	140
<b>СЕКЦИЯ РЕКЛАМА И СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ .....</b>	<b>143</b>
Н.С. Ковита ФОРМИРОВАНИИ МЕДИАОБРАЗА РЕГИОНА В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ.....	143
Е. В. Скиргаченко ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ КОММУНИКАЦИИ В СФЕРЕ ОНЛАЙН ОБРАЗОВАНИЯ.....	146
<b>СЕКЦИЯ ЛИНГВИСТИКА.....</b>	<b>150</b>
М.С. Мугу ТРУДНОСТИ АДАПТАЦИИ КУЛЬТУРНО-СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛЕКСИКИ С РУССКОГО НА АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЕ .....	150

Д. А. Мурлыкина ПЕРЕВОД ИМЕН СОБСТВЕННЫХ В ПРОИЗВЕДЕНИИ ТЕРРИ ПРАТЧЕТТА «HOGFATHER» \ «САНТА-ХРЯКУС».....	154
<b>СЕКЦИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>158</b>
Г.С. Грибов ОДНОПОЗИЦИОННОЕ ПЕЛЕНГОВАНИЕ В КВ ДИАПАЗОНЕ С ПОМОЩЬЮ ТРИОРТОГОНАЛЬНОЙ АНТЕННЫ .....	158
А.А. Жирнов, В.В. Иванова МОДУЛЬ ГЕТЕРОДИНОВ ПРИЕМНИКА С ДВОЙНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ.....	162
И.А.Зайцев ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАБОТЫ С ДИНАМИЧЕСКИМ ОЗУ В ПРОЦЕССОРАХ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ.....	164
Т.Е. Самсонова УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОСОВЫМИ ФИЛЬТРАМИ НА ВАРИКАПАХ.....	168
М.И. Сугак, Г.А. Костиков, В.А. Сучков ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН КВ ДИАПАЗОНА .....	172
Чан Х.Н., Подстригаев А.С., Нгуен Чонг Нхан, Иконенко Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОС ПРОПУСКАНИЯ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ С ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ НА ДВУХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЧАСТОТАХ .....	175
<b>СЕКЦИЯ МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА.....</b>	<b>179</b>
А.М. Белкин, П.В. Шамова, Е.А. Масленникова СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПЛАНИРОВЩИКОВ TIMED ELASTIC BAND И DYNAMIC WINDOW APPROACH ДЛЯ CAR-LIKE И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ.....	179
В.А. Давыдов РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ОДНОВРЕМЕННОЙ КАРТОГРАФИИ И НАВИГАЦИИ .....	183
Лобазев Н.А., Соколов М.О., Саламахин А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ 2D-SLAM АЛГОРИТМОВ ДЛЯ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ .....	186
Мамяко А.И., Порохненко К.А., Поляков И. РАЗРАБОТКА МНОГОЗВЕННОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА .....	190
Саппо А.А., Варанкин Д.К. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НА СУДАХ .....	192
Тарасова Д., Порохненко К.А., Мамяко А.И. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ БУТЫЛОК В ФИЛАМЕНТ .....	194

Rizki M.A., Fedosov Yu.V. DEVELOPMENT OF METHOD FOR TRACKING THE INCLINATION ANGLE OF ADAPTIVE LASER BEAM HEAD FOR PROCESSING THE FLAT SURFACES OF MATERIALS .....	195
<b>СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОД, АВТОМАТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>200</b>
Перевалов Ю.Ю., Кудряш М.Н., Мельников А.С., Быркин Ю.С., Рябов К.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДОЛБЯКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ШЕСТЕРЁН .....	200
Викторов А.Д., Ван Фуминь ПОВЫШАЮЩИЙ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ.....	204
Курова А., Труханова Н.А., Лазовский Н.В. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАНЦИИ ПО СОРТИРОВКЕ ОТХОДОВ .....	208
Хансваров А.М., Морозова Е.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ.....	210
<b>СЕКЦИЯ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....</b>	<b>214</b>
Буравлев А.С., Сулова К.А., Прохоров А.С. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБРАЗОВАНИЯ .....	214
Дедов Д. О. МОДЕЛИРОВАНИЕ DOS-АТАК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИЧЕСКОГО СЕТЕВОГО СИМУЛЯТОРА GNS3.....	219
Карнаухова Е.А., Марквирер В.Д. ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ ПО ВОДОСНАБЖЕНИЮ В ЗДАНИИ .....	224
Сорокина С.А., Кузяков О.Н. К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	229
Стрелкова А.С., Волобуева Е.И. АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КАЛЬКУЛЯЦИИ .....	233

## СЕКЦИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

# ПЬЕЗОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

А.Д. БАРАНОВ

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В данной работе анализируется возможность использования пьезоэлектриков в качестве пластинчатых излучающих и принимающих преобразователей для акустических датчиков углового движения. В отличие от предыдущих исследований, в данной статье в качестве материала преобразователя рассматривается пьезокерамика. Путем численной оценки и моделирования определены конкретные срезы, которые можно использовать для эффективного возбуждения различных мод колебаний.

*Ключевые слова:* объемные акустические волны, скорость, ультразвук, пьезоэлектрический эффект

### Введение

В настоящее время широкое распространение получили электроакустические преобразователи, использующие пьезоэлементы, в основном в форме пьезопластин, для возбуждения и приёма ультразвуковых колебаний. Такие преобразователи применяются в различных областях, включая дефектоскопию, медицинскую диагностику, ультразвуковой контроль и акустоэлектронику. Преобразователи на основе пьезопластин позволяют излучать и принимать объемные акустические волны в широком диапазоне частот до сотен мегагерц.

В качестве материалов для пьезопластин используются монокристаллический кварц, пьезокерамика, ниобат, танталат лития и лангасит. Кроме пьезокерамики, эти материалы обладают высокой механической прочностью, что позволяет изготавливать достаточно тонкие пьезопластины, работающие на высоких частотах.

В частности, на кафедре Электроакустики и ультразвуковой техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета СПбГЭТУ «ЛЭТИ» для разработки твердотельных сенсоров угловых скоростей также используются пластинчатые пьезоэлектрические преобразователи. Важно отметить, что возбуждаемые такими преобразователями волны должны иметь линейную поляризацию для выявления возникающей ортогональной поляризации под действием сил Кориолиса [1–4].

В данной работе описывается метод оценки качества срезов пьезопластин, необходимых для эффективного возбуждения и приема объемных акустических волн различной поляризации. Метод основан на анализе угловых зависимостей характеристик акустических волн, распространяющихся в анализируемом пьезодиэлектрике. Известно, что ультразвуковая волна, распространяющаяся в пьезодиэлектрике, из-за пьезосвойств изменяет скорость своего распространения. Одним из информативных параметров является относительное приращение скорости за счет пьезосвойств.

В кристаллах возможно распространение трех акустических волн, имеющих различные скорости и взаимно ортогональные векторы поляризации. Одна волна является квазипродольной, а две другие - квазипоперечными. Если направление распространения и вектор поляризации сонаправлены, то одна волна становится чисто продольной, а две другие - чисто поперечными.

Для поиска срезов, удовлетворяющих условиям, предлагается рассматривать три параметра: скорость распространения акустической волны, относительное приращение скорости за счет пьезоэффекта и угол отклонения вектора поляризации квазипродольной волны от направления распространения. Параметры изменяются в зависимости от направления распространения в основных плоскостях (XY, YZ, XZ).

Для расчета скорости ультразвука в заданном направлении необходимо определить собственные значения и векторы тензора Грина-Кристоффеля, соответствующие векторам поляризации волн. Анализ угловой зависимости собственных чисел тензора Грина-Кристоффеля требует использования функции eigenshuffle, которая решает проблему сингулярных точек [5]. Для построения графика скоростей необходимо найти собственные числа тензора Грина-Кристоффеля с учетом и без учета пьезодобавки. График относительного приращения скорости строится по разнице скоростей с учетом и без учета пьезоэффекта, отнесенной к скорости с учетом пьезоэффекта. Угол отклонения вектора поляризации от направления распространения вычисляется с помощью арккосинуса скалярного произведения векторов.

### Анализ проведенных расчетов для кварца

На рисунке 1 представлены соответствующие графики, в плоскостях XY, YZ, XZ для кварца:

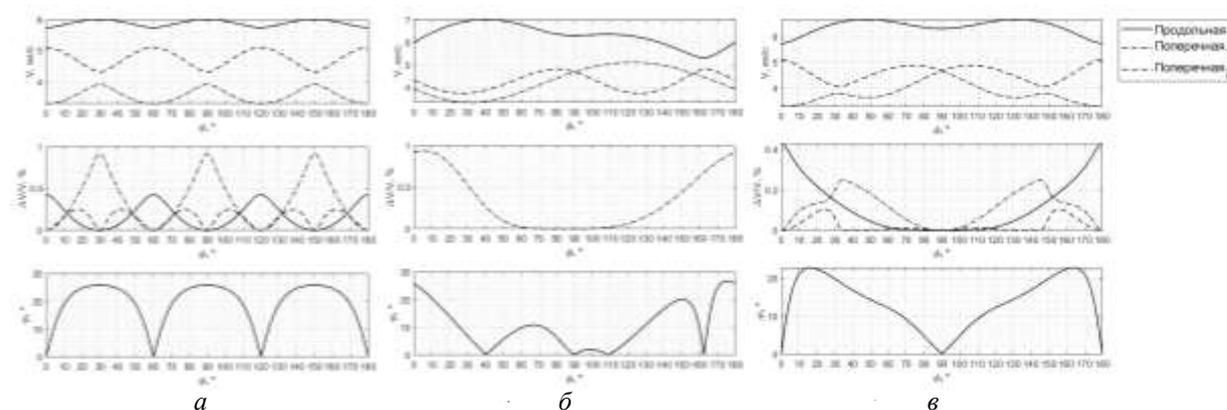


Рис. 1. Скорость распространения  $V$ , относительное приращение скорости  $\Delta V/V_p$  за счет пьезоэффекта и угол  $\psi$  отклонения вектора поляризации квазипродольной волны от направления распространения в плоскости XY (а), YZ (б), XZ (в) пьезокварца.

Из представленных графиков видно, что в направлениях плоскости XY, расположенных под углами  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  возможно возбуждать чисто продольные волны, связанные с пьезоэффектом. Таким образом, пьезокварцевые пластины X-среза позволяет возбуждать чисто продольную волну.

Из второго графика для плоскости YZ видно, что пьезоэффектом в данной плоскости обладает только одна чисто сдвиговая волна с поляризацией, перпендикулярной данной плоскости. Наиболее эффективное возбуждение наблюдается в области углов  $0^\circ - 10^\circ$ .

Третий график для данной плоскости является мало информативным, так как в этой плоскости только одна чисто сдвиговая волна обладает пьезосвойствами.

Графики для плоскости XZ кварца подтверждают, что срез X – наиболее эффективный для возбуждения продольной волны, а ось Z – в направлении которой могут распространяться чисто продольная и две чисто – поперечных не связаны с пьезоэффектом. Несмотря на то, что в данном направлении могут распространяться чисто продольная и две чисто поперечные волны с равными скоростями (график 1 и 3) они не связаны с пьезоэффектом (график 2).

### Анализ проведенных расчетов для лангасита

Лангасит – пьезоматериал, обладающий сходными с кварцем свойствами, но эффективность возбуждения акустических волн, в котором из-за пьезоэффекта немного выше. На рисунке 2 приведены рассчитанные графики для лангасита в плоскостях XY, YZ, XZ.

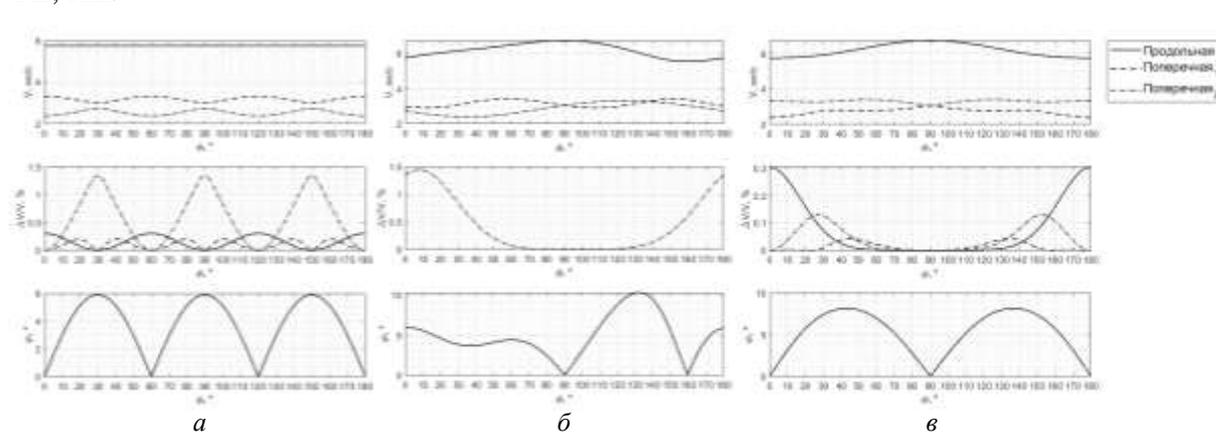


Рис.2. Скорость распространения  $V$ , относительное приращение скорости  $\Delta V/V_p$  за счет пьезоэффекта и угол  $\psi$  отклонения вектора поляризации квазипродольной волны от направления распространения в плоскости XY (а), YZ (б), XZ (в) лангасита.

Из графика 2 для плоскости XY видно, что пьезопластина из лангасита X-среза также, как для кварца, может возбуждать продольную волну с примерно такой же эффективностью. Y – срез лангасита также как кварц может быть использован для возбуждения сдвиговых волн, с эффективностью, в 1,5 раза больше. Из рисунка для плоскости YZ видно, что эффективность возбуждения будет несколько выше, если использовать срез  $Y+10^\circ$ . Из графиков для плоскости XZ видно, что в направлении Z могут распространяться волны чистых поляризаций, однако они не связаны с пьезоэффектом и не могут применяться для изготовления пьезопластин.

### Анализ проведенных расчетов для пьезокерамики

С целью исследования возможности применения пьезокерамике также было проанализировано распространение волн в керамике марки PZT-5Н. Ввиду поперечной изотропности среды, результаты, получаемые в плоскостях XZ и YZ будут совпадать, то приводятся результаты для двух плоскостей.

На рисунке 3 представлены рассматриваемые графики для плоскостей XY, YZ, XZ пьезокерамики PZT-5Н. Из графиков для плоскости XY видно, что независимо от

выбранного среза, нормаль которого лежит в этой плоскости, пьезопластина будет возбуждать с высокой эффективностью чисто сдвиговую волну.

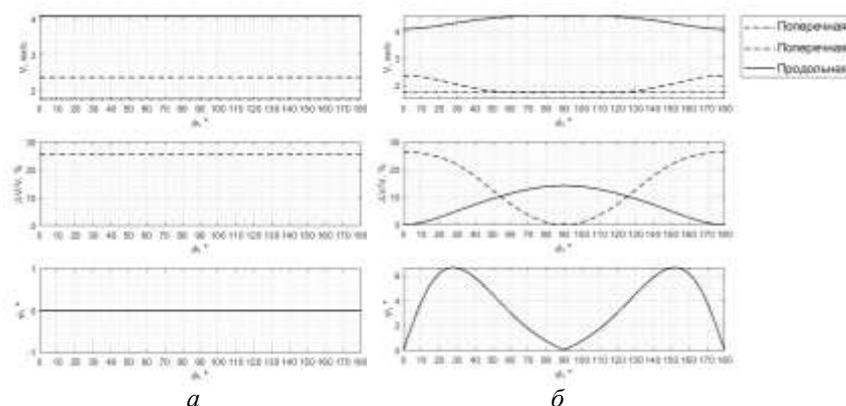


Рис.3. Скорость распространения  $V$ , относительное приращение скорости  $\Delta V/V_p$  за счет пьезоэффекта и угол  $\psi$  отклонения вектора поляризации квазипродольной волны от направления распространения в плоскости  $XY$  (а),  $YZ$  и  $XZ$  (б) пьезокерамики PZT-5H.

Из графиков для плоскостей  $YZ$ ,  $XZ$  видно, что направление  $Z$ , являющееся направлением поляризации пьезокерамики, имеет наибольшее приращение скорости, что позволяет использовать этот срез для эффективного возбуждения продольных волн.

### Выводы

Таким образом в данной работе были рассмотрены не только широко применяемые для изготовления пьезопластин кварц и пьезокерамика, но и лангасит. В результате проведенного анализа было показано, что кварц и лангасит имеют аналогичные срезы для возбуждения продольных и сдвиговых волн. Эффективность возбуждения сдвиговых волн лангаситом в 1,5 раз больше, чем у кварца. В пьезокерамике имеются срезы эффективность которых в несколько десятков раз больше, чем у таких монокристаллов как кварц и лангасит. Однако керамика в силу своей структуры не позволяет изготовить полуволновые пластины на частоты выше десяти мегагерц.

Учитывая высокую эффективность пьезокерамических преобразователей, можно использовать возбуждение пьезопластиной на нечетных гармониках, что является предметом дальнейших исследований.

### Список литературы

1. Е.С. Грибкова, Исследование особенностей распространения акустических волн для создания твердотельных датчиков движения, Канд., Дисс. [Исследование характеристик распространения акустических волн для конструкции твердотельного датчика движения, кандидатская диссертация]. С-Петербург, 2012. 132 с.
2. Дурукан Я. Исследование эффектов поляризации объемных акустических волн для создания чувствительных элементов датчиков угловой скорости: Канд. Дисс. [Исследование поляризационных эффектов объемных акустических волн для проектирования чувствительных элементов датчиков углового движения, кандидатская диссертация]. С-Петербург, 2021. 155 с.
3. Я. Дурукан, А.Н. Перегудов, Е.С. Попкова, М.М. Шевелько, “Разработка чувствительных элементов датчиков угловой скорости на объемных акустических волнах”, Тр. 6-й Российской конф. молодых ученых и специалистов «Акустика среды обитания», Москва, 2021, с. 104–109.
4. Я. Дурукан, Э.С. Попкова, А.Н. Перегудов, М.М. В. Шевелько, “Экспериментальное исследование чувствительного элемента датчика угловой скорости на объемных акустических волнах”, Тр. Конференция мо-

лодых ученых России в области электротехники и электронной техники 2022 г. (ЭлКонРус 2022), С-Петербург, 2022, с. 1058–1061.

5. Eigenshuffle – MATLAB Central. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/22885-eigenshuffle> (дата обращения: 20.04.2023).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЯХ *OSIMUM BASILICUM L.*

Н. М. БАТУХТИН, А. Э. ДЕГТЕРЕВ, М. М. РОМАНОВИЧ, И. А. ЛАМКИН

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Целью работы являлось исследование влияния освещения различного спектрального состава на флуоресценцию хлорофилла в листьях *osimum basilicum l.* Показано, что максимальной интенсивностью флуоресценции хлорофилла на 15-й день развития обладают образцы под воздействием излучения светодиодной фитоленты. Данный показатель на 62,9% лучше по сравнению с контрольной партией образцов, выращиваемой под естественным светом. На 25-й день оптимальные условия для развития сельскохозяйственной культуры достигаются под воздействием излучения фитолампы полного спектра (фитосветодиоды 400-800 нм с люминофором). Данный параметр на 2,2% лучше по сравнению с естественным светом и на 11,9% эффективнее излучения фитоленты.

*Ключевые слова:* хлорофилл, фотолюминесценция, флуоресценция, *Osimum basilicum l.*, светодиодные фитолампы, ДНаТ, КЛЛ, PPFД, агробиофотоника.

### **Актуальность и цель исследования**

Наиболее сильно на рост и развитие растений влияет излучение. Стрессовые состояния тяжело обнаружить на ранних стадиях развития растения по его внешнему виду, однако флуоресцентный анализ позволяет обнаруживать стрессовые состояния по изменению спектров лазерно-индуцированной флуоресценции. Сравнивая спектры флуоресценции хлорофилла у растений, развивающихся в различных условиях освещения, можно определить, какое освещение является наиболее эффективным. Исследования [1] показывают, что досветка растений при помощи светодиодного (СИД) освещения позволяет достигнуть наиболее благоприятных параметров света, что способствует более быстрому росту и улучшению показателей развития культур. Таким образом, можно подобрать параметры для альтернативных источников излучения, чтобы улучшить показатели роста растений. Это представляет большой интерес для сельскохозяйственной области и позволяет увеличить урожайность.

Спектр фотолюминесценции листьев растений связан с излучением хлорофилла а. Хлорофилл b люминесцирует в красной области только в растворе, а в листе энергия его возбуждения полностью передается хлорофиллу а. В области низких концентраций хлорофилла, как в экстрактах, так и в интактном листе, фотолюминесценция на длинах волн 685 и 735 нм возрастает при увеличении концентрации хлорофилла а.

Изменение спектрального состава освещения является практическим подходом для получения сельскохозяйственных культур с различной питательной ценностью при выращивании в закрытом грунте. Исследование направлено на оценку влияния одиннадцати различных режимов освещения на рост и развитие базилика, а также

выявление наиболее эффективного режима освещения, что позволит повысить эффективность роста растений и их урожайность [2].

### Проведение экспериментов

Для исследования в качестве модельного растения был выбран *osimum basilicum* L, так как данная культура содержит в себе большое количество полезных биологических элементов, а также является востребованным объектом для исследования из-за большого количества эфирных масел.

Для обеспечения растений плотностью фотосинтетического фотонного потока (PPFD) не менее  $100 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , а также для создания условий освещения с различным спектральным составом, были использованы следующие источники: фитолампа полного спектра на основе фитосветодиодов 400-800 нм; натриевая газоразрядная лампа (ДНаТ); компактная люминесцентная лампа (КЛЛ); светодиодная фитолента; белая СИД лампа; СИД освещение в соотношениях по цветам согласно ГОСТ Р 58461—2019 100% излучения в «синей» области ФАР (С); 75%С+25% излучения в «красной» области ФАР (К); 50%С+50%К; 25%С+75%К; 100%К; естественное освещение (ЕС). Стенд подключен к автоматическому поливу, боксы отделены перегородками для изоляции растений от постороннего излучения. В каждом боксе расположено 30 образцов, производилась выборка из 5 образцов для каждого вида освещения. Выбирались образцы с наилучшим темпом роста, наибольшей массой листьев, учитывалась мощность корневой системы.

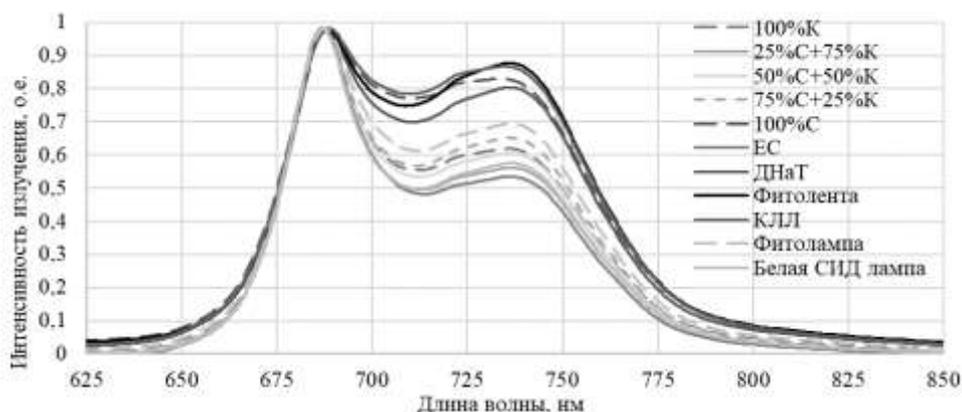


Рис. 1. Спектр флуоресценции хлорофилла на 15-й день

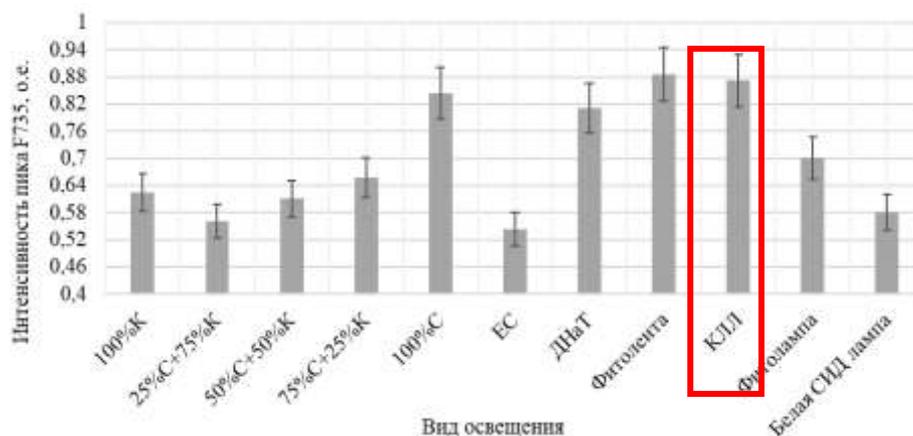


Рис. 2. Сравнение интенсивности флуоресценции хлорофилла на 15-й день

На рисунке 1 видно, что максимальной интенсивностью флуоресценции хлорофилла на 15-й день развития обладают образцы под действием излучения светодиодной фитоленты. Данный показатель на 62,9% лучше по сравнению с контрольной партией образцов, выращиваемой под естественным светом. Таким образом были исследованы 55 образцов: спектры флуоресценции семядольных и последующих листьев. При обработке данных было найдено среднее значение интенсивности излучения пика F735.

На 25-й день исследования видно (рис. 3-5), что максимальной интенсивностью флуоресценции хлорофилла обладают образцы под воздействием излучения коммерческой фитолампы полного спектра (фитосветодиоды 400-800 нм с люминофором). Данный параметр на 2,2% лучше по сравнению с естественным светом и на 11,9% эффективнее излучения фитоленты, которая характеризовалась наибольшим образованием хлорофилла в листьях базилика на 15-й день развития.

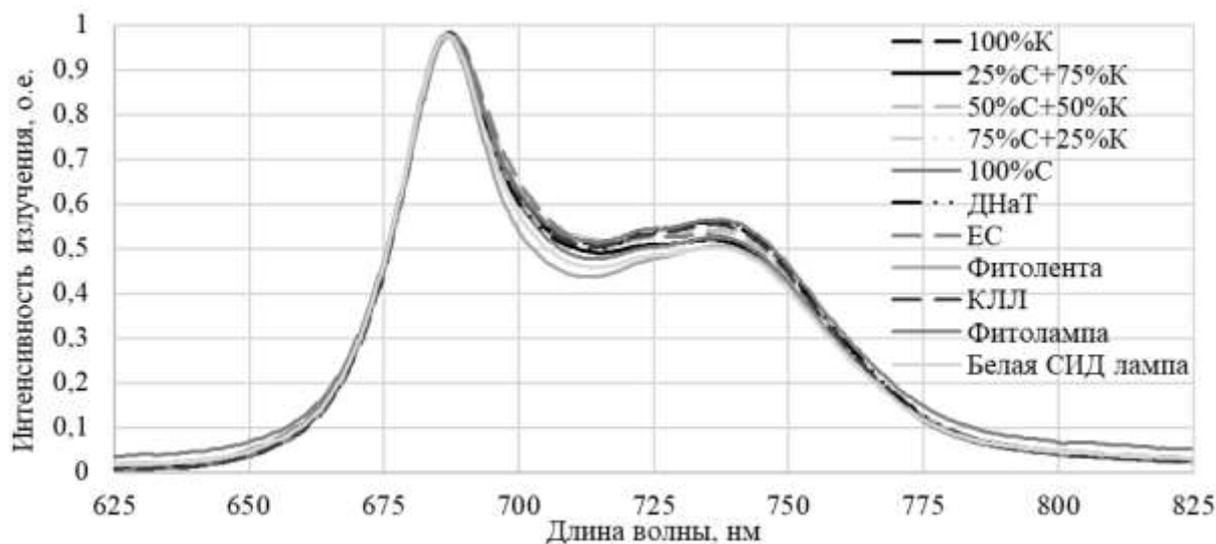


Рис. 3. Спектр флуоресценции хлорофилла на 25-й день

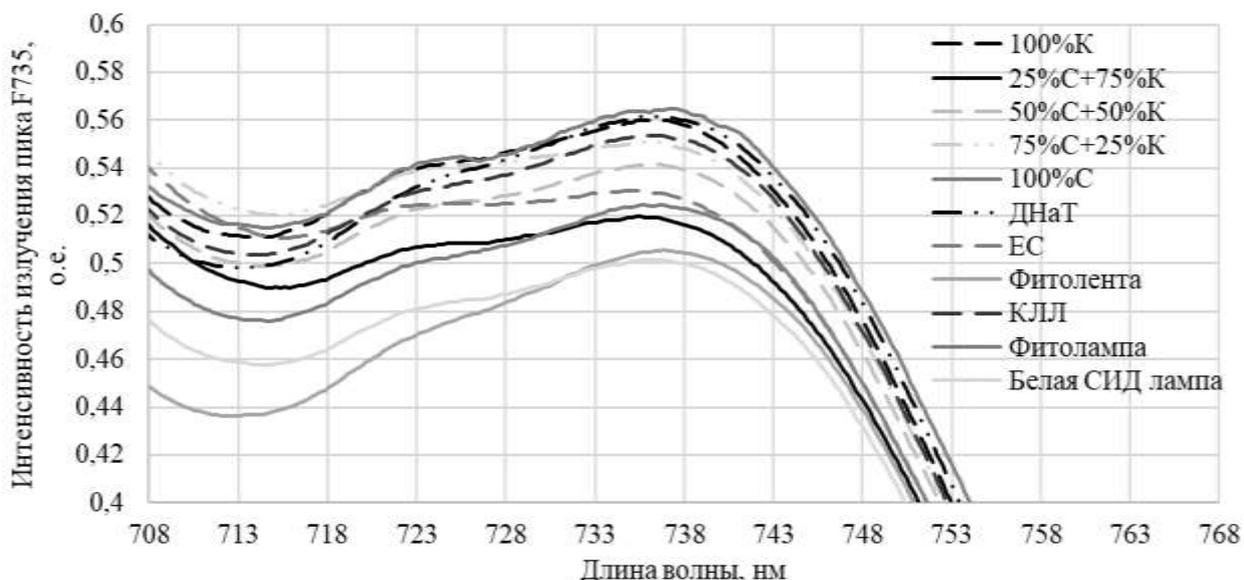


Рис. 4. Спектр флуоресценции хлорофилла на 25-й день в масштабе

Параметр F735/F685 зависит от микроклимата внутри камеры роста: влияние оказывают уровень и сбалансированность минерального питания, концентрация углекислого газа, освещенность и длительность светового дня, влажность почвы и воздуха. Отношение максимальных значений интенсивности фотолюминесценции F735/F685 и относительная скорость прироста биомассы *osimum basilicum* L определяются одними и теми же факторами, изменения которых однонаправлены, а максимальное значение параметра F735/F685 соответствует оптимальным условиям развития сельскохозяйственной культуры [3]. Поскольку в камерах роста поддерживались одинаковые климатические условия и условия минерального питания, можно сделать вывод, что на интенсивность флуоресценции хлорофилла оказывал влияние только вид освещения.

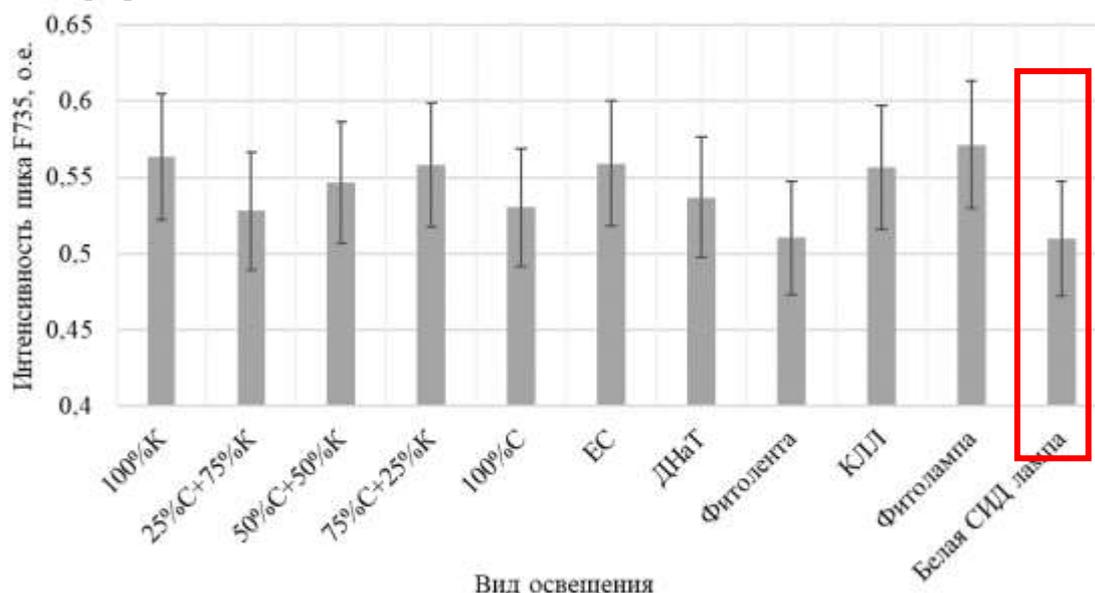


Рис. 5. Сравнение интенсивности флуоресценции хлорофилла на 25 день

### Заключение

Спектры фотолюминесценции *osimum basilicum* L, проращиваемого при различных условиях, при возбуждении лазерным излучением длиной волны 405 нм характеризуются двумя пиками в длинноволновой области электромагнитного спектра. Пик на длине волны 685 нм (F685) не имеет сильного смещения и постоянен. Пик 735 нм (F735) характеризует содержание хлорофиллов в тканях листа. Таким образом, в результате эксперимента было выявлено, что на раннем этапе развития растения наилучшим источником освещения для активации синтеза хлорофилла является светодиодная фитолампа. С 15-го по 25-й дни ее эффективность снижается, поэтому следует использовать фитолампы полного спектра (фитосветодиоды 400-800 нм с люминофором).

### Список литературы

1. Spalding, E.P., Folta, K.M. Illuminating topics in plant photobiology. *Plant Cell Environ.* 2005; 39–53.
2. М. М. Романович, N. V. Roshina, A. A. Aleksandrova, S. A. Tarasov, I. A. Lamkin, The Optoelectronic Semiconductor Device Based of the Leds to Improve Plant Growth // Conference: 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2020, DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039256.
3. A. N.Misra, M. Misra, R. Singh. Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. *Biophysics*, Chapter: 7, 2022 DOI: 10.5772/35111.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНОЙ ФИТОЛЕНТЫ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА БАЗИЛИКА

Богданов А.А., Романович М.М., Ламкин И.А.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

**Аннотация.** В работе проведено исследование влияния излучения светодиодной фитоленты и компактной люминесцентной лампы (КЛЛ) на ростовые показатели базилика в стадии проращивания. Средняя высота ростков, освещаемых светодиодной фитолентой, на 15-й день вегетации базилика была больше высоты ростков под КЛЛ на 40%. Скорость развития листьев под светодиодным освещением на 139% выше, чем при освещении люминесцентной лампой при равном энергопотреблении.

*Ключевые слова:* светодиод, фитолента, КЛЛ, фотосинтетически активная радиация, плотность фотосинтетического потока фотонов, эффективность, спектральная характеристика, агробиофотоника

### Введение

Развитие микроэлектронной промышленности, глубокое и всеобъемлющее распространение светодиодов, а также рост потребности городского населения в свежих овощах и зелени способствовали развитию новой сельскохозяйственной технологии – вертикального земледелия. В настоящее время популярным стало обустройство миниатюрных тепличных комплексов, оснащенных искусственным освещением. Одним из вариантов реализации осветительных систем является изготовление светильников на основе светодиодных лент. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими распространенными источниками света, такими как люминесцентные лампы: прочность, энергоэффективность, долговечность и низкое тепловыделение.

### Характеристики источников света

Светодиодная лента, использованная в работе, состоит из красных и белых светодиодов, обеспечивая спектр излучения, который хорошо согласуется со спектрами поглощения основных пигментов растений: хлорофилла а и b, что можно видеть на рисунке 1.

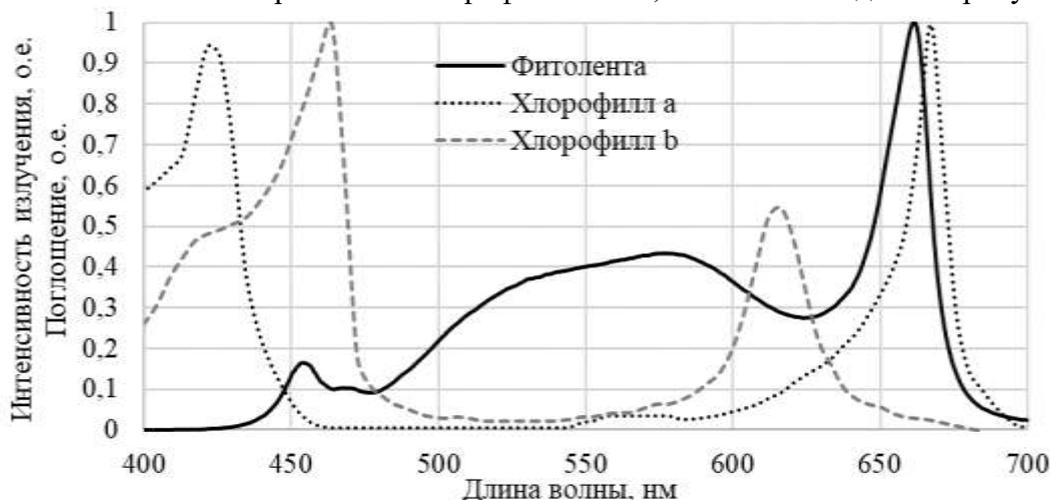


Рис. 1. Спектр излучения фитоленты при рабочем токе и спектры поглощения хлорофиллов а и b

Люминесцентная лампа, применяемая в исследовании, имеет линейчатый спектр, хуже согласующийся со спектрами поглощения пигментов (рисунок 2).

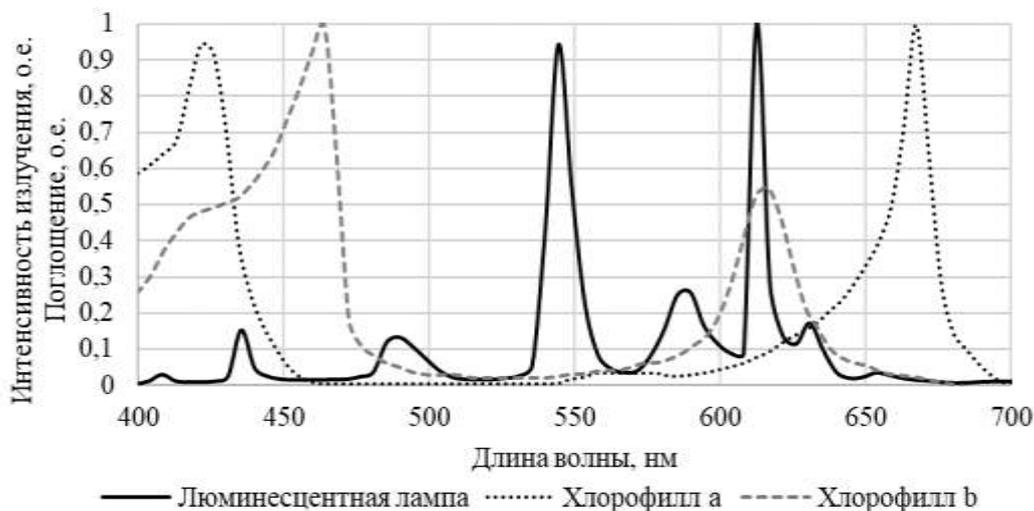


Рис. 2. Спектр излучения люминесцентной лампы и спектры поглощения хлорофиллов a и b

Помимо худшего соответствия спектрам поглощения растений, люминесцентные лампы обладают повышенным тепловыделением, не позволяющим располагать их на оптимальном небольшом расстоянии от растений для обеспечения необходимого уровня облученности без нанесения им вреда.

Для овощных культур, к которым относится базилик, требуемый уровень плотности фотосинтетического фотонного потока составляет  $100 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Без нанесения вреда растениям удалось достигнуть  $70 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  при освещении люминесцентными лампами, тогда как при использовании фитоленты был создан уровень облученности в  $250 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . При данных значениях PPFD энергопотребление обоих источников излучения было одинаковым и составляло  $0,015 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ .

### Влияние света на рост базилика

В ходе эксперимента по выращиванию базилика исследовались высота растения и площадь листьев, результаты измерений представлены на рисунках 3-4.

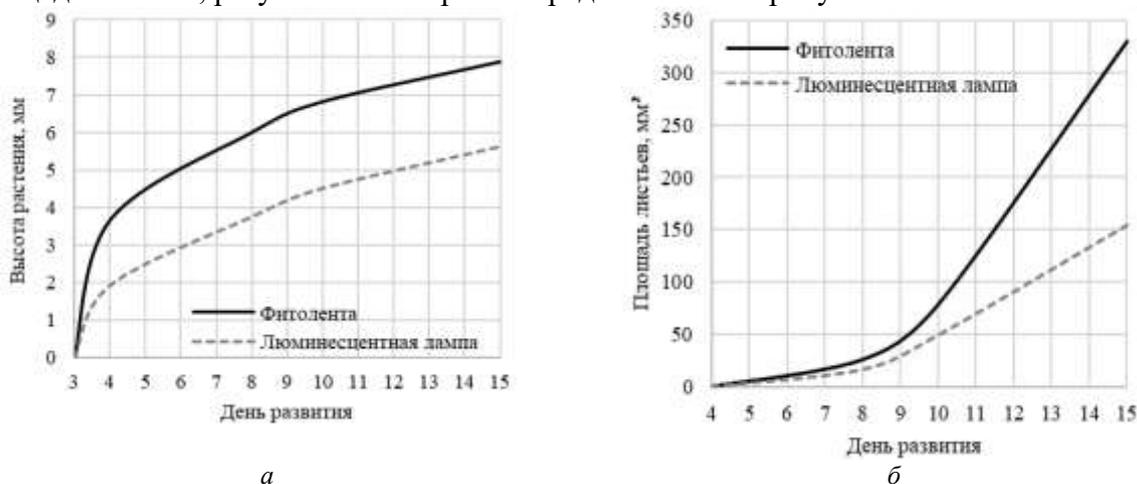


Рис. 3. Прогресс роста стеблей (а) и листьев (б) базилика

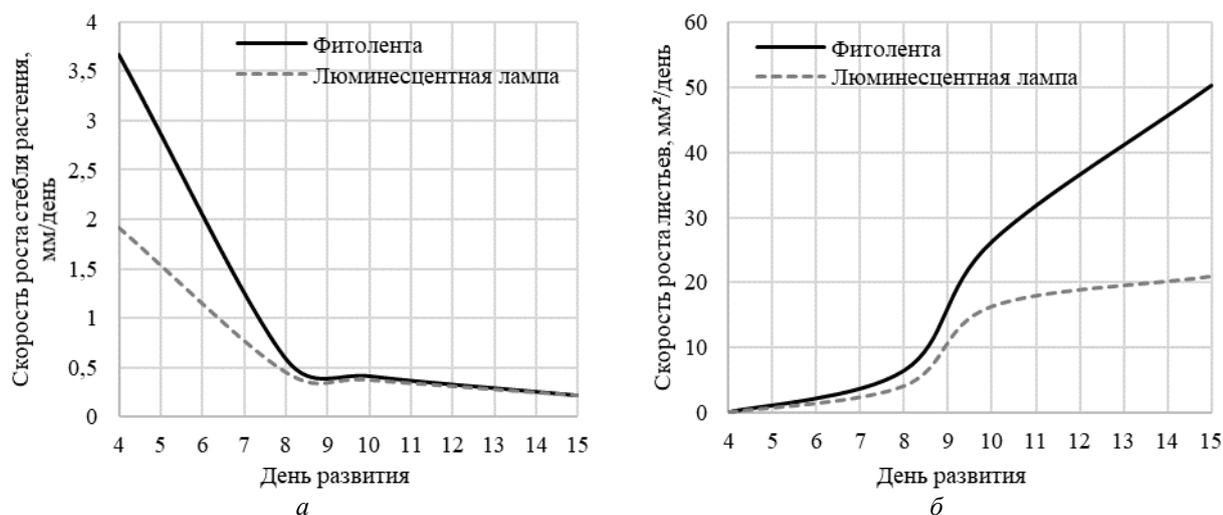


Рис. 4. Скорость роста стеблей (а) и листьев (б) базилика

Как можно наблюдать из графиков, темпы роста базилика под светодиодным освещением превышают темпы роста базилика, освещаемого люминесцентными лампами при одинаковом энергопотреблении источников излучения (рисунок 3 и 4).

### Заключение

Исходя из результатов эксперимента, можно утверждать, что использование светодиодной фитолампы позволяет достичь лучших результатов при выращивании базилика, чем при применении люминесцентных ламп. Так, средняя высота ростков, освещаемых светодиодами, к 15 дню эксперимента была больше высоты ростков под люминесцентными лампами на 40% (рисунок 3, а), средняя площадь листьев образцов на 15 день эксперимента составила 325 мм<sup>2</sup> под фитолампой и 150 мм<sup>2</sup> под люминесцентными лампами (рисунок 3, б). Таким образом, скорость развития листьев на 15 день вегетации под светодиодным освещением на 139% выше, чем при освещении люминесцентной лампой при равном энергопотреблении. Преимущество фитолампы связано с лучшим соответствием ее спектра излучения спектрам поглощения хлорофиллов а и b, большей эффективностью работы, обеспечивающей нужный уровень плотности фотосинтетического фотонного потока, а также с меньшим тепловыделением. Кроме того, светодиодные фитолампы не содержат в своем составе ртути и, соответственно, требуют более простых методов утилизации.

### Список литературы

1. Белоус А.И., Лабунов В.А., Солодуха В.А. Современная микроэлектроника: тенденции развития, проблемы и угрозы / Международный форум «Микроэлектроника–2019»: тез. докл. 5-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули», Алушта, 30 сентября – 05 октября 2019 г. / ТЕХНОСФЕРА, М., 2019.
2. Справочная книга по светотехнике / под общ. ред. Ю.Б. Айзенберга и Г.В. Бооса. 4-е издание. М.: Группа Компаний Море, 2019.
3. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений: Учебник. – М.: Высшая школа, 2006, 742 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФО- МЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИЦА

Бойко А., Кузьмина А.Д.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В данной статье проведен сравнительный анализ методик определения морфометрических параметров лица, выявлены их области применения. Описаны традиционные методы измерения лица с помощью специальных инструментов, а также развивающиеся компьютерные методы цифровой черепно-лицевой антропометрии

*Ключевые слова:* антропометрия, морфотип, распознавание лиц, обработка изображений

Уникальность лица каждого человека определяется его качественными и количественными характеристиками. Основная часть качественных характеристик лица представляется морфотипом: общей геометрической формой лица, формой частей лица (орбитальной, носовой, губной и ушной), формой примитивов лица (бровей, глаз, носа и т.д.) и фенотипа – формы и цвета волос, цвета кожи лица, цвета глаз и губ. Морфометрия лица позволяет описать количественные характеристики: размер лица, величину и параметры его примитивов, их расположение и размеры. Традиционно такая оценка выполнялась прямыми физическими измерениями лица с помощью специальных инструментов: антропометры, циркули, метрические ленты, вертеброметры, калиперы, весы, динамометры. Например, при краниометрических исследованиях использовались циркули системы Мартина. Но уже в конце XIX века, с развитием рентгенографии, эти измерения выполнялись в рамках задач антропометрии, основанной на координатах ключевых точек, определяемых «вручную» на рентгенограмме [1].

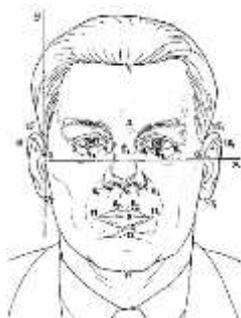
Однако подобные «ручные» методы измерения обладают высокой погрешностью, зависящей от различных факторов: неправильный выбор точек измерения, недостаточная опытность специалиста, неправильное использование инструмента или недостаточная точность [2]. Это способствовало интенсивному развитию цифровых подходов в анализе лицевой антропометрии. Как отмечается в литературе, термин «цифровая антропометрия» введен для того, чтобы отделить «цифровые методы» от обычных ручных измерений в антропометрии, поскольку и традиционные инструмента исследования остаются актуальными для некоторых задач [3].

Первые компьютеризированные системы распознавания лиц возникли в 60-х годах прошлого столетия. Метод В. У. Бледсоу требовал человеческого участия и позволял распознавать до 40 лиц в час [4]. Он создал систему, которая работала следующим образом: на планшете RAND размечали лицо, забивая координаты областей лица: глаза, нос, рот и линия волос – до 46 точек, специальный алгоритм анализировал полученное изображение – до 22 измерений, затем записанные вручную метрики впоследствии сохранялись в базе данных. С распознаванием лица такая система справлялась в 100 раз быстрее, чем человек.

В 1955 году появляется машинное зрение – научное направление в области искусственного интеллекта и связанные с ним технологии получения изображений объектов реального мира, их обработки и использования.

В 1960-ые годы появляются первые эксперименты в области машинного распознавания лица и первые системы обработки 2D-изображений. Актуальные задачи того времени – спутниковая фотосъемка, медицинская визуализация, распознавание символов и улучшение фотографий.

В период 1990-2000х годов Управление перспективных исследовательских проектов при Минобороны США (DAPRA) и Национальный институт стандартов и технологий (NIST) выпустили программу FERET с самой обширной базой лиц — более 14 тыс. изображений. Изначально ее использовали, чтобы находить преступников по всему миру. Затем представили в открытом доступе для стимулирования коммерческого рынка распознавания лиц [5], [6]. По оценкам, приведенным правительством США, с 1993 по 2010 год частота ошибок автоматических систем распознавания лиц снизилась более чем в 270 раз. [7] Распознавание лиц в таких системах состояла из нескольких шагов: автоматическое определение координат ключевых антропометрических точек (АПТ) на изображениях лиц, томографических сканах головы или черепа; оценку всех базовых размеров лица и его частей по расположению координат АПТ; оценку координат АПТ и границ примитивов лица; вычисление соотношений между выбранными координатами АПТ; составление сводных таблиц по этим соотношениям; проведение специальных статистических исследований и поиск закономерностей. Пример ключевых антропометрических точек представлен на рисунке 1.



*Рис. 1. Точки, используемые при криминалистической фотоэкспертизе*

В медицинских исследованиях часто опираются на закономерности строения лицевого и мозгового отделов черепа, пропорциональности соотношения разных отделов головы и отношений их к определенным плоскостям. Исследования проводятся в прямом контакте с пациентом, с фотографиями лица и телерентгенограммами [8]. Однако при длительном лечении или реабилитации воздействие от облучения при сканировании лица может иметь негативный характер. Чаще всего необходимость регулярного рентгенографирования возникает при челюстно-лицевой хирургии. Целью нашего исследования является анализ возможностей фотогеометрических методов обработки лиц для наблюдения состояния пациентов челюстно-лицевой хирургии путем анализа фотографий лица с учетом погрешностей точек, расположенных в зоне мимических мышц. Существует несколько методов распознавания по геометрии лица. Все они основаны на том, что черты лица и форма черепа каждого человека индивидуальны [9]. Однако при использовании автоматического определения координат точек необходимо учитывать возможные погрешности и проводить дополнительную проверку результатов, например, сравнение с ручным измерением или проверку на согласованность путем многократных измерений.

### Список литературы

1. Власов, В.Н. Возрастная морфология : практикум по практическим занятиям для студентов факультета физической культуры и спорта / В.Н. Власов. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 119 с.
2. Грекова, А. Р. Г80 Антропометрия : учеб. пособие / А. Р. Грекова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. – 124 с. ISBN 978-5-7638-2428-5
3. Биометрия по лицу: мировая история развития, сферы применения и способ оплаты. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/services/233794-biometriya-po-licu-mirovaya-istoriya-razvitiya-sfery-primeneniya-i-sposob-oplaty>
4. Кухарев Г.А., Казиева Н. Применение цифровой лицевой антропометрии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 2. С. 255–270. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-2-255-270
5. Зинин А.М., Кирсанова Л.З. Криминалистическая фотопортретная экспертиза. – М.:Наука, 1991.
6. Кухарев Г.А., Казиева Н., Цымбал Д.А. Технологии штрихового кодирования для задач лицевой биометрии: современное состояние и новые решения // Научотехнический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 1. С. 72–86. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-72-86
7. Овсянникова Кристина Байрамовна. Лабораторные методы обследования зубочелюстной системы в ортодонтии. Антропометрические, графические, рентгенологические методы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://old.ngmu.ru/src/portfolio/109044.pdf>
8. Персин, Л. С. Стоматология. Нейростоматология. Дисфункции зубочелюстной системы : учеб. пособие / Л. С. Персин, М. Н. Шаров - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2013. - 360 с. - ISBN 978-5-9704-2728-6.
9. Мирсаев Т.Д. Методика определения центрального соотношения челюстей: Методические рекомендации / Мирсаев Т.Д., – Екатеринбург: Издательский Дом «ТИРАЖ», 2019. – 20 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ «КАРБОНОВОГО СЛЕДА» ТЕРРИТОРИИ

В.В. АЛЕКСЕЕВ, Н.В. ОРЛОВА, В.С. БРЫЗГАЛО

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Рассматривается использование геоинформационных технологий для оценки карбонового воздействия на исследуемую территорию для сведения к минимуму антропогенной нагрузки на природные экосистемы. Реализуется ГИС-проект и структура базы геоданных, позволяющие в полуавтоматическом режиме сформировать оценку состояния территориальных объектов (природных и техногенных) с учетом углеродного баланса.

*Ключевые слова:* карбоновый след; база геоданных, эмиссия парниковых газов, геоинформационные технологии.

### 1. Введение

В настоящее время одной из приоритетных задач мирового сообщества является контроль и всемерное снижение выбросов парниковых газов.

По данным некоммерческой организации Global Footprint Network и Всемирного фонда дикой природы (WWF), на протяжении более чем 40 лет потребление человечеством природных ресурсов превосходило способность Земли к их воспроизводству, что привело к дефициту биоёмкости. [1, 2]

Сегодня человечество оставляет такой экологический след, что для воспроизводства всех ресурсов, которые оно потребляет, по оценкам экологов, нужно примерно полторы планеты Земля. [3]

Наибольший вклад (около 50%) в антропогенное воздействие на окружающую среду вносит углеродный (карбоновый) след – совокупность всех выбросов парниковых газов, связанных с деятельностью человека. Это в первую очередь эмиссия углекислого газа  $\text{CO}_2$  и метана  $\text{CH}_4$ , которая растёт более высокими темпами, чем общий экологический след. Такой существенный уровень воздействия на биосферу усугубляет риски в том числе и глобального потепления, грозящего необратимыми изменениями экосистемы Земли. Осознание этой проблемы привело к введению целого ряда законодательных ограничений.

Поэтому оценка углеродного следа становится всё более актуальной и с экономической точки зрения, в частности после введения Евросоюзом так называемого «углеродного налога». [4]

При этом Российская Федерация занимает выигрышное положение среди других стран по потенциалу снижения углеродного следа – поскольку располагает большими нетронутыми территориями, включая лесные, а также существенным внутренним резервом ресурсо- и энергосбережения. Страна способна реализовать это преимущество, как используя регенеративные возможности экосистем, так и повышая энергоэффективность производств.

Таким образом, оценка и впоследствии уменьшение «карбонового следа» является очень важной задачей, решение которой может способствовать снижению рисков и/или смягчению последствий необратимых изменений климата.

## **2. Обработка исходных данных**

Исходными данными для создания ГИС-проекта и структуры базы геоданных являются:

– Территория, которая формируется на основе слоёв с административной, муниципальной принадлежностью территорий и слоев с характеристиками типа использования территории. Содержит информацию о типе территории (дороги, промзоны, крупные промышленные комплексы); площади областей, входящих в территорию; принадлежности к району города;

– Таблицы, содержащие информацию об источниках выбросов углекислого газа;

– Таблицы, содержащие коэффициенты выбросов и данные о деятельности, приводящей к выбросам за год для каждой категории источников.

Объемы выбросов парниковых газов в работе классифицируются на основе методики расчета выбросов углекислого газа – Минприроды России по проведению инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах РФ. Схема приведена на рисунке 1. [5]

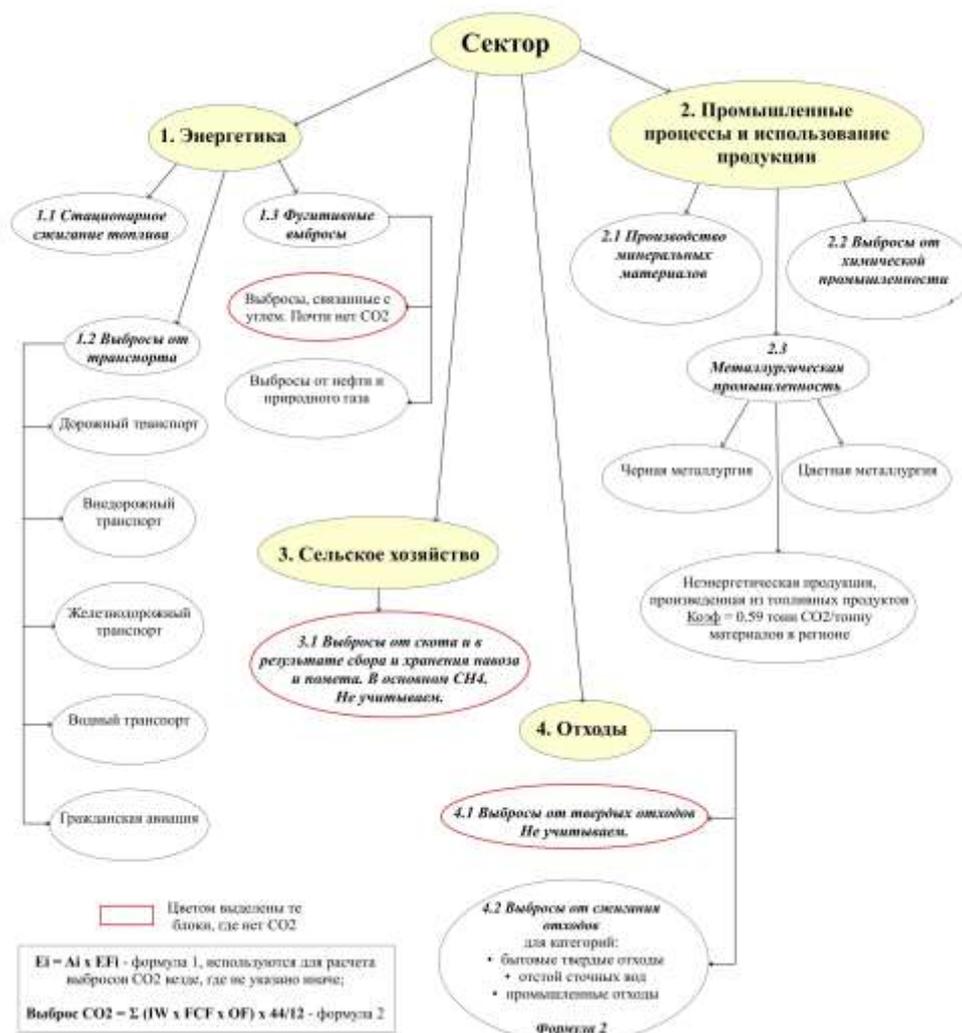


Рис. 1. – Схема классификации

### 3. Принцип работы с ГИС-проектом

Разрабатываемая с помощью геоинформационных технологий структура базы геоданных используется для определения «карбонового следа» территориального объекта с отображением итогового результата на тематической карте в автоматическом режиме.

Использование свойств базы геоданных позволяет делать ряд взаимосвязанных выборов, на основе которых и формируется оценка «карбонового следа». В соответствии с Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации используется классификация на следующие сектора:

- 1) Энергетика;
- 2) Промышленные процессы и использование продукции;
- 3) Сельское хозяйство;
- 4) Отходы

Каждый сектор, в свою очередь, учитывает различные категории источников выбросов парниковых газов. Так, например для сектора Энергетика, для выбросов от транспорта рассматриваются выбросы от дорожного, внедорожного, железнодорожного, водного и транспорта гражданской авиации. Определение подсектора – второй уровень выбора.

Каждый подсектор имеет ряд источников выбросов. Например, для дорожного транспорта источниками является автомобильный бензин, дизельное топливо и др.

Определение источника – третий уровень выбора.

Таким образом, после выбора всех необходимых параметров база геоданных, используя свои свойства, в автоматическом режиме подтягивает значения переменных, которые используются при расчете «карбонового следа», согласно формуле 1:

$$E_i = A_i \cdot EF_i, \text{ где}$$

$E_i$  – выброс в атмосферу  $i$ -ого газа,

$A_i$  – коэффициенты для пересчета массовых выбросов индивидуальных газов в  $CO_2$ -эквивалент. Необходимо, так как выбросы парниковых газов выражаются в единицах массы, как правило, в гигаграммах ( $Gg = 1000$  тонн). А совокупные выбросы различных парниковых газов, например, совокупный региональный выброс, выражаются в  $Gg$   $CO_2$ -эквивалента,

$EF_i$  – данные о деятельности объекта исследования (предприятие, КАД) за год.

#### **4. Отображение результатов на тематической карте**

Для оценки «карбонового следа» используется значение предельно допустимых выбросов (ПДВ), по которому осуществлено нормирование итоговых результатов. Значение ПДВ для предприятий найдено в открытых новостных источниках, согласно которым Министерство экономического развития разработало критерии выбросов в  $CO_2$ -эквиваленте для регулируемых организаций. В частности, организация будет отнесена к регулируемой в случае, если сумма выбросов парниковых газов по основному или дополнительному виду хозяйственной деятельности либо производственному процессу превысит 150 тыс. тонн эквивалента углекислого газа в год. [6]

Опираясь на эту информацию, принято решение принять ПДВ равным 150 тыс. тонн для демонстрации работы базы геоданных.

Результат работы проекта представлен на рисунке 2. Над полигонами, для которых проводилась оценка «карбонового следа», отражены значения итоговых выбросов в тыс. тонн, рассчитанные в процессе работы базы. В таблице содержания и с помощью цветового градиента отражено нормирование результатов относительно ПДВ.



Рис. 2. – Итоговый вид тематической карты

## 5. Заключение

Таким образом, в результате работы была составлена методика формирования ГИС-проекта, ГИС-проект и структура базы геоданных, которая опирается на методику расчета выбросов углекислого газа Минприроды России. С помощью свойств базы геоданных реализован расчёт «карбонового следа» территориального объекта на основе выбора параметров с учетом соответствующих коэффициентов и других переменных. Полученные результаты отображены на тематической карте с использованием нормирования по ПДВ (предельно допустимые выбросы).

## Список литературы

1. Global Footprint Network. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/> (дата обращения: 18.04.23).
2. Living Planet Report 2014 [Электронный ресурс]. URL: [wwf.panda.org](http://wwf.panda.org) (дата обращения: 19.04.23).
3. Экологический след субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: [www.wwf.ru](http://www.wwf.ru) (дата обращения: 19.04.23).
4. Новости РБК [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/economics/26/07/2021/60fac8469a7947d1f4871b47> (дата обращения: 19.04.23).
5. Минприроды России. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объёма выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. – М., 2015. 750 с.
6. Парламентская газета. Критерии выбросов CO<sub>2</sub> для регулируемых предприятий [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pnp.ru/politics/minekonomrazvitiya-predlozhilo-kriterii-vybrosov-co2-dlya-reguliruemyykh-predpriyatiy.html> (дата обращения: 18.04.23).
7. Петров И.В., Коробова О.С. Снижение эмиссии парниковых газов за счет внедрения энергосберегающих технологий. – М., 2012. 279 с.

## АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

ГВОЗДЕВ Д.С., АНТОНЮК Е.М., АНТОНЮК П.Е.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Возрастающие объемы измерительной информации вынуждают современные производства к модернизации в сфере проведения технической диагностики и контроля. Перспективным направлением для решения данных задач является введение адаптивного алгоритмического обеспечения, которое позволяет системам диагностики повысить свою эффективность. Использование последовательно-параллельного анализа отклонений позволяет сократить избыточность информации в разы, при этом сохраняя надежность контроля на показателях, приближающихся к единице.

*Ключевые слова:* информационно-измерительная система; адаптация; система технической диагностики; алгоритмическое обеспечение; малоактивные параметры.

### **Введение**

В последние годы в России все более остро обозначилась проблема повышения эффективности и качества выпускаемой продукции, а также снижения издержек производства. Автоматизация процессов производства является одним из наиболее эффективных путей решения этих задач. В настоящее время, многие используемые средства автоматизации не соответствуют современным потребностям, во многом, потому что построены на устаревших принципах. Конечно, данные системы модернизируются, позволяя оставаться данным системам актуальными для большинства стоящих перед ними задач, но вполне очевидным становится то, что существует предел, после которого усовершенствование системы невозможно без перехода на принципиально новый технологический уровень. В связи с этим возникает необходимость в разработке и изучении новых методов и средств управления.

Довольно сложно представить современный технологический процесс без операций измерения параметров объекта. Именно по этой причине вопросы организации и управления измерениями стали актуальными для многих отраслей промышленности. В основе такой модернизации лежит создание информационно-измерительных комплексов с использованием высокотехнологичной электронно-компонентной базы. Информационно-измерительная система (ИИС) - это совокупность технических средств, обеспечивающих измерение и преобразование параметров технологического процесса, а также передачу, обработку и хранение информации. В состав информационно-измерительных систем входят измерительные преобразователи, измерительные каналы, системы управления и сигнализации, информационно-вычислительные комплексы и системы, системы автоматического регулирования. Под аббревиатурой ИИС скрывается целый ряд систем, среди которых: измерительные системы (ИС), системы автоматического контроля (САК), системы технического диагностирования (СТД), системы распознавания образцов (идентификации) (СРО). Каждый вид выполняет определенные задачи, так, например, измерительные системы (ИС) непосредственно производят лишь измерение и обработку полученной информации об объекте. В свою же очередь, системы автоматического контроля (САК), которые помимо измерения и обработки информации занимаются выработкой управляющих воздействий, которые позволяют осуществлять управление системами в автоматическом режиме и т.д. Как видно из приведенно-

го примера, каждая из этих систем, даже обладая своей спецификой, в своей основе содержит процесс измерения и обработки информации.

Также, одним из видов информационно-измерительных комплексов являются системы технического диагностирования, которые позволяют осуществить определение технического состояния объектов [1]. Основной задачей технического диагностирования является обеспечение функциональной и параметрической надежности контролируемого объекта, его эффективности, за счет сокращения затрат на его техническое обслуживание, которое влечет за собой снижение количества отказов и внеплановых ремонтных работ. В частности, СТД обеспечивают безопасность эксплуатируемого оборудования.

### **Постановка задачи**

Под системой технической диагностики, в данном случае будем понимать ИИС, в которой производится сбор измерительной информации от большого количества первичных преобразователей (датчиков) однородных параметров. Современные вычислительные возможности компонентов, из которых состоят измерительные системы, позволяют получать и обрабатывать информацию от сотен и даже тысяч источников (каналов). Системы технического диагностирования (СТД) имеют два принципа организации работы: с помощью дискретного и непрерывного опроса каналов. Конечно, непрерывный контроль над параметрами объекта, является более совершенным в плане достоверности диагностирования, но такого рода построение алгоритма работы вынуждает организовывать измерительный тракт для каждого параметра в отдельности, что неэффективно, как с технической, так и экономической точки зрения. Использование же дискретного опроса, позволяет использовать одинаковые средства обработки информации, лишь осуществляя переключение между каналами опроса. Но это же в свою очередь создает и другой недостаток – избыточность информации, получаемой об объекте. В качестве компромиссного варианта можно считать использование адаптивного алгоритма функционирования, который позволяет осуществлять приоритетный опрос только тех измерительных каналов, параметры которых не соответствуют заданным пороговым характеристикам.

Адаптивные системы технической диагностики наиболее бурно развивающаяся область, которая позволяет изменять алгоритм и даже структуру системы относительно изменяющихся значений измеряемых величин и условий работы.[2] По принципу действия такие системы делятся на системы с адаптивной коммутацией и системы с адаптивной дискретизацией. В основе метода адаптивной дискретизации лежит изменчивость частоты опроса источников (каналов) измерительной информации. Принцип действия адаптивной коммутации заключается также в разной частоте опроса каналов, только такое непостоянство основано на выборе наиболее важного для контроля и диагностики измерительного канала, т.е. частота опроса для всех каналов одинакова, но вот приоритетность при выборе источника получения информации системой выбирается относительно заданного алгоритма.

### **Системы с последовательно-параллельным анализом отклонений**

Из [2] известно о нескольких типах построения систем с адаптивной коммутацией: параллельном, последовательном и последовательно-параллельном. Особый интерес представляет последовательно-параллельный принцип построения схемы опроса каналов измерительной информации. Такие системы сочетают в себе высокую достоверность и скорость опроса каналов с простотой технической организации.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы технической диагностики с последовательно-параллельным анализом отклонений.

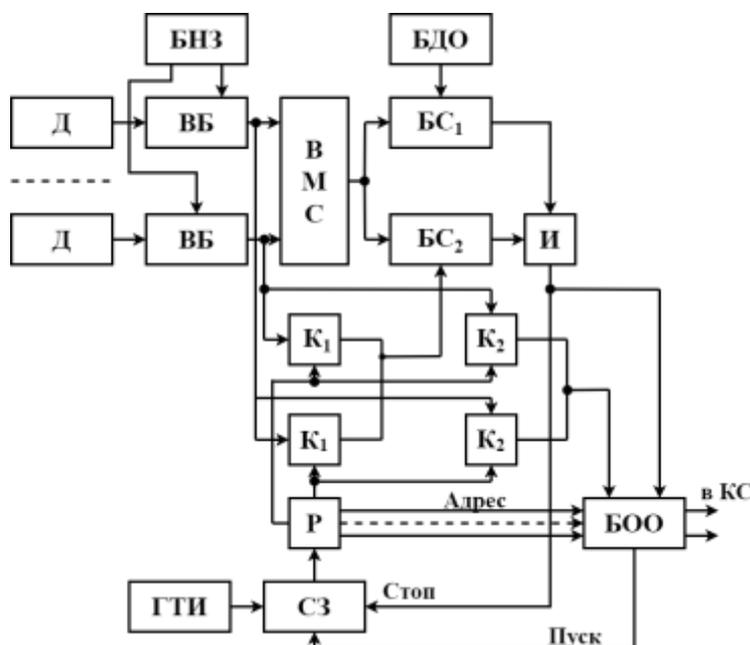


Рис. 1. Структурная схема СТД с последовательно-параллельным анализом отклонений

Обозначение на рисунке 1: Д – датчик; ВБ – вычитающий блок; БНЗ – блок номинальных значений; ВМС – выявитель максимального сигнала; БС<sub>1</sub> и БС<sub>2</sub> – блоки сравнения; БДО – блок допустимых отклонений; С – сумматор; И – логический элемент «И»; К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub> – ключи; Р – распределитель; ГТИ – генератор тактового сигнала; СЗ – схема запуска; БОО – блок обнаружения отклонений.

Алгоритмическое обеспечение для данной схемы СТД подробно описано в [3]. В данном случае, в качестве критерия анализа выступает максимальное отклонение значений измеренного параметра от допустимого отклонения. При последовательно-параллельном методе анализа отклонений выделение наибольшего отклонения осуществляется параллельно, а номер параметра, имеющего это наибольшее отклонение, находится с помощью последовательного опроса всех отклонений. В этом случае не требуется запоминать предыдущие значения отклонений, и потому скорость опроса может быть максимально высокой в соответствии с выбранной элементной базой.

### Устройство контроля малоактивных параметров

Однако, при общей высокой активности контролируемых параметров может возникнуть ситуация, когда некоторые параметры опрашиваются, а, следовательно, и контролироваться не будут.[4] Среди причин возникновения такой ситуации могут быть случаи, когда величина какого-либо параметра всегда меньше наибольшего из всех параметров системы. Не исключена и тривиальная неисправность в схеме обработки измерительной информации. Для исключения таких ситуаций в систему вводится устройство контроля малоактивных параметров, структурная схема, которой представлена на рисунке 2.

Принцип действия данного устройства детально представлен в [4]. Стоит лишь сделать заключение о том, что принудительный контроль малоактивных и даже неисправных

каналов адаптивной системы повышает её эффективность и может быть очень важным в случае, когда пропуск выхода из зоны допустимых значений канала может привести к серьёзным последствиям.

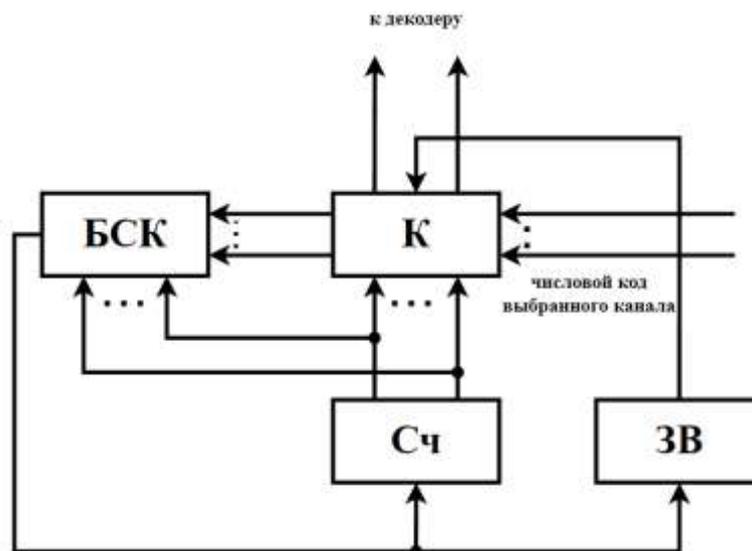


Рис. 2. Структурная схема устройства контроля малоактивных параметров

Обозначение на рисунке 2: БСК – блок сравнения кодов; К – коммутатор; СЧ – счетчик; ЗВ – задатчик времени.

### Заключение

В заключение отметим, что использование адаптивных алгоритмов функционирования, в частности последовательно-параллельного анализа отклонений, в системах технической диагностики позволяет в несколько раз увеличить эффективность и достоверность технического контроля. Исследование показали, что объем избыточной информации может быть сокращен более чем в четыре раза, а введение устройства контроля малоактивных параметров приближает достоверность контроля к единице [5].

### Список литературы

1. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М: «Стандартинформ», 2009. – 10 с.
2. Б.Я Авдеев, Е.М. Антонюк, С.Н. Долинов, Л.Г. Журавин, Е.И.Семенов, А.В. Фремке; под ред. А.В. Фремке Адаптивные телеизмерительные системы. Л.: Энергоатомиздат, 1981. 248 с.
3. Е.М. Антонюк, П.Е. Антонюк, Д.С. Гвоздев Адаптивная система автоматического контроля с последовательно-параллельным анализом отклонений // В сборнике: Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии», 2022. – с. 15-18.
4. Antonyuk E.M., Antonyuk P.E., Gvozdev D.S. – Control Device for Low-Active Parameters in Adaptive Systems with Time Division of Channels // В сборнике: Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2023
5. Alekseev V.V., Antonyuk E.M., Varshavsky I.E. Algorithmic support of adaptive automatic control systems with data compression. Izv. Russian universities. Radioelectronics. 2020. V. 23. No. 6. S. 84-99. DOI:10.32603/1993-8985-2020-23-6-84-99

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ ВИНТА ДЛЯ БПЛА

А.Д. Кокорев.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Квадрокоптеры – это устройства, состоящие из четырех моторов и пропеллеров, способных летать в воздухе и маневрировать в пространстве. В последние годы квадрокоптеры приобрели широкую популярность благодаря своей универсальности и простоте управления. Они используются в различных сферах деятельности: аэрофотосъемка, видеосъемка, доставка товаров и многие другие. Актуальной задачей является снижение уровня акустического шума. С этой целью были разработаны и изготовлены винты тороидальной формы. Проведён спектральный анализ шума на частотах от 25 Гц до 20 кГц, результаты которого приведены в статье.

*Ключевые слова:* квадрокоптер, тороидальный винт, акустический шум, спектральный анализ.

В настоящее время квадрокоптеры являются неотъемлемой частью нашей жизни. Их используют как частные лица, так и крупные компании для выполнения определённых задач. Одна из важнейших проблем этих устройств – пронзительный шум пропеллеров. По данным статистики, люди находят этот звук более раздражающим, чем любой другой шум [1]. Поэтому при массовом использовании БПЛА важную роль играет задача снижения акустического шума, порождаемого винтомоторной группой. Исследователи из Массачусетского технологического института предложили концепцию тороидального винта, основываясь на том, что конструкция закрытой формы уменьшает и контролирует эффекты сопротивления закручивающихся воздушных каналов (т. е. вихрей), создаваемых на концах лопастей, и повышает общую жесткость воздушного винта. Таким образом, акустическая сигнатура винта в разы снижается, не влияя на его характеристики [2].

В качестве возможности уменьшения шума, основываясь на данной концепции, была проведена модернизация винта квадрокоптера фирмы "Геоскан" российского производства, внешний вид которого показан на рис. 1. Винт был смоделирован в программной среде SOLIDWORKS, используя метод соединения множества смещённых плоскостей. Эскиз полученной модели приведён на рис. 2.



Рисунок 1. Квадрокоптер фирмы "Геоскан" Пионер Базовый

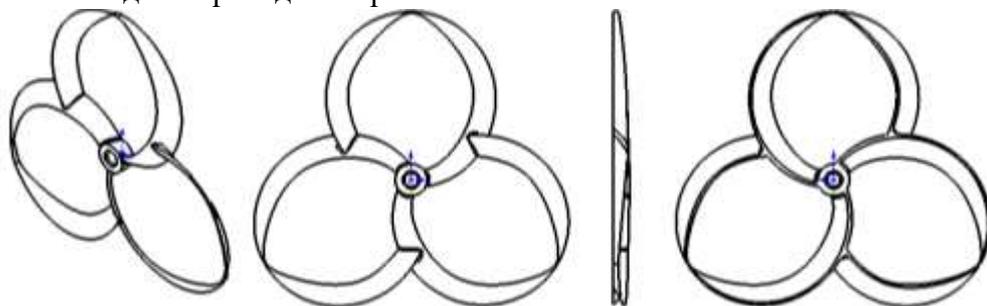
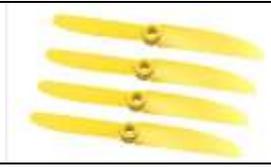


Рисунок 2. Эскиз тороидального винта в SOLIDWORKS

С помощью технологии аддитивной печати винт был физически реализован. При этом были опробованы различные материалы. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики винтов.

Таблица 1. Сравнение винтов из различных материалов

Оригинальная форма винтов		
Характеристики	Параметры	
Диаметр	5 дюймов	
Масса винта	2.10 грамма	
Шаг	3 дюйма	
Материал	Усиленный нейлон	
Тороидальная форма винтов №1		
Характеристики	Параметры	
Диаметр	5 дюймов	
Масса винта	4.95 грамм	
Шаг	2.5 дюйма	
Материал	PLA-пластик	
Тороидальная форма винтов №2		
Характеристики	Параметры	
Диаметр	5 дюймов	
Масса винта	4.80 грамм	
Шаг	2.5 дюйма	
Материал	PETG Carbon Fiber	

Винты оригинальной формы созданы с помощью технологии литья под давлением. Такие винты очень лёгкие и прочные. Винты тороидальной формы были созданы с помощью технологии аддитивной печати из двух различных видов пластика, но винт получался тонким и гибким. По этой причине было произведено горизонтальное расширение модели, что существенно увеличило массу винта, но в значительной степени повысило прочность. Для достижения лучших параметров, винт печатался толщиной слоя 0.1 мм. Винты из PLA-пластика обладают определённой гибкостью и жёсткостью, но это не даёт устойчивости к механическим повреждениям. При работе с квадрокоптером внутри винтов со временем образовывались микротрещины и небольшие сколы на лопастях. Благодаря печати из PETG-пластика винты более жёсткие и прочные. К тому же этот пластик лучше подвержен механической обработке, за счёт чего края и основная часть винта становятся более гладкими.

Следующим этапом было сравнение акустического шума квадрокоптера с различными формами винтов. При проведении экспериментальных испытаний использовались два квадрокоптера Геоскан Пионер, на одном из которых были установлены стандартные винты от производителя, а на другом – тороидальные. Для измерения шума использовался шумомер Октава-110А, который позволяет проводить измерения в режимах: звук, ультразвук, инфразвук, общую и локальную вибрацию, а также используется для частотного анализа сигналов, поступающих от различных первичных преобразователей (например, микрофон) [3].

Эксперимент состоял из 3-х частей, которые условно можно назвать статика, поворот и динамика. Измерения проводились в диапазоне частотах от 25 Гц до 20 кГц. Шумомер был установлен на расстоянии 1 метр от квадрокоптера (рис. 4). По полученным данным в среде MatLAB были построены спектрограммы акустического шума (уровни звукового давления в 1/3 октавах) и проведен их анализ. Измерения были построены на основе пяти замеров, выполненных для каждого типа винта, с последующим вычислением среднего значения для них.

*Статика.* На рис.5 приведены спектры шумов для тороидальных и оригинальных винтов. Как видно из рис. 6, на котором показана разница уровней шума для двух типов винтов, тороидальные винты на частотах от 0 до 315 Гц громче, чем оригинальные. Разница составляет порядка 8 дБА. Также можно заметить, что при увеличении частоты, начиная от 315 Гц до 20 кГц, расхождение снижается до порядка двух дБА, либо они совпадают, т. е. разница незначительна.

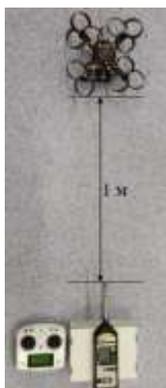


Рисунок 4. Расположение шумомера и квадрокоптера

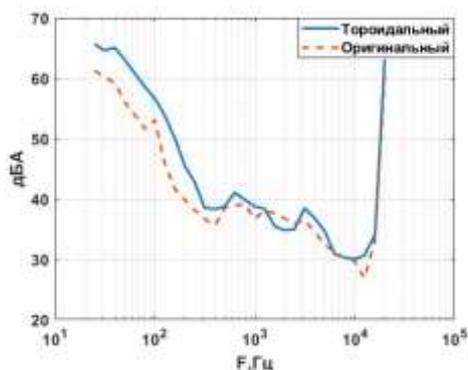


Рисунок 5. Спектры акустического шума для тороидального и оригинального винтов

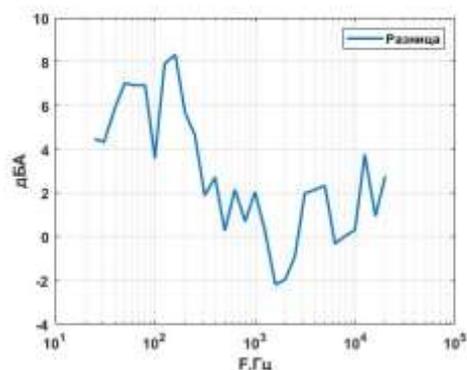


Рисунок 6. Разница между уровнями шума тороидального и оригинального винтов

*Динамика.* Измерения акустического шума проводились во всем диапазоне работы дрона: запуск-набор высоты-посадка. Летательный аппарат запускался в режиме автономного полёта. Для этого в программной среде TRIK STUDIO была разработана специальная программа, позволяющая производить запуск моторов, осуществлять подъём квадрокоптера на высоту 1 метр, фиксируя его в этом положении на 10 секунд, после чего дрон опускался на пол. Результирующие графики представлены на рис. 7 и 8. Как видно, тороидальные винты существенно тише во всём диапазоне частот, кроме интервала от 431 Гц до 1031 Гц. На частотах 6.3 кГц и 16 кГц максимальная разница составляет около 7 дБА. Эта разница для слуха ощущается в 1,8 раз сильнее.

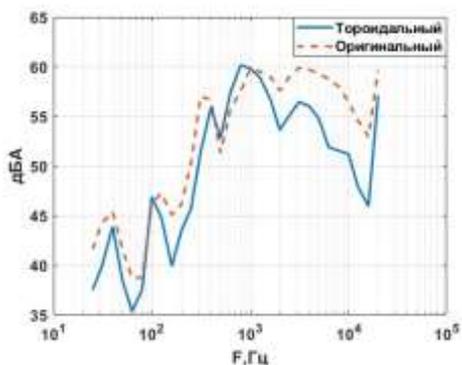


Рисунок 7. Спектры акустического шума для тороидального и оригинального винтов

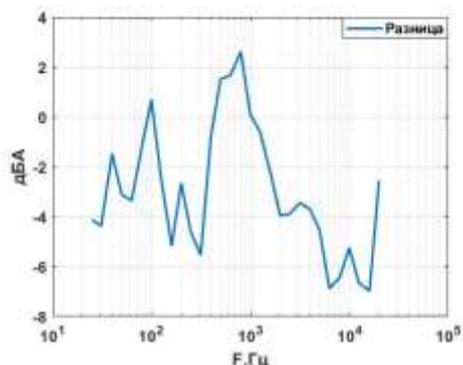


Рисунок 8. Разница между уровнями шума тороидального и оригинального винтов

*Поворот на угол.* Суть эксперимента заключалась в последовательных поворотах квадрокоптера относительно микрофона шумомера. Углы поворота задавались от  $15^\circ$  до  $90^\circ$  с шагом  $15^\circ$  (рис. 10).

Как показал анализ, при повороте на углы в  $45^\circ$  и  $90^\circ$  были получены наибольшие отклонения между уровнями шума для тороидальных и оригинальных винтов (рис. 10 и 11). Для случая с измерением при повороте на  $45^\circ$  (рис. 10), в диапазоне частот от 40 до 100 Гц, уровень звукового давления для квадрокоптера с тороидальными винтами ниже, максимальная разница составляет 7 дБА, в диапазоне частот от 100 Гц до 1кГц – отличия незначительны. В интервале от 1кГц до 10 кГц максимальная разница составляет 8.87 дБА, а для диапазона частот от 10 кГц до 20 кГц – отличия незначительны. Как видно по рис. 11 значения уровня шума для тороидального винта на интервале от 50 до 800 и от 1600 до 12500 Гц тише, в остальных интервалах значения примерно равны значениям с оригинального. Рассмотрев рисунки 5, 10 и 11 можно отметить, что в случае поворота на определённые углы акустический шум снижается и особенно это заметно на графике спектрограммы акустического шума для тороидальных винтов.



Рисунок 9. Разметка углов

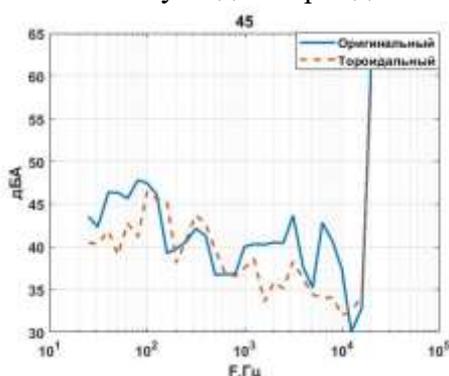


Рисунок 10. Сравнение уровня шума при повороте на угол  $45^\circ$

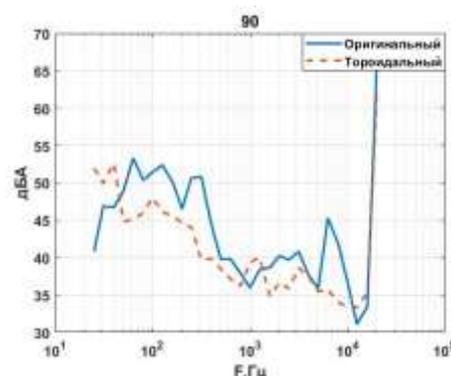


Рисунок 11. Сравнение уровня шума при повороте на угол  $90^\circ$

Разработанная форма винта имеет существенные преимущества в различных диапазонах частот в рассмотренных экспериментах. Максимальная разница уровней шума составляет 8.87 дБА. Стоит отметить, что на полученные результаты могли повлиять материал, технология изготовления винтов, а также место проведения эксперимента. В дальнейшем планируется провести полевые испытания, исследовать влияние изменения формы и размеров винта на лётные характеристики квадрокоптера, произвести расчёт и анализ упругих и прочностных характеристик винта с применением специальных программных макетов, а также создать винт с помощью технологии литья.

### Список литературы

1. Исследование вихревого шума вращающихся лопастей, П.А. Мошко. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2020. № 2, стр. 85-98
2. Кайли Фой. Массачусетский Технологический Институт. Новости МТИ. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://news.mit.edu/2022/lincoln-laboratory-inventions-win-rd-100-awards-0921>
3. Октава-ЭлектронДизайн. Приборостроительное объединение. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.octava.info/octava-110A>

## СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНОГО И ДНАТ ОСВЕЩЕНИЯ НА СКОРОСТЬ РАЗВИТИЯ *OSIMUM BASILICUM L*

П. А. КОСТИН, А. А. ГУБИНА, М. М. РОМАНОВИЧ, И.А. ЛАМКИН

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

**Аннотация.** Проведено исследование влияния излучения дуговой натриевой трубчатой (ДНАТ) лампы и светодиодной фитолампы на параметры роста *Ocimum basilicum L.* Эффективность использования источника излучения оценивалась по показателю скорости роста, рассчитанному по измеренным значениям высоты растения и общей площади листьев. Было установлено, что на 25-й день исследований растения, выращиваемые под ДНАТ лампой оказались выше растений под светодиодной лампой на 36,9%, а площадь их листьев составляла в среднем 95,36 см<sup>2</sup>, что больше на 90%, чем под светодиодной фитолампой. Кроме того, за время эксперимента средняя скорость роста растений под излучением ДНАТ лампы оказалась в 1,52 раза выше, а скорость роста листьев была больше в 2,05 раза.

*Ключевые слова:* *Ocimum basilicum L.*, светодиодные фитолампы, ДНАТ освещение, спектр поглощения хлорофилла, PPFD, фотосинтез, рост растений, интенсивность света, площадь листьев, коэффициент формы листьев

### **Актуальность и цель исследований**

Освещение является одним из наиболее важных факторов, влияющих на рост и развитие растений. Использование искусственного освещения в сельском хозяйстве с годами значительно увеличилось из-за его эффективного влияния на рост культур, выращиваемых в помещении, особенно в районах с ограниченным солнечным светом. В настоящее время в сельском хозяйстве преимущественно используются два типа искусственного освещения: с помощью светодиодов (СИД) и ДНАТ ламп. Однако различные источники света имеют достаточно разные спектры излучения, что существенно сказывается на эффективности их использования при выращивании растений. Кроме того, при оценке эффективности необходимо учитывать различие в энергопотреблении фитоламп.

Хлорофилл поглощает свет в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, наиболее эффективно поглощая свет с длиной волны около 450 нм (синий) и 680 нм (красный).

Базилик является источником многих биологически активных веществ, таких как флавоноиды, каротиноиды, фенольные соединения и другие. Он также содержит большое количество хлорофилла, что делает его востребованным объектом исследований в области фотосинтеза и световой регуляции роста растений.

### **Проведение экспериментов**

Для оценки интенсивности освещения использовался показатель PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density), который численно определяет количество фотосинтетически активных фотонов, падающих на единицу площади в единицу времени. PPFD является важным показателем для оценки эффективности освещения, поскольку он определяет количество энергии света, которое доступно для фотосинтеза растений.

Также величину PPFD можно рассчитать по формуле:

$$F_{\text{ФАР}} = \int_{400}^{700} \frac{\varphi_{\lambda} \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot N_A \cdot S} d\lambda,$$

где  $F_{\text{ФАР}}$  — плотность потока фотосинтетических фотонов, мкмоль/(с·м<sup>2</sup>);  $\varphi_{\lambda}$  — спектральная плотность распределения мощности излучения прибора (в области ФАР), Вт/нм;  $\lambda$  — длина волны, нм;  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с — постоянная Планка;  $c = 3 \cdot 10^{17}$  нм/с — скорость света;  $N_A = 6,022 \cdot 10^{17}$  мкмоль — число Авогадро;  $S$  — площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

При измерении площади листьев использовался метод, основанный на измерении длины и ширины листа и их перемножении (упрощенно считая, что лист имеет прямоугольную форму). Однако, поскольку листья имеют эллиптическую форму, необходимо использовать коэффициент формы для учёта погрешности в данном приближении. В работе коэффициент формы определялся экспериментально, путем измерения длины и ширины некоторого количества листьев, а также вычисления их площади при переносе их формы на миллиметровую бумагу, разбиения на простые геометрические фигуры, вычисления и суммирования площадей этих фигур. В результате был вычислен коэффициент формы листа равный 0,82. Формула для расчета площади листьев выглядит следующим образом:  $S = l \cdot w \cdot k$ , где  $S$  - площадь листа,  $l$  - длина листа,  $w$  - ширина листа,  $k$  - коэффициент формы листа.

В качестве источников освещения были выбраны светодиодная фитолампа полного спектра и ДНаТ лампа (спектры излучения источников изображены на рисунке 1). Спектр фитолампы имеет максимумы интенсивности на длинах волн, которые наиболее эффективно поглощаются хлорофиллом (430 нм и 650 нм) [1].

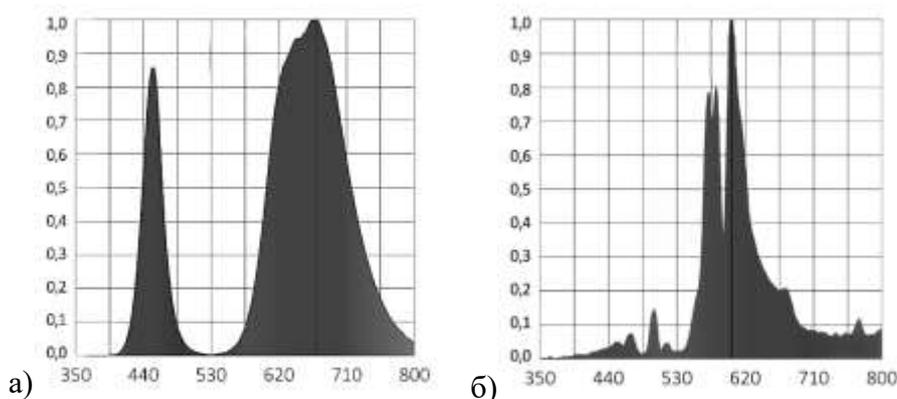


Рис. 1. Спектры излучения фитолампы (а) и ДНаТ лампы (б) (по оси абсцисс – длина волны в нм, по оси ординат – интенсивность в относительных единицах)

В эксперименте две группы растений базилика выращивались в одинаковых климатических условиях в гидропонной установке. Средняя температура равнялась 26 °С, средняя влажность – 35 %, рН раствора равнялся 6,5, а его электропроводность – 1,4 мСм/см. Первая группа растений выращивалась при светодиодном фитоосвещении, а вторая – при освещении ДНаТ с продолжительностью светового дня 16 часов. Эксперимент проводился в гидропонной установке, поскольку она имеет несколько преимуществ по сравнению с традиционным способом выращивания в грунте. В гидропонных системах все растения получают необходимые питательные вещества в равных количествах, что обеспечивает оптимальный рост и развитие. Кроме того,

гидропонные системы позволяют исключить влияние грунта, контролировать уровень pH и электропроводность раствора, обеспечивая необходимые параметры, что способствует улучшению качества и количества урожая.

Семена базилика высаживались в минеральную вату, которая помещалась в пластиковые горшки с керамзитом. Полив осуществлялся каждые 3 часа. Под каждым источником света находилось 30 горшочков на площади размером 42×47 см, высота освещения от источника до растений составляла 40 см. Срок эксперимента – 25 дней.

Измерения проводились на 4, 8, 10, 15 и 25 день.

В ходе работы определялись следующие параметры:

- 1) Средняя длина гипокотыля (высота растения), [мм];
- 2) Среднее значение площади всех листьев для каждого растения [см<sup>2</sup>];
- 3) Значение PPFD измерялось для каждого растения спектрометром UPRTEK PG200N.

Мощность ДНаТ лампы составила 103,27 Вт, ее энергопотребление 0,0123 кВт/ч, а СИД фитосветильника – 46,47 Вт с энергопотреблением 0,008 кВт/ч. В среднем плотность потока фотосинтетических фотонов под натриевой лампой больше в 1,46 раза, при этом, для растений в точках с отличием более, чем 1,5 раза не учитывались при оценке результатов исследований. В начале эксперимента средние значения PPFD равнялись 161 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с) у ДНаТ и 153 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с), при этом на 25-й день исследований среднее значение показателя PPFD у ДНаТ лампы равнялось 148 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с), а у СИД фитолампы 102 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с). Можно предположить, что это связано с деградацией светодиодов из-за отсутствия предварительной работы СИД. Установлено, что снижение PPFD СИД фитолампы вследствие деградации светодиодов следует учитывать при проектировании фитосветильников, т.к. это может оказывать существенное влияние на динамику роста и развития растений.

### Результаты исследований

В ходе эксперимента определено, что дополнительная освещение используемыми излучателями эффективно влияет на рост и развитие растений. При этом существует значительная зависимость результатов роста от типа источника излучения. Экспериментальные результаты по исследованию высота растения и площади листьев представлены на рисунках 2 и 3.

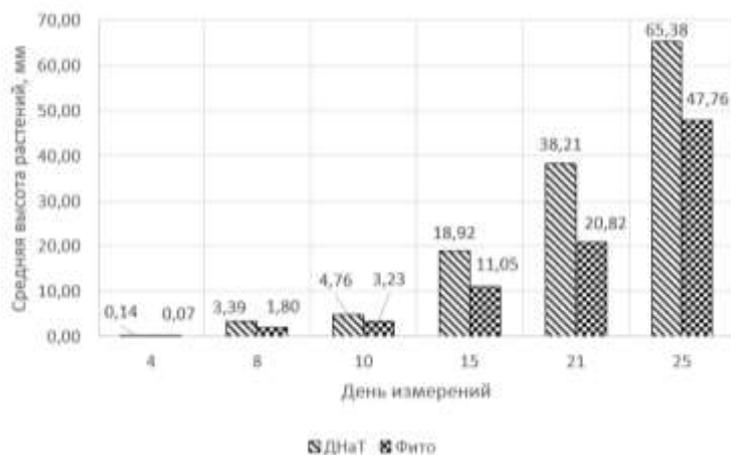


Рис. 2. Результаты сравнения высоты растений

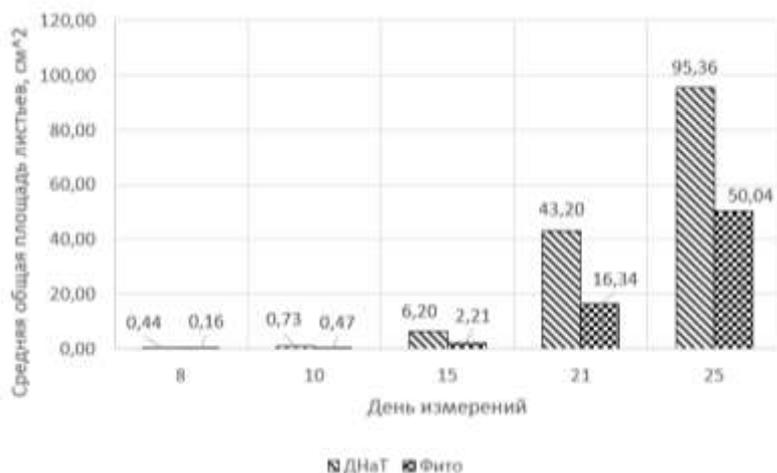


Рис. 3. Результаты сравнения площади листьев растений

Данные графики показывают зависимость между типом освещения (ДНаТ лампа и фитолампа) и характеристиками растений (высота и площадь листьев). Из графиков можно сделать вывод, что растения, выращенные под ДНаТ лампой, имеют большую высоту и площадь листьев на всем протяжении эксперимента по сравнению с растениями, выращенными под фитолампой.

### Заключение

На основании результатов эксперимента можно сделать вывод, что под ДНаТ лампой скорость развития базилика была выше, чем под фитолампой. Было установлено, что на 25-й день исследований растения, выращиваемые под ДНаТ лампой выше растений под светодиодной лампой на 36,9%, а площадь их листьев составляла в среднем 95.36 см<sup>2</sup>, что больше на 90%, чем под светодиодной фитолампой. Кроме того, за время эксперимента средняя скорость роста растений под излучением ДНаТ лампы оказалась в 1,52 раза выше, а скорость роста листьев была больше в 2,05 раза. Это говорит о том, что ДНаТ освещение может быть более эффективным для стимулирования роста и развития растений по сравнению со светодиодным фитоосвещением.

Такие результаты могут быть обусловлены тем, что ДНаТ лампы имеют более широкий спектр света, который ближе к естественному солнечному свету, по сравнению со спектром СИД фитоламп на основе полноспектральных светодиодов. Базилику требуется определенный спектральный диапазон излучения для фотосинтеза, и ДНаТ лампы могут обеспечить базилику больше необходимых спектральных компонентов, включая ультрафиолетовый и инфракрасный диапазоны.

### Список литературы

1. Дудина П.С., Ставицкий А.В., Влияние спектра излучения фитолампы и ее применение в растениеводстве в домашних условиях, Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения, Тюмень, 17 марта 2017 года.

## **ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Кот И.И., Беляев Ф.Я, Устаков Ш.

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

**Аннотация.** Обзор проблем метрологического анализа в проектировании нейронных сетей, оценка методов метрологического анализа в приложении к нейронным сетям. Выделены основные направления решения задач метрологической аттестации нейронных сетей.

*Ключевые слова:* нейронные сети, нейросети, метрологический анализ, метрологическая аттестация, имитационное моделирование.

### **Актуальность задачи**

Для обеспечения качества измерений в технологических процессах при контроле и управлении технологическими параметрами необходимо осуществлять метрологический анализ всех аспектов измерительных процедур [1].

Метрологический анализ для нейронных сетей не описан в научной литературе и отвязан от процесса разработки измерительных систем. В рамках данной статьи описаны основные проблемы формализации метрологического анализа нейронных сетей.

### **Проблема 1: можно ли методы метрологического анализа применять для нейронных сетей?**

Анализ метрологического обеспечения на предприятии может проводиться в двух направлениях в соответствии с ГОСТ Р 8.892-2015 [1]:

- анализ состояния метрологического обеспечения на предприятии;
- анализ системы управления метрологическим обеспечением на предприятии.

Далее рассмотрим состояние метрологического обеспечения в нейронных сетях.

### **Целями анализа метрологического обеспечения являются:**

- объективная оценка уровня метрологического обеспечения на предприятии и выявления отклонений текущего состояния метрологического обеспечения от состояния, соответствующего решаемым задачам управления на предприятии;
- определение возможностей и путей перевода состояния метрологического обеспечения в заданное, т.е. такое, которое соответствует приемлемому качеству решения задач управления на предприятии;
- оценка необходимости и подготовка предложений для принятия корректирующих и предупреждающих мер с целью приведения метрологического обеспечения на предприятии в заданное состояние.

Для рассмотрения нейронных сетей как элементов метрологического обеспечения предприятия нужно выделить места появления погрешностей нейронных сетей.

**По топологии нейронной сети можно выделить погрешности:**

- погрешность нейрона, складывается из:
  - погрешности входного сигнала;
  - погрешность синапса (весового коэффициента);
  - погрешность сумматора;
  - погрешность функции активации;
- погрешность слоя нейронов складывается из погрешности нейронов слоя - по сути матрица погрешностей нейронов слоя;

Погрешность нейронной сети можно оценить как интегрированную оценку погрешностей всех ее компонентов (Рис 1).

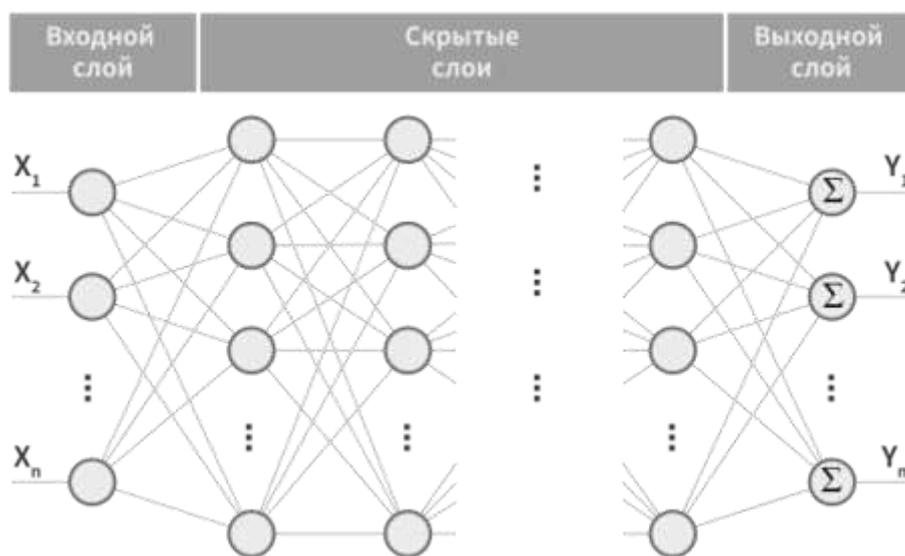


Рис. 1 Многослойная нейронная сеть

При этом реальные ошибки обученной нейронной сети обычно существенно ниже подобной оценки, по причине наличия обратных связей.

Но при этом возможны ошибки выбора методики обучения, ошибки выбора топологии, ошибка переобучения и прочие ошибки проектирования, которые приводят к тому, что выполнить аналитическую оценку погрешности нейронной сети практически невозможно.

Поэтому основным методом оценки погрешностей в работе нейронных сетей является имитационное моделирование (ИМ), которое позволяет оценить эффективность работы нейронных сетей.

В настоящее время имитационное моделирование в метрологии широко используется для решения различных задач метрологического обеспечения. С помощью имитационного моделирования проверяется достоверность результатов метрологического анализа (МА).

Основным методом метрологического анализа для нейронных сетей можно считать имитационное моделирование.

**Задачи метрологического анализа нейронных сетей:**

1. постановка задачи нейронной сети, формулирование допустимых погрешностей;
2. оценка аппаратных ресурсов необходимых для работы нейронных сетей;
3. оценка аппаратных и программных ресурсов необходимых для обучения нейронной сети;
4. оценка базы знаний для обучения нейронной сети:
  - a. количество примеров;
  - b. количество ошибок в примерах;
  - c. объем базы знаний;
  - d. оценка времени обучения;
5. оценка рисков:
  - a. ошибок проектирования;
  - b. ошибок топологии;
  - c. ошибок переобучения;
6. оценка количества примеров для ИМ;
7. оценка результатов ИМ;
8. выработка рекомендаций если результаты ИМ не соответствуют постановке задачи.

**Проблема 2: нет формализованных требований к метрологическому анализу нейронных сетей.**

Для формализации метрологического анализа требуется выделить основные возможности для анализа. К возможностям можно отнести имитационное моделирование работы нейронных сетей, при этом следует формировать метрологически достоверные данные для ИМ. Отсюда возникает третья проблема.

**Проблема 3: не существует метрологически достоверных баз знаний для обучения и тестирования нейронных сетей.**

Для развития интеллектуальных информационно-измерительных систем стоит задуматься о разработке баз знаний для метрологической аттестации нейронных сетей.

Содержимым таких баз знаний может быть:

- Фотоизображения, сгруппированные по множеству признаков (люди, животные, объекты и т.п.);
- Видеоизображения, сгруппированные по множеству признаков (люди, животные, объекты и т.п.);
- Векторные изображения предметов, сгруппированные по множеству признаков (люди, животные, объекты и т.п.).

Важным критерием таких баз знаний должен быть предельный процент ошибок допустимый для выбранного признака.

Следует отметить, что в этом направлении разработка нейронных сетей идет уже не первое десятилетие, но открытых баз знаний немного и степень их достоверности не установлена.

Кроме специализированных баз знаний часто используются поисковые машины.

Для примера запрос "альпака" к поисковой машине вернет изображения альпаки, ламы, детскую игрушку и одежду из шерсти альпаки, а еще будет множество фотографии людей рядом с альпакой.



Рис. 2 запрос "альпака" к поисковой машине

Еще один пример, база данных для обучения нейронных сетей, "люди в очках":



Рис. 3 люди в очках, в БД для обучения нейронных сетей

### Вместо заключения

Для решения описанных проблем потребуется:

- разработка методик метрологического анализа нейронных сетей;
- разработка документации для метрологического анализа нейронных сетей;
- разработка нормативных документов для метрологической аттестации нейронных сетей;
- разработка аттестованных баз знаний для нейронных сетей.

Это позволит решать задачи обучения и имитационно моделирования в рамках метрологической аттестации нейронных сетей.

### Список используемой литературы

1. ГОСТ Р 8.892-2015, Государственная система обеспечения единства измерений, МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, Анализ состояния на предприятии, в организации, объединении.
2. Цветков Э.И., Имитационное моделирование как инструмент метрологического анализа. МИР ИЗМЕРЕНИЙ, 6/2013, стр. 9-13

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАРТИН ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ С ПОМОЩЬЮ ГИСТОГРАММ ЯРКОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Т.К. ЛЕПЕХИНА, В. А. ПАРФЕНОВ

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

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты исследования портретов итальянского художника Леонардо да Винчи. Проведен их сравнительный анализ при помощи компьютерного метода гистограмм яркости цифровых оптических изображений. Приводятся данные о значениях градиента распределения, математического ожидания и среднеквадратичного отклонения исследованных картин.

*Ключевые слова:* живопись, гистограмма яркости, математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение, яркость изображения.

Живопись была и остается одним из важнейших видов искусства в истории человечества, исследование ее техник и стилей позволяет лучше понять культурное наследие прошлых эпох. Одной из основных задач анализа живописи является аутентификация - установление авторства, а также выяснение места и времени создания памятника. Несмотря на наличие широкого спектра как традиционных, так и современных аналитических методов исследований, они не всегда позволяют получить необходимое количество данных о произведении, что свидетельствует о необходимости разработки дополнительных способов получения информации.

Целью данной работы является исследование особенностей техники картин итальянского художника эпохи Возрождения Леонардо да Винчи с помощью анализа гистограмм яркости (амплитудных гистограмм) их оптических изображений с целью выявления их сходства. Сравнительный метод анализа подразумевает наличие эталонного изображения, автор которых установлен многочисленными исследованиями. В качестве объектов исследования в данной работе были использованы произведения «Джиневра Де Банчи», «Дева в скалах» и «Богородица с младенцем и святой Анной». Эталонным изображением служила знаменитая картина «Мона Лиза» (другое название – «Джоконда») из Музея Лувр во Франции, авторство Леонардо да Винчи при создании которой не вызывает сомнений у специалистов.

Каждый живописец обладает индивидуальной техникой написания картин, вследствие чего красочный слой приобретает особые пространственные и спектральные свойства, которые можно использовать для анализа техники письма. Гистограммы яркости отображают уникальные свойства распределения светлого и темного оттенков в произведениях, на основании чего, справедливо предположить, что произведения, написанные рукой одного мастера, должны иметь схожие характеристики гистограмм. Таким образом, аутентификацию произведений Леонардо Да Винчи можно провести путем сравнения амплитудных гистограмм эталонной картины «Джоконда» с несколькими произведениями, предположительно написанными Леонардо, но чье авторство по сей день точно не установлено.

Гистограмма яркости представляет собой функцию статистического распределения элементов изображения различной яркости [2]:

$$h(r_k) = n_k / n, \quad r_k \in [0, L-1], \quad (1)$$

где  $r_k$  –  $k$ -й уровень яркости;  $L$  – максимальный уровень яркости;  $n_k$  – число пикселей, имеющих яркость  $r_k$ .

Другими словами, это графическая зависимость количества пикселей оптического изображения (как полностью, так и его фрагментов) от уровня интенсивности. Как правило, уровни градации интенсивности пикселей принимают значения от 0 до 255. В данной статье амплитудные гистограммы представляются в виде столбчатых диаграмм: по горизонтальной оси уровни яркости (от самых темных до самых светлых), по вертикали — количество пикселей для каждого уровня. Оценка характеристик гистограмм яркости осуществляется сравнением следующих параметров:

- градиента распределения гистограмм;
- среднеквадратичного отклонения (СКО).

Гистограммный сравнительный анализ особенно эффективен при соблюдении ряда рекомендаций. Во-первых, следует отметить, что большей точности можно добиться при сравнении произведений именно портретной живописи. Предметом такого анализа должно быть сравнение гистограмм тех частей картин, на которых изображены человеческие лица. Поскольку существуют сведения о том, что знаменитые живописцы нередко работали над ключевыми фрагментами произведений (лицо, кисти рук) самостоятельно, оставляя за учениками работу над второстепенными элементами, наиболее точным способом аутентификации картин является анализ гистограмм изображения именно лиц на портретах. Во-вторых, при выборе элементов изображения, подлежащих анализу, следует избегать особо темных и светлых участков в целях минимизации погрешности. Кроме того, следует принимать во внимание и наличие погрешностей оптических изображений: качество снимков и состояние самой картины оказывают существенное влияние на результаты исследования.

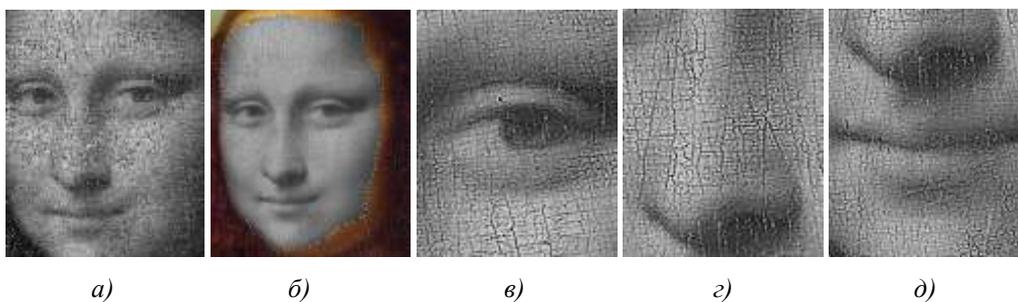


Рис. 1. Фрагменты цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Мона Лиза».

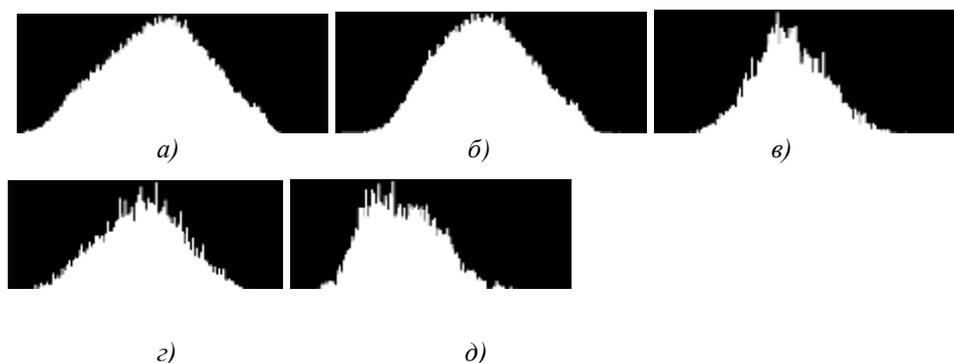


Рис. 2. Гистограммы яркости фрагментов цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Мона Лиза».

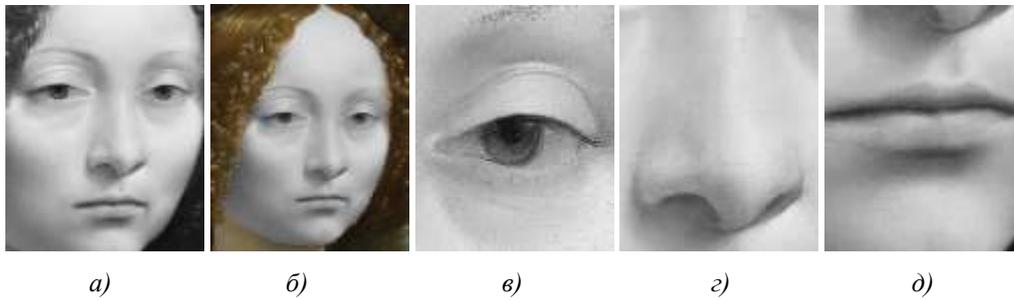


Рис. 3. Фрагменты цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Джиневра Де Банчи».

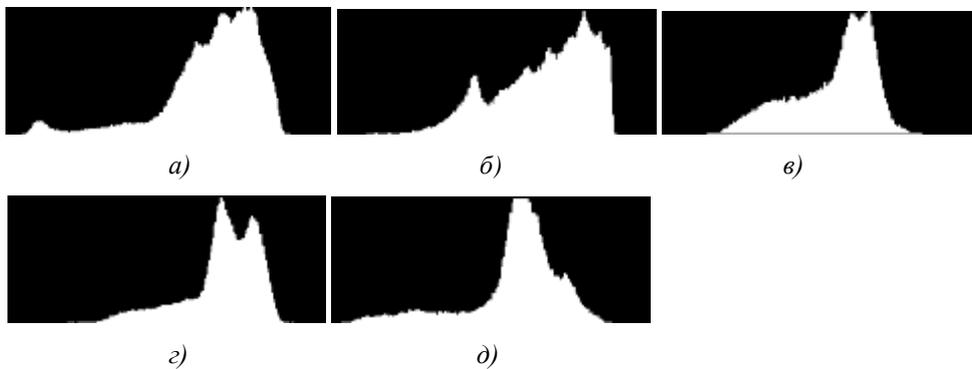


Рис. 4. Гистограммы яркости фрагментов цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Джиневра Де Банчи».

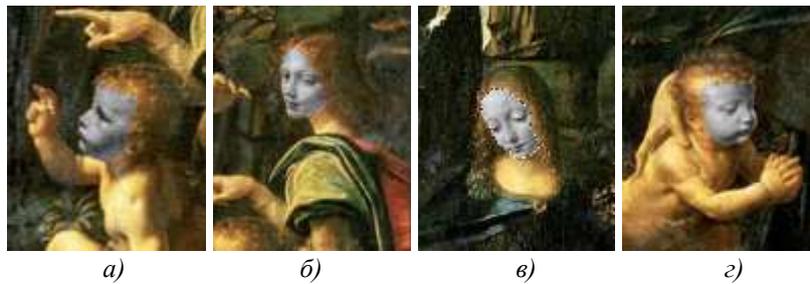


Рис. 5. Фрагменты цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Дева в скалах» до реставрации

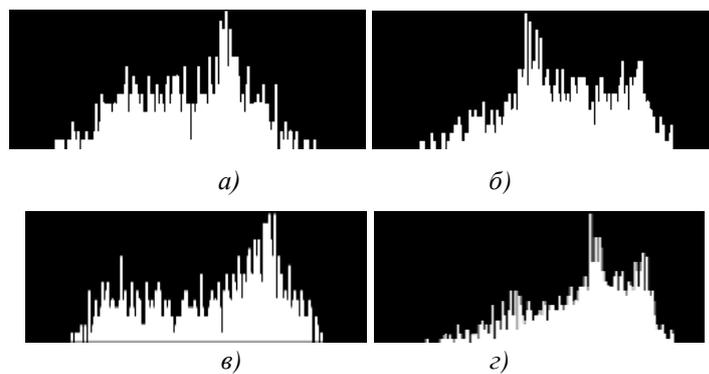


Рис. 6. Гистограммы яркости фрагментов цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Дева в скалах» до реставрации.

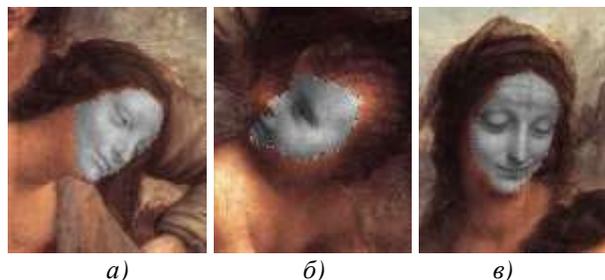


Рис. 7. Фрагменты цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Богородица с младенцем и святой Анной» до реставрации.

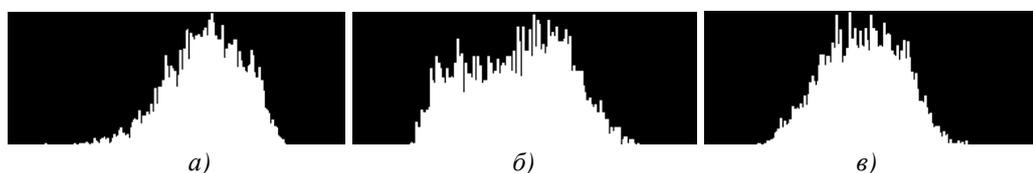


Рис. 8. Гистограммы яркости фрагментов цифрового изображения картины Леонардо Да Винчи «Богородица с младенцем и святой Анной» до реставрации.

Таблица 1. Значения СКО для гистограмм яркости цифровых изображений.

	Среднеквадратичное отклонение (СКО)				
	а	б	в	г	д
«Мона Лиза»	31,01	32,89	33,04	34,16	25,43
«Джиневра Де Банчи»	37,21	38,70	36,16	23,35	29,46
«Дева в скалах»	39,31	40,02	39,01	42,51	-
«Богородица с младенцем и святой Анной»	37,61	38,07	28,55	-	-

Как видно из рис. 2 и 8, прослеживается корреляция амплитудных гистограмм картин «Богородица с младенцем и святой Анной» и «Мона Лиза», что особенно заметно при сравнении портретов на рис. 2а и 8в. Результаты анализа картин «Джиневра Де Банчи» и «Дева в скалах», в свою очередь, в значительной мере отличаются (см. рис 2, 4 и 6). В пользу этих утверждений свидетельствуют и значения СКО, представленные в табл. 1. На основании проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что автором картин «Богородица с младенцем и святой Анной» и «Мона Лиза» может быть один и тот же художник.

### Список литературы

1. Асмус Дж.-Ф., Парфенов В. А. Анализ картин Леонардо да Винчи «Мона Лиза» и «Айзелуортская Мона Лиза» с использованием гистограмм яркости цифровых изображений. Художественное образование. Научные труды. Выпуск 42. Санкт-Петербург, 2017 — 211 с.
2. Гонсалес Р. С., Вудс Р. Э. Цифровая обработка изображений. Москва, 2006. – 1072 с.
3. Хрящев Д. А. Об одном методе анализа цифрового изображения с применением гистограмм. Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. управление, вычисл. техн. информ., 2010 — 109 с.
4. Вазари Дж. Жизнеописания наиболее знаменитых живописцев, ваятелей и зодчих. Москва, 2008 — 1278 с.

## АНАЛИЗ ШАБЛОНА ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ХОДЬБЕ ПО ЛЕСТНИЦЕ

МАМЫКОВА В.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В докладе рассматривается процедура анализа шаблона движения человека при ходьбе по лестнице с помощью информационно-измерительной системы, включающей в себя акселерометрические датчики, закреплённые на каблуках обуви человека. Исследована длительность фаз шага. Оценена асимметричность и нестабильность фаз шага. Данную процедуру целесообразно применять в инструментальных исследованиях результативности лечения людей с патологиями опорно-двигательной системы.

*Ключевые слова:* акселерометр, информационно-измерительные системы, интеллектуальные системы диагностики, координационная способность, фазовая структура шага.

### Условия проведения эксперимента

Данное исследование основано на экспериментах, проведённых на кафедре информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Использовалась система, снабжённая трёхосевыми акселерометрическими датчиками, АЦП и вычислительным устройством [1,2].

По программе каждого эксперимента на каблуках испытуемого были закреплены датчики. Измерительная система совершала 10000 отсчётов с частотой дискретизации 1 кГц. Таким образом, в первом этапе эксперимента испытуемый проходил 10 секунд по лестнице вверх, во втором этапе – по лестнице вниз. Сигнал на выходе включает в себя статическую составляющую, обусловленную ускорением свободного падения, которую нужно учесть при определении уровня сигнала относительно нуля.

Эксперимент был проведён на 3 испытуемых, каждый из которых за 10 секунд совершал 7-8 шагов. На длительность эксперимента и ограниченность выборки влияет утомление пациента и длина лестничного марша. Следовательно, в данном исследовании затруднено применение классических методов статистики.

Таким образом, после каждого эксперимента были получены графики показаний акселерометров следующего вида:

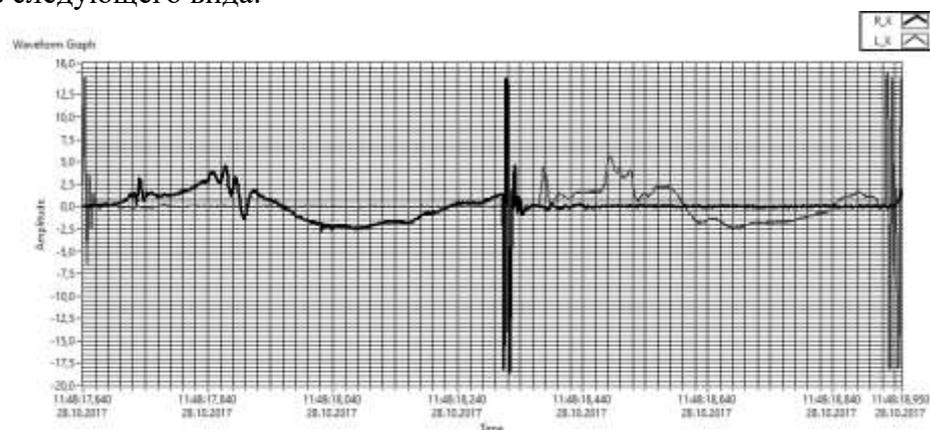


Рис. 1. Двойной шаг при подъёме по лестнице у человека с патологиями опорно-двигательной системы

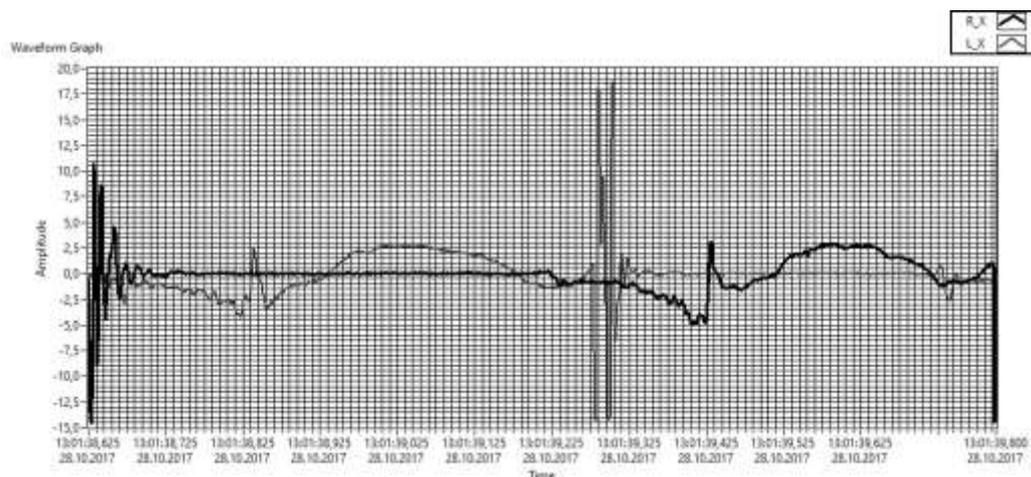


Рис. 2. Двойной шаг при подъёме по лестнице у здорового человека

В каждом графике содержится 2 вида показаний: для правой (чёрным цветом) и левой ноги (серым цветом). Результаты экспериментов, сохраненные в формате .lvm, обрабатываются виртуальным инструментом, созданным в программе LabVIEW 2016 от National Instruments.

### Исследование полученных графиков

Рассматриваются промежутки времени между постановками каблука, которые в дальнейшем будем называть двойным шагом.

Наиболее заметный по амплитуде момент постановки с каблука. После него равномерное уменьшение сигнала до нулевого уровня. Пока одна нога стоит на месте, другая совершает такие фазы шага, как подъём каблука, перенос стопы и постановку ноги на ступень. Через короткий промежуток времени, называемый фазой опоры на две ноги, вторая нога начинает движение. Примечательно, что для разных конечностей фаза подъёма каблука и фаза переноса отличаются местоположением относительно нулевого уровня. Это важно учесть в дальнейшем, когда будет разрабатываться автоматизированный анализ показаний акселерометрических датчиков.

Определены моменты времени постановки каблука, начала фазы подъёма стопы и начала переноса ноги. Затем, с помощью автоматических расчётов, были найдены продолжительности разных фаз шага. Проведена обработка 6 графиков, 3 из которых отображали подъём по лестнице, 3 – спуск.

Для проверки ручной обработки использовалось следующее соотношение, которое должно быть верно для каждой ноги в отдельности:

$$T_{дв} = T_{подъёмК} + T_{перенос} + T_{покой} ,$$

где  $T_{дв}$  – продолжительность двойного шага,  $T_{подъёмК}$  – фаза подъёма каблука,  $T_{перенос}$  – фаза переноса ноги,  $T_{покой}$  – фаза покоя.

По результатам каждого графика определялись статистические характеристики продолжительности каждой фазы: математическое ожидание, оценка среднеквадратического отклонения (СКО) и разница между максимальным и минимальным значениями.

### Анализ гистограмм и полученных значений

Для сравнения подъёма и спуска по лестнице наиболее информативным будет параметр  $q = T_{опора} / T_{дв}$ , который представляет собой соотношение между фазой опоры и длительностью двойного шага. При ходьбе по ровной поверхности он составляет примерно 60% [3,4]. Однако при движении по лестнице его значение меняется до 75% при подъёме по лестнице и 55% при спуске. Таким образом, при движении вверх человек дольше стабилизирует своё положение после постановки ноги на ступень.

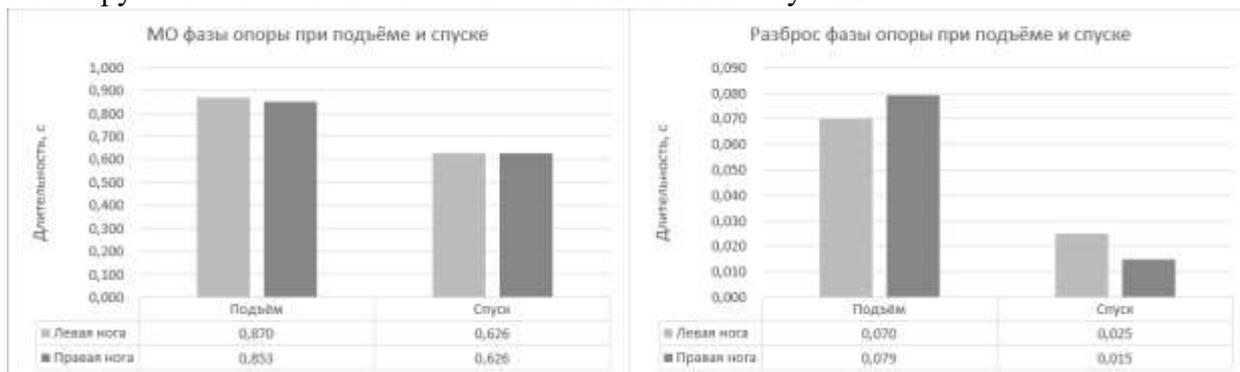


Рис. 3. Показатели продолжительности фазы опоры

Большой разброс фазы опоры также говорит о том, что при подъёме увеличивается необходимость в стабильности положения. При спуске этот разброс значительно меньше.

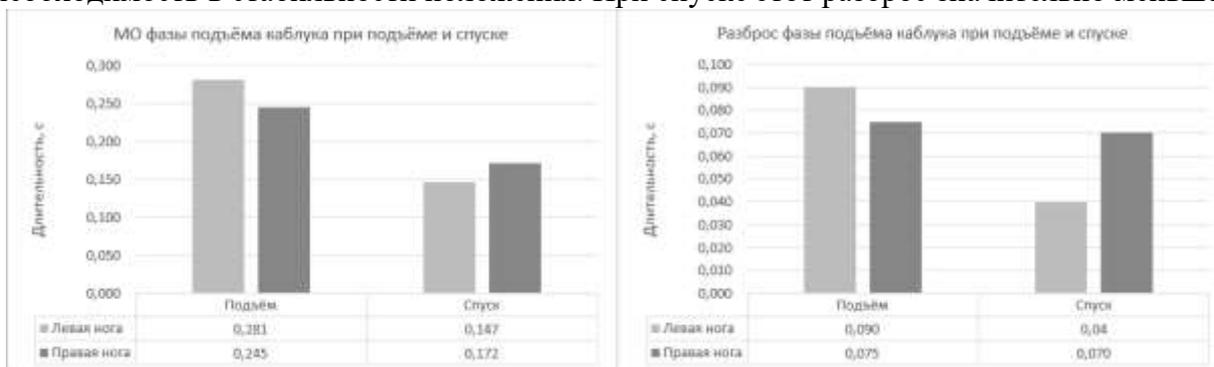


Рис. 4. Показатели продолжительности фазы подъёма каблука

Фаза подъёма каблука при движении вверх дольше, чем при спуске. Длительность этой фазы увеличивается по мере движения, чем и обусловлен разброс значений. Аналогична ситуация с разбросом и для фазы переноса, которая в случае подъёма по лестнице неразрывно связана с подъёмом ноги.

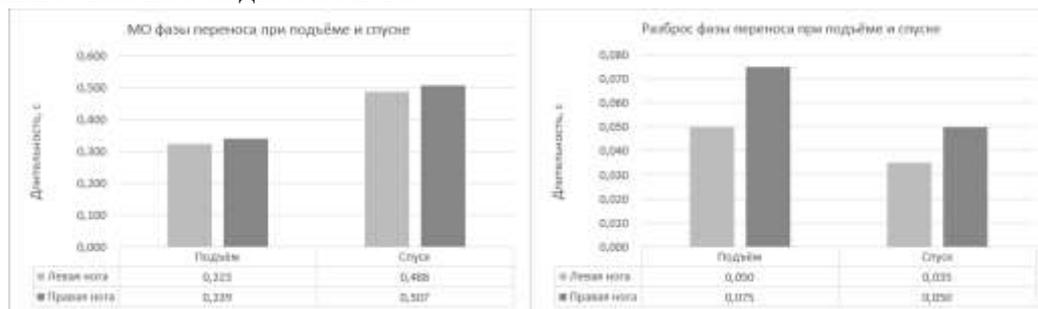


Рис.5. Показатели продолжительности фазы переноса

Фаза переноса дольше при спуске, чем при подъёме. Это объясняется тем, что при спуске выше вероятность падения.

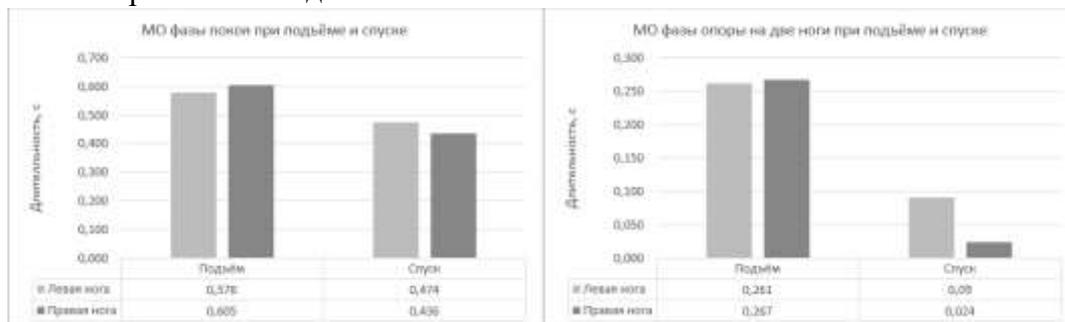


Рис. 6. Сравнение значений фазы покая

Фаза покая – промежуток от постановки каблука до начала его подъёма – длиннее при подъёме. Особенно ощутима разница при оценке фазы опоры на две ноги. Происходит это из-за более болезненного подъёма наверх.

## Заключение

В данной статье рассмотрена процедура анализа шаблона движения человека при ходьбе по лестнице. Исследована длительность фаз шага. Предложенный подход позволяет выявить асимметричность походки и нестабильность длительности фаз шага, уменьшение которых следует рассматривать как показатель результативности реабилитационных мероприятий.

## Список литературы

1. Е.О. Арешко, Н.К. Заболотская, П. Г. Королёв, “Системы исследования кинематики движений. Структурные решения”, 2017 XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM’2017) с. 593-595.
2. Alekseev, V.V., Zhurbilo, P.G., Korolev, P.G., Minchev N.V., “Movement kinematics research systems. Analysis of linear accelerations signals”, Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018. 2018-January, с. 857-860.
3. Алексеев В.В., Иванова Н.Е., Соколова Ф.М., Королёв П.Г., Царева А.В./ Измерительная система для контроля параметров кинематического портрета человека. Ч. 1. Система контроля//Приборы № 9.– 2019. С. 16-24.
4. Алексеев В.В., Иванова Н.Е., Соколова Ф.М., Королёв П.Г., Царева А.В./ Измерительная система для контроля параметров кинематического портрета человека. Ч. 2. Система вывода// Приборы № 9.– 2019. С. 24-32.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТНЫХ МАГНИТНЫХ СБОРОК И СБОРОК ХАЛЬБАХА

И.С. МАНЬКО

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

**Аннотация.** В статье приводится описание, а также сравнительный анализ распределения магнитных полей в стандартных магнитных сборках и сборках Хальбаха. Представлены модели такихборок в среде FEMM 4.2. Наглядно представлено увеличение напряженности магнитного поля при использованииборок Хальбаха.

*Ключевые слова:* магнитная сборка, магнитное поле, эффект Хальбаха, напряженность поля, моделирование.

Неодим – дорогостоящий материал, из которого изготавливаются магниты большой мощности, используемые в различных отраслях промышленности, поэтому очень важной задачей является оптимизация магнитных составляющих устройств таким образом, чтобы достичь их максимальной эффективности в сочетании с минимальными расходами. Зачастую в различных приборах используются стандартные магнитные сборки – сборки, в которых магниты имеют одинаковую направленность магнитных полей, поэтому выше поставленная задача может быть решена изменением ориентации магнитных полей используемых магнитов, а именно построением сборок Хальбаха.

Эффект Хальбаха – это эффект, который наблюдается при особой конфигурации постоянных магнитов (линейная магнитная сборка Хальбаха), характеризующейся тем, что магнитное поле с одной из её сторон практически полностью отсутствует благодаря особому расположению элементов сборки [1].

Описываемый эффект воспроизводится повторением последовательности магнитных элементов вектором намагниченности (на передней поверхности) влево, вверх, вправо, вниз, влево (рис. 1).

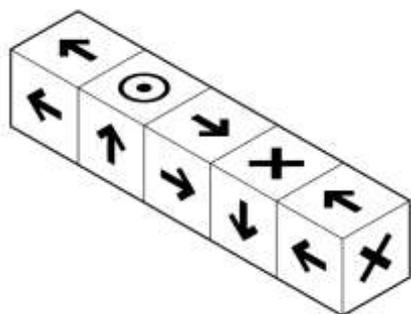


Рис. 1. Линейная сборка Хальбаха из 5 сегментов

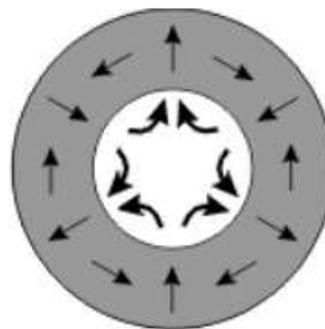


Рис. 2. Цилиндр Хальбаха

Магнитная сборка Хальбаха может быть преобразована в цилиндр Хальбаха (рис. 2), который имеет интенсивное магнитное поле, полностью закрытое внутри цилиндра, и нулевое поле вне его. Цилиндр также можно намагнитить так, чтобы поле находилось снаружи, а поле внутри было нулевым.

В идеале эти структуры можно было бы создать из цилиндра бесконечной длины с непрерывно изменяющимся направлением намагниченности. Магнитное поле, создаваемое этим идеальным цилиндром, было бы совершенно однородным и полностью ограниченным внутри или снаружи цилиндра. Это практически неосуществимо, т.к. ограниченная фактическая длина цилиндров вызывает «концевые эффекты», которые вносят неоднородности в поле.

Распределение магнитного поля в сборке Хальбаха может быть представлено при помощи чертежей Маллинсона (рис. 3). Чертежи показывают магнитное поле, вызванное полоской поверхностью ферромагнитного материала с переменным вектором намагничивания по координате  $Y$  и по координате  $X$ . На рисунке 3 видно, что поле в верхней полуплоскости обеих чертежей имеет одинаковую направленность, в то время как в нижней полуплоскости — противоположную.

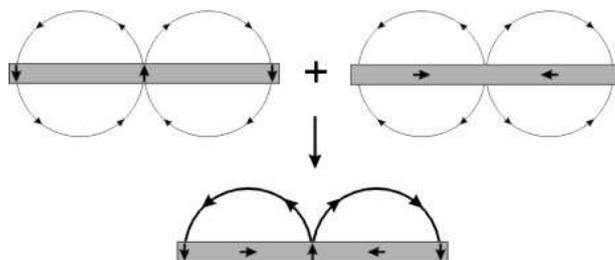


Рис. 3. Чертежи Маллинсона

Основным моментом является то, что в результате суперпозиции магнитных полей двух структур получается структура, магнитное поле которой в нижней полуплоскости подавляется, а в верхней – усиливается (т.е. наверху сборки магнитный поток в два раза интенсивнее, а внизу магнитный поток отсутствует). Данная закономерность имеет место быть в идеальном случае – когда сборка имеет бесконечную длину.

Поле на сильной стороне идеальной непрерывной сборки имеет вид:

$$F(x, y) = F_0 e^{ikx} e^{-ky},$$

где  $F(x, y)$  – функция поля  $F_x + iF_y$ , вида;  $F_0$  – амплитуда поля на поверхности сборки;  $k$  – пространственная частота.

Чтобы продемонстрировать влияние эффекта Хальбаха на распределение магнитного поля в программе FEMM 4.2 был смоделирован ряд различныхборок: стандартная линейная сборка, линейная сборка Хальбаха, стандартная цилиндрическая сборка, цилиндрическая сборка Хальбаха. Каждая сборка состоит из неодимовых магнитов марки N38 размером 8x8 мм. Также вокруг созданныхборок были заданы граничные условия 500x500 мм и задан материал «Air» (воздух). Это сделано для большего приближения смоделированной картины распределения магнитного поля в воздушной среде к реальным условиям.

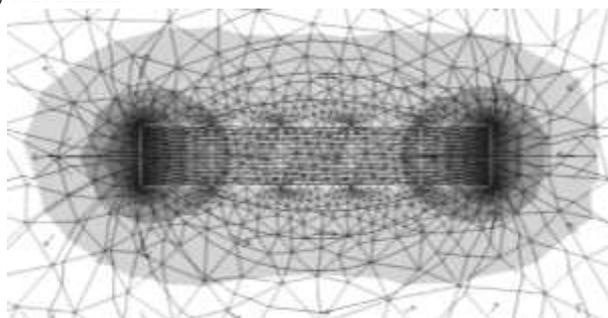


Рис.4. Стандартная линейная сборка

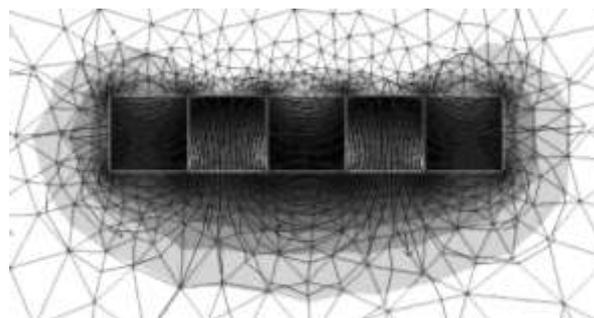


Рис.5. Линейная сборка Хальбаха

Стандартная линейная сборка (рис. 4) состоит из 5 неодимовых магнитов с одинаковой направленностью магнитных полей «←←←←←».

Такая сборка создает симметричное магнитное поле относительно оси X и оси Y.

Линейная сборка Хальбаха (рис. 5) также состоит из 5 неодимовых магнитов, но направления магнитных полей в каждом магните разные и соответствуют последовательности «← ↑ → ↓←».

В отличие от стандартной линейной сборки, сборка Хальбаха имеет симметричное магнитное поле только вдоль оси Y. Основным моментом является то, что магнитное поле в нижней полуплоскости больше, чем в верхней, что и демонстрирует эффект Хальбаха.

Если сравнить напряженности на расстоянии 10 мм от нижних границ обеих моделей, в точке с координатами (250; 236), свойства которой продемонстрированы в окне «FEMM Output» (рис. 6), то можно заметить, что напряженность в сборке Хальбаха больше в 1,5 раза.

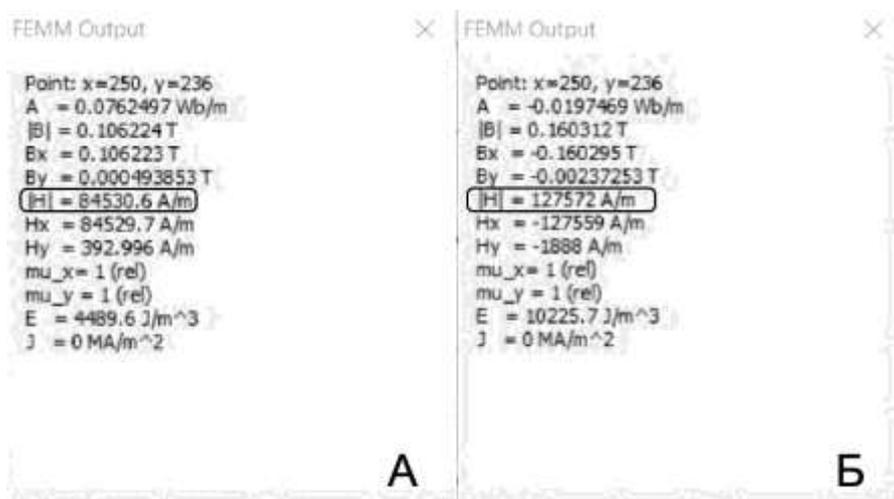


Рис.6. Свойства магнитных полей стандартной линейной сборки (А) и линейной сборки Хальбаха (Б) в программе FEMM 4.2

Стандартная цилиндрическая сборка (рис. 7) состоит из 12 неодимовых магнитов, которые расположены по окружности с направлением магнитного поля из центра этой окружности.

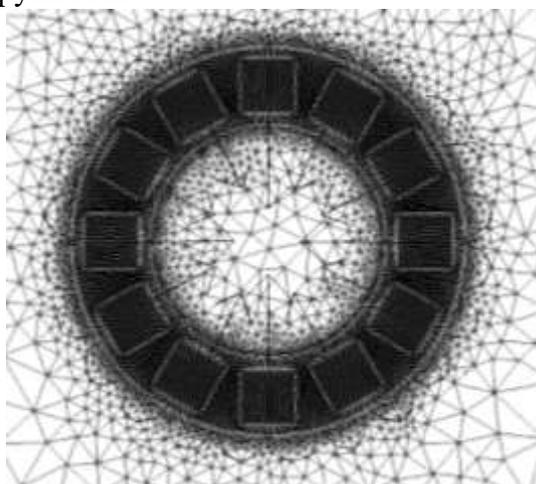


Рис.7. Стандартная цилиндрическая сборка

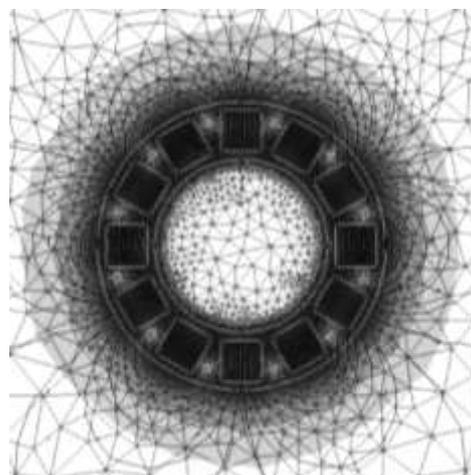


Рис.8. Цилиндрическая сборка Хальбаха

Цилиндрическая сборка Хальбаха (рис. 8) также состоит из 12 неодимовых магнитов, которые расположены по окружности, но уже с различными направлениями магнитного поля относительно центра окружности, которые соответствуют последовательности «←↑ → ↓←↑ → ↓».

Если сравнить напряженности магнитных полей цилиндрических сборок аналогично линейным сборкам, а именно в точке удаленной от края внешней окружности на 10 мм с

координатами (250; 210), то можно также заметить большую разницу – напряженность в сборке Хальбаха больше в 26,2 раза.

Таким образом, при использовании данныхборок можно создавать необходимую напряженность магнитного поля используя меньшее количество магнитов, что может найти широкое применение в разных сферах и существенно уменьшить затраты на материалы.

### Список литературы

1. Магнитная сборка Хальбаха [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитная\\_сборка\\_Хальбаха](https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитная_сборка_Хальбаха) (дата обращения 29.09.2022).
2. Halbach Arrays (Сборки Хальбаха) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kjmagnetics.com/blog.asp?p=halbach-arrays> (дата обращения 03.10.2022).
3. Е.И.Байда. Расчет электромагнитных и тепловых полей с помощью программы FEMM: Учебно-методическое пособие – Х.: 2015. – 147 с.

## ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА КОЖИ И ПЕРГАМЕНА

НЕЕЛОВА А.Д., ЛЕПЕХИНА Т.К., ЖУРБА Д.В., ПАРФЕНОВ В.А.

*Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ»  
им. В.И.Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты лазерной очистки модельных образцов и исторических артефактов из кожи и пергамента при помощи иттербиевого волоконного импульсного лазера с длиной волны 1,06 мкм. Представлены сведения об оптических свойствах кожи и пергамента, а также результаты исследования влияния лазерного излучения на кислотность кожи.

*Ключевые слова:* лазерная очистка, наука о сохранении культурно-исторического наследия, применение лазеров, реставрация книг и документов.

### Введение

В последние годы лазерные технологии находят все более широкое применение в области сохранения культурно-исторического наследия [1-2]. Наиболее часто лазеры используются для определения химического состава, документирования произведений искусства и структурной диагностики [3]. Также лазерное излучение используется для очистки памятников от поверхностных загрязнений антропогенного или биологического происхождения [4]. По сравнению с традиционными методами реставрации применение лазерных технологий для очистки имеет ряд преимуществ, среди которых высокая эффективность, щадящий характер воздействия на обрабатываемый материал, точность и скорость удаления загрязнений. На сегодняшний день наиболее отработанной является технология лазерной очистки предметов искусства из камня и металла, но лазерная реставрация органических материалов пока еще находится на стадии поисковых научно-исследовательских работ. При этом если по лазерной очистке бумаги в научной литературе имеется довольно много публикаций, то использованию лазеров в реставрации предметов из кожи посвящены только отдельные разрозненные работы.

Одной из важнейших характеристик кожи в реставрационной практике, непосредственно влияющей на ее сохранность, является показатель кислотность кожи (рН). Высокое значение показателя кислотности свидетельствует об ускорении процесса старения кожи.

В данной статье описаны результаты лазерной очистки как модельных образцов, так и подлинных исторических артефактов из кожи и пергамена при помощи иттербиевого волоконного импульсного лазера с длиной волны 1,06 мкм.

### Результаты экспериментальных исследований

Объектами исследований в данной работе служили модельные образцы из современной кожи и пергамена, а также фрагменты переплета из кожи книг XIX века (тиснёный корешок, покрытие крышки переплета) и фрагмент пергамена, датируемого периодом не раньше XVIII века.

Для имитации загрязнений на поверхность модельных образцов наносилась графитная пыль. Для артефактов характерными загрязнениями явились пылевые загрязнения, следы карбонизации, а также надписи, выполненные чернилами.

Для выбора длины волны лазерного излучения был использован подход, описанный для лазерной очистки бумаги в [5]. Как показано авторами, данный подход к выбору параметров излучения позволяет эффективно удалять загрязнения, не повреждая обрабатываемый материал. Для уточнения оптических свойств исследованных образцов и артефактов были получены спектры отражения. Измерение спектров было выполнено при помощи интегральной сферы «Avantes AvaSphere». В качестве примера, на рисунке 1 приведены спектры двух исследованных образцов. Как видно из рисунка, в диапазоне длин волн от 600 нм и до 1100 нм поверхность кожи отражает около 75% лазерного излучения, для пергамена наибольшие значения коэффициента отражения достигает в диапазоне длин волн от 900 нм до 1100 нм, из чего был сделан выбор в пользу использования длины волны 1064 нм – длины волны иттербиевого волоконного лазера, который уже был использован нами ранее для реставрации бумаги [5-7].

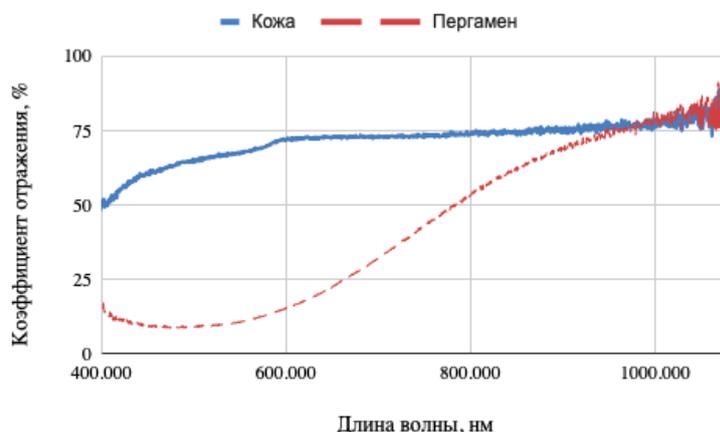


Рис. 1. Спектры отражения кожи и пергамена

При проведении экспериментов использовались следующие параметры лазерного излучения: длина волны излучения – 1,06 мкм; максимальная средняя мощность – 30 Вт; длительность импульса 100 нс; максимальная частота повторения импульсов – 100 кГц.

Для оценки результатов лазерной очистки были использованы методы оптической микроскопии.

Для оценки показателя кислотности кожи до и после лазерной очистки был использован метод холодной экстракции согласно ГОСТ 12523-77 «Целлюлоза, бумага, картон.

Метод определения величины рН водной вытяжки». Измерение проводилось электронным контактным рН-метром.

Модельные образцы из современной кожи были очищены от графитной пыли при помощи волоконного иттербиевого лазера. Результаты очистки можно оценить как положительные, так как после обработки не было обнаружено следов повреждения поверхности кожи. Фрагменты старинных переплетов из кожи также были успешно очищены от следов чернил (рис.1) и въевшихся загрязнений. В результате очистки материалу был возвращен начальный светлый оттенок (рис. 2 а). Область корешка книги с тиснением (рис. 2 б) заметно посветлела после очистки от следов копоти.



Рис. 2. Фрагмент старинной кожи с надписями, выполненными чернилами после лазерной очистки



Рис. 3. Изображения с оптического микроскопа корешка старинной книги после лазерной очистки: (а) – области без тиснения; (б) – область с тиснением

Фрагмент старинного пергамена был также очищен от въевшихся загрязнений без видимых повреждений (рис. 3). На изображениях, полученных с помощью оптического микроскопа не наблюдается отслоения волокон пергамена или каких-либо иных разрушений (рис. 4).



Рис. 4. Фрагмент исторического пергамена после лазерной очистки



*Рис. 5. Изображение с оптического микроскопа фрагмента исторического пергамента после лазерной очистки: (а) – область сильного загрязнения; (б) – область слабого загрязнения (справа не очищенная область, слева - после лазерной очистки)*

При проведении измерения величины рН методом холодной экстракции было установлено, что как и в случае с бумагой [8] происходит частичная нейтрализация материала. Для фрагмента корешка книги показатель рН в исходном состоянии был равен 3,47, а после лазерной очистки – 3,70. Данный факт подтверждает безопасность использования лазера для реставрации предметов культурно-исторического наследия из кожи.

### **Заключение**

Лазерная очистка образцов кожи в целом дала положительные результаты. Обработка тисненого кожного переплета проиллюстрировала, что лазер является эффективным способом очистки тиснений, сложных в реставрации традиционными методами. Помимо искусственных загрязнений графитной пылью с поверхности кожи были успешно удалены следы пылевого загрязнения, осветлены следы копоти, а также чернил.

Лазерная очистка пергамента также дала положительные результаты как на модельном образце, так и на фрагменте подлинного документа из пергамента.

Результаты измерения кислотности кожи показали, что после лазерной очистки не происходит существенного изменения величины рН в сторону большей кислотности, что говорит о безопасности использования лазерного излучения в реставрации кожи.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что лазерная многоимпульсная обработка поверхности кожи и пергамента, осуществляемая посредством твердотельного волоконного иттербиевого лазера с длиной волны 1,06 мкм является эффективным и безопасным методом удаления загрязнений с поверхности таких органических материалов, как кожа и пергамен.

### **Список литературы**

1. Fotakis C. Anglos, D., Zafropoulos, V., Georgiou, S., Tornari, V. Lasers in the preservation of cultural heritage: principles and applications. CRC Press, 2006.
2. Cooper M. Laser Cleaning in Conservation: An Introduction. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.
3. Асмус Д., Парфенов В. А. Лазерные и оптико-электронные методы документирования, анализа и создания копий произведений искусства. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 160 с.
4. Парфенов В. А. Лазерная очистка памятников истории и культуры. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 160 с.
5. V. A. Parfenov, S. V. Titov. Technical and Technological Aspects of Laser Cleaning for Books and Documents. Proceedings of the IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2019, pp. 903-906.

6. Parfenov V., Galushkin, A., Tkachenko, T., Aseev, V. Laser Cleaning as Novel Approach to Preservation of Historical Books and Documents on a Paper Basis //Quantum Beam Science. 2022. Т. 6. №. 3. С. 23.

7. Neelova A. D., Vasilieva, A. V., Rongonen, S. L., Vasiliev, O. S., Safronov, D. V., Parfenov, V. A. Laser Cleaning of Paper //2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). IEEE, 2022. pp. 1134-1137.

8. Неелова А.Д., Шепилова Е. М., Носова Е. И., Ронгонен С.Л., Парфенов В.А. Исследование химических и механических свойств бумаги после лазерной очистки. Сборник трудов XII Международной конференции по фотонике и информационной оптике. 2023. с. 376.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА ПРИ МОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ МЕСТНОСТИ

Орлова Н.В.<sup>1</sup>, Никифоров Г.<sup>2</sup>, Жуков В.К.<sup>3</sup>, Саранцева В.А.<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

<sup>3</sup>РГПУ им. А. И. Герцена

**Аннотация.** Рассматриваются беспилотные летательные аппараты в мониторинге местности. Приведены различные виды дронов и способы их применения в промышленности.

*Ключевые слова:* беспилотные летательные аппараты, мониторинг окружающей местности с использованием БПЛА, дистанционное зондирование земли.

### Введение

БПЛА или же “дрон”, вовсе не новинка 21 века. Первые прототипы появились в 19 веке. Никола Тесла не просто теоретизировал, а зарегистрировал патент, в котором говорилось о транспортном средстве, управляемом при помощи радиоволн. Тесла разработал концепцию боевых дронов, которые, как он считал, смогут усмирить воинственный дух наций, и прекратить войны, благодаря угрозе применения “безошибочной и неограниченной разрушительной силы” [1].

В течении прошедшего десятилетия в этой области произошел настоящий прорыв. Благодаря тому, что появилась возможность сделать дроны миниатюрными и удешевить производство, БПЛА стали использовать не только в военной, но и в гражданских отраслях. Распространение получили все же не бытовые дроны для развлечения, а летательные аппараты для научных задач и промышленности.

В современном мире квадрокоптер (дрон, коптер) — это беспилотный летательный аппарат, он управляется дистанционно, чаще всего с пульта или со смартфона. Связь между квадрокоптером и устройством управления осуществляется по стандарту Wi-Fi или радиоканалу. Иногда квадрокоптеры поддерживают сразу оба варианта управления, что повышает удобство их эксплуатации. Существует множество разновидностей дронов, например, для съемки (Рис.1), дроны с программируемыми платами, дроны с “щупальцами для переноса объекта” и др.



*Рис. 1. Дрон Mavic Air*

Беспилотные летательные аппараты могут применяться во всех отраслях, где необходим обзор местности и мониторинг объектов с воздуха. Дроны помогают минимизировать риски для персонала, сократить издержки, оптимизировать работу предприятия и оперативно принять необходимое решение проблемы.

#### **Дистанционное зондирование Земли**

В современном мире можно выделить множество отраслей, в которых необходимо принимать решения в зависимости от существующей обстановки в окружающей местности. Например, инженерам для составления точного технического задания и осознания всех параметров и характеристик исследуемого объекта, необходимо провести предпроектные работы, которые включают в себя сбор исходных данных и эскизное проектирование. Учитывая человеческий фактор, ряд информации может быть утерян или некорректно представлен. Для решения этой проблемы применяется мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов.

С помощью, установленной на БПЛА камере производится фотографирование с различных ракурсов по плотной сетке с высоким процентом перекрытия снимков, или же видеосъемка исследуемой местности, которая в дальнейшем преобразуется в множество фотографий для дальнейшей обработки.

Существуют разные модификации 3D карт, но оценить местность можно только в местах, доступных для перемещения на автомобиле. Для беспилотных летательных аппаратов нет существенных преград в виде рельефа местности.

С помощью технологии цифровой аэросъемки удается получить облако точек, с помощью которого можно создать трехмерные модели объекта путем обработки с помощью программного обеспечения.

Процесс создания 3D модели объекта заключается в следующем:

- осуществляется облет территории (рис. 2), результатом чего служит файл формата `trf4`.

- проводится покадровое разбиение. В среднем с пятиминутного ролика получается порядка 9300 фотографий.

- выбирается тип шаблонов, необходимых для построения 3D модели. В результате формируется набор данных LAS, графически представленный в виде облака точек (рис. 3). Набор данных LAS может хранить ссылки на один или несколько файлов LAS (Las файл – это текстовый файл в dos кодировке, содержащий диаграммы ГИС в формате Las 4.0) на диске, а также на дополнительные объекты поверхности.



Рис. 2. Маршрут полета

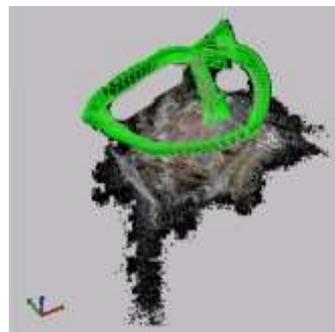


Рис. 3. Облако точек

Для получения рельефа местности, полученный набор файлов LAS загружается в геоинформационную систему, где путем обработки получается трехмерная модель исследуемой местности, с помощью которой можно не только провести анализ рельефа, но и получить всю необходимую информацию путем визуального осмотра (рис. 4).



Рис. 4. Трехмерная модель исследуемой местности.

Таким образом, несмотря на свой малый размер БПЛА может принести огромный вклад в развитие большого количества отраслей и сэкономить трудозатраты работников и приумножить ресурсы.

### Список литературы

- 1..Как все начиналось: история летающих дронов. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/446520/> Дата обращения (15.04.2023)
2. Шевченко О.Ю., Боричевский А.Б. Использование беспилотных летательных аппаратов для ведения мониторинга использования территорий // Экономика и экология территориальных образований. №3, 2015.
3. Методы использования данных с дрона. Aeromotus. [Электронный ресурс]. URL: <https://aeromotus.ru/metody-primeneniya-dannyh-s-drona/> Дата обращения (16.04.2023)

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕКОРАТИВНОГО ВОРОНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

М. САЛХАБ<sup>1</sup>, Я. ДЖАБР<sup>1</sup>, Д.В. ЖУРБА<sup>1</sup>, О.Г. ЗОТОВ<sup>2</sup>, В.А. ПАРФЕНОВ<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)

**Аннотация.** В данной работе представлено исследование по лазерной обработке углеродистой стали, посвященное восстановлению "воронения" на объектах декоративно-прикладного искусства из стали. В ходе исследования на поверхности металла создавались оксидные слои с различными оттенками цвета. Исследование демонстрирует потенциал лазерной очистки для эффективного удаления искусственно созданной коррозии и восстановления исходного цветового оттенка путем повторной лазерной обработки.

**Ключевые слова:** воронение, восстановление, коррозия, углеродистая сталь, лазерная обработка, цветной оксидный слой, цветовое пространство  $L^*a^*b^*$ , евклидово расстояние.

### Введение

Одной из самых сложных задач современной музейной работы является восстановление декоративной отделки, так называемого "воронения". Воронение - это процесс получения слоя оксидов железа различных цветов (синего, желтого и некоторых других) на поверхности углеродистой, низколегированной стали или чугуна. В результате воздействия окружающей среды, в первую очередь коррозии, воронение может быть повреждено или может пропасть полностью. К восстановлению первоначального цвета таких объектов необходимо подходить с максимальной аккуратностью, не причиняя вреда поверхности изделия.

Традиционные методы реставрации, включающие химическую и механическую обработку, могут привести к повреждению поверхности объекта, что делает их непригодными для использования в отношении объектов культурного наследия. Лазерная обработка может рассматриваться как потенциальная альтернатива традиционным методам реставрации, поскольку она обеспечивает бесконтактный метод обработки поверхности, который позволяет удалить коррозию, сохраняя поверхность объекта [1, 2]. Хотя лазеры уже использовались в реставрационной практике, их основное назначение - удаление природных и антропогенных загрязнений с объектов. Цель данной работы - исследование использования лазерной обработки для восстановления воронения.

### Методы и материалы

В экспериментах мы использовали типовые металлические образцы, изготовленные из углеродистой стали. Образцы вырезали до размеров 30 x 30 мм и толщиной 3 мм, а затем промывали изопропиловым спиртом.

Облучение образцов проводилось импульсным иттербиевым волоконным лазером (1064 нм) со средней выходной мощностью 50 Вт, переменной длительностью импульса (1-120 нс), частотой повторения (2-1000 кГц) и максимальной скоростью сканирования 4000 мм/с. Лазерный луч фокусировался на образцах с помощью линзы F-Theta с фокусным расстоянием 130 мм и диаметром 50 мкм в фокальной точке.

В ходе работы на поверхности образцов модельной углеродистой стали было получено множество оксидных слоев с различными цветовыми оттенками. Полученное

цветное декоративное покрытие было химически повреждено путем обработки агрессивным раствором соляной кислоты (HCl), который может имитировать скорость атмосферной коррозии металла [3]. В результате были получены различные степени повреждения окрашенных участков. Затем была проведена лазерная обработка, включающая лазерную очистку и полировку поверхности с последующей дальнейшей лазерной обработкой для восстановления первоначального цветового оттенка на поверхности образцов модели.

Микроструктура поверхности металла исследовалась с помощью оптического светового микроскопа "Leica DMI 5000" (производства Leica Microsystems, Ветцлар, Германия). Изменение шероховатости поверхности металла измеряли с помощью прибора "MarSurf PS1 Surface Roughness Tester" (производство Mahr GmbH, Геттинген, Германия).

Для объективной оценки цветовых изменений между оригинальными и восстановленными цветами использовался спектрофотометр. Цветовые измерения регистрировались с помощью спектрофотометра "BYK Spectro-Guide Sphere Gloss Spectrophotometer" (производства BYK-Gardner GmbH, Германия).

Мы использовали цветовое пространство CIE  $L^*a^*b^*$ , которое является одной из наиболее полезных систем для колориметрической идентификации. Оно позволяет легко оценивать цветовые различия, а его единичный вектор приблизительно идентичен цветовому разрешению человеческого глаза. Параметр  $L^*$  представляет светлоту или темноту цвета, при этом  $L^*=0$  - черный, а  $L^*=100$  - белый. Параметры  $a^*$  и  $b^*$  описывают цвет с точки зрения его положения на оси красный-зеленый и синий-желтый, соответственно (рис. 1).

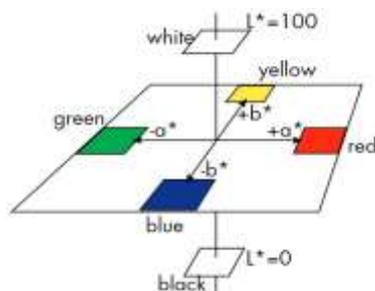


Рис. 1. Цветовое пространство CIE  $L^*a^*b^*$  [4].

Поскольку на воспринимаемый цвет влияет угол наблюдения [5], мы провели измерения для определения оптимального угла. В качестве показателя оптимального угла использовалось сходство между цветом, воспринимаемым на металлической пластине, и цветом, рассчитанным по наблюдаемым данным  $L^*a^*b^*$ . Исходя из этого, мы выбрали угол приблизительно 65 градусов, который оставался постоянным для всех измерений.

Разница между двумя измеренными цветами может быть представлена с помощью формулы разницы цветов CIE [6]:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

где  $\Delta E_{ab}^*$  (общая цветовая разница) - евклидово расстояние между двумя точками в трехмерном цветовом пространстве, а  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  и  $\Delta b^*$  указывают, насколько сильно отличаются стандарт и образец.

Согласно гипотезе, значение  $\Delta E_{ab}^* = 1$  является наименьшим цветовым различием, которое может обнаружить статистический человеческий глаз. На практике значения

$\Delta E^*_{ab}$  от 4 и выше обычно обнаруживаются обычным человеком, но разницу  $\Delta E^*_{ab}$  в 2 может определить только опытный специалист. Согласно статистическим исследованиям, цветовая разница  $\Delta E^*_{ab}$  от 6 до 7 обычно считается "приемлемой" среди покупателей печатных материалов [4]. Для оценки сходства исходного и восстановленного цветов мы использовали ту же шкалу. Мы также сравнили индуцированный лазером цвет с цветами, представленными на цветовых картах (производства Maimeri, Mediglia, Италия), чтобы убедиться, что он соответствует международным стандартам.

### Результаты и обсуждение

Нагревание с помощью иттербиевого волоконного лазера обеспечило инновационный подход к управлению окислением металла и геометрической структурой оксидных слоев, что привело к созданию искусственных многоцветных изображений (синих, золотисто-желтых, бело-серебристых и фиолетовых) на металлических поверхностях.

Регулировка параметров лазера, таких как мощность, частота повторения и скорость сканирования луча, позволила получить индуцированные лазером цветные оксидные слои с различными цветами поверхности и микроструктурными образованиями. Изменение параметров лазера повлияло на окраску поверхности и микроструктуру образцов из углеродистой стали путем изменения общего суммарного лазерного флюенса в зоне сканирования. Микроскопическое изображение индуцированного лазером оксидного слоя синего цвета на поверхности углеродистой стали показано на Рис. 2а.

Образование коррозии на окрашенном в синий цвет участке образца углеродистой стали привело к различным степеням повреждения цвета (рис. 2б) и увеличению шероховатости поверхности от  $R_a = 2,79$  мкм до образования коррозии до  $R_a = 9,11$  мкм после нее. Повторная лазерная обработка корродированных образцов путем очистки и полировки уменьшила шероховатость поверхности  $R_a$  с 9,11 мкм до 2,75 мкм после лазерной очистки и полировки. Микроструктура полированной поверхности показана на Рис. 2в. Лазерная обработка была проведена снова для восстановления первоначального оксидного слоя синего цвета, а текстура и цвет поверхности очень напоминали исходные характеристики образца (Рис. 2г).

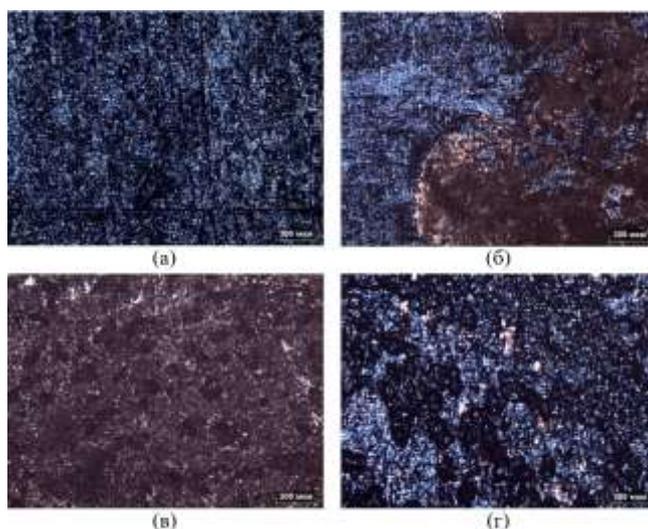


Рис. 2. Микроскопические изображения поверхности стали при увеличении 50 ×: (а) - индуцированный лазером синий цветной оксидный слой; (б) - область после образования коррозии; (в) - после удаления коррозии с помощью лазерной очистки и полировки; (г) - область после восстановления цвета лазером.

Цветовые измерения, проведенные с помощью спектрофотометра, показаны в Таблице 1. Общая цветовая разница между исходным синим цветом и восстановленным цветом после лазерной обработки составила  $\Delta E^*_{ab} = 3,11$ , что ниже допустимого предела,  $\Delta E^*_{ab} = 7$ . Таким образом, результаты показывают, что восстановление исходного цвета с помощью нескольких этапов лазерной обработки является приемлемым и перспективным подходом.

Таблица 1

**Параметры цвета и измеренная общая цветовая разница**

Образец	Координаты CIE							Положение пика (нм)
	L*	a*	b*	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$	
Стандартный синий цвет (Из таблицы цветов)	34,20	-2,07	-26,65					
Изначальный синий цвет (Экспериментально индуцированный лазером)	35,28	-5,82	-28,06	-1,08	3,75	1,41	4,15	470
Восстановленный синий цвет (После обработки лазером)	32,21	-5,43	-27,76	3,07	-0,39	-0,3	3,11	480

Однако измерения общей разницы в цвете не дают информации о направлении изменения цвета (т.е. светлее или темнее, краснее или зеленее, более синий или желтый). Поэтому для полного понимания различий между цветами необходимо отдельно оценить разницу в значениях  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$ .

### Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что обработка лазером является эффективным методом восстановления воронения на поверхности объектов культурного наследия, изготовленных из железосодержащих металлов. Однако этот вывод следует рассматривать как предварительный, поскольку он основан на экспериментальных данных, полученных на модельных образцах. Для получения более точных результатов рекомендуется провести дальнейшие исследования по обработке лазером реальных исторических объектов.

### Список литературы

1. Cooper M. Laser Cleaning in Conservation // Oxford: Butterworth-Heinemann. 1998.
2. Парфенов В. А. Лазерная очистка памятников истории и культуры. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 160 с.
3. Nikolov N., Marcheva Y., Tsonev V. Methods for preparation of corroded steel specimens for mechanical testing. MATEC Web of Conferences, 2019, V. 287, p. 07004. Doi: 10.1051/mateconf/201928707004.
4. Bunting, F. The Color Shop, Color Primer: An Introduction to the History of Color, Color Theory, and Color Measurement (Light Source Computer Images, Inc., An X-Rite Company, Grandville, 1998), pp. 43-44.
5. Fujimoto S., Tsujino K., Shibata T. Growth and Properties of Cr-Rich Thick and Porous Oxide Films on Type 304 Stainless Steel Formed by Square Wave Potential Pulse Polarisation. Electrochimica Acta 2001, 47, 543–551, Doi: 10.1016/s0013-4686(01)00782-4.
6. McLAREN K. XIII-the Development of the CIE 1976 ( $L^*a^*b$ ) Uniform Colour Space and Colour-Difference Formula. Journal of the Society of Dyers and Colourists 1976, 92, 338–341, Doi: 10.1111/j.1478-4408.1976.tb03301.x.

## СИСТЕМА АНАЛИЗА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

ОРЛОВА Н.В., САРАНЦЕВА В.А.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы анализа показателей выбросов по количественным критериям, возможность автоматизации процесса и структура данной системы.

*Ключевые слова:* загрязнения атмосферы, система анализа выбросов, автоматизация анализа показателей выбросов загрязняющих веществ.

За последние годы серьезной проблемой стала защита атмосферы от загрязнений. Одной из причин постоянно усиливающегося загрязнения окружающей среды является интенсивное развитие промышленности. Наряду с технологическими прорывами государства, повышением уровня жизни населения, разработка современных технологических процессов привела к появлению проблемы загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами, которые прямым или косвенным способом вредно воздействуют на жизнь и здоровье человека, биосферу, природные ресурсы (воду и почву), здания и строительные материалы, а также на металлические конструкции.

Проблема загрязнения атмосферы выбросами загрязняющих веществ приводит к росту экономических затрат за счет увеличения заболеваемости (сопровождаемой повышенным потреблением фармацевтических средств), снижения воспроизводства лесов и урожайности сельскохозяйственных культур, ускорения коррозии металлов и увеличения стоимости их защиты, сокращения срока службы зданий, разрушения исторических объектов, повышения затрат на ведение домашнего хозяйства, чистку одежды и т.п.

Когда отходящие газы покидают дымовую трубу и поступают в атмосферу, на них начинают воздействовать внешние условия – главным образом давление, температура, а также скорость и направление ветра. Все эти нестабильные во времени и пространстве метеорологические факторы влияют на распространение дыма от дымовой трубы и перенос загрязняющих веществ на дальние расстояния.

Атмосфера земли находится в постоянном движении в основном вследствие неоднородного теплового баланса при прохождении солнечного излучения через слой воздуха. Таким образом, в зависимости от местоположения, высоты и времени, метеорологические параметры существенно изменяются, а вслед за ними изменяются и значения параметров загрязняющих веществ. Ручной контроль выбросов становится трудозатратным, отнимающим большое количество времени и сил. Поэтому для своевременного предотвращения чрезмерного загрязнения атмосферы необходимо автоматизировать процесс сбора информации и его анализа [1].

### **Структура системы анализов выбросов**

Основной целью разработки данной системы является автоматизация процесса, с целью уменьшения трудозатрат человека, а также в целях безопасности, так как места взятия проб могут включать в себя как рабочие зоны помещений, так и открытые площадки взрыво- и пожароопасных производств.

Для обеспечения возможности взятия проб в разных точках исследуемой местности в один и тот же момент времени используются газоанализаторы с поддержкой скоростного

адресного доступа к удаленному преобразователю (Highway Addressable Remote Transducer, HART), которые имеют возможность объединения в единую систему. Для передачи данных на автоматизированное рабочее место используются преобразователь сигнала HART в беспроводной WirelessHart и HART-шлюз (Рис. 1).

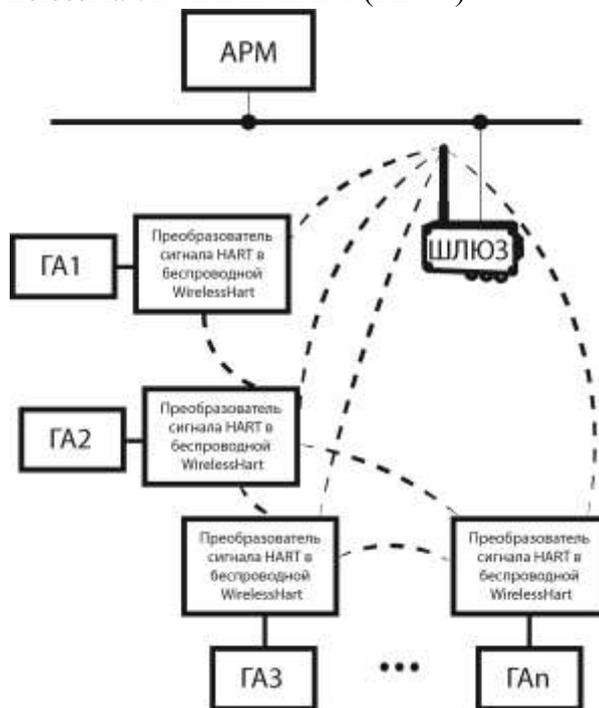


Рис. 1. Структурная схема системы анализа выбросов

### Анализ данных

Результаты взятия проб с газоанализаторов поступают на АРМ в формате \*.csv-файл (текстовый файл с разделителями) и в последующем объединяются в единую базу данных (БД), которая должна обеспечивать возможность анализа выбросов, преобразование единиц измерений и архивирование снятых данных. Причем, база данных должна содержать информацию о местах взятия проб и каждый анализируемый участок местности будет описываться перечнем информативных параметров  $Te = \{(C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in}), dt, dx, dy\}$ , где  $n$  – количество анализируемых веществ,  $dt$  – период времени забора проб по анализируемым параметрам,  $dx, dy$  – географические координаты расположения газоанализаторов.

Все эти требования к базе данных может удовлетворить геоинформационная система, которая обеспечивает пространственную привязку данных, пространственный анализ, а также визуализацию результатов [2].

Анализ заключается в сравнении полученных данных с одним или несколькими количественными критериями выбросов. Критерии количества выбросов могут быть выражены в массовых долях или объемных единицах, либо в процентном отношении к различным параметрам, таким как продолжительность, масса или объем газов, выходящих из источника выбросов (Табл. 1).

Таблица 1

Тип критерия	Выброс (обозначения и единицы измерения)
Масса выброса в единицу времени – массовый поток выброса	$mE^0$ кг/ч, т/год
Масса выброса на единицу суммарного объемного потока отходящих газов (ПДК)	$c$ мг/м <sup>3</sup>
Отношение масс или объемов выброса к суммарному газовому потоку – относительная концентрация выброса	$c_{wt}$ ppm (по массе) $c_{vol}$ % или ppb (по объему)
Масса выброса на единицу продукции или единицу потребляемого сырья	$mF$ кг/... на единицу продукции или сырья
Масса выброса на единицу площади. Суммирующий критерий выброса от всех источников определенного типа в исследуемом районе	$m_a$ т/(км <sup>2</sup> *год) (в строго определенной зоне)
Масса выброса на единицу пространства	$V$ %

Например, анализ выбросов по критерию ПДК заключается в сравнении снятых значений концентраций с предельно допустимыми значениями. Результаты, которые не удовлетворяют условию  $C_i < ПДК_i$ , где  $C_i$  – концентрация измеряемого загрязняющего вещества  $i$  (мг/м<sup>3</sup>), ПДК<sub>*i*</sub> – предельно допустимая концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в рабочей зоне (мг/м<sup>3</sup>), подсвечиваются на карте красным цветом, визуализируя исход анализа.

Например, рассмотрим завод, который является одним из технологических лидеров в России на рынке внутрискважинного оборудования для нефтегазовой отрасли (Рис. 2). Красной звездой обозначена труба, из которой выходят загрязняющие вещества.



Рис. 2. Завод нефтегазовой отрасли

Предположим, что контроль осуществляется с помощью пяти газоанализаторов. Данные, полученные с них в формате \*.csv-файл загружаются базу данных, а затем в геоинформационную систему и анализируются. Анализ осуществляется по критерию предельно допустимой концентрации. Для этого значение концентрации по каждому из исследуемых веществ нормируется по ПДК и на основе шкалы категорий (Рис. 3) точечные объекты – газоанализаторы, визуализируют результат в исследуемый момент времени (Рис. 4). Из рисунка 4 видно,

что максимальная концентрация достигается в газоанализаторе, расположенном на выходе из трубы. На втором и третьем измерительном приборе (обведены в красный круг), концентрация не превышает нормы, но близка к критическому значению, а на четвертом и пятом газоанализаторах концентрация загрязняющих веществ лежит в пределах нормы.

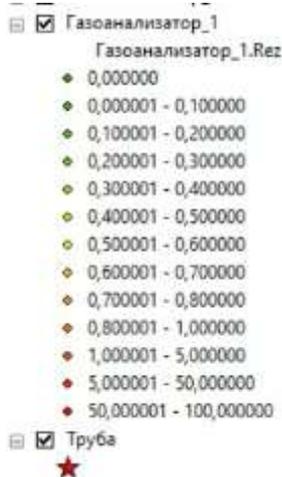


Рис. 3. Шкала категорий

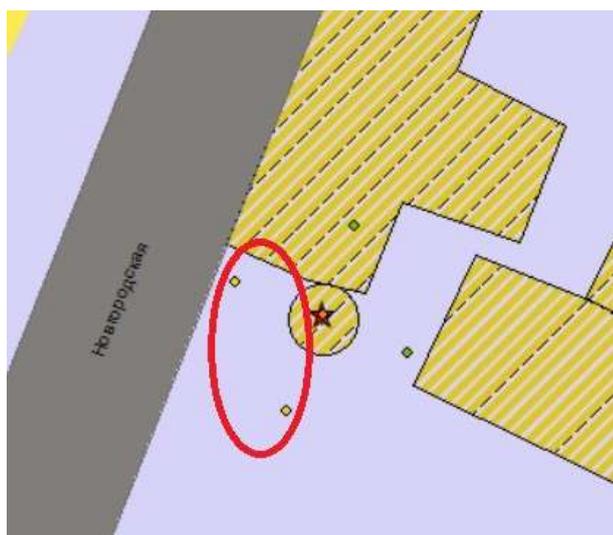


Рис. 4. Визуализация загрязняющих выбросов

Таким образом, использование представления данных в геоинформационной технологии обеспечивает автоматизированную обработку данных при решении различных прикладных задач и удобное представление результатов анализа.

### Список литературы

1. Охрана воздушного бассейна от загрязнений / Б. Бретшнайдер, И. Курфюрст // Химия. 1989.
2. Применение геоинформационных технологий в информационно-измерительных системах мониторинга / В.В. Алексеев, Н.В. Орлова [и др.] // Приборы. 2014. №11.С.14-22

## ИНТЕГРАЦИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСС КОЛИЧЕСТВЕННОГО И КАЧЕСТВЕННОГО УЧЕТА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

В.К. СИЗОНЕНКО

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Интеллектуализация процесса учета качественных и количественных показателей нефти и нефтепродуктов повышает эффективность регулирования процесса учета, переключения между измерительными линиями (ИЛ) системы измерения количественных и качественных показателей нефти и нефтепродуктов (СИКН[П]) с целью повышения качества процесса измерения и надежности используемого метода учета.

**Ключевые слова:** интеллектуализация процесса, система автоматического управления, измерительные линии

Процесс транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральному трубопроводу сопровождается количественным и качественным учетом транспортируемого топлива в точках его отгрузки, для данного процесса используют специальные информационно-измерительные системы (ИИС), для получения информации о количественных и качественных параметрах транспортируемого топлива.

Функционирование данного объекта интеллектуализации подразумевает управление системой задвижек для перенаправления потока нефти или нефтепродуктов между рабочими и резервными измерительными линиями (ИЛ) с целью проведения технического или метрологического обслуживания оборудования на отключенной ИЛ. Количество рабочих и резервных ИЛ устанавливается с помощью формул указанных в приложении Г ГОСТ 34396-2018 [1].

На данный момент переключение потоков с топливом между ИЛ проводится товарным оператором с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) с системой управления состоянием СИКН[П] и оповещения о превышении предельных значений параметров, при которых допустимо ведение количественного и качественного учета топлива с помощью СИКН[П].

Интеллектуализация процесса управления задвижками с целью повышения скорости реагирования системы на возникающие сбои в ИЛ позволит повысить надежность метода используемого для учета количественных и качественных показателей нефти и нефтепродуктов и скорость реагирования на возникающие сбои и неполадки в ИЛ. Интеллектуальная составляющая системы управления измерительным процессом обеспечивается с помощью принятия системой решений на основе данных, полученных с датчиков. Данные, поступающие от датчиков на каждой ИЛ, сравниваются с установленными допустимыми значениями и на основании результата сравнения полученных значений с допустимыми принимается решение о переключении на другую ИЛ.

Данная система автоматического управления (САУ) измерительным процессом в составе (СИКН[П]) необходима для повышения надежности используемого метода измерения учета нефти и нефтепродуктов и скорости реагирования на превышение параметров, влияющих на качество процесса измерения расхода топлива. Технологическая схема ИЛ представлена на рисунке 1.

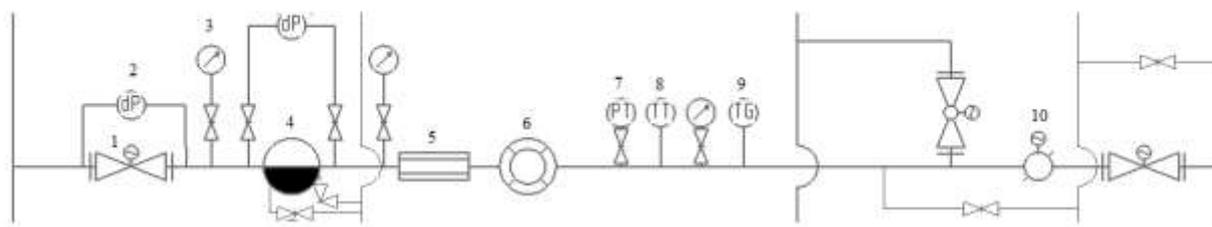


Рис.1. Технологическая схема ИЛ

В составе ИЛ представлены следующие элементы:

1. задвижка с электроприводом;
2. датчик дифференциального;
3. манометр;
4. фильтр грязеуловитель вертикальный;
5. струевыпрямитель;
6. турбинный преобразователь расхода;
7. датчик абсолютного давления;
8. датчик температуры;
9. термометр;
10. заслонка, регулирующая с электроприводом.

Комбинация из устройств, регистрирующих расход, температуру, абсолютное и дифференциальное давление потока нефти или нефтепродуктов формирует набор контролируемых данных для принятия решения о переключении между измерительными линиями. Показания расхода на отдельной измерительной линии сравниваются с показаниями расхода на остальных измерительных линиях в процессе работы с целью контроля достоверности показаний тахометрического датчика расхода.

Все показания, поступающие с датчиков, формирует набор измерительных сообщений, которые подвергаются последующей обработке, анализу и сравнению с установленными значениями. В процессе работы СИКН[П] превышения предельных показателей на рабочей ИЛ может привести к переключению на резервную ИЛ, но также необходимо учесть возможность отсутствия доступных резервных ИЛ в случае выхода из строя нескольких рабочих ИЛ за короткий промежуток времени, в таком случае система должна перекрыть поток топлива через ИЛ и перенаправить нефти или нефтепродукты на резервную систему учета с помощью резервуаров.

Для выполнения подобных операций необходимо ввести САУ с асинхронно-циклическим опросом, схема представлена на рисунке 1. Данная схема работает следующим образом. От датчиков Д поступает сигнал пропорциональный контролируемому параметру объекта. Напряжение на выходе датчиков подается на вычитающие блоки ВБ вместе с сигналом с блока номинальных значений БНЗ, на выходе вычитающего блока формируется сигнал пропорциональный разности двух входных сигналов, данный сигнал описывает отклонение текущего значения параметров от номинального значения. Сигналы на выходе ВБ подаются вместе с сигналом из блока допустимых отклонений БДО в блок сравнения БС, на выходе которого формируется «0», если отклонение не превышает допустимого значения, в обратном случае на выходе будет «1».

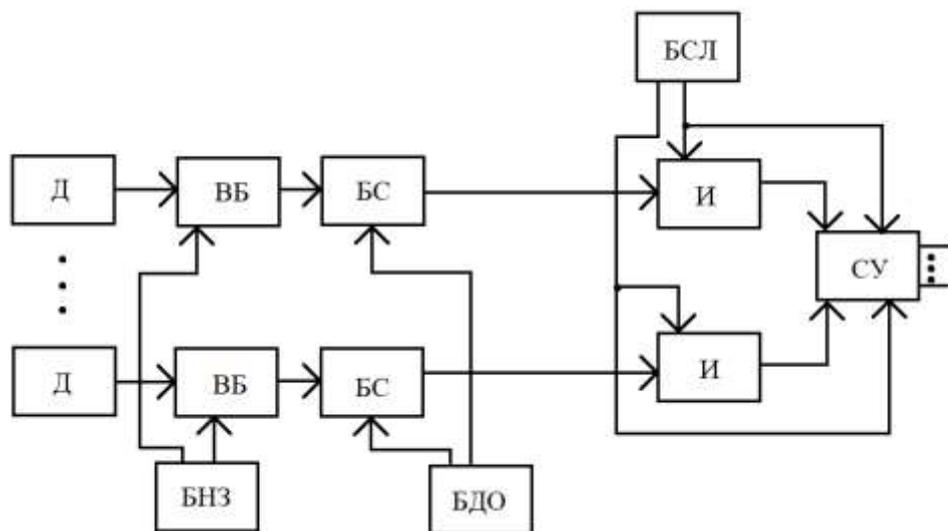


Рис.2. Структурная схема САУ на базе асинхронно-циклической системы

Сигнал на выходе БС поступает на вход логического элемента «И» вместе с сигналом из блока состояния линий. При одновременном появлении «1» на входах элемента «И» на его выходе формируется сигнал «1» поступающий на схему управления СУ. В случае формирования единицы на входе СУ, формируется управляющий сигнал для перекрытия задвижек для ИЛ, показания которой превышает допустимые, одновременно с этим СУ опрашивает БСЛ по порядку с целью инвертировать статус одного канала с «0» на «1» путем открытия задвижек на резервной ИЛ. Также в состав СУ входит счетчик единиц, в случае когда количество единиц счетчика меньше заданного значения, СУ подаст сигнал на все задвижки СИКН[П], чтобы остановить учет расходе нефти и нефтепродуктов через СИКН[П] и перейти на резервную схему учета, для этого у СУ есть дополнительный канал, который выдает сигнал «1» в случае, когда на остальных выходах формируется сигнал «0».

Таким образом САУ будет переключать потоки между ИЛ в случае превышения контролируемых показателей вместо оператора АРМ, что повысит надежность используемого метода измерения учета нефти и нефтепродуктов и скорость реагирования на превышение параметров на одной из ИЛ. В случае отсутствия доступных резервных ИЛ, САУ перекроет поток топлива через СИКН[П] и откроет задвижку на резервуары для резервной схемы учета нефти и нефтепродуктов.

### Список литературы

1. ГОСТ 34396-2018 Системы измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.
2. Фремке А. В., Телеизмерения. 1968 г., 262 с.
3. Постановление правительства № 451 от 16 мая 2014 года «Об утверждении правил учета нефти».
4. Методы и средства измерения количества нефти и газа: учеб. пособие / М.Г. Фазльяхматов, Л.С. Сабитов, Д.К. Лазарев и др. – Казань: Издательство Казанского университета, 2021., 256 с.
5. Антониюк К.М., Ломоносова Ю.С. Системы автоматического контроля со сжатием данных//Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. №7. С. 62-68.

## СЕКЦИЯ БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАССИВНОГО СМЕШЕНИЯ В КАНАЛАХ МИКРОФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ

М. В. БОГДАНОВА, Н. О. СИТКОВ

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию основных путей пассивного смешения жидкостей в каналах микрофлюидных систем и поиску подходов увеличения их эффективности. Приводится результат реализации в среде LabVIEW прибора для определения эффективности смешения в капиллярном канале Y-типа двух подаваемых жидкостей и его экспериментальная проверка.

*Ключевые слова:* микрофлюидная аналитическая система, микросмесители, пассивное смешение, диффузия в капилляре.

Жидкостные микроаналитические системы в настоящее время достигли широкого распространения во множестве научных областей. Они применяются в медицине и фармакологии, при контроле технологических процессов, для проверки токсичности веществ и действия их на живые ткани, при изучении живых организмов и сред их обитания и т.д. Эти устройства обычно изготавливаются с помощью технологий микросистемной техники, планарной и гибридной технологий микроэлектроники и принципов миниатюризации.

Главным отличием микрофлюидных систем от прочего распространенного сегодня аналитического лабораторного оборудования является использование микрообъемов жидкостей (порядка микролитров), что позволяет значительно снизить расход реагентов, электроэнергии, объема исследуемого вещества и в совокупности позволяет уменьшить затраты на проведение различных анализов.

Для решения ряда задач в микрофлюидных системах часто необходимо эффективное смешение двух потоков жидкостей. В чипах активного смешения для повышения эффективности этого процесса используют дополнительное оборудование, обеспечивающее внешнее воздействие на поток жидкости (например, это может быть воздействие пьезоакустических преобразователей). Однако, разработка и внедрение активных микросмесителей в лаборатории-на-чипе – достаточно сложный и дорогостоящий процесс, в отличие от использования микросмесителей пассивного типа.

При создании пассивных микрофлюидных смесителей следует учитывать свойства исследуемых жидкостей (вязкость, коэффициент диффузии и другие), скорость подачи жидкостей, геометрические параметры проектируемых каналов и узлов смешения, а также свойства материалов, из которых они будут изготовлены (шероховатость, биосовместимость, адсорбция веществ из растворов и другие). Каналы жидкостных микросистем имеют размеры сечения от 1 мкм до 1 мм, хотя наиболее распространенными считаются размеры 30–300 мкм [1]. Поскольку течение в таких системах в большинстве случаев характеризуется низкими числами Рейнольдса, при которых малый импульс жидкости не допускает образование устойчивых вихрей, смешение в этом случае определяется процессами диффузии, а критическими параметрами для разработки являются критерии гидродинамического подобия (числа Рейнольдса и Пекле) и характеристики диффузии (коэффициенты диффузии и среднеквадратичное диффузионное перемещение частиц) [2].

Среди всевозможных форм микромиксеров часто выбирают миксеры Y-типа, в которых жидкости поступают в два входных канала, направленных под углом  $90^{\circ}$  друг к другу, а их смесь вытекает из третьего выходного канала. Микросмесители Y-типа являются элементом очень многих микрофлюидных систем, показывая неплохую эффективность. Описанное расположение каналов обеспечивает частичное сложение (часто максимально возможное) импульсов подаваемых жидкостей, что увеличивает энергию смеси и способствует ее перемешиванию. Однако исследования показывают, что угол между входящими в точку смешения каналами в такой конфигурации не оказывает значительного влияния на процесс смешения [3], поэтому аналогично популярны и топологии систем с каналами T-типа, где жидкости подаются в точку смешения навстречу друг другу.

Для повышения эффективности смешения также используются различные конструкционные особенности микрофлюидных каналов, позволяющие, например, увеличить площадь поверхности между смешиваемыми жидкостями и уменьшить диффузионный путь частиц. Для создания микровихрей в потоках могут использоваться дополнительно формируемые препятствия в каналах, разбивающие поток, и различные изгибы каналов, позволяющие резко изменять направление течения. В многослойных системах увеличение эффективности смешения может достигаться за счет подачи жидкости в узел смешения с разных уровней системы [4]. Также существует метод, при котором в микрофлюидных каналах используются супергидрофобные подложки, улучшающие скольжение растворов веществ у стенок систем, что приводит к увеличению скорости потока. Наиболее эффективной по степени смешения будет топология системы, содержащая все перечисленные конструкционные особенности.

Для того, чтобы оценить эффективность процесса смешения двух жидкостей в миксере Y-типа в среде программирования LabVIEW был реализован прибор, рассчитывающий перечисленные выше характеристики диффузии и основные параметры, характеризующие процесс течения в канале, такие как числа Рейнольдса и Пекле. На основании расчетов прибор строит диффузионный профиль с помощью создания в Formula Node массива значений размером  $1000 \times 600$  элементом и переводом его в растровое изображение при помощи Draw Flattened Bitmap VI. На рисунке 1, а показан случай, когда в ходе течения по каналу шириной 200 мкм жидкости практически не перемешиваются. Такая реализация параллельного течения двух потоков может быть применена для сепарационных систем с межфазным массообменом, например, для систем очистки крови или других биологических жидкостей, микроэкстракции компонентов из сырья и многих других. На рисунке 1, б показана эта же система для случая, когда на выходе из канала из-за свойств исследуемых растворов смесь жидкостей оказывается высокоомогенной. Данный случай может использоваться в лабораториях-на-чипе в модулях пробоподготовки или в модулях селективного детектирования компонентов с помощью специфических химических реакций.

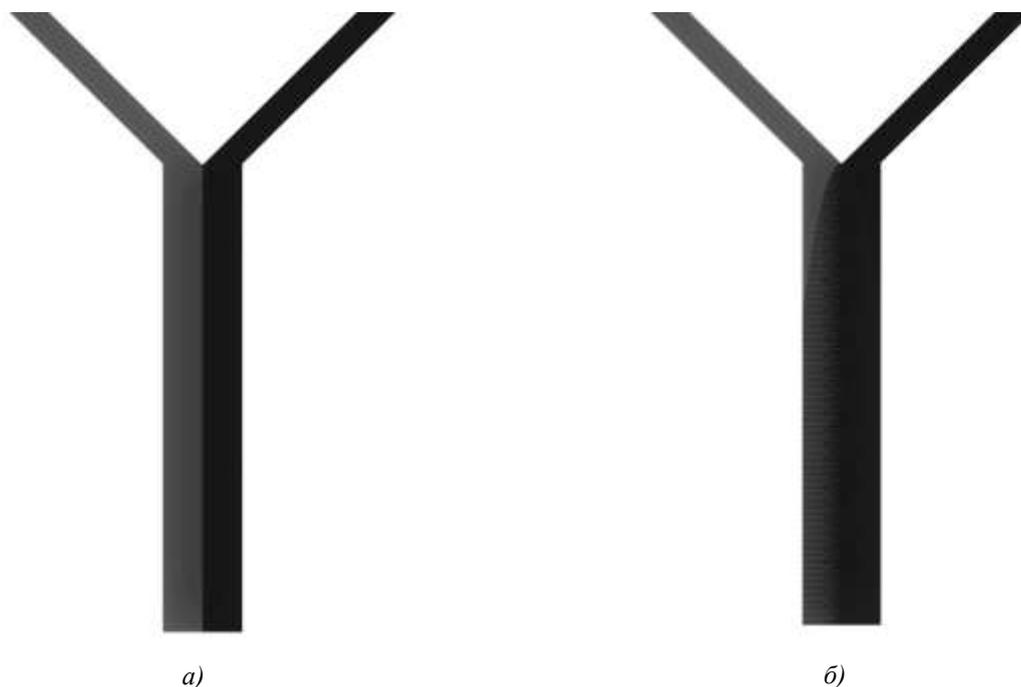


Рис. 1. а) Реализация параллельного течения двух жидкостей в двухкомпонентных микросмесителях; б) Реализация корректного смешения двух жидкостей в двухкомпонентных микросмесителях.

Таким образом в данной работе был реализован виртуальный прибор в среде программирования LabVIEW, позволяющий оценить эффективность смешения двух жидкостей, поступающих в канал микрофлюидной системы Y-формы. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментами по смешению водных растворов красителя Coomassie Brilliant Blue R-250 и 0,1 % раствора флуоресцеина в 3 мМ растворе NaOH. Системы для проведения экспериментов по смешению были выполнены по технологии пленочных фоторезистов, которая уже отлично зарекомендовала себя в других областях применения, например, в гибкой электронике, и является перспективной для применения в изготовлении лабораторий-на-чипе, поскольку успешно обеспечивает дешевое, легкое и высокопроизводительное производство. Также для проведения исследований изготовлена партия систем Y-каналов по технологии лазерной абляции полимеров, показавшая высокое качество формирования каналов шириной 200-300 мкм с гладкими вертикальными стенками.

### Список литературы

1. Буляница А. Л. Математическое моделирование в микрофлюидике: основные положения // Научное приборостроение. 2005. Т. 15. № 2. С. 51-66.
2. Гвоздев, Ю. А., Хафизов, Р. А., Гаммадов, Ш. М., Каблуков, Д. Е., Соловьев, А. В., Зими́на, Т. М., Кузнецова Н. В., Цветков, Б. Н. Элементы микрогидравлической логики в лабораториях на чипе // Биотехносфера. 2013. № 6 (30). С. 2-15.
3. Сарбашев, К. А., Никифорова, М. В., Шульга, Д. П., Шишкина, М. А., Тарасов, С. А. Процессы течения и перемешивания в микрофлюидном чипе пассивного смешивания: оценка параметров и цветометрический анализ // Тонкие химические технологии. – 2019. – С. 40.
4. Богданова М. В., Ситков Н. О., Зими́на Т. М. Исследование многоканальной микрофлюидной подсистемы смешения для оптического тестирования антибиотикорезистентности // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего» (Санкт-Петербург, май 2022 г.). – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. – С. 29-33.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИФфуЗИОННЫХ СВОЙСТВ СУСПЕНЗИЙ

БРУСИНА К.Е.

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

**Аннотация.** В работе представлены результаты разработки микрофлюидной системы для анализа диффузионных параметров наночастиц. Рассмотрены три разновидности метода термокомпрессионного связывания полимерных пластин: ступенчатый нагрев, нагрев с использованием растворителей, низкотемпературный бондинг. С использованием полученной микрофлюидной системы оценен коэффициент диффузии красителя Coomassie Brilliant Blue в буфере.

*Ключевые слова:* микрофлюидная система, магнитные наночастицы, термокомпрессионное связывание

### **Введение**

Применение магнитных наночастиц для лечения онкологических заболеваний в последнее время вызывает все больший интерес, так как магнитные наночастицы позволяют решить проблему локальной доставки лекарств к месту злокачественной опухоли. Свойства наночастиц за счет малых размеров и, как следствие, увеличения доли поверхности сильно отличаются от свойств объемных материалов. В однодоменных ферро- и ферри-магнитных наночастицах проявляется такой эффект, как суперпарамагнетизм, благодаря которому наблюдается повышение магнитной восприимчивости магнитных наночастиц по сравнению с объемной фазой [1]. При этом очень важной задачей является оценка диффузионных свойств магнитных наночастиц в различных средах. Для решения этой задачи могут быть использованы микрофлюидные устройства, позволяющие производить экспресс анализ процессов, протекающих в жидкости, ламинарный поток которой протекает по основному функциональному элементу любой микрофлюидной системы – микроканалу. В данной работе рассмотрена технология формирования микрофлюидной аналитической системы для оценки коэффициента диффузии наночастиц в суспензии, имитирующей плазму крови.

### **Материалы и методы**

Полимерные материалы широко применяются для изготовления микрофлюидных систем за счет их дешевизны и возможности подбора материала с необходимыми свойствами – гибкостью, оптической прозрачностью, инертностью к различным химическим веществам. Очень удобным материалом для формирования микрофлюидных систем является полиметилметакрилат (ПММА), так как он прозрачен в видимой области спектра, т. е. он позволяет наблюдать за процессами, протекающими в микроканале, в реальном времени. Также ПММА совмещает в себе высокую механическую прочность, малую пористость и устойчивость к большей части органических растворителей. Другим часто применяющимся в микрофлюидике полимером является полиэтилентерефталат (ПЭТ), он также характеризуется высокой химической инертностью, оптической прозрачностью. И ПЭТ, и ПММА являются термопластами, т. е. они способны при нагреве обратимо, т. е. с сохранением свойств после охлаждения, переходить в высокоэластичное состояние [2]. За счет этого термопласты отлично подходят для

соединения с использованием термокомпрессионного бондинга. ПММА толщиной 1,5 мм использован для изготовления подложки и крышки, обеспечивающей герметизацию микрофлюидной системы. Для формирования основного функционального слоя с рисунком микроканала выбран ПЭТ толщиной 300 мкм.

Перспективным методом формирования функциональных слоев микрофлюидных систем на основе полимеров является лазерная абляция, в процессе которой происходит испарение материала и его удаление с заданных участков на поверхности полимерного слоя под действием импульсов лазерного излучения [3]. На данном этапе очень важно правильно подобрать параметры лазерного излучения – скорость движения лазерной головки и мощность лазера. Для изготовления функционального слоя с микрофлюидным каналом из ПЭТ были подобраны следующие параметры, при которых наблюдается наилучшее качество канала: мощность лазерного излучения составляет 4 Вт, скорость – 10 мм/с. При увеличении скорости движения лазерной головки проявлялась ребристость канала (рис. 1).

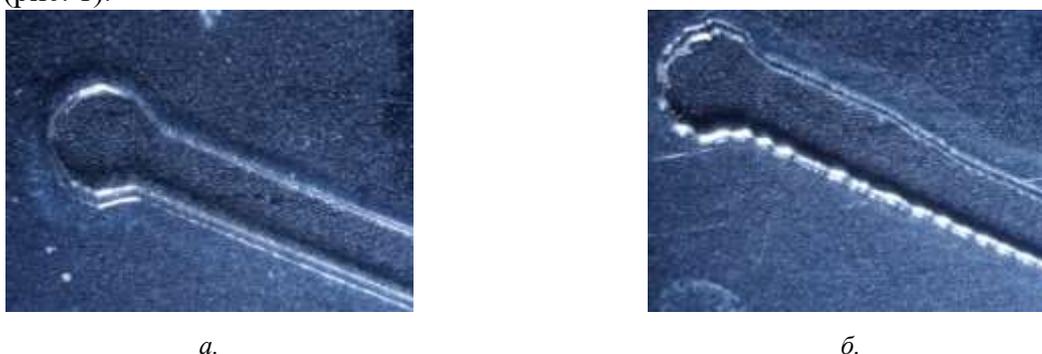


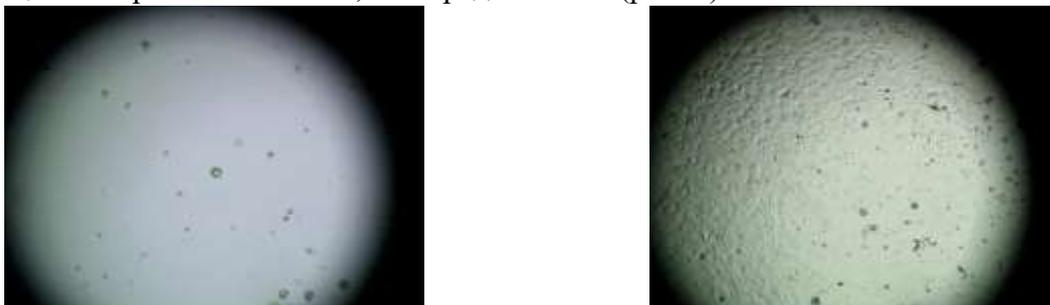
Рис. 1. Микроканал, полученный при различных скоростях движения лазерной головки (а. – 10 мм/с, б. – 15 мм/с)

Для соединения полученных слоев и одновременной герметизации структуры используется термокомпрессионное связывание (рис. 2). Оно осуществляется посредством нагрева предварительно совмещенных полимерных слоев до температуры, превышающей температуру стеклования, под давлением. Поскольку слои полимера приводятся в атомный контакт между диффундирующими под действием тепловой энергии молекулами полимера образуются химические связи [4]. Для обеспечения необходимого давления использованы металлические прессы. Оптимальная температура для термокомпрессионного связывания – 120°C: при меньших температурах наблюдалось расслаивание структуры, при больших – помутнение ПММА. Для релаксации механических напряжений в вырезанных пластинах и для повышения равномерности нагрева пластины нагревались ступенчато с остановками на 10 минут при температурах 80, 90, 100 и 110°C. Затем осуществлялся непрерывный нагрев до 120°C. На конечной температуре системы выдерживались 30 минут.



Рис. 2. Микрофлюидная система, сформированная с помощью ступенчатого нагрева

Также была протестирована методика химического термокомпрессионного соединения. В этом случае поверхность полимерных слоев перед бондингом обрабатывается растворителями, что способствует образованию химических связей. Были использованы хлороформ и дихлорэтан – органические растворители ПММА. В обоих случаях наблюдалась деградация поверхности ПММА, что представлено (рис. 3).



а. б.  
Рис. 3. Поверхность ПММА после термокомпрессионного соединения  
(а. – без использования растворителей, б. – с использованием хлороформа)

Существует низкотемпературный метод термокомпрессионного соединения пластин из ПММА. В этом случае функциональные слои обрабатываются водным раствором изопропилового спирта (70%) перед совмещением для дополнительной активации поверхности, для обеспечения давления используются канцелярские зажимы. Структура выдерживается при температуре 68°C 15 минут. Качество соединения пластин оказывается хуже, чем при постепенном нагреве до 120°C: после применения пластины начинают расслаиваться, также при флуктуациях температуры в печи пластик пузырится (рис. 4).

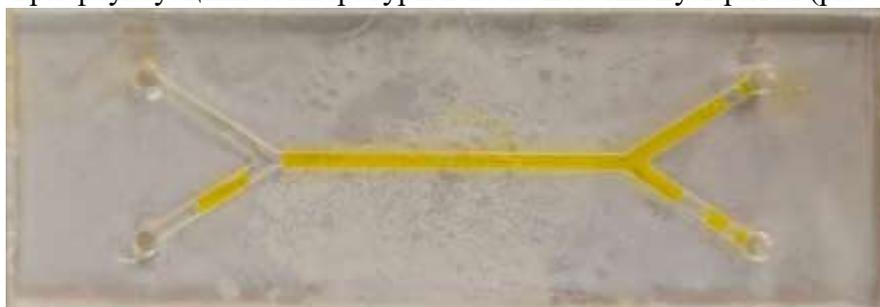


Рис. 4. Микрофлюидная система, сформированная с помощью низкотемпературного метода

### Результаты и обсуждение

С использованием сформированной микрофлюидной системы оценен коэффициент диффузии красителя Coomassie Brilliant Blue в буфере [5]. По интенсивности окраски суспензии (рис.5) определено среднеквадратичное диффузионное перемещение частицы за рассмотренное время  $\langle x^2 \rangle^{1/2}$ .

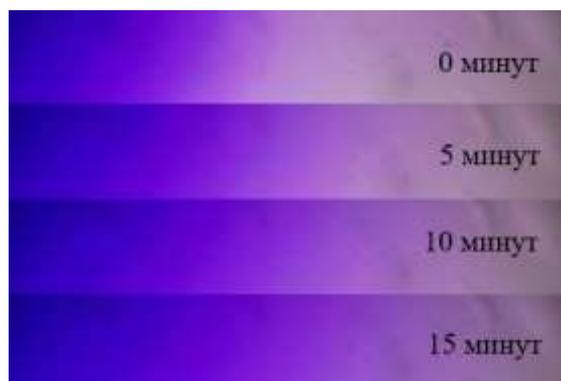


Рис. 5. Диффузия красителя в канале

Среднеквадратическое перемещение  $\langle x^2 \rangle^{1/2}$  соответствует перемещению диффузионного фронта, на котором концентрация красителя в суспензии равна половине исходной концентрации красителя, т.е. интенсивность окраски раствора равна 0,5 отн. ед. (рис. 6). Коэффициент диффузии определен как отношение среднеквадратичного диффузионного перемещения частицы ко времени, за которое это перемещение произошло.

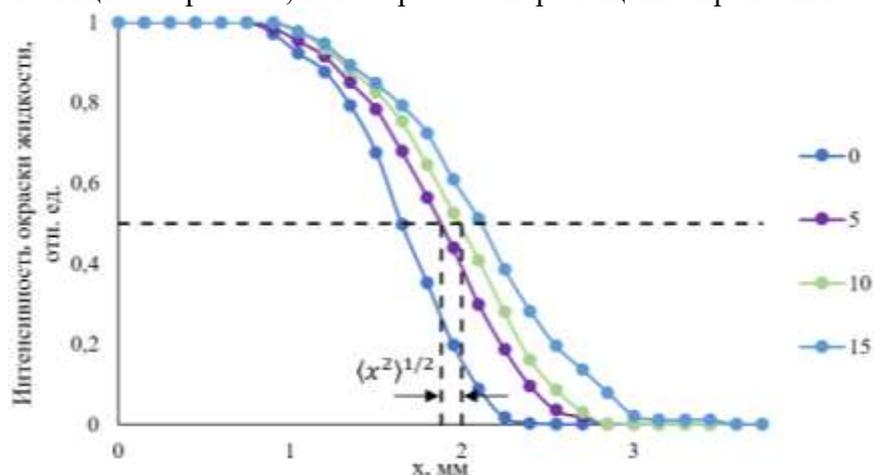


Рис. 6. Изменение интенсивности окраски суспензии, концентрации Coomassie Brilliant Blue, вдоль микроканала в 4 момента времени

Рассчитанный коэффициент диффузии составляет  $4,8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ , что согласуется с теоретическими результатами [6].

### Список литературы

1. Gareev K. G. et al. Biomimetic nanomaterials: diversity, technology, and biomedical applications //Nanomaterials. – 2022. – Т. 12. – №. 14. – С. 2485.
2. Ren K., Zhou J., Wu H. Materials for microfluidic chip fabrication //Accounts of chemical research. – 2013. – Т. 46. – №. 11. – С. 2396-2406.
3. Ravi-Kumar S. et al. Laser ablation of polymers: A review //Polymer International. – 2019. – Т. 68. – №. 8. – С. 1391-1401.
4. Nayak N. C. et al. Thermal bonding of PMMA: Effect of polymer molecular weight //Microsystem technologies. – 2010. – Т. 16. – С. 487-491.
5. Гвоздев Ю. А. и др. Элементы микрогидравлической логики в лабораториях на чипе //Биотехносфера. – 2013. – №. 6 (30). – С. 2-15.
6. Kendig S. Use of microchannels to determine diffusion of food coloring in water //Microelectronics Processing Technology Fall Term. – 2003.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ, ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ В ПОСТИНСУЛЬТНОМ СОСТОЯНИИ

Гончарова А.В.<sup>1,2</sup>, Тельминов О.А.<sup>2</sup>, Карнуп Г.А.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Московский институт электронной техники (национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>АО «НИИМЭ»

**Аннотация.** В работе предлагается новый подход по формированию стимулирующего сигнала для реабилитации пациентов в постинсультном состоянии при парезе и парапарезе. А также предложен алгоритм распознавания движения руки с использованием метода БОС для оценки оптимальности выполнения реабилитационного комплекса движений, согласно сравнению полученных сигналов электромиограмм каждой анализируемой мышцы с ее эталонной моделью.

Ключевые слова: инсульт, функциональная миостимуляция,

В настоящее время одной из наиболее важных проблем медицины является восстановление двигательные функции человека. Особенно остро эта проблема стоит в вопросе постинсультной реабилитации, где порядка 90% пациентов сталкиваются с двигательными расстройствами различной тяжести.

Нарушение кровоснабжения тканей при ишемическом инсульте порождает кислородное голодание и недостаточность питательных веществ ионов калия в мышцах, что в результате приводит нейрон к состоянию «ишемической полутени» и, в конечном счете, к гибели. При геморрагическом инсульте ключевой причиной нарушения в работе нейронов является разрыв сосуда, что приводит к нарушениям на уровне нейронов головного мозга. Высокий процент сохранения двигательных нарушений объясним нехваткой временного, финансового и технического ресурса, что приводит к недостаточности восстановления проводимости и утраты возможности на полное восстановление нормальных функций, так как ранний восстановительный период (до 6 месяцев) является наиболее благоприятным и плодотворным в реабилитации.

Наиболее частым клиническим постинсультным синдромом становится спастический гемипарез – снижение мышечной силы одной половины тела, возникновение которого обусловлено нарушением работы пирамидного пути, а также парез или парапарез – мышечная недостаточность одной или двух конечностей соответственно. При дисфункции мышц верхних конечностей происходит компенсация движения со стороны относительно здоровых мышц плечевого пояса, «перекидывание» руки – образуется патологическая синергия, которая формирует неправильный паттерн движения.

В реабилитационной практике применяются комплексные методики восстановительного лечения ослабленных мышц, посредством их электростимуляции в совокупности с попытками двигательной активности и переобучения, для возвращения мышечной силы и формирования правильного навыка движений. При пассивной стимуляции, т.е. неподвижности пациента при процедуре, подача импульсов происходит до появления отчетливой ответной сократительной реакции мышцы за счет подачи стимулирующего сигнала различного по форме, в зависимости от глубины проработки и желаемого эффекта процедуры. Параметры стимуляции, такие как сила тока, частота следования импульсов являются постоянными значениями, которые определяются врачом

по субъективным ощущениям пациента. И отсутствие подстройки сигнала под данные конкретного пациента является главным недостатком терапии.

Потенциал действия мышцы у здорового человека имеет достаточно насыщенный паттерн и четко выраженную огибающую, без «резких структурных провалов» и спонтанной активности, в отличие от ЭМГ пациента с двигательными дисфункциями [1,2]. Поэтому существенное преимущество перед электромиостимуляторами пассивного типа имеют функциональные стимуляторы, благодаря усилению мышечного сокращения в определенный момент времени, при попытке совершения движения, что позволяет перенести процесс реабилитации в домашние условия, с уменьшением временных затрат на восстановление и возможности сочетания реабилитационных методов, таких как: стимуляция и кинезиотерапия.

И такая задача, по разработке функционального стимулятора для нижних конечностей, уже решена и в частности может быть представлена в качестве ортеза нижних конечностей, который эффективно борется с состоянием «foot drop» – слабости мышц, обеспечивающих сгибание голеностопного сустава, которое развивается у больных с нарушением нервно-импульсной передачи от центральных двигательных нейронов или в следствии повреждений на уровне нисходящих двигательных путей. Ключевым подходом в решении данной задачи является разбиение совершаемого движения на фазы, по которым, с помощью сенсорной технологии для определения угловой скорости ноги во время фазы ее переноса, срабатывает триггер на высокоточную стимуляцию с последующим сокращением стимулируемой мышцы в локомоторном акте.

Однако, в силу сложности двигательного паттерна руки, задача реализации стимуляционного алгоритма, для произвольного движения руки, с подстройкой параметров под мышечные возможности пациента, остается открытой [3].

Поэтому предлагается новый подход к решению задачи функциональной стимуляции верхних конечностей. А именно - разработка адаптивной системы миостимуляции по анализу ЭМГ основанную на нейросетевом [4] предсказании движения с биологической обратной связью (БОС), в качестве которой выступает метод зеркальной терапии (ЗТ). Регистрация мышечной активности производится на симметричных мышцах рук, с условием отсутствия моторных нарушений в одной из них (рисунок 1).



Рис. 1. Миостимуляция при парезе по методу БОС по ЗТ

Однако в случае парапареза, т.е. двустороннего поражения рук, такая система теряет актуальность, поэтому также предлагается более общий подход, который подразумевает формирование базы данных АЧХ миосигналов для подачи на стимулирующие электроды

пациента, в зависимости от его антропометрических параметров и типа совершаемого движения.

Разработан методический материал по выбору мышц для исследования, определению их двигательных точек, ориентации и фиксации электродов. Также выделены ключевые параметры для разделения полученных данных по типу движения и антропометрическим параметрам, с целью выявления зависимости от особенности физического строения.

Разработан комплекс из десяти реабилитационных упражнений для верхней конечности, при выполнении которых проводилось электромиографическое исследование сухими накожными датчиками, со встроенной системой фильтрации и усиления сигнала.

Получены и проанализированы данные ЭМГ активности с 10 добровольцев мужского пола возрастной группы с 18 до 25 лет, с приближенными параметрами роста и массы тела, без сопутствующих заболеваний нервно мышечного аппарата. Данные снимались при циклическом выполнении трех упражнений:

1. Отведение руки от корпуса;
2. Сгибание руки в локтевом суставе;
3. Супинация и пронация предплечья;

Полученные значения среднего и максимального значения амплитуды для выборки представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1

**ЭМГ шкала оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата для различных движений руки**

Отведение руки от корпуса в сторону					
	Бицепс	Латеральная головка трицепса	Длинная головка трицепса	Дельтовидная мышца задненаружней поверхности	Дельтовидная мышца передневнутренней поверхности
Средняя амплитуда, мкВ	290,40	300,70	360,47	879,03	781,51
Максимальная амплитуда, мкВ	450,12	689,10	723,40	1649,43	1409,04
Средняя частота, Гц	53,28–65,6				
Сгибание руки в локтевом суставе					
Средняя амплитуда, мкВ	988,54	1540,36	1621,60	1220,70	1930,11
Максимальная амплитуда, мкВ	1553,30	2536,50	2321,10	4515,08	4001,30
Средняя частота, Гц	49,96–60,78				
Супинация и пронация предплечья					
Средняя амплитуда, мкВ	412,79	145,89	151,97	442,90	327,97
Максимальная амплитуда, мкВ	520,10	290,61	301,74	1009,3	806,50
Средняя частота, Гц	50,07–60,87				

Данные электромиографических исследований, полученные в работе, позволят при проведении тестирования пациента быстро и информативно определять функциональное состояние нервно мышечного аппарата. Предложенный алгоритм будет способствовать оптимизации тренировочного процесса при различных постинсультных патологиях. Последующие исследования, направленные на расчет процента активации мышц при совершении упражнения для здорового человека, позволят применить данный подход в функциональной стимуляции при заданном упражнении на тренажере.

### Список литературы

1. Осипов, А. Н., Давыдов М. В. Спектральный анализ сигналов электростимуляции нервно-мышечной ткани // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2005. – №. 3 (11). – С. 53-58.
2. Ting E. L. W., Chai A., Chin L. P. A Review on EMG Signal Classification and Applications // International Journal of Signal Processing Systems. – 2022. – Т. 10. – №. 1. – С. 1-6.
3. Ключков, А. С. Современные технологии функциональной электростимуляции при центральных парезах // Физиология человека. – 2019. – Т. 45. – №. 3. – С. 129-136.
4. Тельминов, О. А. Процессоры, память и программное обеспечение для эффективной реализации нейронных сетей / О. А. Тельминов, Е. С. Горнев, Г. С. Теплов // Наноиндустрия. – 2020. – № S96-2. – С. 580-584. – DOI 10.22184/1993-8578.2020.13.3s.580.584. – EDN INOCLT.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АКУСТО-ФЛЮИДНЫХ АКТЮАТОРОВ С УЗЛОМ МОНИТОРИНГА

С. В. ДОРОШЕНКО, Д. С. КРАСНОКУТСКИЙ

*Центр Микротехнологии и Диагностики*

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*

**Аннотация.** В данной работе проводятся исследования рабочих характеристик многоканальных акустофлюидных актюаторов, применимых для экспресс-сепарации, дозирования и прецизионного перемешивания частиц и клеток. Особое внимание уделяется получению экспериментальных данных о разделении частиц с использованием узла мониторинга, позволяющего оценивать процесс в режиме реального времени. Задача данной работы – оценка эффективности сепарации частиц для применения в ургентной медицине, лабораториях-на-чипе.

*Ключевые слова:* электроакустика, сепарация клеток, микрофлюидика.

### I. Введение

В последнее время наблюдается повышение интереса к миниатюрным устройствам, позволяющим: проводить экспресс-выделение фракций частиц в биологических жидкостях и суспензиях и управлять их составом. Перспективным направлением в данной области является использование гибридных микрофлюидных систем, объединяющих электроакустическую и микрофлюидную подсистемы. Фракционирование производится на основе микроакустических эффектов, возникающих в канале микрофлюидной системы под действием поверхностных акустических волн. В такой системе частицы разделяются по размерам в соответствии с расположением узлов радиационных давлений. Одной из важных проблем конструирования таких систем является осуществление визуального контроля положения микрообъектов в канале микрофлюидной системы в процессе сепарации.

## II. Принцип электроакустической сепарации частиц

Рабочая область миниатюрного устройства для сепарации частиц суспендированных в жидкой среде формируется на подложке из пьезоэлектрического материала и состоит из микрофлюидной системы, расположенной между встречно-штыревыми преобразователями (ВШП). Принцип работы заключается в формировании стоячей поверхностной акустической волны (ПАВ) за счет интерференции бегущих навстречу друг другу ПАВ, возбужденных ВШП. Воздействие акустических волн на жидкость приводит к появлению градиентов радиационного давления, которые вызывают акустические течения. Согласно линиям тока акустических течений, частицы концентрируются в определенных областях канала (рис. 1).

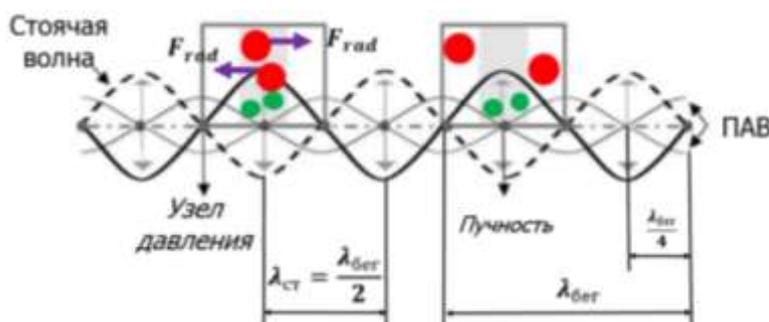


Рис. 1 Схема генерируемых бегущими волнами областей пучностей и узлов радиационных давлений

Расстояние между соседними узлами или пучностями соответствует длине стоячей волны и определяется соотношением:  $\lambda_{ст} = \frac{\lambda_{бег}}{2}$ . Расстояние между соседними узлами и пучностями составляет  $\frac{\lambda_{ст}}{2}$ .

## III. Описание используемых актюаторов

В работе представлено исследование 3-х образцов акустических актюаторов различной конфигурации, параметры которых представлены в таблице 1. Зазор между ВШП задаётся в длинах волн  $\lambda_{пав}=400$  мкм.

Таблица 1

Параметры исследуемых актюаторов

Название образца	Число пар электродов в одном ВШП	Зазор между ВШП
«АI»	10	$5\lambda_{пав}$
«BII»	16	$10\lambda_{пав}$
«CIII»	26	$16\lambda_{пав}$

Конструкции исследованных акустофлюидных актюаторов представлены на рисунке



Рис. 2 Конструкции акустических актюаторов. 1 – встречно штыревые преобразователи, 2 – пьезоэлектрическая подложка  $\text{LiNbO}_3$ , 3 – разъем для подачи напряжения

Исследованы частотные характеристики для каждого образца (рис. 3). Зависимости получены как без нагрузки, так и с нагрузкой, и объединены в один график для каждого образца. Подаваемое напряжение одинаково по амплитуде для каждого исследуемого образца и равно 5 В.

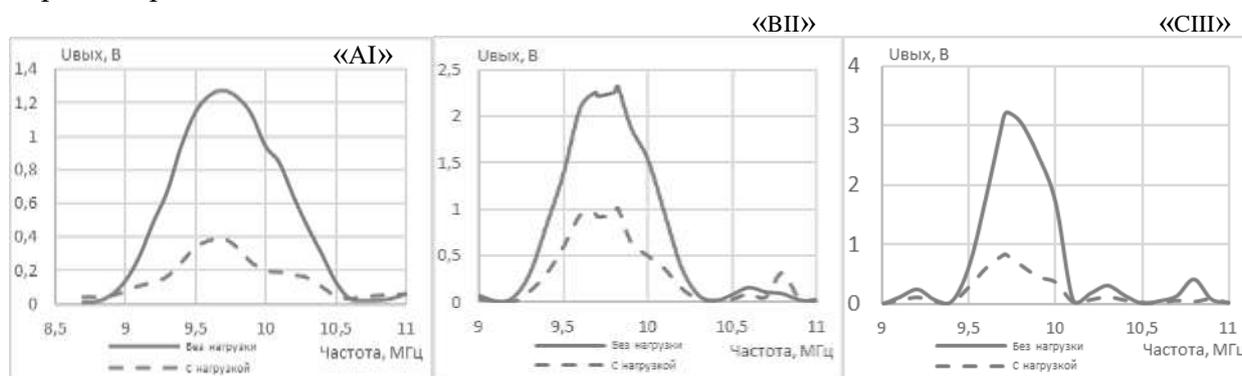


Рис. 3 Амплитудно-частотные характеристики образцов

Исходя из анализа графиков (рис. 3) определяется рабочая частота актюатора. Она совпадает у каждого из образцов, так как зависит от ширины электрода в ВШП ( $f_{\text{раб}}=9,7$  МГц). Увеличение числа пар электродов в ВШП приводит к увеличению выходной мощности актюатора, но также приводит к увеличению добротности образца, что влечет за собой более узкий диапазон рабочих частот. Немаловажным фактором является зависимость добротности образцов от нагрузки, что может приводить к смещению резонансных частоты на 100-50 Гц.

#### IV. Узел мониторинга

Узел мониторинга является важнейшей частью системы многоканального микрофлюидного актюатора, и предоставляет ряд преимуществ в исследовании: возможность непрерывного контроля за процессом; получение информации о различных параметрах процесса (скорость потока, концентрация веществ, эффективность сепарации); возможность автоматизации процесса; повышение точности контроля процесса.

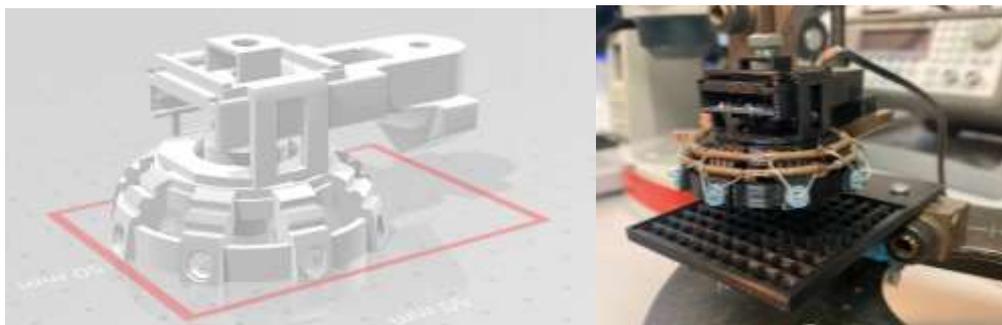


Рис. 4 3D-модель узла мониторинга и фотография реализованного макета

Узел изготовлен методом FDM печати из ABS пластика. Фокусное расстояние – 1,5 мм; рабочая область – 5 мкм, разрешающая способность: 2 мкм. Разработка узла мониторинга осуществлена на принципах повышения контраста объектов, показатель преломления которых близок к 1,33. Применяются следующие методы контрастирования: метод темного поля и метод косого освещения, основанные на явлениях дифракции света. Данная система предполагает возможность освещать объекты светом любой длины волны видимого диапазона путем модульной замены частей узла.

#### V. Эксперименты по разделению частиц

Объект исследования: 2 мкл суспензии *Saccharomyces cerevisiae*, окрашенной раствором Люголя. Подсветка системой светодиодов,  $\lambda = 450-550$  нм.

Проводилось одностороннее включение акустофлюидного актюатора (образец СШ), входное напряжение составило 5 В, частота – 9,7 МГц.

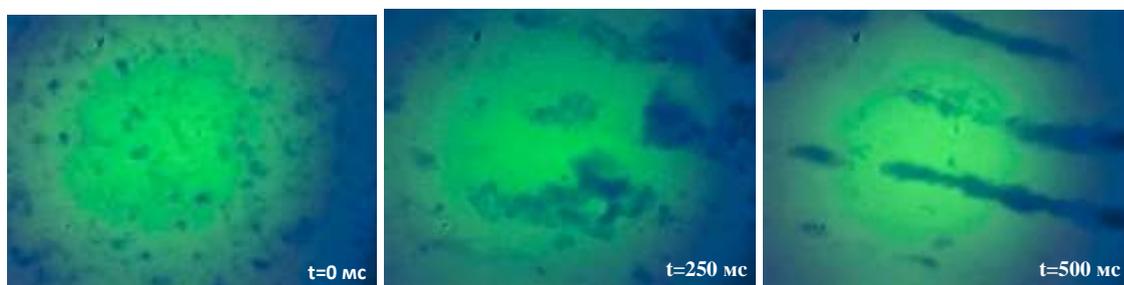


Рис. 5 Канал акустофлюидного актюатора во время процесса разделения частиц

#### VI. Заключение

В ходе эксперимента показан процесс пространственного разделения частиц за счет действия на них радиационного давления. Время установления устойчивого положения частиц мало, что делает возможным проводить экспресс-сепарацию частиц. Частицы выстраиваются в полосы, расположенные эквидистантно относительно друг друга.

Добротность акустофлюидного актюатора зависит от количества пар электродов и увеличивается с ростом их числа. Показана эффективность использования узла мониторинга, как основного средства оценивания эффективности сепарации.

Следующим шагом в развитии направления будет применение результатов для создания многокаскадных электроакустических систем, позволяющих более точно разделять и смешивать большее количество частиц жидкости.

### Благодарности

Авторы выражают особую благодарность за помощь в проведении экспериментов и оказании ценных консультаций: Т. М. Зимину, В. Е. Лемозерского и Н. О. Ситкова.

### Список литературы

1. Зимина Т. М., Соловьев А. В., Гвоздев Ю. А., Ситков Н. О., Лемозерский В. Е. Разработка сенсорно-актюаторных элементов гибридно-интегрируемых ЛНЧ для биомедицинского анализа (часть 1) // Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век. 2016. Т. 2, С. 29-36.
2. Зимина Т. М., Микросистемы для экспресс-анализа // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66, С. 1252-1275.
3. Zhou Y., Comparison of numerical models for bulk and surface acoustic wave-induced acoustophoresis in a microchannel // Eur. Phys. J. Plus. 2020.
4. Weser R., Winkler A., Weihnacht M., Menzel S., Schmidt, H., The complexity of surface acoustic wave fields used for microfluidic applications // Ultrasonics. 2020. Т. 106.
5. Chen J., Microfluidic Particle Separation and Detection System Based on Standing Surface Acoustic Wave and Lensless // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2022 Т. 69, С. 2165-2175.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СЕГМЕНТАЦИИ НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО КАНАЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КТ

В.В. ИВАНОВА, А.Е. ГЕРАСИМЕНКО

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

**Аннотация.** Рассмотрены основные фильтры предобработки изображений. Сформирован набор входных данных для подачи на вход модели сегментации, в роли которой выступала сверточная нейронная сеть. Проведено сравнение результата работы модели с различной предварительной обработкой изображений датасета.

**Ключевые слова:** *модель сегментации, нижнечелюстной канал, обработка изображения, КТ*

Необходимость правильного определения локализации нижнечелюстного канала во время хирургических вмешательств является актуальной задачей по нескольким причинам. Так, расположение внутрикостных имплантатов рядом с ним может привести к повреждению сосудов [1] или потере чувствительности из-за повреждения нижнего альвеолярного нерва из-за неточной характеристики расположения нижнечелюстного канала [2]. Кроме того, заживление костей вокруг зубного имплантата может быть затруднено, если он соприкасается с мягкими тканями, выстилающими нижний альвеолярный нерв [1].

Обнаружение канала нижней челюсти зачастую осуществляется с помощью метода компьютерной томографии, поскольку на рентгеновском снимке кости видны лучше всего [3]. Определение положения нижнечелюстного канала обычно выполняется вручную, но в случаях значительного количества срезов компьютерной томографии необходимо улучшить качество изображения, отрегулировать цвет и контрастность, а также избавиться от импульсного шума. Это связано с переходом к машинному распознаванию, которое позволяет повысить точность обнаружения и сократить время работы врача. Данная обработка позволит подготовить изображения перед их отправкой на вход модели распознавания

каналов и повысить качество ее работы. Далее будут описаны фильтры, наиболее часто применяемые для обработки изображений.

Преобразование яркости полутоновых изображений работает следующим образом: если фактический диапазон изменения яркости исходного изображения шире заданного им интервала, то все, что в него не входит, приравнивается к границам результирующего. Предельным случаем данного фильтра является получение двоичного изображения с использованием пороговой функции. При установке порога изображение в оттенках серого может принимать только два значения яркости – 0 (все, что ниже порогового значения) и 255 (все, что выше).

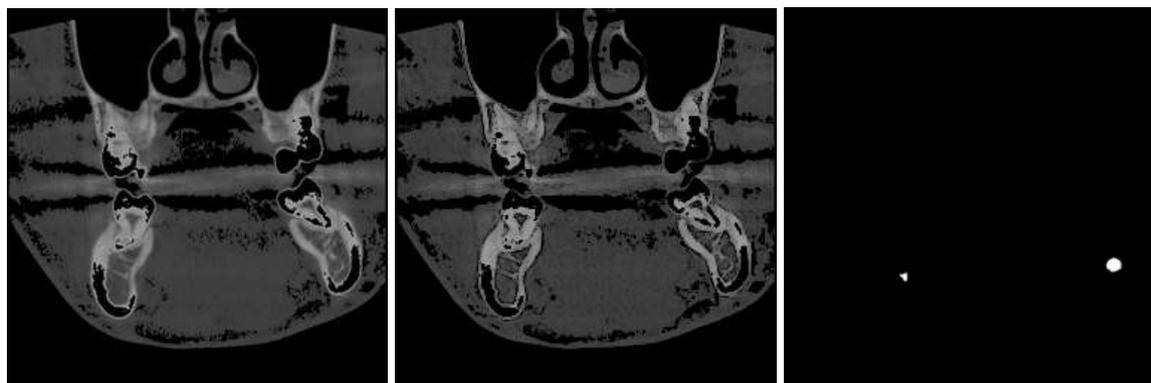
Фильтр гистограммная эквализация изменяет распределение яркости, тем самым улучшая качество изображения. Этот фильтр сопоставляет значения интенсивности в изображении в оттенках серого с новыми значениями.

Фильтр Гаусса используется для уменьшения уровня шума на изображении. Фильтр основан на нормальном распределении: значение центрального пикселя представляет собой средневзвешенное значение окрестности.

Высокочастотные фильтры используются для выделения различий в яркости: они усиливают резкие различия в изображении, в то время как плавные различия подавляются. После обработки высокочастотным фильтром изображение становится более четким. К таким фильтрам, например, относится фильтр Лапласа. Центральный пиксель также определяется как средневзвешенное значение для половины пикселей из окрестности.

Медианный фильтр используется для удаления высокочастотных компонентов из изображения. Результатом такой фильтрации является сглаживание контраста соседних пикселей.

Для нахождения алгоритма обработки, который наилучшим образом подготавливает изображения (улучшая обзор проекции канала), необходимо было численно сравнить предлагаемые фильтры или их комбинации. Был введен критерий  $k$  (описан в [4]), который показывает отношение средней яркости пикселей контура канала к средней яркости окружения, не связанного с ним. Использование этого критерия позволило сравнить эффективность различных комбинаций фильтров. Наибольшее значение  $k$ -критерия было для комбинации медианного фильтра и фильтра Лапласа (рис. 1).



*Рис. 1. Исходное изображение, изображение после обработки медианным фильтром и фильтром Лапласа и его маска*

Далее был сформирован датасет, в котором каждому изображению ставилась в соответствие маска с отметкой нижнечелюстного канала. Маска не зависит от обработки изображения и используется для обучения модели сегментации, а также определения качества ее работы. Имя маски совпадает с именем изображения.

Общий набор данных был разбит на обучающую (80%) и тестовую выборки (20%). Также были созданы два текстовых файла: один с названием изображений, используемых для тестирования, другой – с названиями изображений для обучающей и валидационной выборки. Для повышения качества сегментации тестовая и обучающая выборки не пересекались.

В работе использовались нейронные сети с предобучением – нижние слои уже были обучены на большом количестве других данных.

Было проведено сравнение с качеством работы моделей сегментации, обученных на датасете предварительной обработкой изображений в виде оконной фильтрации по установленному диапазону чисел Хаунсфилда (рис. 2).

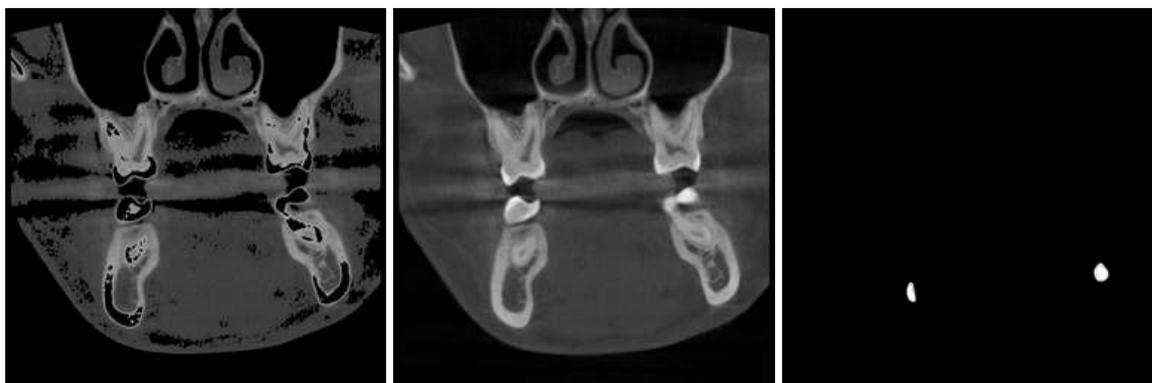


Рис. 2. Исходное изображение, изображение после оконной фильтрации и его маска

Чтобы оценить качество работы модели сегментации, оценивался параметр IoU (индекс Жаккара). Он варьируется в диапазоне от 0 до 1, и показывает соответствие пикселей на исходной маске и предсказанном изображении.

На рисунках 3-5 представлены изображение с разной предобработкой из тестовой выборки, маска для него и предсказанная маска для архитектуры сети PSPNet.

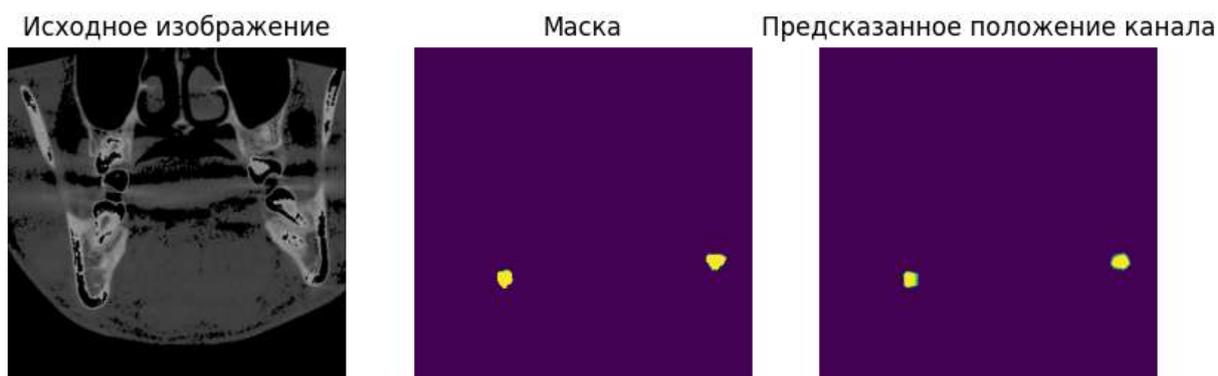


Рис. 3. Изображение без предобработки

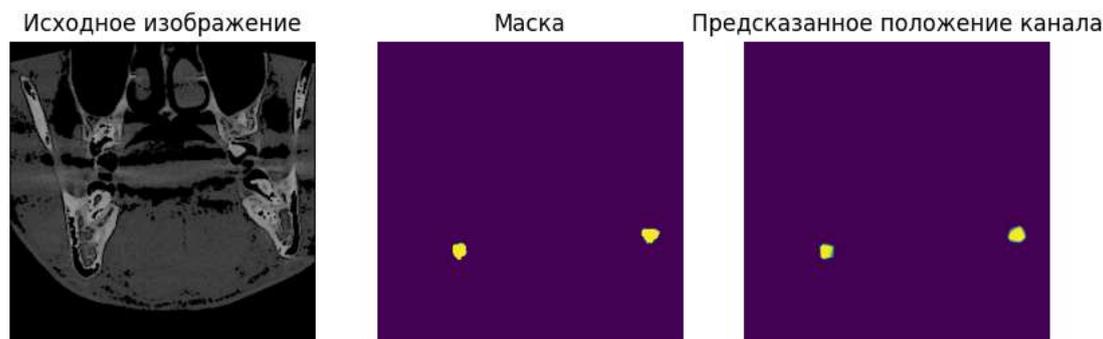


Рис. 4. Изображение после фильтрации медианным фильтром и фильтром Лапласа

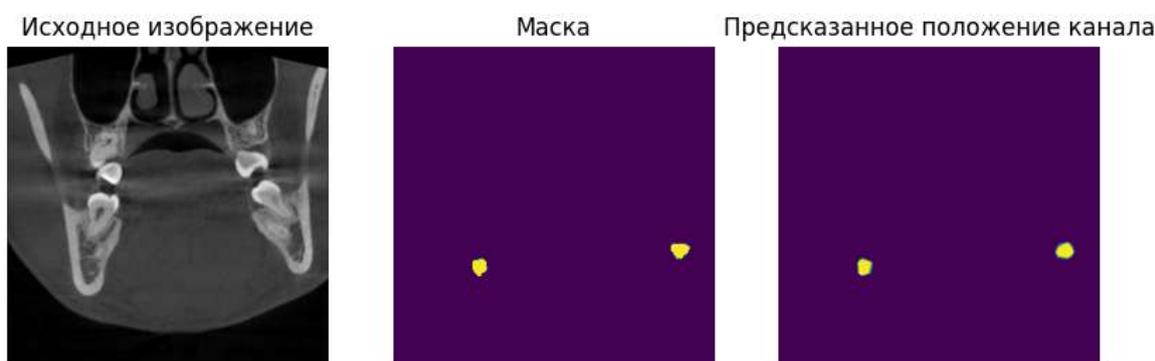


Рис. 5. Изображение после оконной фильтрации

Апробировалась модель с архитектурой PSPNet (Pyramid Scene Parsing Network), а также модели Unet и UNet++ с различными параметрами.

### Список литературы

1. Klinge B. Petersson A. Malv P. Location of the mandibular canal: comparison of macroscopic findings, conventional radiography, and computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1989 Winter; no. 4(4), pp. 327-32.
2. Kim S.T., Hu K.S., Song W.C., Kang M.K., Park H.D., Kim H.J. Location of the mandibular canal and the topography of its neurovascular structures. *J Craniofac Surg*. 2009 May; no.20(3), pp. 936-9. DOI: 10.1097/SCS.0b013e3181a14c79.
3. Старовойтов В.В. Цифровые изображения: от получения до обработки / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. 202 стр.
4. A. E. Gerasimenko and A. I. Eriskovskaya, "Results of Processing CT Scans of the Jaw and Preparing It for Searching for the Mandibular Canal," 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2022, pp. 1515-1517

## РАЗРАБОТКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СИНЕРГИИ БИОСИГНАЛОВ ЧЕЛОВЕКА

КАСЬЯНОВА Я.С.<sup>1</sup>

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В настоящее время биоинтерфейсы широко используются в различных областях, таких как медицина, технологии IoT военная сфера, образование и т.д. Это связано с удобством и практичностью их использования благодаря возможности естественного управления. Однако, при использовании

биоинтерфейсов может столкнуться с трудностями из-за различий в биопараметрах у людей и ограниченной точности управления. Одно из возможных решений - использование мультиуправления, при котором устройство управляется несколькими биосигналами одновременно. Чтобы улучшить качество управления, необходимо грамотно комбинировать биоинтерфейсы. Для этого требуется проведение исследований по выявлению синергии между биосигналами и определение оптимальных комбинаций. Для таких исследований нужен стенд для мультирегистрации биопараметров человека.

*Ключевые слова: биоинтерфейсы, мультиуправление, синергия сигналов, биоуправление*

В настоящее время более 1.7 миллиарда людей во всем мире страдают от различных нарушений и заболеваний костно-мышечной системы, инсульта и других заболеваний, что приводит к ограничению их функциональных возможностей и трудоспособности [1]. Для восстановления здоровья людям с острыми или хроническими нарушениями необходима реабилитация, и по данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), более 2.4 миллиардов людей нуждаются в ней [2]. Реабилитация является актуальной темой, и в 2017 году Всемирная Организация Здравоохранения провела конференцию "Реабилитация-2030: призыв к действию", на которой были определены основные задачи, в том числе расширение использования ассистивных технологий. Технологии поддержки помогают людям сохранять и улучшать свои функциональные возможности и независимость, предотвращая ухудшение их состояния и возникновение новых заболеваний. Одно из решений, используемых в настоящее время, это биоинтерфейсы.

Биоинтерфейс – это система взаимодействия человека и электронного устройства, управляющим параметром в которой является физиологический сигнал. Актуальность данной темы обусловлена новизной технологии и ее активными исследованиями, которые находятся на этапе формирования. В настоящее время биоинтерфейсы уже широко используются в различных сферах нашей жизни и не ограничиваются только медицинской областью. Они также могут быть использованы в таких сферах, как: игровая, автомобильная, промышленная, военная и т.д. Причиной тому является ряд преимуществ, которые присущи данному типу управления:

1) возможность дистанционного управления электронным устройством. Особенно эффективно использование биоинтерфейсов в задачах управления специализированными электронными устройствами для людей с ограниченными возможностями. Целью использования биоинтерфейсов в данном направлении является восстановление (частичное или полное) утраченных функций или обеспечение выполнения повседневных задач.

2) внедрение "естественного" управления путем использования естественных паттернов человеческого тела в качестве управляющих сигналов. То есть, пользователь может управлять устройством посредством движений рук или просто думая о действии, что повышает концентрацию на задаче (особенно после тренировки) и снижает утомляемость.

В современном мире выделяют множество видов биоинтерфейсов, наиболее распространенными из которых являются нейроинтерфейсы, миоинтерфейсы, окулоинтерфейсы, жестовые интерфейсы, эмоционально-зависимые интерфейсы, голосовые интерфейсы.

Помимо приведенных групп технологий, существуют и другие разработки, например управление устройством при помощи сжимания специализированного датчика челюстями [3], либо детекцией облизывания губ [4]. Соответственно, практически любой естественный паттерн можно выбрать в качестве управляющего биосигнала. Здесь лишь встает вопрос об удобстве и эффективности использования технологии в конкретном случае.

Нейроинтерфейсы представляют собой метод управления устройствами и системами, который основан на обнаружении изменений в активности мозга, вызванных внешним воздействием.

К методам регистрации относятся: ЭЭГ (электроэнцефалография), МЭГ (магнитоэнцефалография), фБИС (функциональная спектроскопия в ближнем ИК спектре).

ЭЭГ – метод регистрации и оценки электрической активности мозга. МЭГ – метод регистрации и картирования магнитной активности мозга, сопутствующая электрической активности нейронов. фБИС – метод регистрации изменения концентрации окси- и дезоксигемоглобина в мозге, по которым возможна оценка активности его отдельных участков.

Нейроинтерфейсы могут быть использованы в системах контроля состояния (обнаружение снижения концентрации внимания или потери контроля над системой), в системах управления (компьютер, смартфон, элементы IoT, военная техника, промышленные и медицинские экзоскелеты) и в нейрореабилитации (инсульт и ДЦП [5], проведение когнитивных тренировок). К достоинствам управления электронным устройством посредством нейроинтерфейса можно выделить облегчение работы с системами управления и новые возможности к коммуникации людей, не имеющих возможности говорить и двигаться, но сохраняющих когнитивные функции.

Миоинтерфейсы представляют собой метод управления устройствами и системами, который основан на изменении мышечной активности.

Метод регистрации: ЭМГ (электромиография).

ЭМГ – метод регистрации и оценки электрической активности мышц.

Миоинтерфейсы могут быть использованы в системах управления (медицинские системы, бионические модули и экзоскелеты, компьютер, военные системы) и в реабилитации (восстановление функций ослабленных или парализованных конечностей). Достоинство использования миоинтерфейса это упрощение процесса управления электронным устройством различного предназначения (реабилитация, управление промышленным модулем и т.д.).

Окулоинтерфейсы – представляют собой метод управления устройствами и системами, который основан на регистрации положения зрачка (либо при помощи видеокамер, либо изменения электрической активности глазных мышц).

Методы регистрации: ЭОГ (электроокулография), ВОГ (видеоокулография), ИКОГ (инфракрасная окулография).

ЭОГ – метод регистрации электрической активности мышц, контролирующей движение глаз. ВОГ – метод регистрации движений глаз с помощью видеокамер и специализированного программного обеспечения. ИКОГ – метод регистрации движений глаз с помощью инфракрасного (ИК) света с использованием специализированных камер, излучающих ИК свет и регистрирующие отраженный световой поток от роговицы и зрачка.

Окулоинтерфейсы используются в системах управления (медицинские системы для восстановления коммуникативных функций у людей, страдающих от афазии, аутизма, ДЦП, БАС, мышечной атрофии, синдрома Ретта [6], компьютер, военная техника, учебные системы (обучение вождению автомобиля и т.д.)). Достоинства использования окулоинтерфейсов в разработке это возможность бесконтактного управления и восстановление коммуникативных навыков.

Жестовые интерфейсы – представляют собой метод управления устройствами и системами, который основан на распознавании движений тела или жестов рук.

Методы регистрации: системы с ИИМ (инерциальные измерительные модули), системы с видеокамерами (RGB, глубинные, ИК) [7].

Системы с ИИМ – системы, которые позволяют измерить ускорение и угловую скорость, а также вычислить ориентацию тела в пространстве. Системы регистрации с видеокамерами – аппаратно-программный комплекс, суть которого заключается в обнаружении, регистрации и распознавании жестов.

Жестовые интерфейсы используются в системах управления (медицинские системы, компьютер, военная техника, IoT), реабилитации (например, оценка динамики восстановительных процедур по походке человека). Преимущество использования жестового интерфейса в разработке – возможность бесконтактного управления электронным устройством и интуитивно понятное обучение их использования, т.к. жесты являются естественным языком общения и за счет этого можно добиться быстрого обучения пользователя.

Эмоционально-зависимые интерфейсы – представляют собой метод управления устройствами и системами, который основан на регистрации изменения психофизиологического состояния человека, обычно используемый для снижения уровня стресса.

Методы регистрации: ЭКГ (электрокардиография) и ВСР (вариабельность сердечного ритма), ЭДА (электродермальная активность), ЭЭГ, ЭМГ, ЭОГ, ФПГ (фотоплетизмография), измерение температуры тела, измерение ЧДД (частоты дыхательных движений).

ЭКГ – метод регистрации электрической активности сердца. ВСР – временной промежуток от начала сокращения сердца до начала последующего. ЭДА – метод регистрации электрической проводимости кожи, которая связана с изменениями в активности потовых желез. ФПГ – метод регистрации изменений объема крови в тканях путем измерения изменения поглощения или отражения светового потока. Измерение температуры тела – метод определения внутренней температуры человеческого тела, обычно с помощью термометра. Измерение ЧДД – метод определения числа дыхательных движений за единицу времени для оценки дыхательных функций.

Эмоционально-зависимые интерфейсы используются для оценки эффективности управления других типов интерфейсов в устройстве, в медицинских приборах (в терапии тревожности, панических расстройств, снижения уровня стресса и т.д.). Достоинства использования эмоционально-зависимых биоинтерфейсов – повышение эффективности управления электронным устройством благодаря повышению «точности регулировки».

Голосовые интерфейсы – представляют собой метод управления устройствами и системами, который основан на регистрации голосовых команд от оператора.

Методы регистрации: СРР (системы распознавания речи).

СРР – аппаратно-программный комплекс по распознаванию речи и выделению значимых параметров из команды [8].

Голосовые интерфейсы применяются в медицине (запись анамнеза, управление специализированными устройствами (робот-хирург, протезы и т.д.)), в системах IoT, в ПК, смартфонах, автомобилях и т.д. Преимущество использования голосового интерфейса – возможность оператора сосредоточиться на выполняемой задаче.

Одной из развивающихся тенденций в разработке биоинтерфейсов является концепция мультиуправления, которая предполагает объединение нескольких типов биоинтерфейсов в рамках одной системы. Этот подход имеет ряд преимуществ, таких как устранение различий в биопараметрах индивидов путем использования совместной синергии биосигналов. Кроме того, мультимодальные системы повышают точность и эффективность

процесса управления, о чем свидетельствует более высокая точность, достигнутая с помощью мультимодальных систем по сравнению с одномодальными. Например, сочетание ЭЭГ и фБИС повышает точность декодирования моторных образов [9]. Моторные образы – это мыслительный процесс, с помощью которого человек воспроизводит или имитирует определенное действие. Кроме того, синергия биосигналов может помочь восстановить часть информации в случае потери данных с одного из каналов.

Биоинтерфейсы находят широкое применение в различных областях, но каждый тип имеет свои специфические особенности. В некоторых случаях одного управляющего сигнала может быть недостаточно для достижения точного и эффективного управления. Потенциальным решением этой проблемы является использование метода мультиуправления, когда несколько методов биоуправления дополняют друг друга и повышают надежность, эффективность и точность управления за счет корреляции их управляющих сигналов. Однако остается актуальной задача эффективной комбинации различных видов биоуправления и разработки соответствующих алгоритмов для их сочетания. Для достижения цели необходима разработка устройства, позволяющего проводить регистрацию нескольких биосигналов одновременно с возможностью дальнейшей передачи данных на управляющее устройство. Исходя из анализа существующих разработок [6-13], наиболее часто встречающиеся управляющие сигналы – это ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ, ФПГ, сигнал с ИИМ и голосовой сигнал. Соответственно, первостепенной задачей является выделение комбинаций из данных сигналов, при объединении которых возникает синергия.

### Список литературы

1. Заболевания опорно-двигательного аппарата // Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (дата обращения: 12.04.2023).
2. Реабилитация // Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation> (дата обращения: 12.04.2023).
3. Xu X. et al. Clench interface: Novel biting input techniques //Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2019, стр. 1-12.
4. Jingu A., Tanaka Y., Lopes P. LipIO: Enabling Lips as both Input and Output Surface, 2023.
5. Колсанов А. В., Авдеева Е. В. II международная научно-практическая конференция "нейрокомпьютерный интерфейс: наука и практика. Самара-2016": новые организационные подходы в нейронауках, результаты фундаментальных и прикладных исследований, формирование российских и международных коллабораций //Наука и инновации в медицине, 2016, №. 3, стр. 6-11.
6. Муратова Е. А., Якушев А. Г. Трёхнейронная модель формирования компенсаторных движений глаз в ответ на вестибулярный стимул //Фундаментальная и прикладная математика, 2005, №. 8, стр. 175-193.
7. Ruegger S. E. Touchless interaction with 3D images in the operating room, дис, 2018, стр.7-9.
8. Алимуратов А. К. Особенности построения систем голосового управления для медицинских экзоскелетов расширенного функционала //Качество. Инновации. Образование, 2016, стр. 66-72.
9. Fazli S, Mehnert J, Steinbrink J, et al. Enhanced performance by a hybrid NIRS-EEG brain computer interface. Neuroimage, 2012, стр.521-523.
10. Yang H. et al. EEG and EMG Driven Post-Stroke Rehabilitation: A Review //IEEE Sensors Journal, 2022.
11. Al-Ayyad M. et al. Electromyography Monitoring Systems in Rehabilitation: A Review of Clinical Applications, Wearable Devices and Signal Acquisition Methodologies //Electronics, 2023, стр. 1520-1523.
12. Zambrana-Vinaroz D. et al. Wearable Epileptic Seizure Prediction System Based on Machine Learning Techniques Using ECG, PPG and EEG Signals //Sensors. – 2022, стр. 9372-9375.
13. Reiss A. et al. Deep PPG: large-scale heart rate estimation with convolutional neural networks //Sensors, 2019, стр. 3079-3093.

## РАЗРАБОТКА РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Е.А. КОШАЕВ, А.И. СКОРОБОГАТОВА

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

**Аннотация.** Данная работа посвящена разработке регрессионной модели косвенной оценки величины систолического и диастолического артериального давления. Были разработаны алгоритмы анализа электрокардиограммы и фотоплетизмограммы с последующим расчетом параметров-предикторов. В работе представлены результаты тестирования регрессионной модели, обученной на имеющих наибольшую предсказательную значимость параметрах-предикторах.

*Ключевые слова:* фотоплетизмограмма, ФПГ, электрокардиограмма, ЭКГ, артериальное давление, АД, регрессия, регрессионная модель, алгоритм, анализ, предсказание, оценка.

### **Введение**

Исследование сердечно-сосудистой системы (ССС) человека является одной из важнейших задач современной медицины, так как по статистике сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) составляют 31% смертельных случаев в год [1]. В России этот показатель по данным на 2021 год составил 47% [2].

Артериальное давление (АД) является одним из наиболее значимых показателей гемодинамики, по которому можно судить о состоянии сердечно-сосудистой системы: повышенное АД или гипертензия создает дополнительную нагрузку на кровеносные сосуды и существенно увеличивает риск развития таких патологий, как, например, ишемической болезни сердца, инсульта, почечной недостаточности, низкое АД или гипотензия может привести к гипоксии мозга и внутренних органов, также гипотензия может со временем перерасти в гипертензию.

Основным и наиболее распространенным методом, используемым для неинвазивной оценки АД, является аускультативный метод Короткова. Данный метод имеет несколько недостатков: результаты измерения, получаемые с использованием манжетного тонометра, носят непостоянный характер, а также применение средств автоматического измерения АД не валидировано для пациентов с фибрилляцией предсердий [3].

Поэтому необходимо разработать алгоритм косвенной оценки по ударным значениям систолического артериального давления (САД) и диастолического артериального давления (ДАД) на основе сигналов ЭКГ и ФПГ.

### **Цели**

Разработка алгоритма косвенной оценки артериального давления на основе сигналов ЭКГ и ФПГ.

### **Методология**

Алгоритм построен на основе алгоритма [4-5] и алгоритма Пана-Томпкинса [6]. На рисунке 1 представлена структурная схема алгоритма.

Алгоритм можно разделить на несколько основных этапов, описанных далее.

#### **1. Предварительная обработка.**

Для выделения наиболее информативной части сигналов необходимо провести их фильтрацию. Применяется полосовой фильтр, меняющий диапазон пропускаемых частот, характерных для сигналов ЭКГ (0.1 – 60 Гц) и ФПГ (0.7 – 15 Гц) в зависимости от подаваемого сигнала. Фильтрация позволяет устранить помехи, например, сетевую

помеху, избавиться от постоянной составляющей, выделяет информативный диапазон частот.



Рис. 1. Структурная схема алгоритма косвенной оценки артериального давления

## 2. Анализ пульсовой волны.

Рассчитывается спектральная плотность мощности отфильтрованного сигнала, где максимальное значение мощности соответствует частоте сердечных сокращений (ЧСС). Значение частоты сердечных сокращений и отфильтрованный сигнал подаются на фильтр нижних частот, где ЧСС выступает в качестве частоты среза.

Далее, сигнал, прошедший фильтр нижних частот дифференцируется. Вершины результирующего сигнала служат маркерами для разделения сигнала на одиночные поударные комплексы.

Положения минимума волны (Min), максимума волны (Р-пик) – определяются на полученном одиночном комплексе ФПГ с помощью функции поиска локальных минимумов и максимумов. Для определения положения дикротического пика (D-пик) и дикротической ямки (D-ямка) рассчитывается вторая производная от одиночного комплекса, на которой функцией поиска локальных максимумов определяется положение искомым точек.

## 3. Анализ ЭКГ.

За основу алгоритма для разметки сигнала ЭКГ был взят известный алгоритм Пана-Томпкинса. Его применение позволяет с достаточной точностью выделять R-зубец даже в патологическом сигнале. Поиск R-зубцов происходит на отфильтрованном, но не разделенном сигнале.

Сигнал ЭКГ разделяется на поударные комплексы в соответствии с алгоритмом, описанным в пункте 2.

## 4. Синхронизация сигналов.

Сравниваются временной диапазон, в котором находится комплекс пульсовой волны, и расположение R-пика ЭКГ на временной оси: если значение R-пика по времени входит в временной диапазон пульсовой волны или находится на расстоянии не более 40 миллисекунд до начала пульсовой комплекса, то комплексы синхронизируются.

## 5. Расчет предикторов.

Синхронизированные комплексы используются для расчета параметров-предикторов, представленных на рисунке 2.

$int_{MinP}, int_{P-d}, int_{d-D}, int_{D-end}$  – интервалы между соответствующими точками.  
 $a_{MinP}, a_{P-d}, a_{d-D}, a_{D-end}$  – площади между соответствующими точками. Также учитыва-

ются такие параметры, как:  $int\_R\_Min$  – интервал между R- зубцом ЭКГ и Min значением ФПГ,  $int\_R\_P$  – интервал между R-зубцом ЭКГ и P-пиком ФПГ,  $AmpP$  – амплитуда P- пика ФПГ,  $AmpR$  – амплитуда R-зубца ЭКГ. Относительные параметры:  $a_{total} = a_{MinP} + a_{P-d} + a_{d-D} + a_{D-end}$ ,  $(a_{MinP} + a_{P-d})/a_{total}$ ,  $a_{MinP}/a_{total}$ ,  $a_{MinP}/(a_{MinP} + a_{P-d})$ .

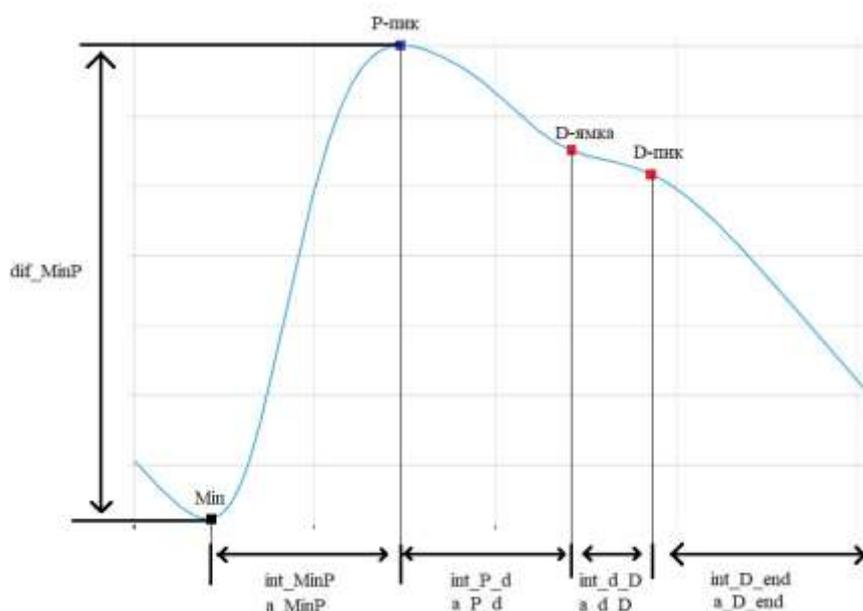


Рис. 2. Параметры-предикторы

Далее, рассчитанные предикторы проверяются по правилу 3-х сигма для поиска и устранения выбросов. Нормализация параметров проводится согласно следующему уравнению:

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

где,  $x$  – нормализуемое значение параметра,  $\min(x)$  – минимальное значение в выборке,  $\max(x)$  – максимальное значение в выборке.

#### 6. Построение регрессионной модели.

На основе открытой библиотеки `scikit-learn` для языка программирования `python` была построена регрессионная модели оценки значений ДАД и САД.

Для обучения модели использовались данные трех пациентов общим объемом в 4046 одиночных синхронизированных комплексов. Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70% к 30%. Также, данные содержали значения целевых функций – подударных САД и ДАД, записанных с помощью метода Пенъяза [7] и скорректированных ручным методом.

С помощью метода «исчерпывающего выбора признаков», поставляемого вместе с открытой библиотекой `mlxtend`, была проведена оценка важности влияния признаков-предикторов на результат регрессионной модели. Было выявлено, что такие признаки-предикторы, как  $AmpP$ ,  $AmpR$ ,  $a_{D-end}$ ,  $rel = a_{MinP}/(a_{MinP} + a_{P-d})$  – обладают наибольшей степенью влияния на результат вычислений. Соответственно, регрессионные модели для вычисления САД и ДАД имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{САД: } y = & 77.46 - 13.71\text{AmpP} + 15.86\text{AmpR} + 50.97a_{D-\text{end}} + 53.74\text{rel} + 10.47\text{AmpP}^2 \\ & - 13.09\text{AmpP} * \text{AmpR} + 19.4\text{AmpP} * a_{D-\text{end}} - 44.20\text{AmpP} * \text{rel} \\ & + 34.91\text{AmpR}^2 - 44.83\text{AmpR} * a_{D-\text{end}} + 0.24\text{AmpR} * \text{rel} - 9.32a_{D-\text{end}}^2 \\ & - 77.11a_{D-\text{end}} * \text{rel} + 51.48\text{rel}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ДАД: } y = & 82.55 + 4.8\text{AmpP} - 81.58\text{AmpR} - 10.73a_{D-\text{end}} + 36.35\text{rel} + 3.15\text{AmpP}^2 \\ & + 23.71\text{AmpP} * \text{AmpR} + 3.62\text{AmpP} * a_{D-\text{end}} - 71.91\text{AmpP} * \text{rel} \\ & + 54.49\text{AmpR}^2 + 13.32\text{AmpR} * a_{D-\text{end}} + 3.97\text{AmpR} * \text{rel} + 8.58a_{D-\text{end}}^2 \\ & - 28.02a_{D-\text{end}} * \text{rel} + 22.22\text{rel}^2 \end{aligned}$$

### Результаты

На рисунке 3 изображены гистограммы остатков САД и ДАД – разность между тестовыми значениями и значениями, оцененными разработанной регрессионной моделью.

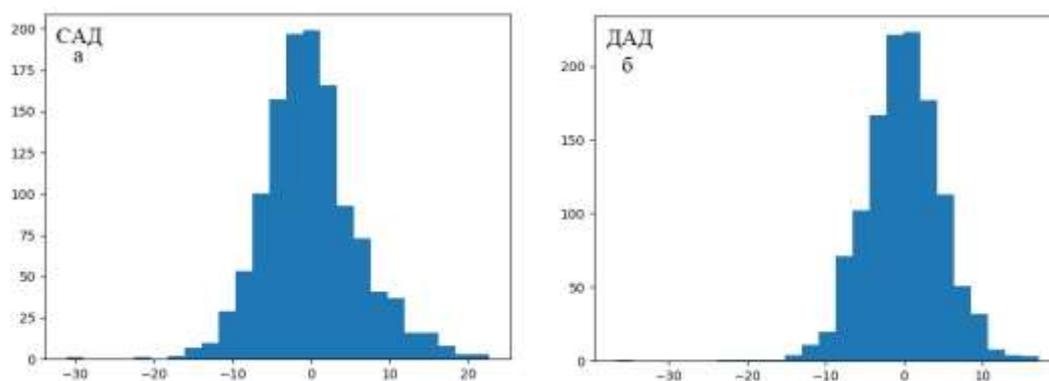


Рис. 3. Гистограмма остатков. а) САД, б) ДАД

Также были рассчитаны средняя абсолютная и среднеквадратическая ошибки для регрессионных моделей оценки САД и ДАД.

- САД: средняя абсолютная ошибка = 4.6, среднеквадратическая ошибка = 6.06;
- ДАД: средняя абсолютная ошибка = 3.79, среднеквадратическая ошибка = 4.96;

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что распределения остатков имеют нормальный вид (следовательно, построенная модель наиболее полным образом описывает данные). Также следует отметить, что величина ошибки для некоторых измерения является достаточно существенной, что может быть учтено и скорректировано в дальнейшем исследовании при учете объемных параметров кровообращения.

### Список литературы

1. Mendis S, Puska P, Norrving B. Всемирный атлас профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и борьбы с ними. Всемирная организация здравоохранения, Женева, 2013.
2. Следуя цели 2024: предупреждение и терапия сердечно-сосудистых заболеваний // Ведомости URL: [https://www.vedomosti.ru/press\\_releases/2021/12/01/sleduya-tseli-2024-preduprezhdenie-i-terapiya-serdechno-sosudistih-zabolevanii](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2021/12/01/sleduya-tseli-2024-preduprezhdenie-i-terapiya-serdechno-sosudistih-zabolevanii) (дата обращения: 03.04.2023).
3. Кобалава Ж.Д. Конради А.О., Недогода С.В., Шляхто Е.В., Арутюнов Г.П., Баранова Е.И. Артериальная гипертензия у взрослых. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. 2020. №. 3.
4. Mateo Aboy, James RicNames, Brahm Goldstein. AUTOMATIC DETECTION ALGORITHM OF INTRACRANIAL PRESSURE WAVEFORM COMPONENTS // Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference – 2001 2.

5. Mateo Aboy, James McNames, Tran Thong, Daniel Tsunami, Miles S. Ellenby, Brahm Goldstein An Automatic Beat Detection Algorithm for Pressure Signals // IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING. - 2005. - №VOL. 52, NO. 10. - С. 1662-1670.

6. Pan–Tompkins algorithm // Wikipedia URL: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Pan–Tompkins\\_algorithm](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Pan–Tompkins_algorithm) (дата обращения: 22.04.2023).

7. Peñáz J. Photoelectric measurement of blood pressure, volume and flow in the finger. //Digest of the 10th International Conference on Medical and Biological Engineering, Dresden, 1973, с. 104.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНОГО БИОФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ**

ПАК Р., ПУДОВА А. В., МАНДРИК И. В., ЗИМИНА Т. М., СНАРСКАЯ Д. Д.

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

**Аннотация.** Проведена разработка и исследование биофотогальванического элемента для генерации электроэнергии на основе электродов, созданных с применением углеродных наночастиц, и цианобактерий. Цианобактерии в результате фотосинтеза расщепляют воду на молекулы кислорода и ионы водорода, забирая электроны. Тем самым они создают дополнительные свободные носители заряда. Проведено сравнение углеродных наноматериалов, таких как чернила на основе углеродных нанотрубок и на основе графена.

*Ключевые слова:* возобновляемая энергетика, биофотогальванический элемент, углеродные электроды, цианобактерии, сине-зеленые водоросли

Поиск альтернативных источников энергии становится наиболее актуальным вопросом настоящего времени. Использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечный свет, является одним из самых перспективным решением данной проблемы. Цианобактерии, использующие световую энергию для расщепления воды и генерации свободных носителей заряда, могут помочь нам создать новые виды солнечных биобатарей.

Цианобактерии, также известные как сине-зеленые водоросли, считаются одними из эволюционно древнейших организмов нашей планеты. Они являются одной из немногих групп, которые могут одновременно осуществлять кислородный фотосинтез и дыхание в одной и той же органелле.

Целью данной работы является разработка компактного планарного биофотогальванического элемента для генерации электроэнергии в результате фотосинтеза цианобактерий и сравнение эффективности электродов на основе углеродных наноматериалов.

Фотосинтез и дыхание требуют путей переноса электронов, которые в значительной степени катализируются белковыми комплексами в мембранах бактерии. На рис. 1 проиллюстрировано строение клеточной стенки (мембраны) цианобактерий. Тилакоидная мембрана – это внутренняя мембранная система, отделяющая цитоплазму от люмена и присутствующая практически у всех цианобактерий, содержит как фотосинтетическую, так и дыхательную электронно-транспортные цепи. Эти электронно-транспортные цепи пересекаются и частично используют одни и те же компоненты в мембране [1, 2]. Тилакоиды располагаются попарно (представленный здесь вид соответствует поперечному срезу). Одна пара мембран охватывает другую пару, подобно матрешке.

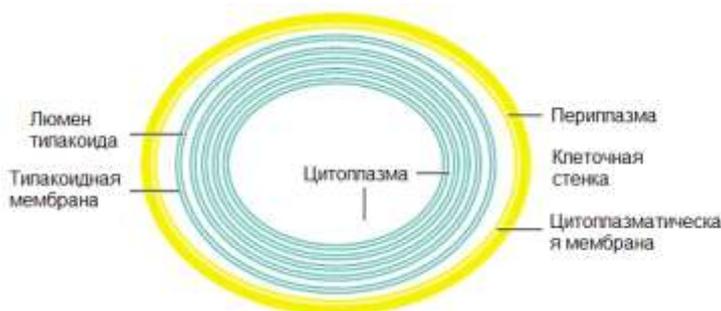


Рис. 1. Схема клеточной стенки цианобактерий

Схема потока электронов в цианобактериях представлена на рис. 2 [3, 4].

а)

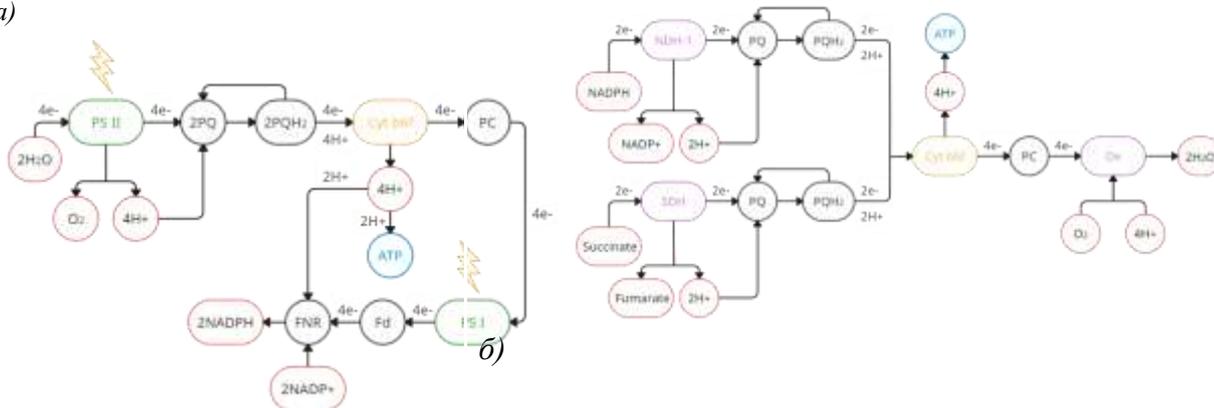


Рис. 2. Схема потока электронов фотосинтетического (а) и дыхательного (б) цикла. (Сокращения: *cyt b6f* – комплекс цитохрома *b6f*; *Fd* – ферредоксин; *NADP(H)* – никотинамид-аденин-динуклеотид фосфат (восстановленная форма); *FNR* – Ферредоксин-  $NADP^+$ -редуктаза; *PC* — пластоцианин; *PQ* – пластохинон; *PQH2*– пластохинол; *PS I* – фотосистема I; *PS II* – фотосистема II; *ATP* – аденозинтрифосфорная кислота; *NDH-1* – дегидрогеназ *NADPH* первого типа; *Ox* – терминальная оксидаза; *SDH* – сукцинатдегидрогеназа.)

Конструкция биофотогальванического элемента представлена на рис. 3. Она представляет собой два напечатанных на полимерной подложке электрода, расположенных на расстоянии ~5 мм друг от друга (рис. 4). Анод покрывается тонкой биопленкой из цианобактерий, а катод покрывается тонкой пленкой нафiona. Сверху на электроды помещается пленка гидрогеля, которая будет служить электролитом данной системы. Цианобактерии под действием падающего света расщепляют воду на молекулы кислорода и ионы водорода. Освободившиеся электроны попадают на анод и затем по внешней цепи перемещаются на катод. На катоде происходит обратный процесс, восстановление воды из молекул кислорода и ионов водорода.

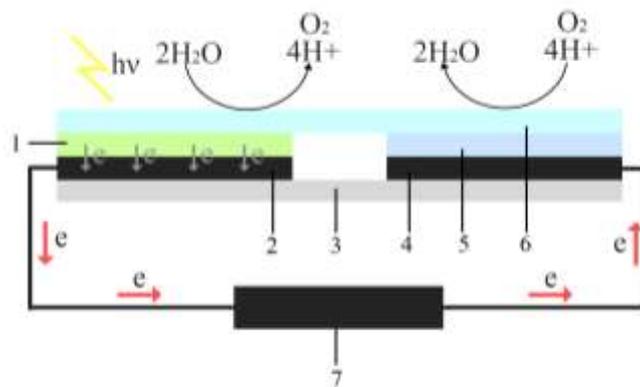


Рис. 3. Конструкция биофотогальванического элемента. (1 – цианобактерии, 2 – анод, 3 – полимерная подложка, 4 – катод, 5 – нафийон, 6 – гидрогель, 7 – нагрузка).

Чертеж конструкций исследуемых биофотогальванических элементов с указанными размерами представлен на рис. 4 (а,б).

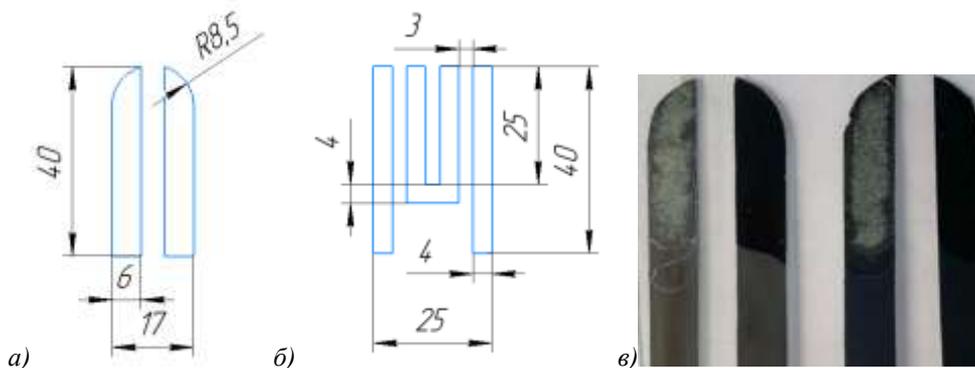


Рис. 4. Биофотогальванические ячейки: а) чертеж одинарной ячейки; б) чертеж двойной ячейки; в) фотографии сформированных одинарных ячеек

Электроды биофотогальванического элемента получены путем нанесения чернил с углеродными наночастицами на подложку с применением трафарета. В данном примере используются чернила с углеродными нанотрубками (УНТ) для одной ячейки и графеновыми нанопластинками (графен) для другой. Следующим этапом после высыхания чернил является нанесение нафийона на катод. Нафийон – это полимерный пористый гидрофильный материал, обеспечивающий высокую ионную проводимость электроду. На анод наносится биопленка цианобактерий. В работе исследовалась смесь трех родов цианобактерий (*Synechocystis*, *Synechococcus* и *Anabaena*). Заключительным этапом является удаление трафаретной маски с подложки и прикрепления к электродам гидрогеля, который будет служить электролитом биофотогальванического элемента.

Проведены измерения выходного напряжения для биофотогальванических элементов различной конфигурации. На рис. 5 (а) представлены зависимости выходного напряжения от времени таких ячеек как: одинарная ячейка с цианобактериями на аноде (Цб), двойная ячейка с цианобактериями на аноде (Двойная, цб), одинарная ячейка с цианобактериями на аноде и нафийоном на катоде (Цб, нафийон), двойная ячейка с цианобактериями на аноде и нафийоном на катоде (Двойная, цб, нафийон). Базовые структуры анода и катода сделаны из УНТ и без цианобактерий не проявляют разности потенциала. Следовательно, все изменения разности потенциала наблюдаются в первую очередь из-за наличия биопленки из

цианобактерий. Стоит отметить, что объем электролита (гидрогеля) для двойных ячеек является таким же, как и для одинарных, с той лишь разницей, что он разделен на две равные части. Такая конструкция позволяет получать более высокий электрический потенциал, однако, скорость деградации электролита у двойных ячеек выше. По графикам можно заметить, что двойные ячейки имеют более резкий наклон в сторону уменьшения потенциала со временем, чем одинарные и постепенно нивелируют свое преимущество. Однако, стоит отметить, что ячейки с нафионом показывают значительный прирост в сравнении с ячейками без него.

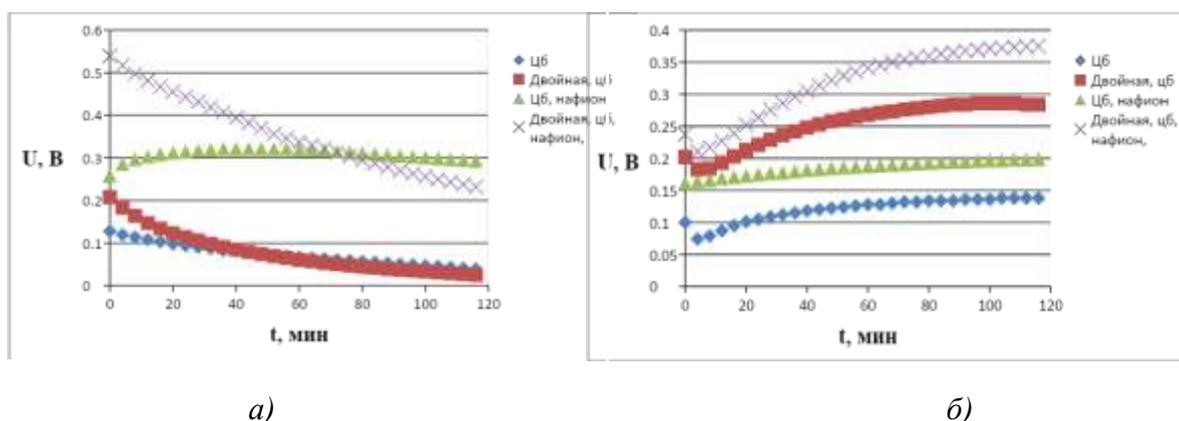


Рис. 5. Зависимости выходного напряжения от времени для биофотогальванических элементов: а) с электродами из УНТ; б) с электродами из графена

На рис. 5 (б) представлены аналогичные измерения выходного напряжения от времени для таких же ячеек, с той лишь разницей, что электроды сделаны из графена. Базовые структуры анода и катода без цианобактерий также не проявляют разности потенциала. Следовательно, все изменения разности потенциала также наблюдаются в первую очередь из-за наличия биопленки из цианобактерий. По графикам можно заметить, что в данных ячейках нафион не дал такого же высокого прироста, как в ячейках с электродами из УНТ, однако в ячейках с электродами из графена наблюдается более высокая продолжительность работы. Таким образом, двойные ячейки показали более высокий прирост относительно одинарных ячеек, чем в ячейках с электродами из УНТ.

В заключение можно сделать вывод, что биофотогальванические элементы на основе цианобактерий являются перспективным витком развития возобновляемой энергетики. Как видно из результатов эксперимента, удалось добиться значительного прироста потенциала из относительно небольшой площади ячейки и маленького объема электролита. Разность потенциалов у двойных элементов с биопленкой из цианобактерий и полимерной мембраной составила 0,4 - 0,5 В. В дальнейшей работе планируется увеличивать количество последовательно соединенных биофотогальванических элементов, оптимизировать технологию получения электродов, использовать новые виды цианобактерий, исследовать влияние топологии на эффективность.

### Список литературы

1. Schmetterer G. Cyanobacterial respiration //The molecular biology of cyanobacteria. – 1994. – С. 409-435.
2. Gantt E. Supramolecular membrane organization //The molecular biology of cyanobacteria. – 1994. – Т. 1. – С. 119-138.
3. Vermaas W. F. J. Photosynthesis and respiration in cyanobacteria //e LS. – 2001.
4. Tschörtner J., Lai B., Krömer J. O. Biophotovoltaics: green power generation from sunlight and water //Frontiers in microbiology. – 2019. – Т. 10. – С. 866.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КИНЕТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ СПЕКЛОВ ПРИ РАССЕЯНИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СУСПЕНЗИЕЙ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРИСУТСТВИИ АНТИБИОТИКОВ

СИБГАТОВ Р.Р.<sup>1</sup>, ЗЫБЕНОК К.Н.<sup>2</sup>, ПУСТОВИТ Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

**Аннотация.** Важным фактором успеха при лечении бактериальных инфекций является оперативность диагностики. В настоящее время получение результатов по проверке чувствительности к антибиотикам методом Кирби-Бауэра занимает от 18 до 24 часов. Исследуемый в данной статье метод, основанный на измерении кинетики флуктуаций спеклов при рассеянии лазерного излучения суспензией микроорганизмов (ИКФС), может давать результаты уже через 10 минут. В данной работе проведены исследования эффективности метода ИКФС для оценки антибиотикорезистентности (АБР) микроорганизмов при воздействии антибиотиков. Данные АБР проверяли классическим методом Кирби-Бауэра. Исследовано влияние концентрации антибиотиков.

*Ключевые слова:* лазерное рассеяние света, спеклы, мониторинг оптических флуктуаций, антибиотикорезистентность, микроорганизмы.

### 1. Введение

На сегодняшний день проблема быстрого определения антибиотикорезистентности бактерий остается крайне актуальной, так как принятие мер по лечению бактериальной инфекции должно происходить как можно раньше. Широко используемый в лабораториях тест Кирби-Бауэра занимает от 18 до 24 часов [1], однако в данной работе будет рассматриваться метод, который может давать результаты за 1 – 4 часа [2], а именно, измерение кинетики флуктуаций спеклов при рассеянии лазерного излучения. Из рис. 1 [3] видно, что для исследования восприимчивости микроорганизма к антибиотику, проведенного данным методом, достаточно 10 минут (рис. 1: график 1 – в буферном растворе, 2 – под действием антибиотика).

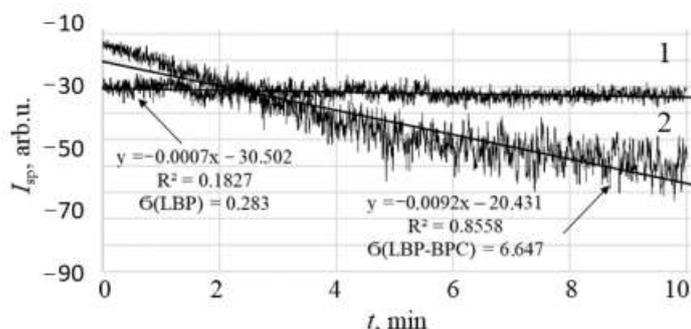


Рис. 1. *E. coli* M-17 под воздействием Цефтриаксона [3]

Спеклы формируются, когда когерентное излучение проходит через динамическую рассеивающую среду. Рассеянные волны, имеют случайные амплитуды и фазы, которые при достижении экрана (в данном случае фотоприемника) интерферируют друг с другом и генерируют спекл-картину [4].

Лабораторная установка для проведения экспериментов в рамках данного метода состоит из трех частей: источника лазерного излучения, объекта измерения (к примеру, стеклянная кювета с суспензией бактерий) и детектора рассеянного излучения (к примеру, фотодиода или КМОП-матрицы).

## 2. Материалы и методы

### 2.1 Экспериментальная установка

Используемая в данной работе установка представлена на Рис. 2: она состоит из лазера с излучением красного цвета с длиной волны  $\lambda = 650$  нм, мощностью CW = 30 мВт, кюветы из стекла и приемника – КМОП-матрицы. При проведении экспериментов пучок лазера направляется так, чтобы на матрицу попадал только рассеянный свет во избежание деградации детектора.

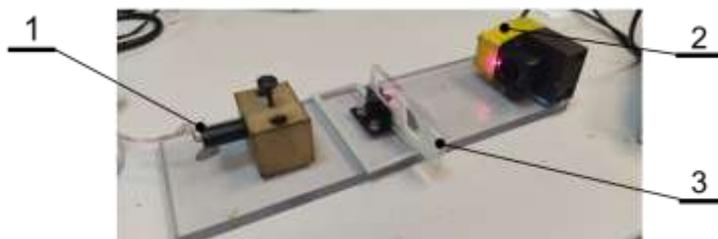


Рис. 2. Экспериментальная установка. 1 – источник лазерного излучения, 2 – рассеивающий объем, 3 – детектор рассеянного излучения (КМОП-матрица)

### 2.2 Микроорганизмы

В экспериментах использовали следующие виды микроорганизмов: *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* и *Enterococcus faecium*. Исследовали влияние следующих антибиотиков: цефтриаксон (5 мкг/диск) и ципрофлоксацина (30 мкг/диск). Растворы антибиотиков приготавливали в ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера. Условия проводимых экспериментов представлены в таблице 1. Чувствительность бактерий к данным антибиотикам проверена ранее с помощью метода Бауэра-Кирби.

Таблица 1

Исследуемые образцы микроорганизмов и антибиотиков

Наименование бактерии	Концентрация бактерий, КОЕ*/мл	Наименование антибиотика	Концентрация антибиотика, мкг/мл	Растворитель для антибиотика
<i>E. coli</i>	$1 \cdot 10^8$	Цефтриаксон	30	Дистиллированная вода
<i>E. faecalis</i>	$1 \cdot 10^8$	Ципрофлоксацин	5	
<i>E. faecalis</i>	$1 \cdot 10^7$	Ципрофлоксацин	5	
<i>E. faecalis</i>	$1 \cdot 10^8$	Ципрофлоксацин	10	
<i>E. faecalis</i>	$1 \cdot 10^7$	Ципрофлоксацин	10	
<i>E. faecium</i>	$1 \cdot 10^8$	Ципрофлоксацин	10	

\*КОЕ – колониеобразующие единицы

### 3. Результаты и их обсуждение

Оптическая схема приема сигнала показана на рис. 3, а. На рис. 3, б представлен пример получаемой спекл-картины.

Спеклы могут формироваться как в дальнем поле - область рассеяния Фраунгофера, так и в ближнем – область рассеяния Френеля. Конкретный вариант определяется числом Френеля:  $F = d^2 / (L\lambda)$ , где  $d$  – диаметр лазерного пучка,  $L$  – расстояние между рассеивающим объектом и поверхностью детектора,  $\lambda$  – длина волны исходного излучения (на рис. 3, а представлено, как брались геометрические размеры). Числам Френеля  $F \ll 1$  отвечает случай ближнего поля, а для  $F > 1$  - дальнего. В случае случаев, отвечающих условию дальнего поля, свойства спеклов зависят от формы и размера рассеивающего объема, а в случае ближнего поля - определяются свойствами рассеивающего объекта.

В данном эксперименте число Френеля равно  $F = (3 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2 / (5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}) = 276,92$ , следовательно, исследуемые в статье спеклы отвечают условию ближнего поля, и их свойства зависят от свойств самого рассеивающего объекта.

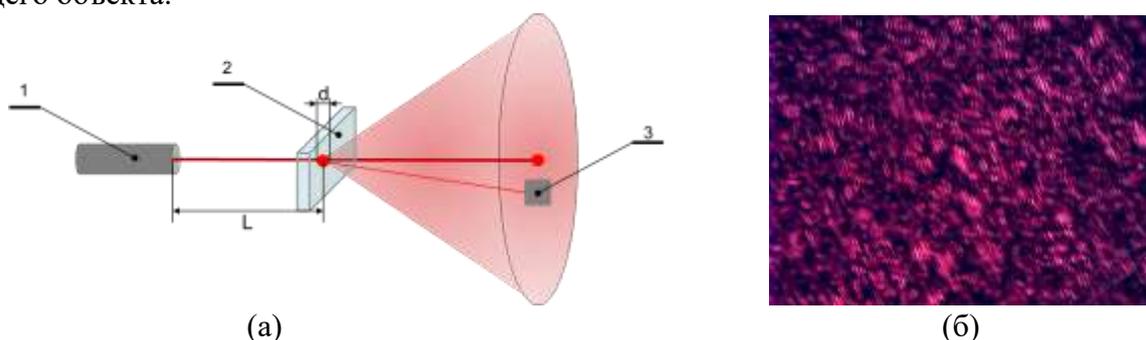


Рис. 3. Оптическая схема измерения (а) и вид фрагмента спекл-поля при рассеянии лазерного излучения суспензией *E. Coli* (б). 1 – 3 как на рис. 2.  $L$  – расстояние между источником излучения и рассеивающим объектом,  $d$  – диаметр пучка падающего излучения

В результате проведенных измерений получены временные зависимости интенсивности света, представленные на рис. 4. Для прослеживания тенденций на полученных графиках был применен метод скользящего среднего с окном в 1000/30 секунд (графики расположены под исходными зависимостями). При анализе изображений использованы биб-

лиотеки Python: OpenCV, Pillow, Numpy, Pandas. Для построения графиков, представленных на рис. 4, использована библиотека Python Matplotlib.

### 3.1. *Enterococcus faecium*.

Измерения, проведенные для *E. Faecium* (рис. 4, а) показали ожидаемый результат близкий к зависимости, показанной на рис. 1, т. е. при добавлении ципрофлоксацина в суспензию происходит увеличение средней интенсивности рассеянного лазерного излучения, из чего можно предположить, что центров рассеяния на пути лазерного излучения становится меньше, а их размер увеличивается в результате агломерации.

### 3.2. *Escherichia coli*

Характер зависимости для *E. Coli*, как видно из рисунка 4, б, не изменился при добавлении цефтриаксона в суспензию. Вероятно, этого не произошло из-за низкой концентрации антибиотика (30 мкг/мл).

### 3.3. *Enterococcus faecalis*.

Зависимость *E. faecalis* для концентрации ципрофлоксацина 10 мкг/мл также показала рост средней интенсивности рассеянного излучения, как с *E. faecium*, для обеих концентраций антибиотика (рис. 4, в, д). На графиках для меньшей концентрации антибиотика, зависимость при добавлении имеет слабую тенденцию увеличения интенсивности (рис. 4, е) или противоположную (рис. 4, г), следовательно, данная концентрация не является достаточной.

Резкие отклонения от горизонтального вида, видные на зависимостях для испытаний без добавления антибиотиков на рис. 4, в, е, обусловлены внешними факторами.



Рис. 4. Временные зависимости интенсивности спеклов (пояснения в тексте)

#### 4. Выводы

Проведенные эксперименты показали, что за 10 минут можно подтвердить чувствительность изучаемого микроорганизма к антибиотику; при этом, с повышением концентрации антибиотика повышается точность результата измерения. Таким образом при помощи данного метода можно ускорить процесс принятия решения по способу лечения бактериальных инфекций и тем самым повысить вероятность успеха лечения.

#### 5. Благодарности.

Благодарим к.ф.-м.н. доцента Зимину Т.М. за консультации по технической части и помощь в составлении статьи, д.м.н, профессора Краеву Л. А. за помощь в проведении испытаний в ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, к.т.н. Ситкова Н. О. за помощь в организации эксперимента.

#### Список литературы

1. Hudzicki J. Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol
2. Zimina T. M. Comparative study of biosensing principles: FET, impedimetric, light scattering, with regard to operational efficiency in antibiotic resistance testing
3. Zimina T. M. Study of Laser Light Scattering Methods in Rapid Viability Assessment of Microorganisms under Antibiotics Exposure for Adaptation in Lab-on-A-Chip Format
4. Loutfi H. Real-time monitoring of bacterial growth kinetics in suspensions using laser speckle imaging

## РЕГИСТРАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОКАЛИЗАЦИЙ, КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ ВЫРАЖЕННОСТИ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ И ЗООСОЦИАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ НА МОДЕЛЯХ НЕОНАТАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ ГРЫЗУНОВ.

ТАРАСОВ А. С.<sup>1,2</sup>, ФРОЛОВ Е.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *ИНЦИЛС ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России, лаборатория нейropsychотропных средств отдела персонализированной медицины и клинической фармакологии*

<sup>2</sup> *Волгоградский медицинский научный центр, Волгоград, Россия*

**Аннотация.** Последствия неонатальной гипоксии являются серьезной проблемой, требующей как разработки новых лекарственных препаратов, так и поиска новых эффектов уже известных веществ. Разработка и усовершенствование патологических моделей для доклинических исследований фармакологических средств, направленных на устранение как неврологического, так и социально-коммуникативного дефицита на грызунах, становится актуальной задачей. Одним из возможных методов оценки тяжести поражений, помимо стандартной оценки поведенческой активности и сенсомоторного дефицита, является анализ ультразвуковых вокализаций лабораторных грызунов.

*Ключевые слова:* неонатальная гипоксия, экспериментальные модели, неврологический дефицит, сенсомоторный дефицит, регистрация ультразвуковых вокализаций.

#### Введение

Каждый год неонатальная гипоксическая ишемическая энцефалопатия регистрируется в 5–9 случаях на 1000 доношенных родов [2], при этом в 10–15 % данная патология ведет к гибели в неонатальном периоде [1] или является причиной возникновения неврологических нарушений у около 1 миллиона новорожденных. Подобные поражения могут приво-

доть к стойким отклонениям в развитии и инвалидизации (14,5% от всех случаев детского церебрального паралича).

Гипоксия может вызывать окислительный стресс, к которому мозг новорожденных особенно уязвим. Неврологические нарушения при данном патологическом процессе достаточно разнообразны и зависят от различных факторов (как внешних, так и индивидуальной изменчивости), поэтому требуют различных тактик лечения.

Последствия неонатальной гипоксии, несмотря на успехи современной науки, является одной из серьезнейших медицинских проблем, требующей разработки новых лекарственных препаратов различных классов, изучения возможности их применения, поиску новых эффектов уже зарегистрированных лекарственных веществ, а также их комбинаций, выяснение нежелательных последствий, совершенствование методов их изучения. Одним из важнейших этапов изучения фармакологических свойств веществ является доклинические исследования *in vivo* на модельных животных в условиях стандартных экспериментальных патологических моделей, например, на грызунах [3].

Целью исследования является оценка нейрпсихотропных эффектов вариантов моделей неонатальной гипоксии, а также возможность применения анализа UVS (ультразвуковых вокализаций) животных в качестве критерия оценки тяжести психоневрологических нарушений у лабораторных грызунов.

### Материалы и методы

Эксперимент проводился на неполовозрелых крысах линии Wistar (возраст – 7 дней), фенотипированных по весу: животные со слишком высокой или слишком низкой массой исключались. Случайным образом животные были распределены на 4 группы: интактные животные, ложно оперированные животные, животные с первым вариантом экспериментальной патологии (инкубация в течении 3х часов в камере с 8% содержанием кислорода, 92% азота), и группа животных, подвергшихся односторонней перевязке сонной артерии с гипоксией (второй вариант, модель Райса–Ваннуччи). Через 2 месяца была проведена серия тестов, направленных на изучение поведенческих реакций, неврологической симптоматики и нарушений когнитивной сферы у подопытных животных.

### Результаты

При анализе результатов был отмечена выраженная неврологическая симптоматика как в группе животных с гипоксией, так и гипоксией-ишемией. Более выраженные нарушения были зафиксированы в тестах, связанных с оценкой неврологического дефицита (шкала mNSS) и мелкой моторики передних конечностей. (рис.1).

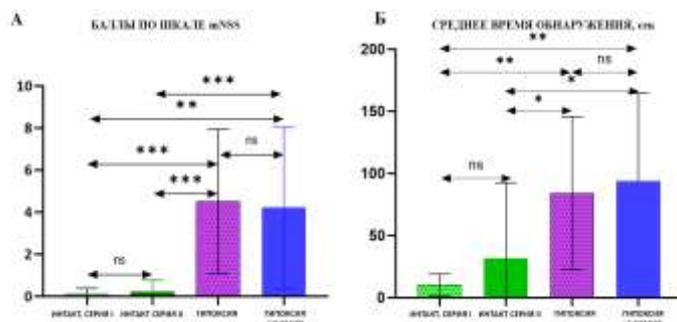


Рис. 1 Выраженность неврологического дефицита (А), шкала mNSS (баллы) и оценка мелкой моторики (Б) в «адгезивном тесте», \*-уровень значимости  $P < 0,05$  и т.д., однофакторный дисперсионный анализ с пост-тестом Ньюмена-Кеулса, данные представлены в виде среднее  $\pm$  стандартное отклонение.

В тестах, нацеленных на изучение нарушений двигательной активности (тест «Открытое поле», пройденный путь) и степени двигательного-координационных нарушений (тест «Ротарод») наблюдаемы неврологический дефицит у животных с обеими патологиями был меньше, но оставался значительным по сравнению с интактной группой (рис.2, А, Б).

Изучение общей исследовательской активности (тест «Открытое поле») показало значительное снижение показателей у групп с экспериментальной патологией (при отсутствии достоверной разницы между ними) в сравнении с интактными животными (рис. 2 В). В тоже время по результатам оценки когнитивных нарушений (тест «Водный лабиринт Морриса») прогнозируемых достоверных различий между исследуемыми группами не наблюдалось (рис. 2 Г).

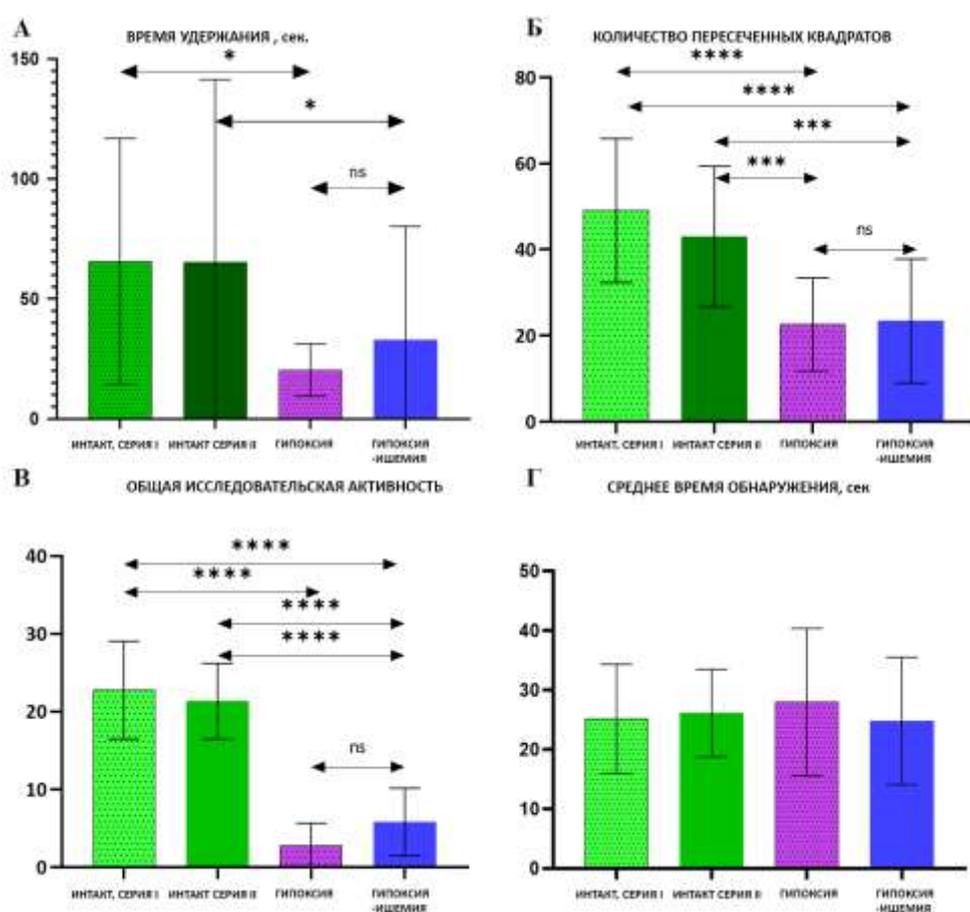


Рис. 2 Анализ степени двигательного-координационных нарушений (А), тест «Ротарод», регистрация времени удержания и оценка двигательной активности(Б), пройденный путь, тест «Открытое поле», общая исследовательская активность(В), тест «Открытое поле», среднее время обнаружения(Г), тест «Водный лабиринт Морриса».

\*-уровень значимости  $P < 0,05$  и т.д., однофакторный дисперсионный анализ с пост-тестом Ньюмена-Кейлса, данные представлены в виде среднее  $\pm$  стандартное отклонение.

## Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности использования комбинированных патологий и различных поведенческих маркеров, позволяющих повысить трансляционный потенциал используемых моделей. Вместе с тем полученные данные позволяют сделать вывод о необходимости использования новых поведенческих маркеров, позволяющих точнее оценить характеристики экспериментальных животных, учи-

тывая возможные нарушения в области социального взаимодействия. Также стоит отметить, что каждая адаптация, даже классических моделей, подлежит валидации, для чего требуется получить данные, доказывающие ее эффективность как клинически значимой модели. Одним из таких методов оценки является анализ UVS животных, как качественно, так и количественно отражающий различные поведенческие особенности грызунов [4], например, изменения в социальном взаимодействии и наличие коммуникативного дефицита.

### Список литературы

1. Зарубин Александр Анатольевич, Михеева Наталья Иннокентьевна, Филиппов Евгений Семёнович, Белогорова Татьяна Альбертовна, Ваняркина Анастасия Сергеевна, Шишкина Анна Александровна Гипоксически-ишемическая энцефалопатия у новорождённых, рождённых в тяжёлой асфиксии // Acta Biomedica Scientifica. 2017. №2 (114).
2. Russ JB, Simmons R, Glass HC. Neonatal Encephalopathy: Beyond Hypoxic-Ischemic Encephalopathy. Neoreviews. 2021 Mar;22(3): e148-e162. doi: 10.1542/neo.22-3-e148. PMID: 33649088.
3. Морковин Е.И., Куркин Д.В., Тюренков И.Н. Оценка психоневрологического дефицита у грызунов: основные методы // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2018. Т. 68. № 1. С. 3-15
4. Burgdorf JS, Brudzynski SM, Moskal JR. Using rat ultrasonic vocalization to study the neurobiology of emotion: from basic science to the development of novel therapeutics for affective disorders. Curr Opin Neurobiol. 2020 Feb;60:192-200. doi: 10.1016/j.conb.2019.12.008. Epub 2020 Jan 17. PMID: 31958623.

## ПОСТРОЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА СТИМУЛ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

УВАРОВ К.А.

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

**Аннотация.** Бдительность, как одна из характеристик внимания, является очень важной когнитивной характеристикой человека. Активно разрабатываются программно-аппаратные модули, которые могут анализировать и воздействовать на бдительность человека. Для тестирования подобных модулей требуются вычислительные модели бдительности человека. Одним из способов оценки бдительности человека является оценка времени реакции человека на внешний стимул. В данной работе рассматривается разработка вычислительной модели времени реакции человека на стимул на основе данных, собранных в результате поведенческого эксперимента.

*Ключевые слова:* моделирование, бдительность

### Введение

Прогнозирование работоспособности является актуальной задачей для многих направлений деятельности человека. Прогнозирование работоспособности может использоваться людьми, которые пытаются максимально эффективно использовать своё время, также работодатели используют прогнозирование работоспособности для планирования расписания своих сотрудников.

Многие виды деятельности требуют, чтобы уровень бдительности человека поддерживался на высоком уровне постоянно. Примером является вождение автомобиля. Невнимательность и сонливость человека является одной из основных причин дорожно-транспортных происшествий [1]. Производители автомобилей разрабатывают и внедряют специальные интеллектуальные системы мониторинга водителей, которые определяют

«неоптимальное» состояние водителя и воздействует на него различными способами. При создании подобных средств, разработчики сталкиваются с проблемой первоначального тестирования разработанных устройств или программных продуктов. В случае разработки системы помощи водителю, тестирование подобных систем на реальных водителях может привести к аварии. Выходом из данной ситуации, является проведение тестирования на вычислительной модели бдительности оператора. Модель на основе некоторых параметров генерирует и моделирует бдительность, которая меняется во времени.

В данной статье рассматривается обработка результатов эксперимента для количественной оценки изменения бдительности человека, а также построение модели бдительности человека на основе результатов эксперимента.

### **Описание эксперимента**

Для построения вычислительной модели бдительности человека, был проведен поведенческий эксперимент. Разрабатываемая модель должна моделировать следующие свойства: количественное изменение бдительности во времени и изменение уровня бдительности при внешних воздействиях.

Для оценки бдительности существуют различные подходы, например, измерение физиологических показателей таких как электроэнцефалограмма (ЭЭГ), электроокулограмма и электрокардиограмма. Получение этих физиологических сигналов требует физического контакта человека с датчиками (например, электродами), что приводит к дискомфорту для испытуемого, что делает эти подходы менее подходящими в сценариях реального времени. Альтернативным способом оценки уровня бдительности является оценка времени реакции на внешний стимул. Время реакции является косвенным признаком бдительности человека и положительно коррелирует с физиологическими показателями, которые измеряются с помощью ЭЭГ [2], а также положительно коррелирует с различными физиологическими состояниями человека, например, усталость или отсутствие сна [3].

В качестве метода определения бдительности в проведенном эксперименте был выбран тест на основе подхода «Стимул-Реакция». В данном тесте испытуемый должен нажать на кнопку, как только перед ним появляется световой индикатор. Существует большое количество различных подобных тестов, которые отличаются видами стимуляции, длительностью и условиями проявления реакции. Длительность эксперимента была равна 40 минутам, такая длительность была выбрана для того, чтобы зафиксировать изменение бдительности во времени.

Эксперимент проводился на специализированной веб-площадке для проведения поведенческих экспериментов. Существуют различные программные модули и продукты, которые позволяют конструировать психологические и поведенческие эксперименты. Для реализации эксперимента был выбран программный пакет PsychoPy [4]. Он был выбран по нескольким причинам:

- Имеет возможность разработки экспериментов, как для проведения в лаборатории, так и для проведения онлайн-экспериментов.
- Бесплатное использование.
- Показал лучшие результаты в точности времени реакции при проведении онлайн-эксперимента среди сравнения различных аналогичных пакетов.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. В начале эксперимента каждому участнику показывается инструкция по прохождению эксперимента. После инструкции

начинается цикл с заданиями «Стимул-Реакция». В начале каждой итерации цикла генерируется случайное значение МИ (межстимульный интервал), по окончании которого происходит показ стимула испытуемому, обработка реакции от него, а также обратная связь испытуемому в виде сообщения на экране. После окончания каждой итерации цикла происходит проверка длительности проведения эксперимента на основе которой определяется продолжать эксперимент или нет. Параметрами длительности проведения эксперимента являются: общая длительность эксперимент – 40 минут, интервал генерации ISI – [5 сек.; 10 сек.]. В этом исследовании приняли участие 23 добровольца (13 мужчины, 10 женщины) с средним возрастом 20 лет. Одним из требований разрабатываемой модели, требование, является возможность моделировать изменение уровня бдительности при внешних воздействия. Чтобы получить данные от испытуемых для дальнейшего анализа в рамках которого, будет выполнено это требование, был разработан эксперимент с модификацией. После 20 минут эксперимента в доработанной версии появлялось звуковое воздействие, которое длилось 3 минуты. Участники эксперимента были разбиты на 2 группы: группа, которая проходит стандартный эксперимент без воздействий (контрольная группа) и группа, которая проходит версию эксперимента с воздействиями. В группе с воздействиями было 17 добровольцев, в контрольной группе было 6 добровольцев.

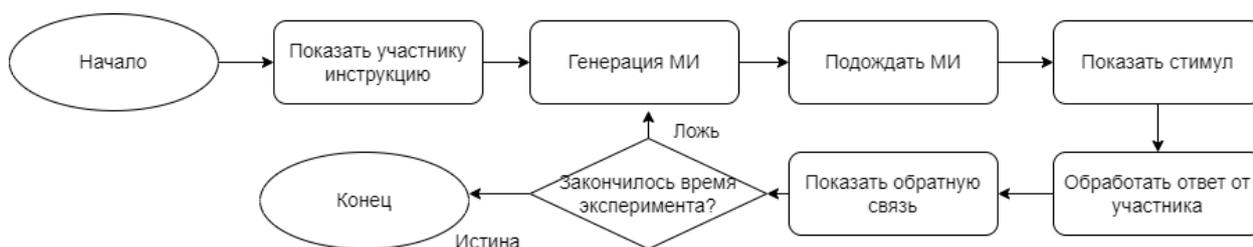


Рис. 1. Общая схема эксперимента

### Обработка результатов эксперимента

Полученные данные, были очищены, от отладочных данных PsychoPy. Записи с фальстартами также были удалены из набора данных. Под фальстартом понимается реакция (нажатие кнопки) до появления стимула на экране.

Результаты участников эксперимента могут сильно отличаться в силу индивидуальных физиологических и когнитивных особенностей. Чтобы нейтрализовать эту особенность, в качестве контрольной точки было взято среднее время реакции в течение 5 минут, и это значение было вычтено из всей выборки участника (1). Таким образом, для дальнейшего исследования была взята выборка с относительными значениями из контрольной точки.

$$Rn_i = IR_i - \bar{rt}_5, \quad (1)$$

где  $Rn_i$  - относительное значение в выборке,  $IR_i$  – изначальное время реакции,  $\bar{rt}_5$  – среднее время реакции в первые 5 минут.

Для визуализации данные каждого участника были разбиты на 1 минутные интервалы и объединены относительно этих интервалов.

Подбор модели для моделирования неизвестной функции всегда является очень тяжелой задачей для анализа данных. По этой причине исследователи всегда экспериментируют с различными типами моделей. Одним из основных подходов к моделированию является метод линейной регрессии. Данный метод математически моделирует неизвестную или зависимую переменную и известную или независимую переменную в виде линейного уравнения. Для построения линейной регрессии были выбраны следующие независимые переменные:

- Время, прошедшее с начала эксперимента в минутах (**StM**).
- Время, прошедшее после воздействия (если воздействия не было, то данное значение равно 30) в минутах (**StA**).
- Признак, что в эту минуту происходит воздействие (1 – если происходит, 0 – если не происходит) (**Cs**).

Зависимой переменной линейной регрессии является среднее значение времени отклика в секундах. График полученной линейной регрессии для каждой из групп представлен на рис. 2.

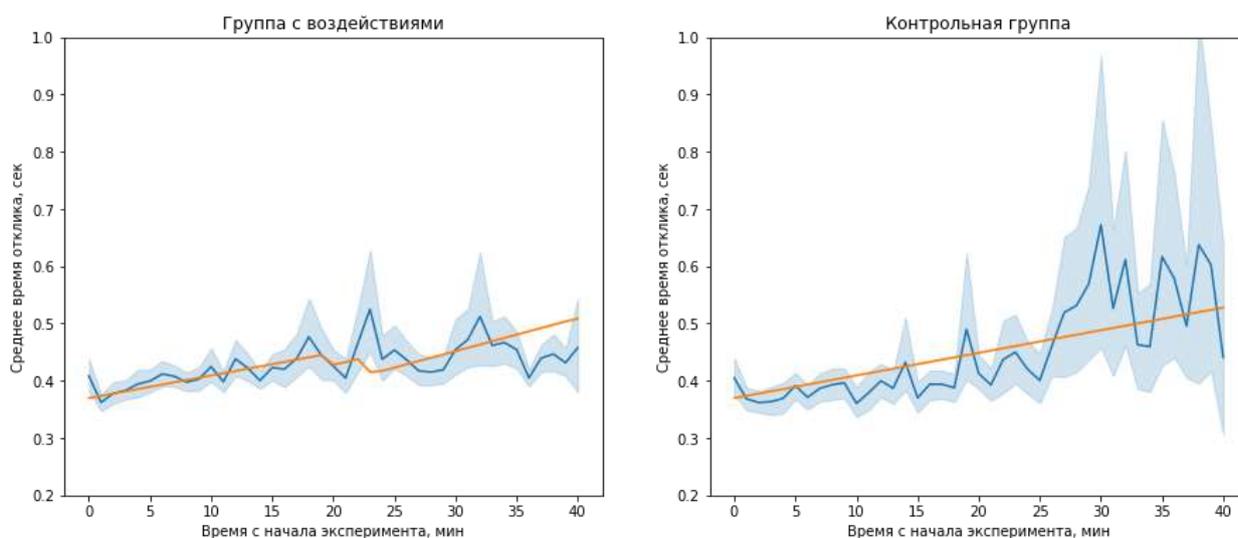


Рис. 2. График модели линейной регрессии для группы с воздействиями и контрольной группы

Уравнение линейной регрессии равно:

$$\mathbf{ReactionTime} = \mathbf{0.004 * StM} + \mathbf{0.0018 * StA} + \mathbf{0.0326 * Cs} + \mathbf{0.3154},$$

где **ReactionTime**- время отклика на стимул.

Рассмотрим, P-значения коэффициентов регрессии при уровне значимости 0.05. Для коэффициентов **StM** и **StA**, P-значение меньше 0.0001, что говорит о том, что данные коэффициенты являются значимыми. Для коэффициента **Cs** P-значение равно 0.093, таким образом данный коэффициент не является значимым.

Общее уравнение для группы с воздействиями и контрольной группы соответственно равно:

$$\text{ReactionTime} = 0.004 * \text{StM} + 0.0018 * \text{StA} + 0.3154$$

### Заключение

В статье рассмотрена разработка модели времени реакции человека на стимул. В качестве данных для построения модели используются данные, которые были получены в результате поведенческого эксперимента. В работе рассматривается описание проведенного эксперимента, инструменты, которые использовались для создания эксперимента, подход к обработке данных от эксперимента. Разработанная модель получена с помощью метода линейной регрессии. Дальнейшее развитие исследований в этом направлении связано с экспериментами с другими подходами к анализу данных и построению более сложных моделей бдительности человека на основе собранных данных.

### Список литературы

1. World health organization, *Global status report on road safety 2018*, Switzerland, 2018
2. Appelle, S., & Oswald, L. E. Simple Reaction Time as a Function of Alertness and Prior Mental Activity. *Perceptual and Motor Skills*, 1974, 1263–1268
3. Hudson, A.N., Van Dongen, H.P.A. & Honn, K.A. Sleep deprivation, vigilant attention, and brain function: a review. *Neuropsychopharmacol.* 45, 2020, 21–30.
4. PsychoPy. Web: <https://www.psychopy.org/>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ В БИОЧИПАХ ДЛЯ АНАЛИЗА КРОВИ

ХАСАНОВА Д.И.

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

**Аннотация.** Рассмотрены особенности разработки топологии и изготовления планарных фильтров, интегрируемых в микрофлюидные биочипы для анализа крови. Изучена эффективность разработанных фильтров различной геометрии и её зависимость от длины фильтрационной области.

**Ключевые слова:** микрофлюидный биочип, белки, планарные фильтры, фильтрационные точки.

### Введение

Экспресс-диагностика системных заболеваний является одной из наиболее важных проблем медицины. В настоящее время все большую популярность обретают методы диагностики на основе микрокапиллярных чипов, которые отличаются от традиционных лабораторно-диагностических средств дешевизной, высокой скоростью детектирования и малым объемом пробы [1]. Важной особенностью данных устройств является повышение их эффективности, в том числе процесса пробоподготовки. Так, в настоящей статье рассмотрено применение планарных фильтров для отделения нецелевых клеток крови.

### Разработка топологии планарных фильтров

Планарные фильтры играют большую роль в биочипах для анализа крови, поскольку детектирование производится за счет естественной флуоресценции белков, но помимо белковых молекул в крови присутствуют и другие клетки, которые в той или иной степени вносят вклад в флуоресценцию микропробы. Таким образом, внедрение фильтров позво-

ляет выделить необходимые для изучения белки и снизить концентрацию крупных клеток крови. Виды клеток крови и их размеры приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1

**Виды клеток крови и их размеры**

Виды клеток крови	Размер клеток, мкм
Тромбоциты	2-4
Эритроциты	7-8
Лейкоциты	4-20

При разработке топологии фильтров важно учесть, чтобы геометрия фильтров была способна препятствовать прохождению частиц через систему фильтрации, а расстояние между точками фильтрации было таким, что частицы могли проходить через фильтр и не засоряли его, расстояние между точками фильтрации было выбрано 70-110 мкм [3]. Топологии разработанных фильтров приведены на рисунке 1.



Рис. 1. Топологии фильтров: а – W-образный фильтр; б – U-образный фильтр

### Технология изготовления чипов

Изготовление чипов в лабораторных условиях производится в несколько этапов: На начальном этапе проводится подготовка подложек для изготовления чипов. В качестве подложек используются покровные стекла, данный материал хорошо пропускает флуоресценцию белков и препятствует прохождению возбуждающего излучения. Стекла промываются и сушатся. После того, как стекла высохнут, необходимо разместить на них сухой пленочный фоторезист Ordyl FP 440 с толщиной слоя 40 мкм и пропустить их через ламинатор. Следующим этапом производится экспонирование заготовок под УФ излучением. Поверх каждой подложки со стороны нанесенного фоторезистивного слоя кладутся заранее подготовленные фотошаблоны, далее группа стекол засвечивается, оптимальное время экспонирования для микрофлюидного чипа с шириной канала 200 мкм – 90 секунд. Однако при внедрении фильтрационной системы время экспонирования подбирается индивидуально каждой системе с учетом геометрии и плотности упаковки точек фильтрации, подобранное время экспонирования представлено в таблице 1. Далее необходимо проявить микрофлюидную систему. Для этого стекла опускаются в раствор кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), оптимальное время проявления – примерно 3 минуты, по истечению времени пребывания будущих чипов в растворе, их промывают в воде и очищают от остатков незаэкспонированного фоторезиста [4].

Затем на стекла с сформированной микрофлюидной системой располагают герметизирующий слой, который представляет из себя полипропиленовую клейкую ленту с отверстиями для выводов чипа.

Таблица 2

**Время экспонирования для фильтров различной геометрии**

Геометрия фильтра	Время экспонирования, с
U-образная	220
W-образная	340

### Проведение эксперимента и обработка результатов

Введение фильтрационных точек в канал микрофлюидной системы позволяет управлять ламинарным потоком частиц и тормозить большую их часть, оставшиеся частицы плавно огибают фильтрационные точки и проходят в рабочую область микрофлюидного чипа.

Главным критерием эффективности фильтров является количество частиц, прошедших через фильтр. Определить эффективность каждого фильтра можно экспериментально, фиксируя количество частиц до и после прохождения через фильтр. Результаты эксперимента представлены на рисунке 2. В качестве частиц, проходящих через фильтр, использовались растворенные в воде дрожжи, размеры которых сравнимы с крупными частицами крови.

Подсчет клеток дрожжей производился с помощью специальной программы, основанной на алгоритме выделения плотности контуров, который пробегает по всем пикселям изображения и вычисляет параметры, позволяющие определить границы клеток и подсчитать их. Результаты моделирования приведены на рисунке 2.

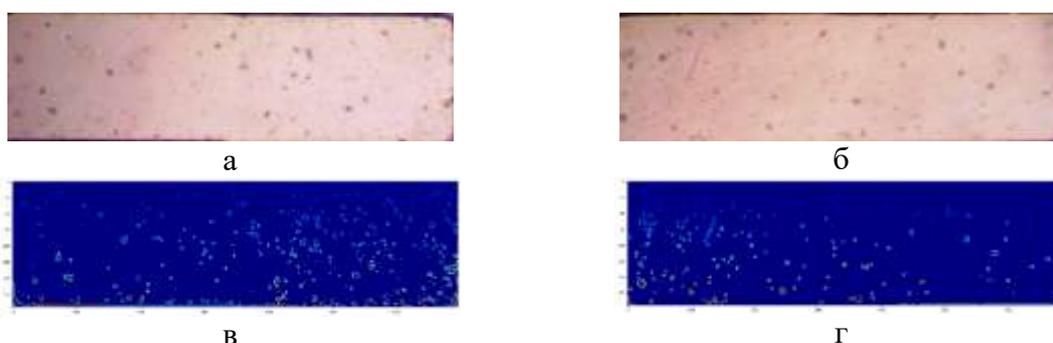


Рис. 2. Клетки дрожжей в канале

а – до прохождения через фильтр; б – после прохождения через фильтр; в – моделирование до прохождения через фильтр; г - моделирование после прохождения через фильтр

По результатам, полученным при использовании программы для подсчета числа клеток, можно вычислить эффективность фильтров, которую можно найти как отношение частиц, прошедших через фильтр, к числу частиц, вошедших в фильтр.

$$\eta = \frac{N_{\text{вх}} - N_{\text{вых}}}{N_{\text{вх}}} \cdot 100\%$$

Таким образом, можно привести график зависимости, который показывает, как эффективность фильтра зависит от его длины. Зависимость приведена на рисунке 3.

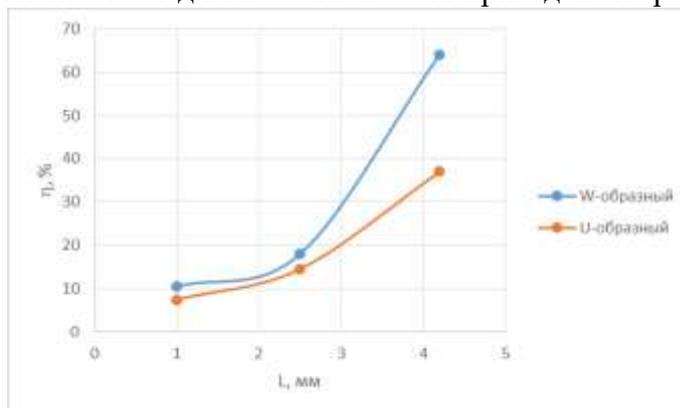


Рис. 3. Зависимость эффективности от длины фильтра

### **Заключение**

В ходе исследования разработаны топологии планарных фильтров для биочипов для анализа крови. Исследованы зависимости эффективности фильтров от их длины. Максимальную эффективность показал фильтр с W-образной геометрией фильтрационных точек.

### **Список литературы**

1. Sitkov N. et al. Study of the Fabrication Technology of Hybrid Microfluidic Biochips for Label-Free Detection of Proteins //Micromachines. – 2022. – Т. 13. – №. 1. – С. 20.
2. Tigner A., Ibrahim S. A., Murray I. Histology, white blood cell. – 2020.
3. Catarino S. O. et al. Blood cells separation and sorting techniques of passive microfluidic devices: From fabrication to applications //Micromachines. – 2019. – Т. 10. – №. 9. – С. 593.
4. Брусницына Л. А., Степановских Е. И. Технология изготовления печатных плат. – 2015.

## **ХИРУРГИЧЕСКИЙ ШОВНЫЙ МАТЕРИАЛ С АНТИТРОМБОТИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ**

ШЕВЕЛЕВА Е.Н.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

**Аннотация.** Разработана технология модифицирования поверхности хирургического шовного материала биосовместимым силиконовым каучуком СКТ и гепарином с целью придания ему тромборезистентных свойств. Исследованиями установлено, что модификация шовного материала гепарином позволяет улучшить био- и гемосовместимость полипропиленовой нити, а также снизить негативное влияние на окружающие ткани.

*Ключевые слова:* фотохимическое отверждение, шовный материал, антитромботическое покрытие, силоксановый каучук СКТ, гепарин.

Образование тромбов в течение 3 лет после проведения операций на артериях и сосудах является серьезной проблемой, которая может привести к ухудшению качества жизни и даже смерти пациента. Причиной развития артериального тромбоза может быть нерассасывающийся хирургический шовный материал. Он находится в кровотоке длительное время, на него сорбируется большое количество белков крови, в том числе при повреждении сосудистой стенки происходит активация тромбоцитов. В дальнейшем это может вызвать тромбообразование, воспаление и развитие спаечного процесса в зоне анастомоза. Для повышения био- и гемосовместимости выпускаются нити с антибактериальным или противовоспалительным эффектом, но при этом на рынке отсутствует шовный материал, который позволил бы снизить риск тромбоза.

Целью исследования было модифицировать гепарином поверхность хирургического шовного материала из полипропилена с целью придания ему тромборезистентных свойств.

### **Экспериментальная часть.**

В работе были использованы полипропиленовые мононити 3/0. На вращающуюся нить наносили 10 % раствор силиконового каучука СКТ в метилбензоле, содержащий 2-метилантрахинон в качестве фотоинициатора (концентрация – 0,01 моль/кг СКТ). Полученный тонкий слой сушили на воздухе 30 минут (рис. 1).

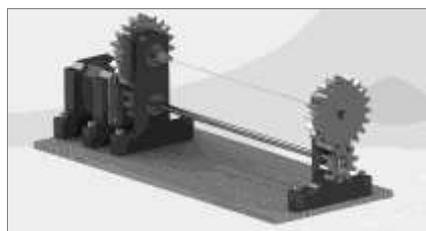


Рис. 1. Установка для нанесения покрытия

Образцы облучали при постоянном вращении 90 минут на расстоянии 20 см от ультрафиолетовой лампы ДРТ-1000. Толщина поверхностного слоя составила 8 мкм.

Модифицированные нити выдерживали 24 часа в 5% водном растворе нефракционированного гепарина. Затем высушивали при комнатной температуре.

Структуру поверхностного слоя изучали методом сканирующей электронной микроскопии (Hitachi S-3400N, Япония). Присутствие гепарина в модифицированном шовном материале оценивали с помощью рамановской спектроскопии (Horiba LabRam HR800, Франция). Прочность на разрыв исходных, облученных и модифицированных образцов измеряли на разрывной машине ИР-5061-0,05 при скорости 80 мм/мин.

Для оценки гемосовместимости использовали спектрофотометр «Genesys 10» и полуавтоматический 4-канальный анализатор агрегации тромбоцитов «Араст 4004». Биосовместимость *in vivo* оценивали при подкожной имплантации нитей лабораторным животным.

### Обсуждение результатов.

В ходе исследования установлено, что при облучении каучука на воздухе одновременно со сшиванием образуются силанольные группы (рис. 2).

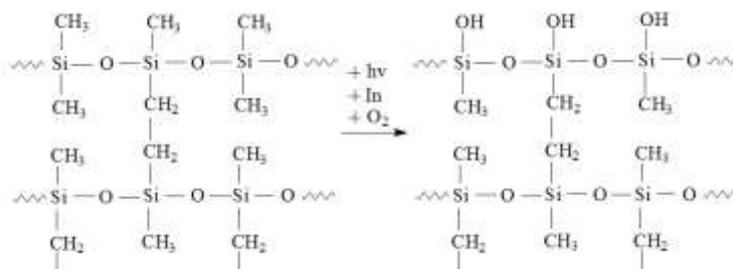


Рис. 2. Образование силанольных групп

Гепарин может взаимодействовать с поверхностью модифицированного полипропиленового материала, образуя водородные связи (рис. 3).

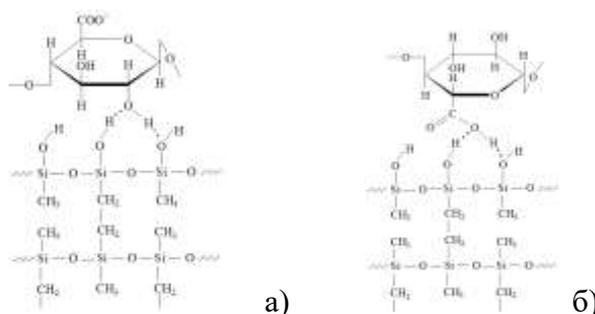


Рис. 3. Удержание гепарина на поверхности нити: а) за счет гидроксильной группы; б) за счет карбоксильной группы

Наличие гепарина в поверхностном слое шовного материала подтверждено методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (сульфоксильные группы  $\text{SO}_3\text{H}$  при  $1085\text{ см}^{-1}$ ).

Как показали исследования, фотохимическая обработка не оказывает какого-либо негативного влияния на прочность исходной и модифицированной нити (рис. 4).

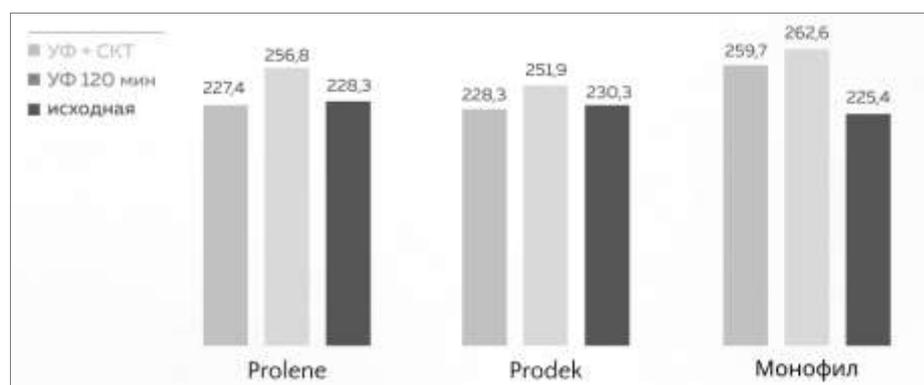


Рис. 4. Прочность на разрыв шовного материала (Н/мм<sup>2</sup>)

Разработанная методика приводит к улучшению гемосовместимости полипропиленовой нити. Известно, что первыми на инородный материал всегда реагируют тромбоциты крови. Установлено, что применение немодифицированной хирургической нити приводит к увеличению агрегации тромбоцитов (с 51,07 до 57,11 %). Модификация шовного материала гепарином позволяет уменьшить агрегацию тромбоцитов (до 46,34 %). Также наблюдаем уменьшение степени гемолиза эритроцитов.

Исследованиями *in vivo* выявлено, что использование модифицированной гепарином нити формирует более тонкий и равномерный белковый слой в зоне анастомоза, в отличие от немодифицированного шовного материала, а также способствует снижению воспалительной реакции и, следовательно, профилактике спаечного процесса.

### Заключение

Проведенные исследования демонстрируют возможность создания на поверхности полипропиленовой нити покрытия с антитромботическим действием, что позволит снизить количество ранних и отдаленных осложнений в сосудистой хирургии.

### Список литературы

1. Акентьева Т.Н., Кудрявцева Ю.А. Аспекты выбора и модификации хирургического шовного материала / Т.Н. Акентьева, Ю.А. Кудрявцева // Медицина в Кузбассе. – 2018. – Т. 13. – № 2. – С. 3–7.
2. Денисов В.Я. Эффективный подход к модификации структуры и свойств полисилоксанов / В.Я. Денисов, С.В. Лузгарев // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 8. – С. 34-35.
3. Метод комплексной оценки гемо(не)совместимости полимерных материалов медицинского назначения / В.В. Кирковский, В.П. Голубович, Д.А. Макаревич; под ред. В.В. Кирковского; Белорус. гос. мед. ун-т. – Минск: БГМУ, 2020. – 18 с.
4. Bae S. Heparin-Eluting Electrospun Nanofiber Yarns for Antithrombotic Vascular Sutures / S. Bae, M.J. DiBalsi, N. Meilinger // ACS Applied Materials Interfaces. – 2018. – № 10. – P. 8426-8435.
5. Biran R. Heparin coatings for improving blood compatibility of medical devices / R. Biran, D. Pond // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2017. – V. 112. – P. 12-23.

## СЕКЦИЯ ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИЧИНОК *Zophobas morio* ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

БЕРЕЗНИКОВА Н.А.<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Пенополистирол является одним из основных пластиковых отходов, накапливающихся в окружающей среде. Согласно исследованиям личинки насекомого *Zophobas morio* способны поедать, разлагать и минерализовать пенополистирол. Они могут жить, используя его в качестве пищи, более месяца. В среднем личинки способны перерабатывать пенополистирол со скоростью в 4,5 мг/день. Анализ фекалий с помощью инфракрасной Фурье-спектроскопии показал, что в кишечнике личинок происходит деполимеризация молекул полистирола и их последующее разложение.

*Ключевые слова:* пластиковые отходы, пенополистирол, переработка, биоразложение, *Zophobas morio*

Различные пластиковые изделия являются неотъемлемой частью мировой экономики и нашей повседневной жизни. Мировое производство пластика достигло почти 367 миллионов тонн в 2020 году, и, по прогнозам, спрос на него значительно вырастет в течение следующего десятилетия. [1] Большой объем потребления, долговечность и короткий срок службы в совокупности с недостаточно развитой переработкой привели к негативному воздействию на окружающую среду [2]. Пенополистирол наиболее широко используется в потребительских товарах. [3] Он составляет около 10% от общего количества пластиковых отходов. Как и другие виды пластика, пенополистирол сохраняется в природе десятилетиями [4, 5] и потенциально может нанести вред дикой природе, а впоследствии и человеку [2, 6].

Наиболее часто применяемые методы утилизации пенополистирола – захоронение и термическое разложение. В данной работе будет рассматриваться альтернатива захоронению пенополистирола – его переработка личинками *Zophobas morio*.

Жуки вида *Zophobas morio* принадлежат к семейству чернотелок. Среда их обитания – трухлявая и подгнившая древесина, мёртвый покров. Благоприятными условиями окружающей среды для личинок являются температура в диапазоне от 25 до 28°C и относительная влажность в пределах 60-70%. [7]

Личинки *Zophobas morio* широко используются в качестве кормовых насекомых для террариумных животных, рыб и птиц. Кроме того, они применяются в качестве кормовой добавки в животноводстве и птицеводстве. [8][9] Так же исследуется возможность использования личинок *Zophobas morio* в качестве альтернативного источника белка для людей. [10][11]

Для проведения эксперимента приобретенные в один день гусеницы были разделены на три группы по три колонии. В качестве пищи первой группе был дан сухой (овсяные хлопья, рис) и влажный (морковь, яблоки) корм, второй – пенополистирол. Третья группа

была оставлена без пищи. Все группы содержались при одинаковых условиях в тёмном помещении при комнатной температуре (17-24°C), относительной влажности 60-80%.

В течение месяца проводилось наблюдение за колониями, мёртвые особи удалялись из боксов, проводилось взвешивание образцов пенополистирола.

На рисунке 1 представлены кривые выживаемости особей трёх групп.

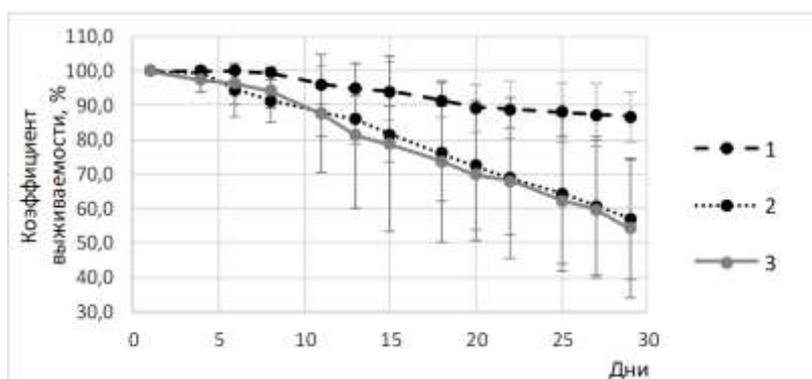


Рис. 1. Кривые выживаемости особей

1 – питавшиеся привычной пищей, 2 – питавшиеся пенополистиролом, 3 – голодавшие

Кривые выживаемости групп личинок, находящихся на диете из пенополистирола, и голодающих отличаются незначительно. Так, можно сделать вывод, что насекомые не могут долгое время выживать, питаясь исключительно пенополистиролом. В их рацион необходимо регулярно добавлять продукты, богатые белками, такие как овсяные хлопья, а также влажную пищу. Такой подход поможет личинкам поддерживать и набирать массу тела, уменьшит количество случаев каннибализма.

На рисунке 2 представлен график потери массы образцов пенополистирола.

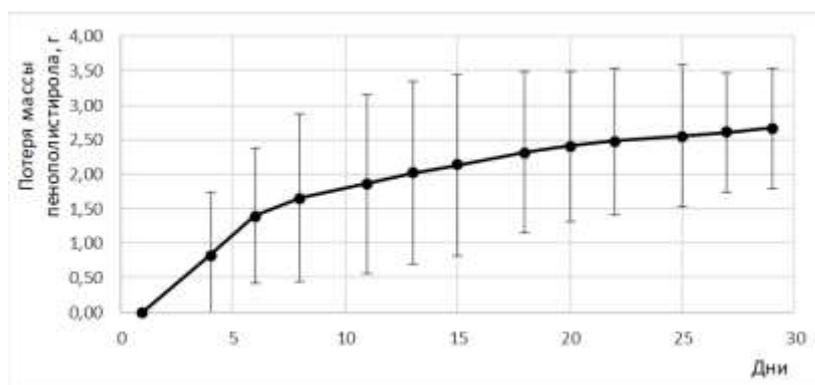


Рис. 2. Потеря массы образцов пенополистирола

Наибольшая продуктивность по переработке пенополистирола во вторичные метаболиты наблюдалась в первые дни после высадки колоний на пенополистироловый субстрат. Далее скорость потери массы образцов уменьшилась. В среднем личинки поглощали пенополистирол со скоростью 4,5 мг/день на особь.

Чтобы проверить, способны ли личинки *Zophobas morio* разлагать поглощенный ими пенополистирол, были отобраны образцы фекалий из боксов групп, питающихся пенополистиролом и привычной пищей, а также были взяты образцы пенополистирола. После этого была проведена их инфракрасная-Фурье спектроскопия.

На рисунке 3 представлен полученный спектр пенополистирола.

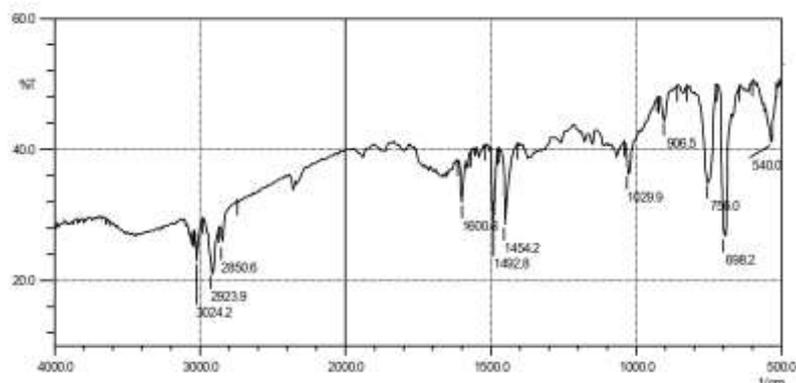


Рис. 3. Инфракрасный спектр пропускания образца пенополистирола

В рассматриваемом диапазоне волновых чисел имеется несколько пиков поглощения. Пики поглощения на волновых числах 3058,8 и 3024,2 обусловлены поглощением валентных колебаний С-Н в ароматической системе. Также наблюдаются пики поглощения на волновых числах 1600,8, 1492,8 и 1454,2 из-за поглощения валентных колебаний С=С ароматической системы. Эти пики поглощения указывают на наличие бензольного кольца. Пики поглощения при волновых числах 2923,9 и 2850,6 соответствует наличию метиленов.

На рисунках 4 и 5 представлены полученные спектры пропускания продуктов жизнедеятельности личинок, питавшихся пенополистиролом и привычной пищей.

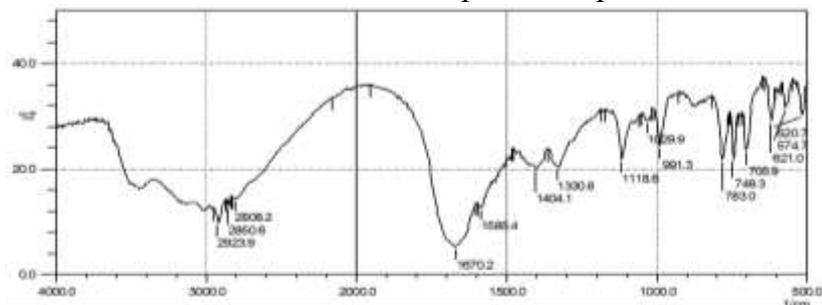


Рис. 4. Инфракрасный спектр пропускания образца фекалий личинок, питавшихся пенополистиролом

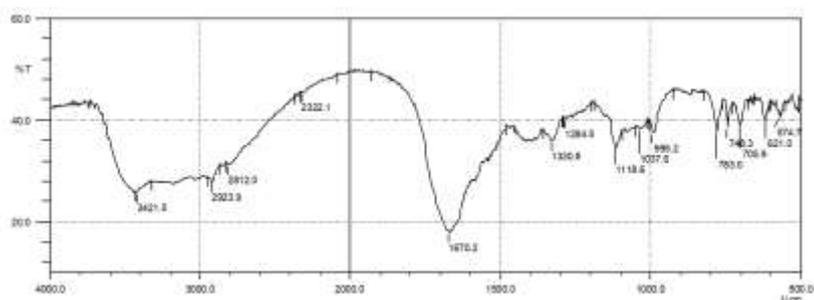


Рис. 5. Инфракрасный спектр пропускания образца фекалий личинок, питавшихся привычной пищей

Как видно по рисунку 4, на инфракрасном спектре фекалий личинок, питавшихся пенополистиролом, не наблюдается пиков поглощения на волновых числах больше 3000, а также на волновых числах 1492,8 и 1454,2. Это может указывать на отсутствие бензольного кольца в продуктах.

Пики поглощения на одинаковых частотах спектров, представленных на рисунках 4 и 5, могут свидетельствовать о наличии в продуктах жизнедеятельности личинок обеих групп одних и тех же фрагментов веществ.

Таким образом можно сделать вывод, что пенополистирол в пищеварительной системе личинок *Zophobas morio* претерпевает метаболические превращения до обычных продуктов жизнедеятельности.

### Список литературы

1. An analysis of European plastics production, demand and waste data // *Plastics Europe*. URL: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/> (дата обращения: 20.04.2023).
2. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments / David K. A. Barnes, Francois Galgani, Richard C. Thompson, Morton Barlaz // *Philosophical transactions of the royal society. Diological sciences*. 2009, вып. (№) 364. С. 1985–1998.
3. An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach./ Ho BT, Roberts TK, Lucas S // *Critical Reviews in Biotechnology*. 2017, вып. (№) 38. С. 308–320.
4. Biodegradation of polystyrene, poly(methyl methacrylate), and phenol formaldehyde / Kaplan DL, Hartenstein R, Sutter J // *Applied and Environmental Microbiology*. 1979, вып. (№) 38. С. 551–553.
5. Biodegradation of low-density polyethylene, polystyrene, polyvinyl chloride, and urea formaldehyde resin buried under soil for over 32 years / Otake Y, Kobayashi T, Asabe H, Murakami N, Ono K // *Journal of Applied Polymer Science*. 2010, вып. (№) 56. С. 1789–1796.
6. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption / Rochman CM, Tahir A, Williams SL, Baxa DV, Lam R // *Scientific Reports*. 2015, вып. (№) 5. С. 1–10.
7. The Superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera:Tenebrionidae): A 'Sleeping Giant' in Nutrient Sources / C. I. Rumbos, C. G. Athanassiou // *Journal of Insect Science*. 2021, вып. (№) 13. С. 1–11.
8. *Zophobas Morio* Semi Industrial Cultivation Peculiarities / Nagdalian Andrey Ashotovich, Pushkin Sergey Viktorovich, Rzhepakovsky Igor Vladimirovich, Povetkin Sergey Nikolaevich, Simonov Alexander Nikolaevich, Verevkin Marina Nikolaevna, Ziruk Irina Vladimirovna // *Entomology and Applied Science Letters*. 2020, вып. (№) 2. С. 108–113.
9. *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* full-fat meals as functional feed additives affect broiler chickens' growth performance and immune system traits / A. Benzertiha, B. Kierończyk, P. Kołodziejcki, E. Pruszyńska-Oszmałek, M. Rawski, D. Józefiak, A. Józefiak // *Poultry Science*. 2020, вып. (№) 99. С. 196–206.
10. 'Insects as Food and Feed: If You Can't Beat Them, Eat Them!'—To the Magnificent Seven and Beyond / Christos I Rumbos, Christos G Athanassiou // *Journal of Insect Science*. 2021, вып. (№) 21. С. 1–5.
11. Nutritional value of edible coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared reared in the Czech Republic / Anna Adámková, Lenka Kouřimská, Marie Borkovcová, Martin Kulma // *Potravinářstvo*. 2016, вып. (№) 10. С. 663–671.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПОЛИВИНИЛФТОРИДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦИКЛ

Е.Г. КАЗАНИНА

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

**Аннотация.** Поливинилфторид используется во многих отраслях производства, начиная от сельского хозяйства, кончая химической промышленностью. С увеличением объёмов потребления солнечной энергии остро встает вопрос утилизации солнечных панелей, в состав которых входит ПВФ. С помощью растворения вещества в диметилсульфоксиде предполагается получить исходный мономер, который в последствии может вернуться в производственный цикл в качестве мембраны для микрофиль-

трации воды. Данный способ позволит с использованием минимума оборудования и реагентов решить проблему переработки отхода. После процесса деполимеризации не возникают побочные продукты и не стоит вопрос об их дальнейшей эксплуатации. В результате проведения эксперимента было выяснено, что ПВФ, как отход от солнечной панели, не растворяется в ДМСО ввиду изменения структуры полимера.

*Ключевые слова: поливинилфторид, диметилсульфоксид, мембраны, растворение, отходы солнечных панелей, источник энергии, солнечные панели, утилизация, отходы, переработка*

В 2022 году доля солнечной энергетики в мировом энергобалансе достигла рекордного значения – 12% [1]. Для общества, стремящегося к развитию новых технологий и развития производства, наличие энергии для промышленности и быта крайне необходимо. Солнечные панели уже становятся одним из способов получения столь необходимой энергии. Но с увеличением их количества также возникает вопрос: что делать с отходами этих панелей?

Ситуацию осложняет структура солнечной панели – «сэндвич» из нескольких различных слоёв. Согласно [2] первое, что нужно сделать, это отделить слои (механически), а позже утилизировать их по отдельности. Задний лист панели состоит из поливинилфторида (ПВФ), термо- и химически стойкого фторполимера [3]. Полимер используется в составе панели благодаря своим отличительным свойствам: стойкости к атмосферной и химической коррозии, механической прочности и долгим сроком службы, приблизительно равным 25-30 годам. Именно эти его особенности препятствуют нахождению быстрого, недорогого и не энергозатратного способа утилизации и/или переработки.

Первый способ утилизации – метод термической обработки. Температура термического разложения равна 220-240°C. Однако было предположено, что во время работы солнечной панели в слоях происходят деструктивные изменения в структуре, в результате которых меняются свойства ПВФ. После его нахождения в панели он плавится лишь при 450-500°C. В работе будет изложен второй способ – органическое растворение.

Известно, что ПВФ растворяется в латентных растворителях. Они позволяют снизить температуру плавления, вызывают частичное растворение и хорошее набухание полимера. Одним из таких растворителей является диметилсульфоксид (ДМСО).

За основу эксперимента была взята работа [4], в которой рассмотрен способ производства мембран методом замораживания с растворителем ДМСО, проведённая на поливинилфториде (ПВДФ), другом фторопласте. В ней ПВДФ растворяли с помощью ДМСО в сушильном шкафу, а потом полученный раствор выливали на обезжиренные стёкла и ставили в морозильную камеру. После этого стёкла выдерживали в дистиллированной воде, что позволяло отделить мембрану от поверхности. Таким образом, посредством органического растворения полимер возвращался в производственный цикл.

План эксперимента с ПВФ состоит из двух шагов.

#### Шаг 1.

1. Сделать 3 навески, приблизительно равные 0,5 г.
2. Добавить ДМСО в фарфоровые чаши с навесками пропорциями по 20, 30 и 40 масс. %.
3. Поставить в муфельную печь на 2 ч при температуре 60°C.
4. Обезжирить стёкла ацетоном.

#### Шаг 2.

1. Вынув фарфоровые чаши, вылить полученный раствор на стёкла, распределив шпателями.

2. Поставить поднос со стёклами в морозильную камеру на  $-16^{\circ}\text{C}$  на 2 ч.
3. Выдерживать стёкла в дистиллированной воде пока мембрана не отделится от стекла. Промыть мембрану дистиллятом. Хранить в дистиллированной воде.

Для эксперимента были выбраны следующие пробы (см. таблицу 1).

Таблица 1

**Параметры проб для эксперимента**

Вещество	20 масс. %	30 масс. %	40 масс. %
ПВФ, г	0,5236	0,5088	0,5114
ДМСО, мл	2,4	1,6	1,2

После 2-часового 1-ого шага пробы внешне не изменились, эксперимент продолжился. На стадии выдерживания в дистилляте, стало определённо ясно, что мембрана не образовалась, ДМСО не прореагировал с ПВФ и растворился в дистилляте. Гипотеза о том, что удастся в точности повторить эксперимент [4] не подтвердилась.

Было принято решение изменить параметры проводимого опыта, поставив более высокую температуру ( $200^{\circ}\text{C}$ ), но на меньшее время, на 1 ч. Содержание веществ, представлено в таблице 2.

Таблица 2

**Параметры проб для эксперимента при  $200^{\circ}\text{C}$**

Вещество	20 масс. %	30 масс. %	40 масс. %
ПВФ, г	0,523	0,5083	0,5114
ДМСО, мл	2,4	1,6	1,2

Спустя час ДМСО испарился, а ПВФ немного обуглился, но не растворился.

После неудачи предыдущего эксперимента пробы поместили на 1 ч в муфельную печь при температуре  $120^{\circ}\text{C}$ . В результате эксперимента ДМСО остался в фарфоровой чаше, а ПВФ не растворился.

Таким образом, при проведении трёх экспериментов было выяснено, что ПВФ (отход от солнечных панелей) не растворяется в ДМСО: при  $60^{\circ}\text{C}$  и  $120^{\circ}\text{C}$  пробы не подвергаются изменениям: ПВФ и ДМСО остаются в фарфоровой чаше, при  $200^{\circ}\text{C}$  ДМСО испаряется, а ПВФ обугливаются, т.к. температура кипения ДМСО  $189^{\circ}\text{C}$  [5], что меньше температуры, выставленной при проведении эксперимента. Полученные данные противоречат информации из источников о том, что ПВФ растворяется в ДМСО. Можно предположить, что ввиду процесса работы солнечной панели из-за воздействия различных факторов меняются свойства полимера, как, например, с температурой горения.

Следовательно, метод органического растворения в ДМСО не следует использовать в процессе переработки отходов солнечных панелей. Рекомендуется попробовать другие латентные растворители или использовать метод термической обработки.

## Список литературы

1. В 2022 году энергия солнца и ветра достигла рекордной доли — 12% // Коммерсантъ. URL: <https://clck.ru/34PdKS> (дата обращения: 12.05.2023).
2. Global status of recycling waste solar panels: A review / Yan Xu, Jinhui Li, Quanyin Tan и др. // Waste management. 2018, вып. (№) 75. С. 450-458.
3. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты. Л.: Химия, 1978. 232 с.

4. «Зелёный» метод получения мембран для микрофльтрации на основе поливинилиденфторида / Широкова Е.С., Созинов П.А., Черепанова В.А. и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2021, вып. (№) 4. С. 64-70.

5. Диметилсульфоксид // ilo. URL: clck.ru/34Pexq (дата обращения: 12.05.2023).

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ БУМАГИ С ЦЕЛЬЮ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

В.Е. ХРАПУНОВА, Е.А. ГОРОБЕЦ, К.В. КУЛАЕВА, О.В. СМОЛОВА

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

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы внедрения эффективного способа переработки бумажной продукции с целью вторичного использования. Представлена концептуальная модель автоматизированного устройства для переработки. Получены и протестированы образцы готового репродукта

**Ключевые слова:** переработка, бумага, вторичное сырье, репродукт, автоматизированная система, установка

### **Введение.**

В последние годы вопрос переработки бумаги стал очень актуальным вследствие ряда причин. Вырубка лесов в мировом масштабе достигла колоссальных размеров, что является прямым ударом по содержанию кислорода в атмосфере и, соответственно, по здоровью людей. Несмотря на цифровизацию офисных процессов, использование бумаги не теряет своей актуальности. Нельзя обойти и экономическую сторону данного вопроса: по данным Рослесинфорга, только за последний год стоимость 1 пачки офисной бумаги увеличилась на 30%. Поэтому, вопрос разработки доступного устройства для переработки бумаги, предназначенного для широких кругов населения, представляется весьма актуальным. Разрабатываемая концепция, поможет сохранить лесной фонд и эффективно использовать доступные ресурсы.

Также во всем мире, в том числе и в России, остро стоит вопрос обращения с отходами. В настоящее время только 32% людей в России сортируют мусор и всего 15% населения сдают макулатуру на дальнейшую переработку [5]. Остальная часть потребителей отправляют бумагу на свалки, где ресурс, который можно было бы использовать повторно, разлагается вместе с другими отходами. Внедряя эффективную переработку отходов, мы помогаем сохранить равновесие экосистем.

Таким образом, данный проект посвящен разработке концептуальной модели автоматизированного устройства по переработке бумаги с целью вторичного использования, доступного для широкого круга потребителей. Основной целью которого является сокращения объемов макулатуры, поступающей на полигоны и сбережение лесного фонда. Переработка имеющихся бумажных отходов — лучшее решение для сохранения природы.

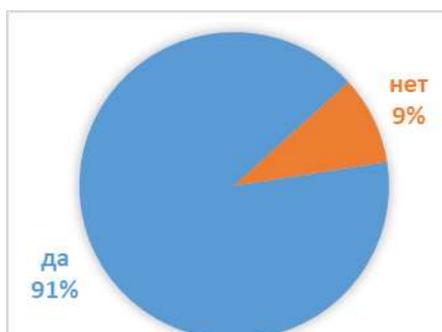


Рис.1. Результаты социологического опроса

Для разработки концептуальной модели устройства была исследована заинтересованность потребителей в данном проекте путем проведения социологического опроса. В результате анкетирования респонденты показали высокий уровень интереса к данному проекту рис.1

Следующим этапом стала разработка концептуальной модели будущего устройства. Устройство состоит из приемного бака, режущего блока, трубки для перемещения пульпы, сита с прижимным валиком, емкости для водоотвода и сушильного стола. Схема установки представлена на рис.2. Для корректной работы установки требуется подключения к водоснабжению, электропитанию, а также подключение к системе водоотведения.

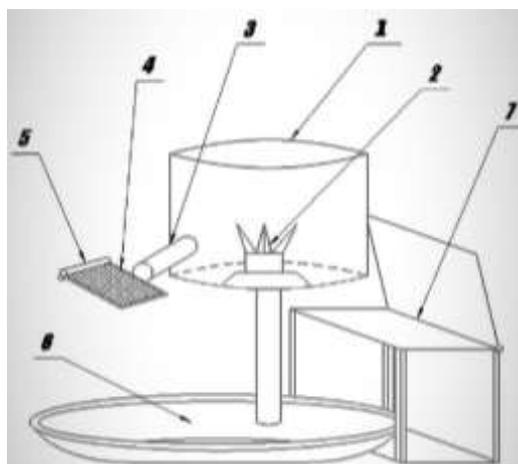
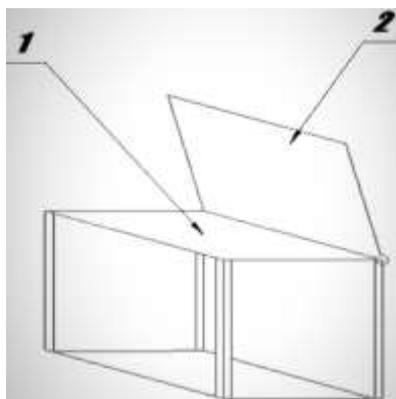


Рис. 2. Концептуальная модель для переработки бумаги с целью вторичного использования.  
1-бак для пульпы,2-режущий блок,3-трубка,4-сито,5-прижимной валик,6-емкость для водоотвода,  
7-сушильный стол

Бумага, подлежащая переработке, помещается в ёмкость объемом 10 л., где с помощью лезвий происходит измельчение. Для получения пульпы по трубе подается необходимое количество жидкости. Далее, получившаяся пульпа по трубе перемещается на сито, где с помощью прижимного валика удаляются излишки влаги. Вся жидкость стекает в ёмкость размером 5 л, где с помощью сливного шланга вода уходит в канализационную систему. Получившийся репродукт помещается на сушильный стол, схема сушильного стола представлена на рис. 2.1



*Рис. 2.1. Стол для просушки репродукта.  
1-стол для просушки, 2-подогревающийся пресс*

Репродукт помещается на стол 1 и накрывается подогревающейся крышкой для просушки получившейся бумаги.

Прием бумаги осуществляется от 1-2 листов бумаги, взамен же получаем по необходимости уже переработанный лист. Установка рассчитана на изготовление 5 листов размером А4.

Для корректной работы установки в переработку принимаются использованные листы бумаги, картон, втулки, газеты, листы от книг. Бумага, содержащая скрепки, пластмассовые включения, этикетки, куски клея, скобы, а также использованный репродукт, лотки для яиц, мелованная бумага, не подлежит переработке в данном устройстве.

В целях оценки качества получаемого сырья были проведены эксперименты в домашних условиях. Для изготовления 1 листа размером 21x29,7 см. необходимо 2 таких же листа и 1 литр воды. Основным сырьем для получения бумаги является бытовые бумажные салфетки, старые газеты.

Макулатуру необходимо разорвать на кусочки 3-5 см. Далее добавить воду к сухой массе и измельчить с помощью бытового блендера. Сетку для отлива опускаем в чашу с растворённой бумажной массой, и при поднятии её из ёмкости на сите остаётся тонкий слой пульпы. Кладём сетку отлива с пульпой на микрофибру для удаления лишней влаги. Предварительно просушив бумагу, отправляем её под пресс. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.



*Рис.3. Результаты эксперимента*

В результате получена бумага сероватого оттенка, мягкая, гладкая и прочная, данную бумагу возможно использовать для принтера, на ней можно рисовать: карандашами, восковыми мелками, красками, фломастерами и ручками.

### **Заключение.**

В ходе работы над данным проектом была разработана установка по переработке бумаги с целью вторичного использования, были изучены вопросы о востребованности данного прибора среди населения, изготовлен прототип бумажного изделия, получаемого после всех этапов переработки. Доступность данного устройства повышает осведомленность в обществе о загрязнении окружающей среды, что является важным компонентом борьбы за здоровую, чистую и устойчивую планету, а также предоставит возможность населению поспособствовать поддержанию и улучшению существующей экологической обстановкой

### **Список литературы**

1. Ф.Ш. Вильданов, В.Е. Агабеков, Ф.Н. Латыпова, Р.Р. Чанышев, С.А. Красько, Ю.А. Булатов Целлюлозно-бумажное и гидролизное производство / Ф.Ш. Вильданов, В.Е. Агабеков, Ф.Н. Латыпова, Р.Р. Чанышев, С.А. Красько, Ю.А. Булатов // Башкирский химический журнал. — 2012. — № 4. — С. 208-212.
2. А.В. Рычкова Методика обучения трехмерному моделированию с использованием программы «Компас-3D» / А.В. Рычкова // Инновационная наука. — 2016. — № 3. — С. 182-184
3. А.С. Комаров Анализ композиционного состава бумаги при выборе компонентов для её характеристик / А.С. Комаров // Технические науки. — Тула: Известия ТулГУ, 2022. — С. 492-494.03:11
4. А.В. Кулешов, А.С. Смолин Бумагообразующие свойства вторичных растительных волокон / А.В. Кулешов, А.С. Смолин // Химия растительного сырья. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2008. — С. 109-112.
5. Мусорная реформа [Электронный ресурс] // Бюллетень Счётной Палаты РФ, 2020. — № 9 (274). — URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/462/46234b3e3624fccbb8bace5c892f2f4.pdf>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ВОДНОЙ СРЕДЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ БАКТЕРИЙ *E. COLI***

МАНАХОВА П.В.<sup>1</sup>, СМИРНОВА А.П.<sup>1</sup>, СЕМЕНОВА М.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ»  
им. Ульянова (Ленина)

**Аннотация.** Бактерии *Escherichia coli* могут быть использованы в качестве тест-организма для определения токсичности большого ряда материалов и соединений. Однако в результате нестабильности показаний люминесценции, следовательно, и токсичности исследуемых проб многие лаборатории отказываются от использования *E.coli*. Исследования показывают, что причиной этому может служить влияние растворенного кислорода на бактерии. Тем не менее прямых экспериментов по выявлению зависимости биолюминесценции от концентрации растворенного кислорода в водной среде не проводилось. Целью статьи является изучение данной зависимости. Результаты показали, что при увеличении концентрации растворенного кислорода увеличивается и биолюминесценция *E.coli*.

**Ключевые слова:** растворенный кислород, биотестирование, люминесценция, бактерии, *Escherichia coli*

*Escherichia coli* – вид грамотрицательных палочковидных бактерий. *E.coli* используются в качестве модельного организма в генной инженерии, в промышленной микробиологии и биологической инженерии. Кроме того, генно-инженерный люминесцентный штамм *E.coli* используется в экологии и токсикологии для мониторинга и определения

индекса токсичности. Несмотря на широту спектра веществ, которые можно исследовать с помощью *E.coli*, данный вид бактерий редко используется в аналитических лабораториях, так как результаты измерений часто нестабильны и не репрезентативны.

Способность *E.coli* к люминесценции обусловлена наличием в организме определенных ферментов и других белков [3]. Результаты совместной работы мексиканских, английских и немецких ученых [1] показали, что при сокращении количества растворенного кислорода в среде уменьшалась и флюоресценция кофермента никотинамидадениндинуклеотид (NADH). Группа американских ученых [2] обнаружила, что при увеличении концентрации кислорода экспрессия белка зелёной флуоресценции (GFP) увеличивается, следовательно, увеличивается и флюоресценция.

На основании изложенных выше данных можно сделать предположение, что существует корреляционная зависимость между люминесценцией *E.coli* и концентрацией растворенного кислорода в среде. Однако прямых исследований зависимости этих двух факторов ранее проведено не было.

В качестве объекта исследования был выбран биосенсор «Эколюм», в состав которого входят бактерии *E.coli*. В ходе выполнения работы определялась зависимость интенсивность биолюминесценции бактерий от количества растворенного кислорода в воде. Концентрация растворенного кислорода измерялась амперометрическим методом с помощью прибора «АНИОН 4100». Интенсивность биолюминесценции регистрировалась прибором экологического контроля «Биотокс-10М» в соответствии с методикой [4]. Прибор автоматически высчитывает токсичность Т пробы по формуле (1):

$$T = \frac{(X_{K1} - X_{П1})}{X_{K1}} \cdot 100 \quad (1)$$

где  $X_{K1}$  - уровень свечения в контрольной пробе;  $X_{П1}$  - уровень свечения в опытной пробе.

Увеличение концентрации растворенного кислорода осуществлялось путем аэрирования водной среды в течение 30 минут, пробы для анализа отбирались каждые 10 минут. Для исключения негативного влияния на бактерий содержащихся в воде ионов было целесообразно использовать дистиллированную воду. Однако дистиллированная вода содержит максимально возможное количество растворенного кислорода, и дальнейшее ее аэрирование не приводит к увеличению его концентрации. Поэтому в качестве водной среды была использована минеральная вода марки Вонаqua. В ранних исследованиях [5], была доказана возможность использования Вонаqua в качестве водной среды в биотестовых анализах с применением *Paramecium caudatum*.

Для начала, чтобы оценить влияние Вонаqua на биосенсор «Эколюм» и нивелировать связанную с этим влиянием погрешность, был проведен ряд опытов, где неаэрированная Вонаqua рассматривалась в качестве анализируемой пробы. При этом концентрация растворенного кислорода в дистилляте в контрольной пробе составила  $9,03 \pm 0,1$  мг/л, а в Вонаqua –  $8,56 \pm 0,1$  мг/л. Среднее значение токсичности составила  $-64,4 \pm 1,0$ . Результаты исследования приведены на рис.1.

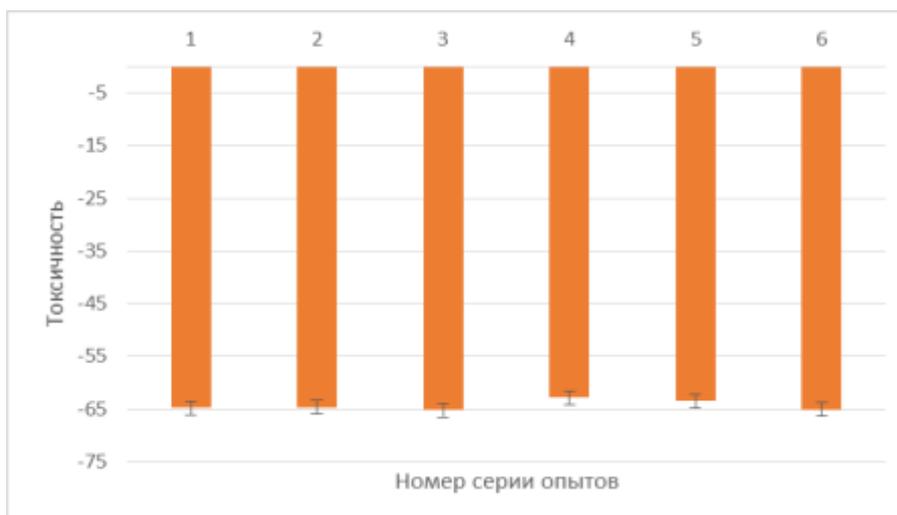


Рис. 1. Усредненные значения токсичности Вонаqua (биосенсор Эколюм).

Из диаграммы видно, что токсичность Вонаqua отрицательная. Таким образом, Вонаqua не оказывает негативного влияния на бактерий.

Далее измерялась токсичность проб, где в качестве исследуемой среды была взята аэрированная Вонаqua, а в качестве контрольной пробы – неаэрированная Вонаqua.

На рис. 2 представлены результаты исследования токсичности проб с анализируемой средой на основе Вонаqua, проаэрированной в течение 10 минут. Концентрация кислорода в контрольной пробе составила  $7,82 \pm 0,1$  мг/л, в опытной пробе –  $8,01 \pm 0,1$  мг/л. Среднее значение токсичности составило  $-22,7 \pm 1,1$ .

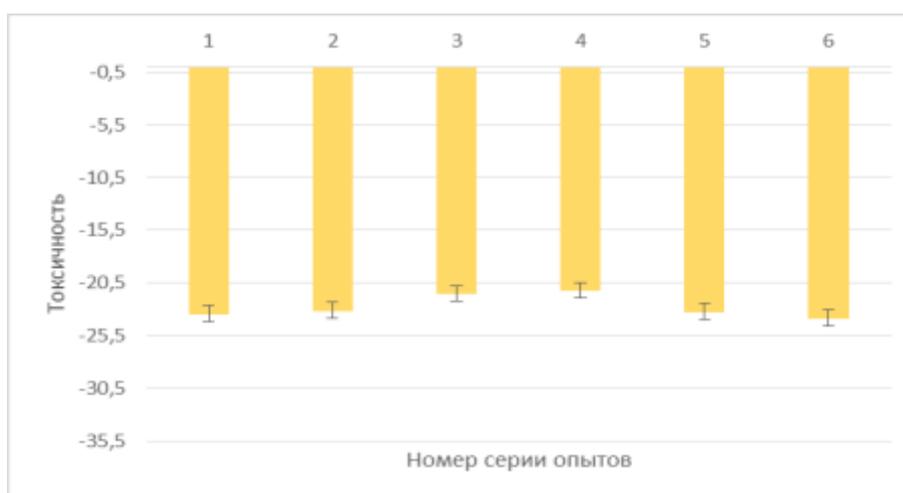


Рис. 2. Усредненные значения токсичности растворенного кислорода при времени аэрирования Вонаqua 10 минут (биосенсор Эколюм).

На рис. 3 представлены результаты исследования токсичности проб с анализируемой средой Вонаqua, проаэрированной в течение 20 минут. Концентрация кислорода в контрольной пробе составила  $7,82 \pm 0,1$  мг/л, в опытной пробе –  $8,56 \pm 0,1$  мг/л. Среднее значение токсичности составило  $-55,1 \pm 1,6$ .

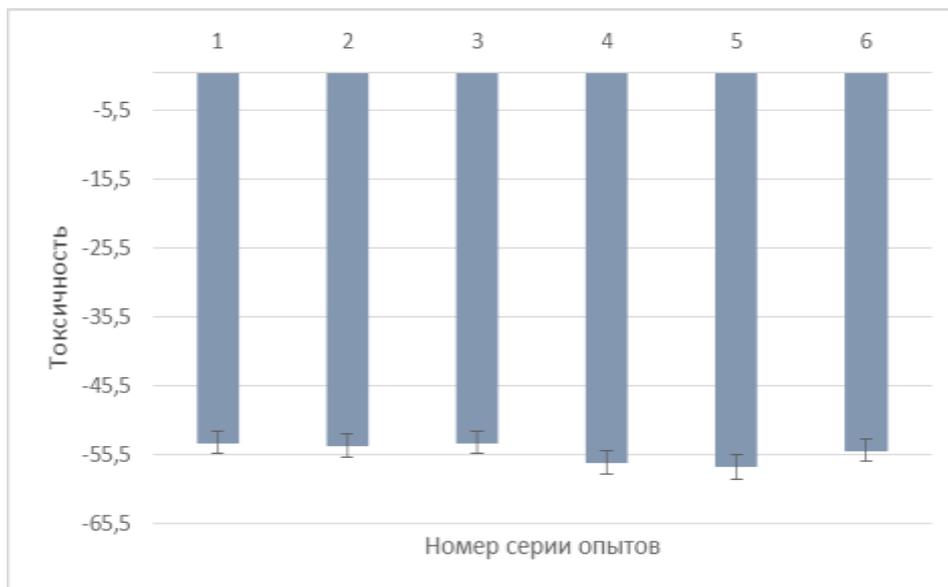


Рис. 3. Усредненные значения токсичности растворенного кислорода при времени аэрирования Вопаца 20 минут (биосенсор Эколюм).

На рис. 4 представлены результаты исследования токсичности проб с анализируемой средой Вопаца, проаэрированной в течение 30 минут. Концентрация кислорода в контрольной пробе составила  $7,82 \pm 0,1$  мг/л, в опытной пробе –  $9,24 \pm 0,1$  мг/л. Среднее значение токсичности составило  $-88,1 \pm 2,0$ .

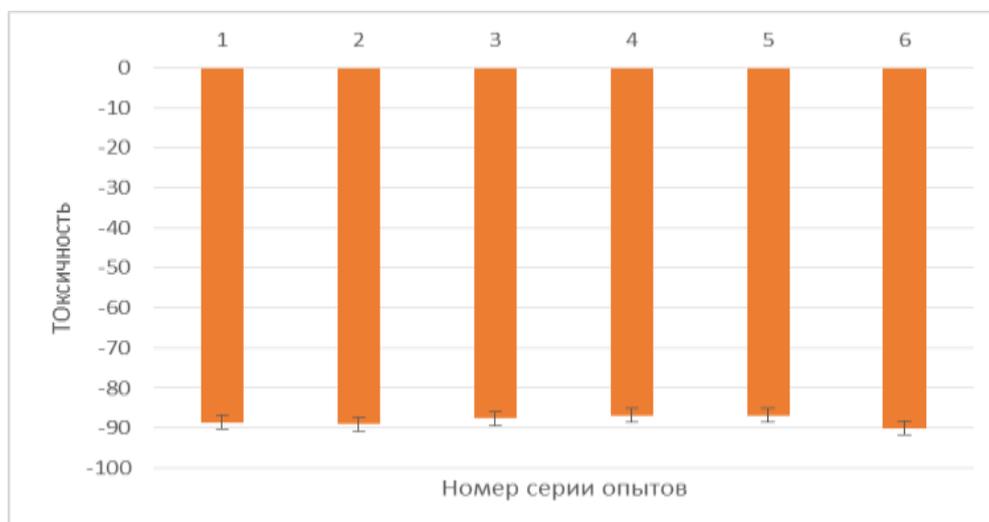


Рис. 4. Усредненные значения токсичности растворенного кислорода при времени аэрирования Вопаца 30 минут (биосенсор Эколюм).

Полученные в результате исследования средние значения индексов токсичности сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Время аэрации, мин	Концентрация растворенного кислорода, мг/л	Среднее значение индекса токсичности
10	8,01±0,1	-22,7±1,1
20	8,56±0,1	-55,1±1,6
30	9,24±0,1	-88,1±2,0

Как видно, при увеличении концентрации растворенного кислорода в водной среде уменьшается индекс токсичности проб, следовательно, увеличивается биOLUMиНесценция биосенсора «Эколюм».

Необходимо подчеркнуть, что концентрация растворенного кислорода в неподвижной воде меньше. Таким образом, после окончания аэрации и перемешивания концентрация кислорода начнет постепенно уменьшаться, что вносит погрешность в эксперимент. Данное явление может быть одной из причин нестабильных показаний прибора «Биотокс-10М», появления неточных результатов и большой погрешности биотестового анализа с использованием биосенсора «Эколюм». Кроме того, согласно инструкции по эксплуатации прибора «Биотокс-10», измерения интенсивности биOLUMиНесценции и индекса токсичности проводят через 30 минут экспозиции (в экспрессном варианте – через 5 минут). В течение этого времени концентрация растворенного кислорода будет изменяться, внося погрешность в измерения.

Проведенный эксперимент показал, что биOLUMиНесценция бактерий *E.coli* зависит от концентрации растворенного кислорода в водной среде: чем больше концентрация, тем интенсивнее биOLUMиНесценция. В связи с этим можно предположить, что неточность биотестовых анализов с использованием биосенсора Эколюм, в состав которого входят бактерии *E.coli*, связан с изменением концентрации растворенного кислорода в ходе эксперимента.

### Список литературы

1. Alvaro R. Lara, Karim E. Jaen, Olusegun Folarin and others. Effect of the oxygen transfer rate on oxygen-limited production of plasmid DNA by *Escherichia coli*
2. Antonio Baez, Nadim Majdalani, Joseph Shiloach. Production of recombinant protein by a novel oxygen-induced system in *Escherichia coli*
3. Bulycheva E.V., Korotkova E.I., Voronova O.A. and others. Fluorescence Analysis of *E.coli* Bacteria in Water
4. Манахова П.В., Кустов Т.В., Семенова М.И. и др. Особенности этапов пробоподготовки для исследования полимерных компонентов отработанных солнечных панелей методом биотестирования
5. Методические рекомендации № 01.018-07 Методика определения токсичности химических веществ, полимеров, материалов и изделий с помощью биотеста «Эколюм»

## МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ СРЕДЫ

СМИРНОВ А.В.<sup>1</sup>

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В работе предлагается разработка с дальнейшей коммерческой реализацией прибора и методик биотестирования, позволяющих осуществлять работу с прибором. Под прибором понимается реализация единого аппаратного метода биотестирования, который бы позволил проводить токсикологический анализ одновременно на нескольких тест-объектах, с использованием одного физического способа получения информации. Проект сконцентрирован на работе с двумя и более тест-объектами разных таксономических групп. Что позволит проводить анализ на любых средах, включая отходы производства и потребления. Основной фокус лежит на создании единого аппаратного метода анализа изменений движения тест-объектов *Paramecium caudatum* Ehrenberg и/или *Tetrahymena pyriformis* Ehrenberg and Furgason вместе с представителями другой таксономической группы бактерий *Escherichia coli* (Migula) Castellani and Chalmers.

*Ключевые слова:* биотестирование, второтходы, органические вещества, *Paramecium caudatum* Ehrenberg, *Escherichia coli* (Migula) Castellani and Chalmers, *Tetrahymena pyriformis* Ehrenberg and Furgason.

**Введение.** Токсичность-это интегральная характеристика качества вещества, его соединений или среды в целом, описывающая вредной, патологическое или летальное действие объекта. Говоря простыми словами, токсичность является прямым ответом на вопрос несет ли исследуемый объект опасность для живых организмов.

В сфере экологического мониторинга за токсикологический анализ отвечают различные методы биотестирования- методы, основанные на исследовании водных вытяжек потенциально опасного компонента с использованием живых тест-организмов(тест-объектов). Наиболее распространёнными тест-объектами являются простейшие из-за схожих функций метаболизма с более сложными существами. Более того простейшие легки в производстве, а их использование не попадает под вопросы этики.

Методы биотестового анализа представлены в утвержденных методиках ПНД Ф Т 16.3.16-10 (ред. 2015 г.), ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.10-06, ПНД Ф Т 16.3.12-07 и др.

Несмотря на факт широкого применения биотестового анализа в аккредитованных лабораториях, есть основания полагать, что утвержденные методики могут некорректно отражать токсичность органических сред.

Одним из оснований такого предположения является методика пробоподготовки анализируемых сред. Использование любого из тест-объектов, относящихся к простейшим, предполагает подготовку водной вытяжки из исследуемой среды. Универсальным для всех методик является использование дистиллята, с помощью которого производится разбавление исследуемой среды. Исключением является лишь методика ГОСТ 31674-2012 позволяющая использовать ацетон в качестве экстрагента. В связи с чем встает вопрос о достаточности утвержденных методик пробоподготовки для случая труднорастворимых или вовсе нерастворимых в дистиллированной воде соединений. [1-4]

Более того, утвержденные методики никак не предусматривают возможность восприятия органических веществ, как заведомо “привлекательных” соединений, способных участвовать в метаболизме простейших.

При этом в литературных источниках отмечается тот факт, что, к примеру, одни из самых распространённых тест-объектов *Paramecium caudatum* Ehrenberg относятся к виду

мезосапроб- простейших способных размножаться в полуанаэробных и анаэробных условиях, например, в водоемах с большим количеством органического вещества, а также способны воспринимать органические соединения, как аттрактанты.

Еще одним примером может служить методика определения токсичности, по флуоресцентной реакции бактерий *Escherichia coli* (Migula) Castellani and Chalmers, у которых отмечается бурный рост в условиях присутствия кислорода в пробе. Предполагается, что для случая органических веществ, количество растворенного кислорода в пробе, может исказить получаемые результаты.

В связи с особенностями тест-объектов потенциально исказить картину токсичности вещества из-за наличия органических соединений возникает необходимость в разработке методологии, способной учитывать эти особенности. Важно отметить и тот факт, что зачастую средами необходимыми для токсикологического анализа являются отходы производства и потребления, для которых законодательно регламентировано создание паспорта с содержанием информации о токсичности. Важность этого факта заключается в том, что в соответствии с Приказ Минприроды России № 536 от 04.12.2014. при проведении биотестового анализа для установления класса опасности отхода, законодательно регламентируется использование не менее двух тест-тест объектов, относящихся к различным таксономическим группам. [5-6]

Необходимость использования нескольких тест-объектов приводит к необходимости разработки комплексного подхода к оценке токсичности, который мог бы учесть особенности представителей различных («неродственных») групп простейших в их реакциях на органические вещества. Более того, для оптимизации процессов исследования, интересом дальнейших разработок является создание системы, способной одним физическим методом получения информации проводить анализ с использованием представителей разных групп. На данный момент технологического решения такой системы не существует.

**Методы и средства исследования.** Целью данного исследования является создание методик анализа токсичности отходов, относящихся к органическим веществам, с учетом поведенческих особенностей тест-объектов, средств и методов пробоподготовки исследуемых сред, и дальнейшей реализацией аппаратно-технического комплекса определения токсичности. Одним из основных этапов разработки методик и создания аппаратно-технического комплекса является определение тест-объектов, которые будут использоваться для поставленной цели.

Для этого, в первую очередь, решался вопрос о нахождении схожих реакций простейших на присутствие токсиканта в среде.

На данный момент основной фокус лежит на создании единого аппаратного метода анализа изменений движения тест-объектов *P.caudatum* и/или *Tetrahymena pyriformis* Ehrenberg and Furgason вместе с представителями другой таксономической группы бактерий *E.coli*. Объединяющим свойством выбранных представителей инфузорий и бактерий стало ярко выраженное наличие хемотаксической реакции, что отмечалось в ряде работ [7-9].

Помимо данных тест-объектов, также, рассматриваются нематоды *Caenorhabditis elegans* Brenner, у которых отмечается наличие ярко-выраженного хемотаксиса.

Для случая инфузорий, как *P.caudatum*, так и *Tetrahymena pyriformis*, чьи хемотаксические реакции были широко изучены рядом опытов [7-9], справедлив метод исследования изменений поведенческой реакции в условиях изменения градиента концентрации токси-

ческих веществ в исследуемой пробе. Именно этот принцип лег в основу разработки прибора серии «Биотестр», позволяющий производить оценку количества инфузорий, перешедших в исследуемую среду из заведомо благоприятной. Однако, помимо хемотаксической реакции инфузорий, были установлены факты непрерывного движения простейших, даже в условиях нахождения в токсичной среде, до тех пор, пока токсическое действие среды не убивало организм.

Ряд исследований, посвященных наличию хемотаксиса у бактерий *E.coli*, также установил факт ярко-выраженного хемотаксиса простейших, причем изменяющегося пропорционально градиенту концентрации токсического вещества в среде. Более того время отклика бактерий на присутствие токсиканта составляет всего 0.2 секунды, что в перспективе позволит подстроить время анализа под ответные реакции инфузорий. [7-8]

**Результаты.** Для реализации модульной системы оценки токсичности среды, в первую очередь, необходимо разработать макет отсека, внутрь которого помещается проба. Предлагается для такого отсека сделать аналог кюветы, используемой в приборе серии «Биотестер». Отличие будет заключаться в том, что кювета подразумевается горизонтальной. Внутри данной кюветы будет создаваться стабильный во времени градиент исследуемой среды и контрольной (заведомо чистой для простейших). Макет кюветы представлен на Рисунке 1.

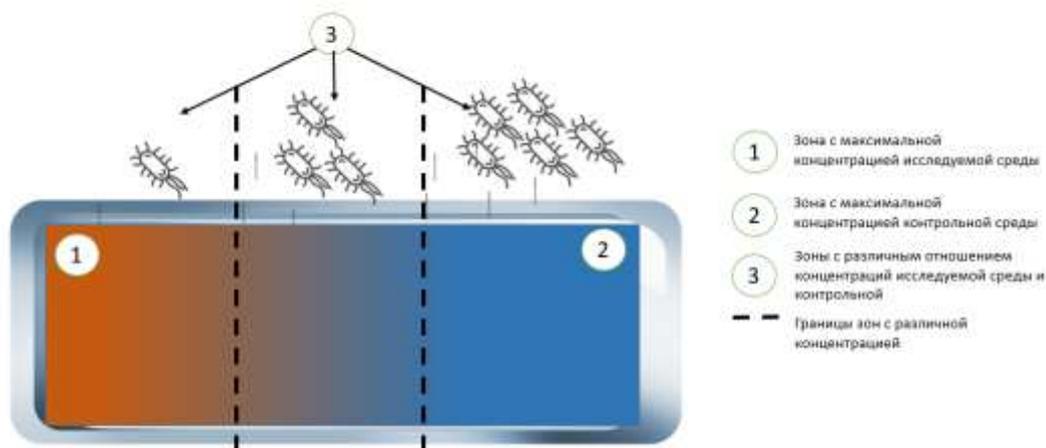


Рис. 1. Предполагаемая конструкция кюветы с исследуемой средой.

Фиксацию изменений движения предлагается осуществлять аналогично принципу работы прибора «БиоЛат-3». А именно: исследуемые кюветы последовательно позиционируются под объективы видеокамер для подсчета в них двигающихся клеток. Подсчет в каждой кювете производится на основе последовательной фиксации двух кадров каждой кюветы и дальнейшей программной обработки изображений результатов вычитания, отражающих информацию только о подвижных объектах. При чем снимки кюветы предлагается делать в нескольких местах чтобы отразить распределений концентрации исследуемой среды. Подсчет осуществляется в течении времени, установленного согласно методикам использования «БиоЛат-3» на инфузориях, так как, согласно методикам использования бактерий, на «Биотокс-10»- время реакций простейших, достаточное для получения репрезентативной картины токсичности среды, совпадает с реакциями инфузорий. Далее программа рассчитывает количество двигающихся тест-объектов в зависимости от градиента среды. В режиме реального времени результаты подсчета каждой кюветы отражают-

ся на экране в виде графика изменения количества особей. Блок-схема предлагаемого технологического решения представлена на Рисунке 2.



Рис. 2. Блок-схема предлагаемого аппаратного метода модульной системы определения токсичности.

**Заключение.** Определение токсичности отходов производства и потребления несет в себе несколько сложностей. Во-первых, отходы зачастую представляют собой органические соединения, которые теоретически способны исказить картину токсичности в следствии восприятия их тест-объектами заведомо «привлекательными». Во-вторых, анализ токсичности отходов законодательно подразумевает проведение исследования с тест-объектами как минимум двух различных таксономических групп. В связи с чем возникает необходимость подробного исследования взаимодействия тест-объектов с различными органическими соединениями, а также разработка модульной системы токсичности, способной одним физическим способом получения информации устанавливать токсичность на двух и более тест-объектах, которые не являются родственными друг другу. Для решения этих задач предлагается использовать инфузории *P.caudatum* и/или *Tetrahymena pyriformis* Ehrenberg and Furgason вместе с представителями другой таксономической группы бактерий *E.coli*. А технологическое решение строить вокруг их общего свойства-хемотаксической реакции.

Описанная в работе схема подобной модульной установки на данный момент находится на стадии макета и нуждается в проведении дополнительных исследований.

### Список литературы

1. Лихачев С.В., Пименова Е.В., Жакова С.Н.. Биотестирование в экологическом мониторинге: Учебное пособие. Пермь.: Изд-во ИПЦ «Прокрость», 2020. 91 с.
2. Щеткина Т.Н. Использование автоматизированной биотехнической системы и простейших одноклеточных организмов для биотестирования объектов окружающей среды: автореф. дис... кан. био. наук. Калуга: 2007. 27 с.
3. Чеснокова С.М., Чугай Н.В.. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: Учебное пособие: в 2 ч. Ч. 2: Методы биотестирования. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008, 92 с.
4. Тихановская, Г. А., Машихина Ю.В. Биологический контроль окружающей среды: метод. указ. к вып. лаб. раб. Вологда: Изд-во ВоГУ, 2016. — 39 с.
5. Олькова А.С. Разработка стратегии биотестирования водных сред с учетом многофакторности ответных реакций тест-организмов: Дисс. ... докт. био. наук (спец. 03.02.08). Киров: 2020, ВГУ, 359 с.
6. Голицын А. Н. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды // Учебник. М.: ОНИКС, – 2007. – 335 с.
7. Mattingly, Henry, Kamino, Keita, Machta, Benjamin, Emonet, Thierry. E. coli chemotaxis is information-limited. Nature Physics. 2021. № 17. pp.1426–1431.
8. Завальский Л.Ю. Кинетическая теория подвижности и хемотаксиса бактерий и ее практические приложения: автореф. дисс. ... докт. физ.-мат. наук (спец. 03.00.02). Пушкино: 2005, ФБУН ГНЦ ПМБ, 36 с.

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОД

ХВАЩЕВСКАЯ Я.А.<sup>1</sup>, СОКОЛОВ А.<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы биологических методов тестирования окружающей среды. Представлен обзор современных методов биотестирования, а также их анализ на преимущества и недостатки. Разработана тест-система с плоской границей раздела для устройства контроля качества природной среды на основе таксических реакций инфузорий *Paramecium Caudatum*.

*Ключевые слова:* приборостроение, биотестирование.

### 1. Биотестирование

При любых технологических процессах, связанных в том числе с добычей, транспортировкой и переработкой энергоресурсов есть риск загрязнения окружающей среды. Для определения характеристик водных сред используется множество методов, одним из них является биотестирование.

Биотестирование – это использование биологических объектов (тест-объектов) в контролируемых условиях для выявления и оценки воздействия факторов внешней среды (в том числе токсических) на организм, его индивидуальную функцию или систему организмов.

### 2. Современные методы биотестирования

Для определения токсичности водных и почвенных сред используются различные методы, одним из которых является оценка двигательной активности *Daphnia magna*. Этот организм является удобным модельным объектом, так как он быстро реагирует на изменения условий водной среды и почвы. Для оценки двигательной активности *Daphnia magna* используются оптические и ручные методы. С помощью камеры и микроскопа фиксируются сигналы от пучка света, проходящего через камеру с *Daphnia magna*. Полученные данные обрабатываются с помощью компьютерной программы, которая высчитывает показатель двигательной активности. Также возможен ручной подсчет количества выживших тест-объектов.

Среди современных методов определения токсичности водных сред можно выделить биолюминисцентные методы, которые обладают высокой чувствительностью к разнообразным химическим соединениям, характерным для промышленных сбросов, загрязнений почвы, воды, воздуха (тяжелые металлы, фенолы, формальдегид и т.д.). Одной из таких разработок стала биолюминисцентная нанобумага в сочетании с люминесцентными бактериями *Aliivibrio fischeri* (*A. fischeri*) в качестве биоиндикатора [1]. При воздействии токсикантов происходит ингибирование люминесценции *A. Fischeri*. Так как уровень ингибирования биолюминесценции пропорционален концентрации токсических веществ, по полученным данным становится возможным количественно установить классификацию уровня токсичности загрязняющего вещества. –Био и хемолуминометры (светорегистрирующая аппаратура) позволяет измерить интенсивность свечения реагента до и после введения неизвестного загрязняющего вещества объемом 0,2-0,5 мл. Биолюминисцентная нанобумага предпочтительна для быстрого скрининга пробы воды, в связи с чем можно оперативно дать заключение о наличии токсикантов в водном объекте. Из преимуществ

разработки можно выделить возможность проведения анализа в полевых условиях, высокую скорость, а также статическую достоверность анализа, которая достигается путем возможности проведения большого количества тестов в сопоставимых условиях.

Фотометрический метод биотестирования используется для оценки качества водных и почвенных систем в различных областях, таких как экологический мониторинг, оценка влияния различных воздействий на биоту и экосистемы, а также контроль качества воды и почвы в лаборатории.

### 3. Предпосылки и разработка устройства

Принципиальное отличие разработки заключается в методе получения данных в виде цифрового изображения. В качестве сенсора выступает цифровая камера, она имеет ряд преимуществ перед иными оптическими системами.

В первую очередь, такой подход к получению данных исключает влияние различных оптических эффектов, таких как абберация, блики, несовершенства поверхности. К тому же, при исследованиях природных вод, будет возможность отделить взвешенные частицы от живых организмов.

Основным недостатком приборов предыдущего поколения является очень маленькая область. При такой компоновке измерительного канала в наблюдаемую область попадает около 100 клеток. В связи с этим возникает необходимость в использовании высокой концентрации микроорганизмов, которая составляет  $1000 \pm 500$  кл./мл. Цифровая камера позволит анализировать объем кюветы целиком, что позволит давать более быстрое и точное заключение о состоянии пробы, а снижение объема кюветы позволит анализировать более низкие объемы пробы, а также мутные пробы без разбавления.

Были разработаны, изготовлены и испытаны несколько вариаций плоских кювет с минимальной толщиной и возможностью формирования стабильного градиента химического раздражителя. В ходе работы возникло множество сложностей, так как поведение небольшого объема жидкости в плоских каналах сложно прогнозируемо и требует проведения моделирования и натуральных экспериментов.

Был проведен математический расчет и моделирование в программном обеспечении Ansys. В результате моделирования удалось установить, что формирование границы раздела сред в кювете подобной формы возможно, но она будет иметь параболическую форму. Были изготовлены кюветы и проведены натурные испытания. По результатам эксперимента стало ясно, что граница раздела сред устанавливается, но имеет форму параболоида, т.е. вытягивается и при виде спереди и виде сбоку, поэтому точно установить границу раздела сред невозможно. К тому же, граница раздела получилась очень нестабильной и размывалась в течение 5-6 минут.

По результатам испытания был предложен вариант тест-системы, в которой эффект вытягивания среды нивелирован.

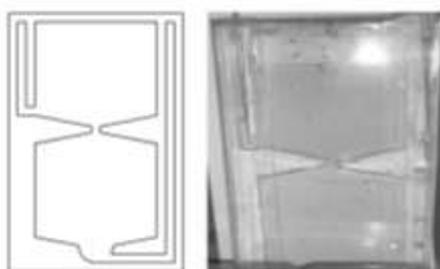
### 4. Тест-система с гидростатическим разделением сред

Основной сложностью в создании нового устройства стала разработка специальной тест-системы, которая позволяет свести к минимуму возможность наложение живых организмов в наблюдаемой плоскости. Для проведения наблюдения и установления перемещения микроорганизмов в пространстве оптическим сенсором требуется предельно приблизить наблюдаемый объем к двумерной задаче.

Для решения поставленной цели на основании проведенного ранее гидродинамического моделирования были изготовлены специальные кюветы с зазором от 2 до 10 мм.

Зазор в 2 мм определен предельным т.к. в него укладывается 4 инфузории в продольном сечении. Предполагается, что микроорганизмы свободно смогут перемещаться из одной камеры в другую, не создавая ограничений друг другу. Были подготовлены растворы с пищевым красителем очень близкой плоскости 0.03 грамма на 30 мл воды, затем растворы были разбавлены в 5 раз, что позволило приблизить плотность окрашенных растворов к воде.

Сначала жидкостью заполняется нижняя камера, входное отверстие закрывается. Это необходимо для того, чтобы исключить эффект сообщающихся сосудов. Затем заклеивались верхняя камера и входное отверстие. Таким образом, границу раздела удалось получить в кювете с размером зазора в 2 мм. После этого кювета наблюдалась в течение получаса, результат остался прежним.



*Рис. 1. Граница раздела фаз с зазором 2 мм*

Таким образом, была разработана тест-система (с зазором 2 мм), в которой возможно формирование плоской границы раздела водных сред.

##### 5. Автономная стационарная тест-система

Рынок устройств для биотестирования токсичности сточных вод представлен большим выбором инструментов для проведения анализа, такими как, импульсные фотометры, фильтровые флуориметры, люминометры и многие другие. Значимым недостатком существующих устройств для биотестирования является стационарность. Была разработана модель тест-системы с эргономичным корпусом, которая позволяет проводить анализ токсичности вод в полевых условиях, что существенно сокращает время проведения анализа, что может быть важным, если необходимо быстро принять решение на основе полученных данных. Такой подход позволяет снизить риск неправильной обработки и ошибок, которые могут возникнуть при транспортировке образцов в лаборатории. В полевых условиях можно проводить эксперименты с большим числом независимых переменных, контролируя условия окружающей среды, когда в лаборатории есть ряд ограничений на проведение экспериментов.



Рис. 2. Предполагаемая модель устройства

По итогам работ был составлен сравнительный анализ существующих устройств и их характеристик.

Таблица 1

**Сравнение наиболее популярных устройств для биотестирования**

Прибор	Время процедуры	Сложность выполнения	Стоимость, тыс.руб	Возможность работы в полевых условиях
ФЛЮОРАТ-02-4М [2]	72 часа	Выше среднего	996	Нет
Биотокс 10-М [3]	60 минут	Средняя	550	Нет
ИПС-03 [4]	22 часа	Высокая	346	Нет
Биотестер-2М [5]	60 минут	Средняя	306	Нет
Наше устройство	30 минут	Низкая	300	Да

#### Заключение

По мере увеличения интереса потенциальным рисковым факторам и особенностям воздействия на окружающую среду, практическое значение биотестирования, как метода определения токсичности сред, продолжает расти, что, несомненно, имеет перспективы для различных отраслей промышленности и науки. К тому же биотестирование является экономически выгодным методом тестирования.

Разработанный прибор позволит провести полноценное исследование эргономических, метрологических и иных характеристик в различных реальных условиях, и в конечном итоге получится создать качественный, удобный в эксплуатации и конкурентоспособный продукт. Вопросы экологии и техносферной безопасности достаточно остро стоят и вызывают общегосударственный интерес, а состояние окружающей среды напрямую связано со здоровьем и благосостоянием граждан. Устройство позволит проводить оперативный контроль состояния ОС и по необходимости ликвидировать последствия ее загрязнения. Для качественной работы устройства также предстоит разработать принципиальную схему устройства для получения данных о протекающей хемотаксической реакции в разработанной тест-системе, доработать систему определения пробы, а также провести испытания кювет с помощью цифровой камеры стороннего устройства.

### Список литературы

1. Liu, J., Morales-Narváez, E., Orozco, J. et al. Bioluminescent nanopaper for rapid screening of toxic substances. *Nano Res.* 11, 114–125 (2018)
2. Е.В. Осинцева // Методическое руководство по техническому обслуживанию и эксплуатации спектрофлуориметра Флюорат-02-Панорама (2008)
3. В.П. Кузнецов // Прибор экологического контроля «Биотокс-10М». Руководство по эксплуатации (2005)
4. С.С. Голубев // Измеритель плотности суспензии (ИПС-03). Технические условия (2016)
5. В.В. Додонов // Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс - методом с применением прибора серии «Биотестер» (2015)

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДАТЧИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ У КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ

М. В. ШАПАРЕВА, С. С. ЯКУТОВА, В. А. БИГЛОВА, В.А. ЮРЬЕВА

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

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы о заботе за комнатными растениями. Была проведена работа по разработке датчика определения влажности почвы у комнатных растений. С помощью данного датчика, будет повышаться выживаемость растений, за счёт улучшения ухода за растением, что приведет к улучшению микроклимата в помещениях, которое в свою очередь благоприятно влияет на самочувствие человека.

*Ключевые слова:* датчик определения влажности почвы, гигрометр, почва, влажность.

Многие люди сталкиваются с проблемой правильного ухода за комнатными растениями, в результате переувлажнения почвы, либо наоборот, недостаточного полива - комнатные растения гибнут, и человек вынужден для своего комфортного проживания постоянно покупать комнатные растения взамен погибших.

Ритм жизни современного человека достаточно высокий. В ежедневной рутине каждый вынужден решать большое количество разных задач и зачастую не хватает времени на должный уход за комнатными растениями, однако остается желание озеленить своё пространство. Эти зеленые "создания" в жилых помещениях могут снизить уровень пыли, углекислого газа и формальдегидов, также создается микроклимат, который благоприятно влияет на человека, то есть улучшается память, появляется бодрость и избавляет от чувства усталости, из-за этих факторов увеличивается продуктивность работы мозга. Однако многие люди сталкиваются с проблемой ухода за комнатными растениями.

Таким образом, целью данного проекта является разработать модель датчика определения влажности почвы с функцией автоматизированного уведомления у комнатных растений. Для того чтобы выполнить поставленную нами цель, мы должны провести анализ информации по вопросам аппаратурного контроля влажности почвы комнатных растений, исследовать проблематику о взаимодействии городского населения с комнатными растениями на основе анкетирования, разработать модели датчика в программе Paint 3D.

Было проведено анкетирование для исследования проблематики взаимодействия городского населения с комнатными растениями. Результаты опроса показали, что люди

сталкиваются с гибелью растений, а также для того, чтобы облегчить уход за ними, согласны приобрести гигрометр.

Для разработки модели датчика определения влажности почвы, был взят за основу электронный гигрометр, потому что данный гигрометр позволит измерить влажность почвы, а также результаты, полученные с сенсора можно обработать в цифровом формате.

Для совершенствования ухода за растениями была разработана модель датчика определения влажности почвы в программе «Paint 3D», схема которого представлена на рисунках 1 и 2.

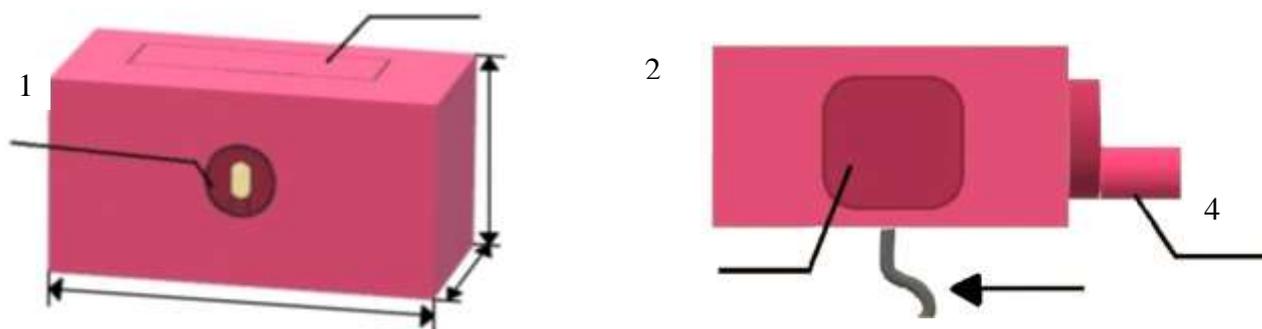


Рис.1 Схема датчика влажности почвы.

1 – Отверстие для лампочки, 2 – Отсек для батарейки (CR2025), 3 – Крепление на горшок, 4 – Катушка для провода, 5 – Кабель.

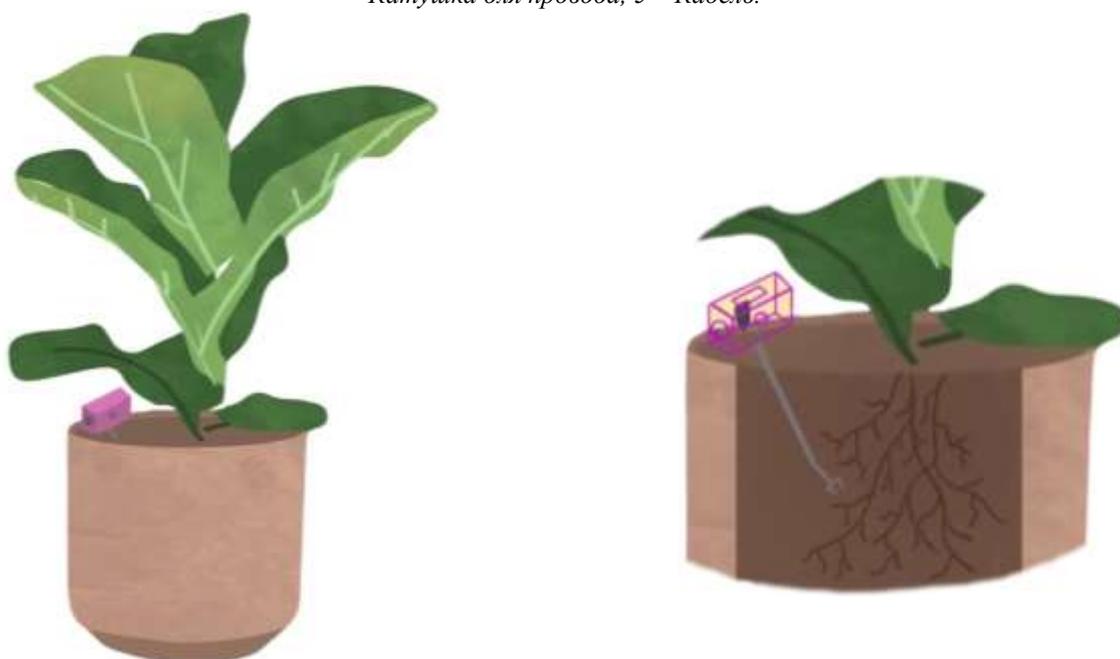


Рис.2 Расположение датчика влажности почвы.

Помимо разработки корпуса были подобраны комплектующие для данного датчика. А также собрана схема в программе «Fritzing», которая представлена на рисунке 3.

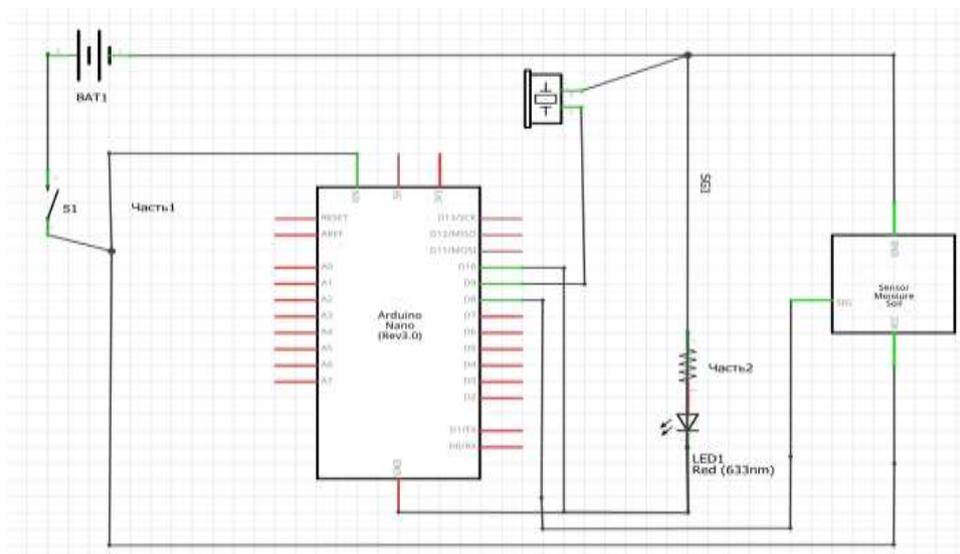


Рис.3 Схема устройства.

В ходе работы над данным проектом была проанализирована информация по вопросам аппаратного контроля влажности почвы комнатных растений, исследована проблематика о взаимодействии городского населения с комнатными растениями на основе анкетирования и разработана модель датчика в программе Paint 3D.

Разработанная нами модель в проекте должна повысить выживаемость комнатных растений, что позволит обеспечить владельцу сохранение любимых растений, эффективное планирования дня, а также улучшить уход за растениями.

### Список литературы

1. André Knörrig, Brendan Howell Advanced prototyping with fritzing. - Cambridge, MA, USA: The 4th International Conference on Tangible and Embedded Interaction, 2010. - 15 с.
2. Создание объемной модели в программе Paint 3D // МБУК Централизованная Библиотечная система Вилючйинск URL:<https://villib.ru/> (дата обращения: 19.04.2023).
3. Automatic Irrigation System using an Arduino Uno // CIRCUIT DIGEST URL: <https://circuitdigest.com/> (дата обращения: 26.04.2023).

## СЕКЦИЯ РЕКЛАМА И СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ

### ФОРМИРОВАНИИ МЕДИАОБРАЗА РЕГИОНА В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

КОВИТА Н.С.<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Современное общество переживает цифровую революцию, которая затрагивает все сферы жизни. В связи с этим формирование медийного образа регионов в цифровой среде становится важной задачей для обеспечения развития региона и его интеграции в глобальное информационное пространство. В этой статье мы рассмотрим теоретические основы формирования медийного образа регионов, факторы, влияющие на этот процесс, а также инструменты и каналы его реализации.

*Ключевые слова:* медиаобраз, цифровизация

Медиаобраз, как структурный визуально-эмоциональный элемент виртуальной реальности, играет важнейшую роль в формировании общественного мнения и состоит из медийной модели объективного бытия, запечатленной в информационных носителях и общественном сознании. [1].

Формирование медийного образа региона зависит от многих факторов, включая социально-экономические условия, политическую ситуацию, культурные особенности, инфраструктуру и технологический уровень. Кроме того, местные СМИ и социальные сети играют важную роль, будучи основными каналами коммуникации между жителями региона и его гостями.

Термин «медиаобраз» впервые был использован в 2007 году и понимался как реальность, формируемая и предлагаемая массовому обществу медиа индустрией [2].

В связи с недавним появлением указанного термина, для раскрытия темы необходимо разобрать базисное понятие образа как основы медиаобраза. Исследованием этого вопроса занимались такие авторы, как Рахматуллин Р. Ю., Семенова Э. Р., Рамзина Д. З. [3], Рубинштейн С. Л. [4], Зинченко В. П. [5] и др., ознакомившись с работами которых мы определили «образ» как восприятие или представление о чем-либо, созданное в уме человека на основе определенных знаний, впечатлений и ощущений. На основе уже указанных работ, автор пришел к следующему выводу: все определения понятия «образ» можно разделить на два принципиально разных мировоззренческих лагеря. С одной стороны, «образ» рассматривается в рамках идеального и возвышенного, с другой стороны, в материальной концепции. Соотнеся полученные данные с понятием «медиаобраз», можно утверждать, что медиаобраз является результатом реконструкции объекта в сознании человека, созданного посредством воздействия медиа-технологий на органы чувств и рациональные аспекты.

В контексте данной темы важно отметить, что представления о медиаобразе любого объекта аудитория черпает из собственных и коллективных виртуальных и реальных практик. В узком смысле, по мнению Т.В. Галинской, медиаобраз – это фрагменты реальности, описанные в текстах только профессиональных журналистов, отражающих их

мировоззрение, ценностные ориентации, политические предпочтения, а также психологические качества [6].

В широком смысле медиаобраз – это образ реальности, конструируемый во всех текстах, созданных в медиапространстве (профессиональными журналистами, блогерами, интернет пользователями и т. д.).

Перед непосредственным изучением инструментов и каналов формирования имиджа регионов, необходимо ознакомиться с понятием стейкхолдеров, кого можно к ним отнести и их ролью в рамках темы. Стейкхолдеры региона – это группы людей или организации, которые имеют интерес в развитии и благополучии данного региона. Среди них могут быть местные жители, предприниматели, государственные органы, общественные организации и другие участники. Каждый стейкхолдер имеет свои цели и задачи, которые он ставит перед собой в рамках своей деятельности. Важно учитывать интересы всех стейкхолдеров при разработке стратегии развития региона, чтобы достичь максимально положительного результата для всех участников [7].

Для формирования медийного образа региона необходимо использовать различные инструменты и каналы коммуникации. Одним из наиболее эффективных инструментов является создание веб-сайта для региона, который должен содержать информацию о его истории, достопримечательностях, экономике, культуре и других аспектах жизни. Также важно обеспечить наличие в регионе аккаунтов в социальных сетях, где можно размещать новости, фото- и видеоматериалы, а также взаимодействовать с пользователями.

Кроме того, следует обратить внимание на местные СМИ, которые могут стать основным каналом распространения информации о регионе. С этой целью могут осуществляться совместные проекты, организовывать пресс-туры и интервью с представителями региона.

В целях полного раскрытия темы, нами было проведено анкетирование более 100 студентов, выбравших Санкт-Петербург, как наиболее подходящий для жизни и обучения. В рамках результатов анкетирования не только были выяснены наиболее актуальные каналы, оказывающие влияние на формирование медиаобраза региона, но и, проведен обзор сложившегося посредством СМИ имиджа региона среди молодежи 17-25 лет.

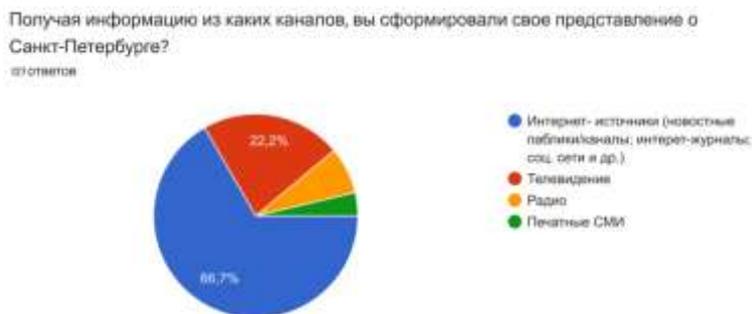


Рис. 1. Результаты опроса среди молодежи 17-25 лет (Медиа каналы формирования имиджа Санкт-Петербурга)

Результаты диаграммы (рис.1) показывают, что большинство людей формируют свое представление о Санкт-Петербурге под влиянием интернет-источников. Это можно связать с тем, что в современном мире интернет-источники обладают большей свободой и разнообразием в выборе тем и точек зрения. Телевидение, в свою очередь, оказывает меньшее влияние, возможно, потому что оно все еще ограничено в выборе программ и

часто представляет информацию в упрощенной или ограниченной форме. Радио и печатные СМИ оказывают еще меньшее влияние, в связи со снижением их популярности и доступности в современном медиапространстве.



Рис. 2. результаты опроса среди молодежи 17-25 лет (образ Санкт-Петербурга)

Из результатов опроса следует, что большинство людей имеют положительное представление о Санкт-Петербурге (рис. 2). Они считают его культурным городом с множеством достопримечательностей и вежливыми жителями, а также романтическим городом с особой атмосферой белых ночей. Значительная часть опрошенных считает Санкт-Петербург мегаполисом, в котором уютно, городом, который быстро развивается, а также опрошенные указывали на высокий уровень высшего образования, предоставляемого в городе, что послужило не меньшей причиной для жизни в нем.

Синтезируя результаты двух диаграмм, мы пришли к следующему выводу: благодаря возможностям СМИ, а в большей части интернет-ресурсам и телевидению и их техническим возможностям передачи информации для наиболее эффективного восприятия информации (использование вербальных и невербальных приемов), аудитория 17-25 лет была ознакомлена с достаточной информацией о Санкт-Петербурге, что положительно повлияло на формирование объективного, широкого и позитивного медиаобраза города.

Таким образом, формирование медийного образа регионов в цифровой среде является важной задачей для обеспечения их развития и привлекательности. Этот процесс зависит от многих факторов, включая социально-экономические условия, политическую ситуацию, культурные особенности и технологический уровень. Для его реализации необходимо использовать различные инструменты и каналы коммуникации, такие как создание веб-сайта для региона, наличие аккаунтов в социальных сетях и взаимодействие с местными СМИ.

### Список литературы

1. Федоров А.В. Словарь терминов по медиаобразованию, медиапедагогике, медиаграмотности, медиакомпетентности. Таганрог, 2010. С. 64.
2. Богдан Е. Н. Медиаобраз России как средство консолидации общества: структурно-функциональные характеристики : автореферат дис. ... к. филол. н.: 10.01.10. М.: МГУ, 2007. - 25 с.
3. Рахматуллин Р. Ю., Семенова Э. Р., Рамзина Д. З. Понятие образа // Исторические, философские, политический и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов, 2012. №12 (26). с. 167-170.
4. Концепция деятельности С.Л. Рубинштейна и А.Н. Леонтьева // КиберЛенинка : сайт. – URL: [https://cyberleninka.ru/10\\_163466\\_mehanizmi-sotsializatsii.html](https://cyberleninka.ru/10_163466_mehanizmi-sotsializatsii.html)

5. Зинченко, В. П. Восприятие и визуальная культура / В. П. Зинченко. – Москва : Delibry, 2018. – 265 с. – ISBN 978-5-98712-783-4.

6. Галинская, Т. В. Понятие медиаобраза и проблема его реконструкции в современной лингвистике / Т. В. Галинская // ВЕСТНИК ОГУ : электронный журнал. – URL: [https://kurl.ru/pmXWphttps://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1682320495&tld=ru&lang=ru&name=16.pdf&text=галинскаяме-диаобраз&url=http://vestnik.osu.ru/2013\\_11/16.pdf&lr=2&mime=pdf&l10n=ru&sign=f023ea669540d0ba7fbde077ec1e47f8&keyno=0&nosw=1&serpParams=tm=1682320495&tld=ru&lang=ru&name=16.pdf&text](https://kurl.ru/pmXWphttps://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1682320495&tld=ru&lang=ru&name=16.pdf&text=галинскаяме-диаобраз&url=http://vestnik.osu.ru/2013_11/16.pdf&lr=2&mime=pdf&l10n=ru&sign=f023ea669540d0ba7fbde077ec1e47f8&keyno=0&nosw=1&serpParams=tm=1682320495&tld=ru&lang=ru&name=16.pdf&text). – Дата публикации: 21.09.2013. – ISSN 12-34-01354-a2

7. Козлова, А.В. Медиаобраз региона: особенности формирования и проблемы развития в цифровую эпоху. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология, 17(2), 2017. с. 190-198.

## ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ КОММУНИКАЦИИ В СФЕРЕ ОНЛАЙН ОБРАЗОВАНИЯ

СКИРТАЧЕНКО Е. В.<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** В статье рассматриваются принципы и методы коммуникации в сфере онлайн образования. Исследованы тенденции дистанционной формы обучения в настоящее время, а также приводится сравнение обучающих платформ. Дана характеристика и приведен анализ цифровых образовательных ресурсов.

*Ключевые слова:* коммуникация, обучение, образовательный проект, дистанционные технологии, онлайн образование.

Использование эффективных принципов коммуникации в сфере онлайн образования играет решающую роль в формировании положительного образа образовательной платформы, а также увеличении ее популярности. Дистанционное обучение является важным направлением в инновационной деятельности государства. Проанализировав положение онлайн образования в Российской Федерации, мы можем сделать вывод, что система дистанционного обучения должна строиться на едином информационном пространстве и регламентироваться конкретными правилами.

В последнее десятилетие развитие онлайн образования начало все более стремительно развиваться. В Российской Федерации дистанционное образование возникло 30 мая 1997 года, с выходом приказа № 1050 Минобразования России. После выхода данного приказа появилась возможность проводить эксперименты в сфере онлайн образования.

По данным исследования российского рынка онлайн образования от Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» мы можем сравнить насколько сильно изменилась данная индустрия. Объем рынка онлайн образования в России в 2016 году составлял 1,1%-20,7 млрд рублей, а уже в 2021 году рынок онлайн образования вырос до 18,9% - 53,3 млрд. рублей [1]. В следствии изобилия образовательных программ и услуг современное общество стало намного избирательней чем раньше. Поэтому с каждым годом создатели образовательных программ совершенствуют их, чтобы обучение было максимально эффективным.

Онлайн-образование – это форма обучения, которая использует дистанционные технологии. Стимулом к ускоренному переходу к онлайн образованию стала пандемия

COVID-19 и для многих такой формат создал благоприятные условия для обучения тех, кому обычный офлайн формат не подходил по причинам географической удаленности, финансовых возможностей, физиологических особенностей. Кроме того, возросла конкуренция между вузами благодаря открывающимся для студентов возможностям получать дипломы ведущих университетов, активно внедряющих дистанционные образовательные программы. Именно поэтому в последние годы использование принципов и методов коммуникации в сфере онлайн образования становится все более популярным.

Согласно недавнему исследованию, опубликованному Statista, примерно 40% студентов колледжей считают электронное обучение полезным. Электронное обучение кажется фаворитом среди студентов: четверо из десяти сообщили, что оно чрезвычайно полезно для работы. Согласно исследованию журнала EdTech Magazine, онлайн-курсы заканчиваются на 72%. Процент завершения дистанционных занятий также ниже, чем очные занятия, а процент завершения онлайн-курсов составляет 72%, а процент завершения очных курсов — 75% [2; 3, с. 262].

Но следует заметить, что по итогам 2022 года объем инвестиций в сервисы онлайн-образования в России снизился в сравнение с 2021 годом в 3,5 раза, а на рынке EdTech начали преобладать, такие тренды, как нацеленность на конкретный результат в процессе образования (трудоустройство, карьерные изменения), изменения в системе найма – на HR-рынок из рынка соискателей превратился в рынок работодателей.

Если в период пандемии преподаватели и студенты могли общаться через различные онлайн-ресурсы – социальные сети, Google Meet, Zoom и другие с возможностью общения со значительным количеством студентов одновременно. Что давало возможность одновременного обучения большого количества групп.

Активно развивались инструменты и платформы для онлайн-обучения, полезные как преподавателям, так и учащимся. Что позволяло не быть привязанным к конкретному месту и получать знания из любой точки мира, важным было только подключение к Интернет-серверу, онлайн образование было гораздо дешевле по стоимости, чем офлайн, записи занятий были всегда доступны, а материалы можно было пересмотреть [5, с. 20].

То в постпандемийный период активизировались новые инструменты и способы коммуникации. Актуализировалась тенденция к непрерывному образованию и асинхронному обучению, даже в офлайн форматах. На смену массовому обучению пришло наставничество и адаптивное обучение, как форма обучения малых групп по конкретному запросу. Активизировались тенденции к расширению границ геймификации и эдьютейнмента в образовательной среде, а для упрощения восприятия сложных материалов и стимулирования запоминания стали использоваться виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальности.

По данным Brand Analytics рейтинг популярных образовательных онлайн-платформ менялась в период 2020-2021 годов [6].

Таблица 1

**Рейтинг популярных образовательных онлайн-платформ, 2021–2022**

	+/-	Название	Категория	Количество упоминаний за год
		Skillbox	проф. образование	291 500
		GetCourse	платформа для создания курсов	281 000
	1	Инфоурок	школьное образование	255 400
	1	Skyeng	школы иностранных языков	219 900
		Учи.ру	школьное образование	182 500
	2	Нетология	проф. образование	121 200
	2	Foxford	школьное образование	88 900
	2	Geekbrains	проф. образование	87 400
	1	Skysmart	школьное образование	84 000
0	2	Яндекс.Практикум	проф. образование	80 600

Учебным заведениям необходимо внедрить передовой опыт, чтобы учащиеся, обучающиеся дистанционно и не были позади в своем стремлении получить больше знаний. Онлайн-обучение имеет как преимущества, так и недостатки, но несмотря на недостатки является популярным методом обучения, который может помочь повысить уровень знания учащегося, который должен быть достаточно организован и иметь мотивацию, чтобы выполнить все задания вовремя и усвоить материал на высокий уровень.

**Список литературы**

1. Исследование российского рынка онлайн образования и технологий: [Электронный ресурс] // URL: <https://estars.hse.ru/mirror/pubs/share/211448255/> / (дата обращения 10.02.2023).
2. Кулибанова В.В., Тэор Т.Р., Ильина И.А. Современные методы мониторинга социального капитала организации // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14, № 5. С. 111–127. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.1450>
3. Якупов П.В. Коммуникация: определение понятия, виды и ее барьеры [Текст] / П.В. Якупов // Вестник Университета — 2016.— №10— 261–266 с.

4. Томпсон Э. Статистика и тенденции электронного обучения: 26 новых статистических данных за 2023 год / Э. Томпсон // URL:
5. Груздева М.Л., Смирнова Ж.В. Результаты внедрения модели управления самостоятельной работой обучающихся в образовательный процесс вуза [Текст] / М. Л. Груздева, Ж.В. Смирнова // Вестник Мининского университета — 2017.—№ 1 — 12–23 с.
6. Рейтинг популярных образовательных платформ от Brand Analytics: [Электронный ресурс] // URL: <https://br-analytics.ru/blog/top-20-education-2021-2022/> (дата обращения 12.02.2023).

**СЕКЦИЯ ЛИНГВИСТИКА**  
**ТРУДНОСТИ АДАПТАЦИИ КУЛЬТУРНО-СПЕЦИФИЧЕСКОЙ**  
**ЛЕКСИКИ С РУССКОГО НА АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК**  
**В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЕ**

М.С. Мугу

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

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме трудностей адаптации культурно-специфической лексики с русского на английский язык. В статье поднимается понятие культурного кода и пояснение терминов «культура», «адаптация» и «литературная адаптация». Также затрагивается тема перевода с русского на английский язык в современных реалиях и взгляды лингвистов на приёмы передачи культурно-специфической лексики. В качестве примера грамотной адаптации приведены отрывки из произведения Г. Ш. Яхиной «Зулейха открывает глаза».

*Ключевые слова:* Адаптация, культура, перевод, литература, культурный код

Культура проявляется в использовании определенного языка как способа выражения. Учитывая, что английский и русский языки имеют разную культуру, довольно сложно перевести на английский язык название национальной одежды, еды или прозвищ. Проблема возникает, когда читатель находит культурные слова, но не понимает, что они означают, потому что существует разрыв между исходным языком и языком перевода.

Понятие «культурный код» выступает элементом семиотической концепции культуры. Впервые о знаковом характере культуры заговорил Э. Кассирер. Его философия культуры определяет идеалистическое понимание человека как животного, создающего символы, а разнообразные сферы культуры (язык, миф, религию, искусство, науку) он называет символическими формами и рассматривает их как особые культурно-символические системы [Кассирер, 1998, с. 121]. Культурный код включает в себя источники культурного познания (живые существа, артефакты, ментефакты), предметы культурного осмысления и оценивания в контексте культуры, находящие свое отражение в культурных знаках и представляющие собой «подоснову» культурной интерпретации вербального выражения языкового образа [Телия, 1999, с. 14].

Дж. Кэтфорд утверждает, что перевод — это замена текстового материала на одном языке эквивалентным текстовым материалом на другом языке. Перевод всегда односторонен: он всегда выполняется в заданном направлении, «с» исходного языка «на» целевой язык [Catford, 1965, p. 73]. Более того, М. Ларсон заявляет, что цель переводчика состоит в том, чтобы сохранить значение, а языковая форма должна быть изменена таким образом, чтобы значение ИЯ не исказилось [Larson, 1998, p. 12].

Трудность, с которой переводчик часто сталкивается при переводе культурно-специфической лексики потому, что при переводе культурного текста переводчик имеет дело не только с лингвистическими различиями, но и с культурными различиями обоих языков. Таким образом, переводчик должен понимать исходный и целевой языки, включая культуру обоих текстов. Это связано с тем, что халатность к переводу культурологического текста не только подрывает смысл исходного текста, но и наносит ущерб культуре текста.

Если тема затрагивает приёмы передачи культурно-специфической лексики, то основными приемами передачи значения при переводе, по мнению А.Л. Грэдлера, являются:

Объяснение смысла выражения на ИЯ вместо его перевода.

Сохранение слова в неизменном виде.

Выбор слова в ПЯ, которое кажется похожим или имеет такую же «релевантность», что и термин ИЯ [Graedler, 2006, p. 3].

М. Харви выдвигает следующие четыре основных метода перевода:

Функциональная эквивалентность — использование референта в культуре ПЯ, функция которого аналогична функции референта исходного языка (ЯЯ).

Формальная эквивалентность или «лингвистическая эквивалентность» — «дословный» перевод.

Транскрипция или «заимствование» — воспроизведение или, при необходимости, транслитерация исходного термина.

Описательный или не требующий пояснений перевод: для передачи значения используются общие термины [Harvey, 2007, p. 2-6].

При передаче сообщения при переводе слушателю или читателю, особенно если этот человек даже не понимает языка, переводчики должны использовать различные способы или методы, чтобы донести сообщение как можно яснее. Одним из таких инструментов является адаптация.

Профессор Тарек Али Эдарус Ассакаф определяет адаптацию как тип перевода, который включает в себя ряд изменений, которые необходимо внести, чтобы полученный целевой текст гармонировал с духом исходного текста. Для передачи культурно-специфической лексики в литературном переводе переводчики обращаются непосредственно к культурной адаптации и литературной адаптации.

Культурная адаптация. Хорошо известно, что переводчик бикультурен, а также двуязычен. Это означает, что он/она является мостом не только между двумя языками, но и между двумя культурами. Другими словами, переводчик должен учитывать культуру целевого текста, а также структуру целевого текста.

Литературная адаптация. Этот тип адаптации встречается при переводе литературных произведений, таких как роман, рассказ, драма или поэзия. Здесь переводчик учитывает культурное расхождение при переводе литературного произведения с одного языка на другой. Хороший литературный переводчик инстинктивно знает разницу между эстетическими традициями разных культур, поэтому его перевод может быть лучше оценен целевым читателем и может достичь необходимого эффекта [Dr. Tareq Ali Eadaroos Assaqaf, 2016].

В качестве материала для примера стоит привести произведение Г. Ш. Яхиной «Зулейха открывает глаза». Действие романа разворачивается зимой 1930 года в глухой татарской деревне. Крестьянку Зулейху вместе с сотнями других переселенцев отправляют в вагоне-теплушке по извечному каторжному маршруту в Сибирь. Роман, получивший множество наград, включая «Книга года», «Большая книга» и «Ясная Поляна», переведенный на 40 языков, включая китайский, немецкий, французский, английский, обладает специфической лексикой, обоснованной культурой, в которой происходит действие произведения.

Переводом с русского на английский язык занялась переводчица художественной литературы с русского на английский язык Лиза Хейден. Стоит отметить, что в романе на русском языке присутствует глоссарий татарских слов, который приводится в конце кни-

ги, однако в версии на английском языке такой глоссарий отсутствует. Однако даже при его отсутствии переводчица находит выход из переводческих ситуаций.

Следует привести примеры в виде 6 отрывков текста, содержащих культурно-специфическую лексику. Переводчица, чтобы сохранить культурный код, обращается к приемам транскрипции (формальное пофонемное воссоздание исходной лексической единицы с помощью фонем переводящего языка, фонетическая имитация исходного слова), транслитерации (формальное побуквенное воссоздание исходной лексической единицы с помощью алфавита переводящего языка, буквенная имитация формы исходного слова) и пояснения. В первом и втором примерах видно, что оригинальное «Эни» (тат. *Эни* «мама», англ. *Eni*) и «мулла» (тат. *мулла* «служитель религии», англ. *mullah*) при переводе через транслитерацию осталось в неизменном виде:

1. He runs into the changing room without his hat, not shaking off the snow stuck to his felt boots.

‘What happened, *Eni*?’ He runs up to his mother and grasps her hands.

‘I can’t...’ The Vampire Hag’s weakened voice suddenly stirs and she drops her head to her son’s chest. ‘I can’t... no more...’

‘What? What is it?’ Murtaza drops to his knees and begins feeling her head, neck, and shoulders.

Her hands shaking, the old woman somehow unfastens the ties on the front of her smock and pulls at the collar opening.

2. Murtaza put the bathhouse in the corner of the yard, behind the storehouse and shed. He built the stove according to the latest methods, fussing for a long time with designs in a magazine brought from Kazan, soundlessly moving his lips and drawing a broad fingernail over the yellowed pages. He laid bricks for several days, constantly referring to the drawings. He ordered a steel tank, to its specifications, at the Kazan factory of the Prussian manufacturer, Diese, and installed it on the exact protruding ledge that was designated, then smoothly attached it with clay. A stove like this both heated the bathhouse and warmed water quickly, you just had to add the logs in a timely manner – it’s not just a stove, it’s a lovely sight. The *mullah* himself came to have a look and then ordered the exact same thing for his own home.

Третий, четвёртый и пятый примеры выступают в виде перевода прозвищ «жебеген тавык» (тат. *жебеген тавык* «мокрая курица», англ. *zhebegyan tavyk*), «албасты» (тат. *албасты* «демон женского пола», англ. *alabasty*), «иясэ» (тат. *иясэ* «домовой», англ. *iyase*) через пояснение, при этом исходная форма слова остаётся неизменной:

3. Woe unto Zuleikha if she sleeps through the morning wake-up call. It’s happened twice in fifteen years and she doesn’t allow herself to recall the consequences.

For now, it’s quiet behind the door. Go on, Zuleikha, you pitiful hen, hurry up. It was the Vampire Hag who first called her *zhebegyan tavyk* – *pitiful hen*. Zuleikha started calling herself this after a while, too, without even noticing.

4. Everything had been unfathomable then and those raiding parties became more and more like wanton spirits with every year that passed: scarier than a *demonic alabasty woman*, as glutinous as a giant evil dev, and insatiable, like Zhalmavyz, the huge cannibal woman. It was difficult to hide a tightly stuffed sack, and besides, then all the grain was gone immediately if it was found. It’s a different story if there are several skinny ones: they’re easier to store (each one in a different place) and not so awful to part with.

5. The blizzard is covering Yulbash with heavy, coarse snow. Zuleikha trudges down the street, bending low into the wind and leaning forward as if she’s praying. Small windows of houses lit with the cozy yellow light of kerosene lamps barely peek out in the darkness.

And there's the edge of town. Here, under the fence of the last house is the home of the *basu kapka iyase: the edge-of-town spirit*. Zuleikha hasn't seen him herself but people say he's very angry, peevish. And how could he be otherwise? That's his line of work – sitting with his nose toward a field and his tail toward Yulbash, chasing evil spirits away from the village, not allowing them beyond the edge of town. He's the intermediary for helping villagers who have requests for the forest spirits. It's serious work so he has no time for merriment.

Шестой пример демонстрирует перевод через транскрипцию слова «фэрэштэ» (тат. *фэрэштэ* «ангел», англ. *fereshte*).

6. Of course those are angels. Yuzuf's mother has told him about them – about *fereshte*: they soar high up in the sky, feed on sunlight, and sometimes stand behind people's shoulders, unseen, and defend them when they're in trouble, though they rarely show themselves, only to announce something very important.

Yuzuf has even asked Ilya Petrovich if he's drawn angels on the ceiling. Ilya Petrovich started smiling. 'I might just have done that,' he said.

В заключение хотелось бы отметить, что культурно-специфическая лексика представляет собой слова и словосочетания, называющие предметы, явления, объекты, характерные для жизни, быта, культуры, социального и исторического развития одного народа и малознакомые либо чуждые другому народу, выражающие национальный и (или) временной колорит, не имеющие, как правило, точных соответствий в другом языке и требующие особого подхода при переводе.

Из вышеизложенного следует, что культурно-специфическую лексику является целесообразным переводить с помощью приёмов транслитерации, транслитерации и пояснения, чтобы сохранить культурный код произведения. Следует отметить, что передача национально-культурной лексики представляет значительные сложности при переводе художественной литературы, если предполагается отсутствие глоссария, однако грамотный перевод контекста может помочь переводчику выйти из ситуации грамотно.

### Список литературы

1. Кассирер Э. Избранное/Опыт о человеке: введение в философию человеческой культуры. М.: Гардарики, 1998.
2. Телия В. Н. Первоочередные задачи и методологические проблемы исследования фразеологического состава языка в контексте культуры//Фразеология в контексте культуры. М.: Языки русской культуры, 1999. С. 13 – 24.
3. Яхина Г. Ш. Зулейха открывает глаза. М.: АСТ, 2015.
4. Catford, J.C. A Linguistic Theory of Translation: An Essay in Applied Linguistics. London: Oxford University Press, 1965.
5. Dr. Tareq Ali Eadaroos Assaqaf. International Journal of Science and Research, 2016, p. 783 – 785.
6. Graedler, A.L. Cultural shock. 2006. URL: <http://www.hf.uio.no/.../top7culture.html> (дата обращения: 10.03.2023)
7. Harvey, M. A beginner's course in legal translation: the case of culture-bound terms. 2007. URL: <http://www.tradulex.org/Actes2000/harvey.pdf> (дата обращения 28.02.2023)
8. Larson, M. Meaning-based Translation. A Guide to Cross-Language Equivalence (2nd ed). Lanham: University Press of America, 1998.
9. Yakhina, G. Zuleikha. Oneworld Publications, 2019.

## ПЕРЕВОД ИМЕН СОБСТВЕННЫХ В ПРОИЗВЕДЕНИИ ТЕРРИ ПРАТЧЕТТА «HOGFATHER» \ «САНТА-ХРЯКУС»

Д. А. МУРЛЫКИНА

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Целью статьи является исследование некоторых особенностей перевода имен собственных в рамках исследования окказиональной лексики в произведениях Терри Пратчетта. Перевод художественного текста всегда рассматривается как отдельный вид перевода, требующий сохранения задумки автора, передачи специфики произведения и авторские интенции. В работе изучаются такие методы перевода имен собственных как: транскрипция, транслитерация, преобразующий перевод. Акцентируется превалировании семантического способа передачи имен собственных с учетом принципов благозвучия, сохранения тождества имён, культурно-исторического контекста.

*Ключевые слова:* Имена собственные, окказионализмы, перевод, фэнтези.

Перевод имен собственных в различных произведениях на сегодняшний день является одной из самых сложных задач для любого переводчика и переводоведения, в целом. Неотъемлемой частью любого аспекта культуры, будь то литература, живопись и так далее являются имена собственные. Они несут в себе отражения характеров, культуры и жизни того или иного народа.

Перед переводчиком художественной литературы встаёт сложнейшая задача - донести мысль автора таким образом, чтобы и передать все оттенки эмоций заложенных автором.

Художественный мир многогранен. Он по-своему уникален и самодостаточен. Зачастую целью создания такого мира для автора является желание передать свое мироощущение будущим читателям, рассказать о своих мыслях и чувствах. Создание персонажей – одна из главных целей создания такого мира, а имя для такого героя передаёт всю суть души, отражая его тёмные или наоборот светлые стороны. Некоторые авторы, в свою очередь, прибегают к созданию своих собственных имён, которые литературоведы назначают окказионализмами.

Художественная литература отличается от любой другой тем, что передает этнографические, исторические и языковые аспекты того автора, чье произведение изучается. Отдельным, и немаловажным, элементом любого художественного произведения является имя собственное: имена персонажей, названия поселений, местностей, названия организаций – всё это служит для придания произведению определённого колорита, в зависимости от авторской интенции. Как известно, существует несколько принципов перевода имен собственных: принцип графического подобия (транслитерация), принцип фонетического подобия (транскрипция), принцип учета национально-языковой принадлежности имени, принцип этимологического соответствия (транспозиция), принцип благозвучия, принцип сохранения тождества имени, принцип учета исторической традиции и другие [1, с.15]. Зачастую перед переводчиком не стоит задача в переводе имени, скорее го целью становится передача имени собственного на другой язык, используя такие виды соответствия как: прямой перенес имени в исходной форме, ономастический принцип, перевод с помощью комментария, с помощью уточнения, с помощью описания и другие. Выбор переноса

имен собственных из текста оригинала в текст перевода во многом определяется видом переводимого текста и задачей, стоящей перед переводчиком, соответственно.

Для текстов художественных произведений более важно не то, что сообщается, а то, как это сообщается. Важнейшим критерием оценки художественного перевода является фактор адекватности эстетического воздействия оригинала и перевода [4, с. 19]. Поэтому при переводе художественных произведений, когда требуется сохранить специфику внутренней формы имени собственного с целью создания определенного художественного образа, зачастую используют семантическую передачу имени собственного, отдавая приоритет внутренней (семантической) форме, а не внешней (фонетической и / или графической).

Имена собственные в художественных произведениях создаются автором с определенной целью: чтобы подчеркнуть те или иные особенности характера персонажей, историческую эпоху, социокультурную обстановку, семейные обстоятельства персонажей, и др. В данной статье рассматриваются особенности перевода некоторых имен собственных в произведении Т. Пратчетта «Hogfather», которое относят к жанру юмористического фэнтези.

В фантастических жанрах литературы имена собственные играют большую роль, так как именно благодаря им читатель ощущает внеземной характер происходящих в произведении событий. Книги Т. Пратчетта не являются исключением, однако, в силу сатирико-юмористической направленности, имена в них обладают чрезвычайно высокой аллюзивностью. Встречающиеся аллюзии отсылают читателя к различным культурно-историческим реалиям разных стран. Знание данных реалий позволяет адекватно перевести имена собственные, сохраняя замысел автора. Например: Hogfather (Санта-Хрякус), Hogswatchnight / Hogswatch (страшдество), Sosocobana (Кококобана). Среди проанализированных имён собственных выделяются антропонимы, топонимы, теонимы (сюда относятся не только имена богов, но и имена мифических существ), зоонимы, названия компаний и организаций, названия напитков, блюд и зелий, названия праздников.

В произведении Т. Пратчетта «Hogfather» примером второго вида обозначений являются следующие имена: the Dean (декан), the Lecturer in Recent Runes (профессор современного руносложения), the Bursar (казначей), the Senior Wrangler (главный философ), the Chair of Indefinite Studies (заведующий кафедрой беспредметных изысканий).

Для передачи имен собственных на русский язык переводчики использовали в основном такие приемы перевода как ономастическое соответствие и преобразующий перевод. Ономастическое соответствие – это соответствие, воссоздающее фонографическую оболочку слова с той или иной степенью близости к оригиналу. Данный прием использован при передаче следующих имен собственных:

- антропонимов: Susan Sto-Helit (Сьюзен Сто Гелитская), Modo (Модо), Twyla (Твила), Gawain (Гавейн), Carter (Картер), Tacticus (Тактикус).
- теонимы: Io (Ио), Offler (Оффлер).
- зоонимы: Binky (Бинки).
- топонимов: Klatch (Клатч), Ankh-Morpork (АнкМорпорк), Omnia (Омния), island Sumtri (остров Сумтри), Sator Square (Саторская площадь).
- названий компаний и организаций: Sosocobana (Кококобана).
- название механизма: Hех (Гекс).

При передаче вышеприведенных имен собственных использовались различные варианты транскрипционных и транслитерационных соответствий. Преобразующий перевод

– это использование в качестве соответствия имени собственного, отличного от исходного [1, с. 35]. Этот прием обычно используется для передачи имен собственных, обладающих яркими коннотациями в оригинале, для усиления экспрессивности текста. В тексте анализируемого произведения данный прием используется для передачи следующих имен собственных:

- антропонимов: Lord Downey (лорд Низз), Mr. Teatime (г-н Чайчай), Bowell (Брюхх), Verruca Lumpy (Грибб Почесун), Windle Poons (Ветрум Сдумс), Ponder Stibbons (Думминг Тупс), Violet Bottler (Фиалка Бутылкер).

- теонимы: Hogfather (Санта-Хрякус), Death (Смерть), Soul Cake Duck (Мясленичная утка), Old Man Trouble (Лихо), Verruca Gnome (грибной гномик), Tooth Fairy (зубная фея), Sandman (Песочный человек), Scissor Man (Человек-Руки-Ножницы), Bibulous (Запой), Bilious (Перепой).

- зоонимы: Gouger (Долбила), Rooter (Рывун), Tusker (Клыкач), Snouter (Мордан), Spot (Пятныш).

- топонимов: Ramtops (Овцепики), Howonderland (Очудноземье), Quirm (Щеботан), Treacle Mine Road (улица Паточной Шахты), Shamlegger Srteet (улица Симулянтов), Kicklebury Street (Пиночная улица), Money Trap Lane (Мошеннический переулок), снр. Soake and Dimwell (перекресток Колиглазной и Промочной).

- названий компаний и организаций: Guild of Assassins (Гильдия Наемных Убийц), Unseen University (Незримый Университет), Thieves' Guild (Гильдия Воров), High Energy Magic Building (факультет высокоэнергетической магии), Thimble's Pipe and Tobacco Shop (лавка Монштука).

- названия напитков, блюд, зелий: «Three Wizards» Chardonney (вино «Шёпот волшебника»), Beer «Winkles' Old Peculiar» (пиво «Ухмельное особое»), Fighting Tiger Limpet (злобные тигровые пиявки), Wow-Wow Sauce (соус Ухты-Ухты), Englebert's Enchanter (Усилительное Энглеберта), Spold's Unstirring Divisor (Немутнённый Разделитель Спольда).

- название праздников: Hogswatchnight / Hogswatch (страшество).

При передаче вышеприведенных имен собственных приоритет отдается внутренней форме слова, его семантике. Таких имен собственных в тексте произведения гораздо больше, чем тех, которые были переданы ономастически. Использование так называемых «говорящих» имен помогает создавать художественные образы персонажей и географических мест. Семантическая передача антропонимов акцентирует внимание читателя на роде занятий персонажа (например, Mr. Gaiter), на определенных чертах его характера (например, Ridcully, Crumley, Bibulous, Bilious) или внешности (например, Peachy, Washpot). Сохранение специфической внутренней формы топонимов важно для передачи присущей описываемому месту атмосферы (например, Shamlegger Srteet, Kicklebury Street, Money Trap Lane Howonderland). Так как анализируемое произведение принадлежит жанру юмористического фэнтези, использование имён собственных часто служит достижению комического эффекта. Ярким примером является персонаж по имени corporal Nobbs или Nobby. Существительное nobb имеет следующее значение: a rich person with a high social position [5, p. 960] (высокопоставленное лицо, шишка). Прилагательное nobby переводится как изящный, модный, шикарный, кричащий [2, p. 472]. Описание самого персонажа резко контрастирует с подобными значениями его имени: «the small yet irregularly formed figure» [6, p. 58] – «маленький человечек, весь какой-то кривоватый и неправильный» [3, с. 184].

Его называют a pixie, the creature, person, individual, male. Сам Смерть, заменяющий СантаХрякуса, в замешательстве, к какому виду отнести это создание.

Итак, в анализируемом произведении при передаче имён собственных с английского языка на русский превалирует семантический принцип, что важно для создания художественных образов. Кроме того, имена собственные в творчестве Терри Пратчетта являются важным элементом игры слов и юмора, что делает его книги более интересными и оригинальными.

### Список литературы

1. Ермолович Д.И. Имена собственные на стыке языков и культур. – М.: Валент, 2001. – 200 с.
2. Мюллер В.К. Англо-русский словарь. – М.: Рус.яз., 1990. – 848 с.
3. Пратчетт Т. Санта-Хрякус: Фантастический роман; [пер. с англ. Н. Берденникова, А. Жикаренцева]. – М.: Эксмо, 2011. – 480 с.
4. Солодуб Ю.П., Альбрехт Ф.Б., Кузнецов А.Ю. Теория и практика художественного перевода. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
5. Longman Dictionary of Contemporary English. – Edinburgh: Pearson Education Limited. 2001. – 1668 p.
6. Pratchett T. Hogfather. – London.: Corgi Books, 2006. – 153 p.  
[http://webreading.ru/sf/\\_sf\\_humor/terrypratchett-hogfather.html](http://webreading.ru/sf/_sf_humor/terrypratchett-hogfather.html) (дата обращения: 15.03.2023)

## СЕКЦИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

### ОДНОПОЗИЦИОННОЕ ПЕЛЕНГОВАНИЕ В КВ ДИАПАЗОНЕ С ПОМОЩЬЮ ТРИОРТОГОНАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

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 исследован поляризационный метод пеленгования с помощью триортогональной антенны. С помощью математического моделирования в среде программирования «MATLAB» получены зависимости СКО определения азимута и угла места от отношения сигнал/шум.

**Ключевые слова:** триортогональная антенна, поляризационный метод, однопозиционное пеленгование, КВ диапазон, MATLAB.

Как известно, распространение радиоволны в ионосфере подвержено изменению начальной поляризации электромагнитной волны. Данный эффект обусловлен воздействием магнитного поля на распространяющуюся волну, в результате чего происходит расщепление волны на обыкновенную и необыкновенную составляющие, которые распространяются по разным траекториям [1-4]. В результате в пункте приема образуется волна, которая представляет собой суперпозицию различно поляризационных волн. В общем случае распространяющаяся волна при прохождении через ионосферу имеет эллиптическую поляризацию.

Благодаря важному свойству радиоволн – ортогональности векторов магнитной и электрической составляющих электромагнитного поля к направлению распространения – существует возможность определить азимут и угол места источника радиоизлучения, используя данные о поляризации волны [5].

Пространственное представление радиосигнала представлено на рисунке 1.

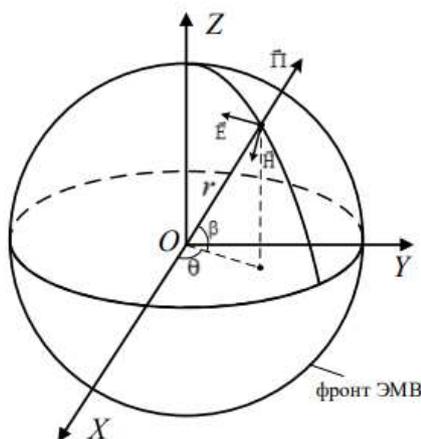


Рис. 1. Пространственное представление радиосигнала

Для определения пеленга ИРИ необходим антенный элемент, который мог бы регистрировать взаимортогональные проекции вектора поля радиосигнала. В качестве такого антенного элемента выступает триортогональная антенна (рис.2).

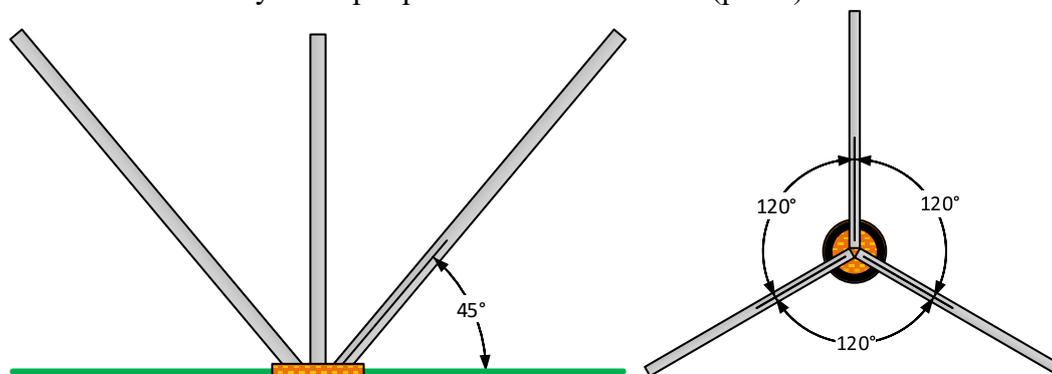


Рис.2. Геометрическая модель триортогональной антенны

Такая антенна позволяет снизить различия влияния подстилающей поверхности Земли на диаграммы направленности ортогональных несимметричных вибраторов в вертикальной плоскости [6,7].

Проекции поля, зарегистрированные ортогональными вибраторами, можно записать в следующем виде [8]:

$$\begin{aligned}\bar{A}_x &= A_x \exp(j\varphi_x), \\ \bar{A}_y &= A_y \exp(j\varphi_y), \\ \bar{A}_z &= A_z \exp(j\varphi_z).\end{aligned}$$

где  $A_x, A_y, A_z$  - амплитуды проекций поля, а  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$  - фазы проекций поля.

В полученные проекции поля с ортогональных несимметричных вибраторов необходимо внести амплитудно-фазовые поправки, связанные с расположением триортогональной антенны относительно системы координат  $(0, x, y, z)$ .

Матрица поворота триортогональной антенны имеет следующий вид:

$$M_A = \begin{pmatrix} 0,7071 & 0 & 0,7071 \\ -0,3536 & 0,6124 & -0,7071 \\ -0,3536 & -0,6124 & 0,7071 \end{pmatrix}$$

Проекции поля с учетом поправки принимают следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \bar{A}_{M_{ax}} \\ \bar{A}_{M_{ay}} \\ \bar{A}_{M_{az}} \end{pmatrix} = M_A * \begin{pmatrix} \bar{A}_x \\ \bar{A}_y \\ \bar{A}_z \end{pmatrix}$$

Азимут и угол места ИРИ можно определить по следующим выражениям [8]:

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{A_{M_{ax}} \sin(\varphi_{M_{ax}} - \varphi_{M_{az}})}{A_{M_{ay}} \sin(\varphi_{M_{az}} - \varphi_{M_{ay}})},$$

$$\operatorname{tg}^2(\beta) = \frac{A_{M_{ax}}^2 A_{M_{az}}^2 \sin^2(\varphi_{M_{ax}} - \varphi_z) + A_{M_{az}}^2 A_{M_{ay}}^2 \sin^2(\varphi_{M_{az}} - \varphi_{M_{ay}})}{A_{M_{ax}}^2 A_{M_{ay}}^2 \sin^2(\varphi_{M_{ay}} - \varphi_{M_{ax}})}.$$

где  $\theta$  - азимут ИРИ,  $\beta$  - угол места ИРИ.

Математическое моделирование алгоритма с представленной триортогональной антенной проводилось в среде программирования «MATLAB».

Для этого моделировалась ЭМВ с эллиптической поляризацией с известным азимутом  $30^\circ$  и углом места  $20^\circ$ . В качестве шума использовался аддитивный гауссов дискретный белый шум с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$ .

Спектры смеси сигнала с шумом в полосе 1 КГц с ортогональных компонент триортогональной антенны при отношении сигнал/шум 3 дБ представлены на рисунке 3.

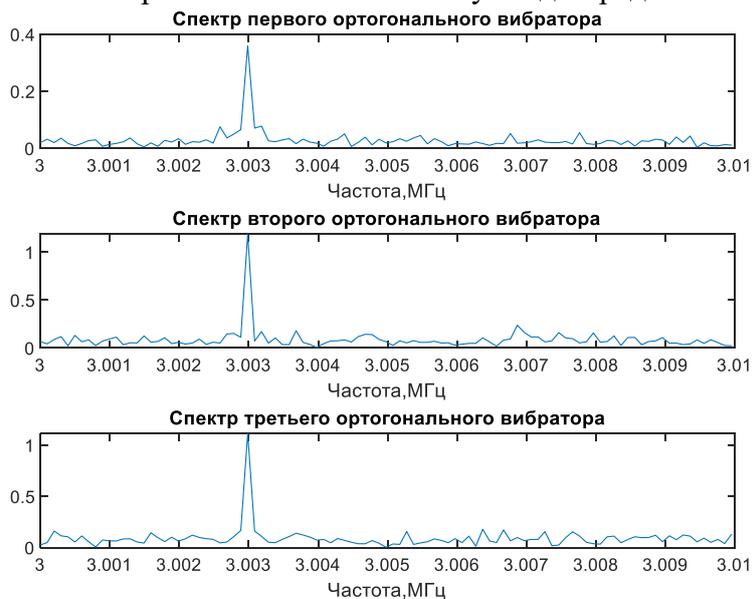


Рис.3. Спектры смеси сигнала с шумом в полосе 1 КГц

Для проверки точности определения азимута и угла места ИРИ было проведено 1000 испытаний для построения зависимости СКО точности определения азимута и угла места от отношения сигнал/шум в полосе 1 КГц.

Полученные зависимости представлены на рисунках 4 и 5.

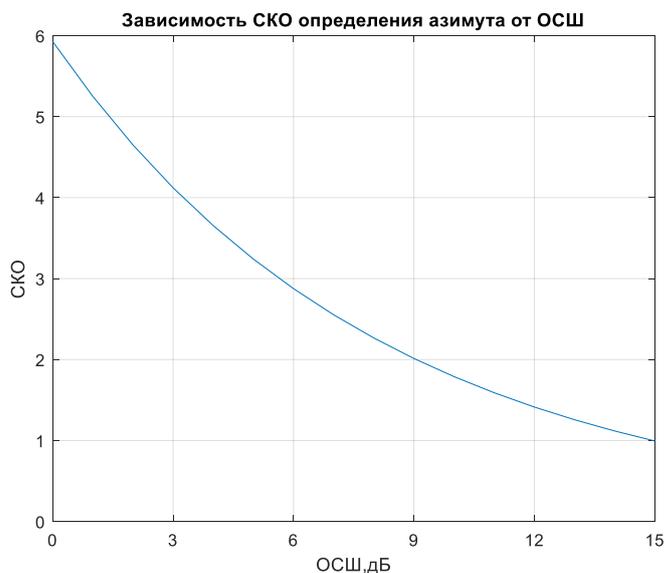


Рис.4. Зависимость СКО определения азимута от ОСШ

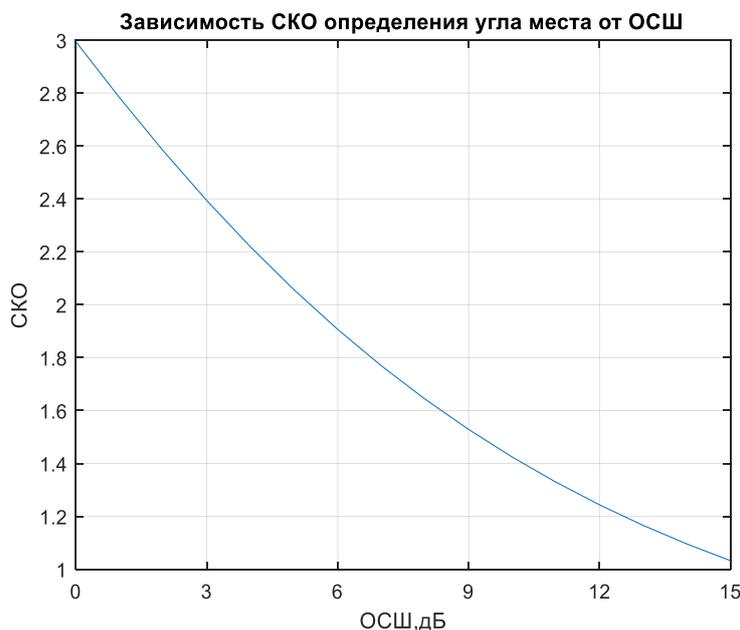


Рис.5. Зависимость СКО определения угла места от ОСШ

По представленным зависимостям можно сделать вывод, что СКО определения азимута и угла места менее  $1^\circ$  градуса достигается при отношении сигнал/шум в полосе 1 КГц при отношении сигнал/шум более 15 дБ, тогда как на практике отношение сигнал/шум в полосе 1 КГц составляет 9-10 дБ. Таким образом, СКО азимута и СКО угла места поляризационным методом составляют  $2^\circ$  и  $1.5^\circ$  соответственно.

### 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.
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. Симонов А.Н., Богдановский С.В. Пространственно-поляризационная модель источника радиоизлучения на основе математики кватернионов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2016. – №5. – С. 60–64.
6. Антенна триортогональная: пат. 2649097 от 28.11.2016 г. / А.В. Иванов [и др.]. – 2016.
7. Демичев И.В. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и основные направления развития радиоэлектроники и образовательного процесса подготовки специалистов радиотехнических систем специального назначения», посвященной 60-летию ЧВВИУРЭ / И.В. Демичев, Д.В. Родин // Научно-обоснованное предложение по технической реализации радиоприемного тракта для регистрации полного вектора электромагнитного поля. – 2017. – № Ч. 4.
8. Афраймович Э. Л., Паламарчук К. С. Спектрально-поляризационный метод анализа интерференционной картины радиосигнала // Изв. Вузов. Радиофизика. – 1998. – Т. XLI. – № 6. – С. 723–734.

## МОДУЛЬ ГЕТЕРОДИНОВ ПРИЕМНИКА С ДВОЙНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ

ЖИРНОВ А.А., ИВАНОВА В.В.

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

**Аннотация.** Рассмотрены ключевые компоненты модуля гетеродинов и основные этапы разработки. Проведено сравнение с существующими аналогами.

*Ключевые слова:* модуль гетеродинов, двойное преобразование частоты

Супергетеродин представляет собой приемник, который способен переносить входной сигнал на промежуточную частоту. Это происходит с помощью смешивания гармонического сигнала и исходного и формирования разностной и суммарной частот. Далее осуществляется фильтрация с целью подавления зеркального канала и усиление сигнала. А гетеродин – это сам генератор, который добавляет к входному сигналу гармонику (рис. 1). Таким образом, данное устройство осуществляет понижение принимаемой частоты.

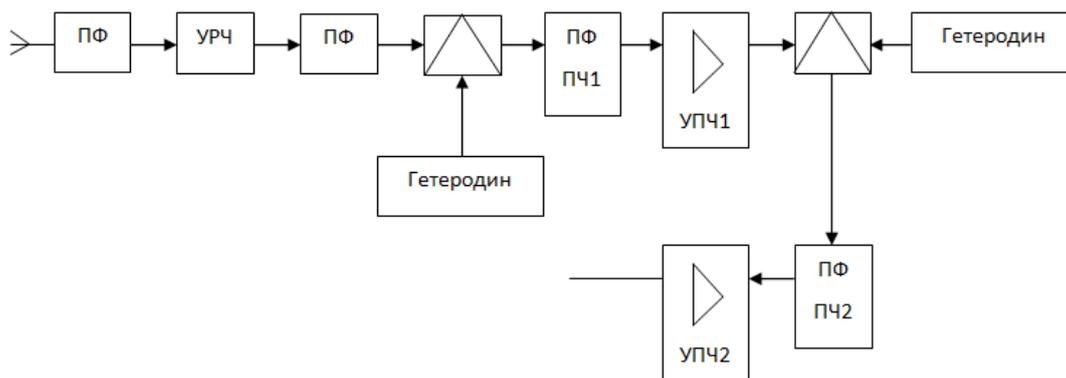


Рис. 1. Структурная схема гетеродина.

Гетеродины нашли применение в радиоэлектронике: они используются в радиотелескопах [2], спутниковых конвертерах [3], радиолокаторах и т.д.

В процессе гетерогенирования появляются дополнительные каналы, при попадании которых в полосу пропускания фильтра могут возникнуть помехи. В связи с этим, гетеродинный приемник должен обеспечивать чистоту спектра [1, 4]. Кроме того, уровень выходного сигнала должен быть устойчивым, а для этого промежуточная частота должна быть низкой. Однако чем выше промежуточная частота, тем проще уменьшить влияние помех. Для того, чтобы обеспечить выполнение обоих требований, применяется двойное преобразование частоты.

Данный метод заключается в понижении частоты в два этапа: сначала в 10-20 раз (происходит фильтрация помех и выделение первой промежуточной частоты), а потом – в 2 раза (выделение рабочей частоты).

Основная идея данного модуля гетеродинов заключается в использовании фазовых сдвигателей на основе метаматериалов в качестве основного компонента для повышения селективности и уменьшения интермодуляционных искажений. Метаматериалы – это искусственно созданные структуры, обладающие уникальными свойствами, которые невоз-

можно найти в природе. В данном случае, метаматериалы могут быть использованы для создания фазовых сдвигателей с высокой точностью и широким диапазоном настройки.

Ключевые компоненты модуля гетеродинного приемника:

1. Фазовые сдвигатели на основе метаматериалов.
2. Микрополосковые фильтры.
3. Локальный генератор.
4. Цифровой сигнальный процессор (ЦОС).

Процесс разработки предполагает следующие этапы:

1. Исследование свойств метаматериалов и определение подходящих типов для использования в фазовых сдвигателях
2. Разработка и оптимизация конструкции фазовых сдвигателей на основе метаматериалов. Этот этап включает моделирование и проектирование фазовых сдвигателей, а также анализ их характеристик, таких как селективность, потери и влияние на интермодуляционные искажения.
3. Создание микрополосковых фильтров на основе метаматериалов, обеспечивающих высокую селективность и низкие потери. Разработка оптимальной топологии и геометрии для обеспечения максимальной эффективности и минимальных искажений.
4. Интеграция локального генератора и Цифрового сигнального процессора (ЦОС) в модуль гетеродинного приемника. Разработка алгоритмов управления и обработки сигналов для оптимизации работы модуля и его адаптации к различным условиям окружающей среды.

К основным характеристикам разрабатываемого модуля гетеродинов относятся повышенная селективность, уменьшение интермодуляционных искажений, а также помехоустойчивость.

Модули гетеродинов с двойным преобразованием частоты (Double Conversion Heterodyne, DCH) имеют ряд преимуществ перед традиционными гетеродинами с одним преобразованием частоты. Они обеспечивают более высокую стабильность частоты и лучшую защиту от помех, что делает их привлекательными для использования в приемниках высокой частоты.

Одним из главных направлений дальнейших исследований в области радиоприемной техники является разработка новых материалов и технологий, которые могут улучшить производительность и эффективность модулей гетеродинов DCH. В частности, исследования метаматериалов и других искусственных материалов могут помочь улучшить эффективность преобразования частоты и уменьшить уровень помех.

### Список литературы

5. Ромашов В.В., Якименко К.А. Программный комплекс для проектирования гибридных синтезаторов частот и моделирования их шумовых характеристик // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2018. № 1. С. 36–44.
6. <https://iaaras.ru/quasar/>
7. <https://forumtech.ru/novosti-v-sfere-telekommunikaczij/sputnikovyj-geterodin>
8. Микитчук К. Б., Чиж А. Л., Скоторенко И. В., Григорьев Е. В., Светличный Ю. А., Сычева А. В. Оптоэлектронный гетеродин X-диапазона со сверхнизким фазовым шумом. Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2019;1(1);204–208.

## ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАБОТЫ С ДИНАМИЧЕСКИМ ОЗУ В ПРОЦЕССОРАХ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

ЗАЙЦЕВ И.А.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В статье рассматриваются алгоритмы транспонирования больших матриц и выделения подматриц для оконной фильтрации с использованием динамической памяти и малой статической буферизацией в распределенных вычислителях. Данные алгоритмы позволяют существенно ускорить системы потоковой обработки изображения в области обращения к динамической памяти, а так же позволяют сократить использование дорогостоящей статической памяти.

*Ключевые слова:* динамическое ОЗУ, статическое ОЗУ, буферизация, ПЛИС, обработка изображения, многопоточность, распределённые вычисления, оконная фильтрация, транспонирование.

### 1. Введение

Современные вычислительные системы потоковой обработки изображения упираются в ряд ограничений по скорости быстрогодействия.

Первым основным ограничением служит малопоточность ЦПУ. Одно ядро процессора ЭВМ в один момент времени способно обрабатывать информацию только об одном пикселе изображения. Данную проблему в современной технике решают использованием специальных вычислителей на базе следующих решений: CPU + GPU, CPU + ASIC, SOC ASIC, SOC FPGA, и.т.д. Это позволяет распараллелить вычисления таким образом, что идёт обрабатывает информацию сразу о нескольких пикселах изображения в один момент времени.

Следующим ограничением служит то, что в процессе обработки необходимо где-то хранить уже обработанную и еще не обработанную части изображения. Иными словами, требуется оперативное запоминающее устройство, при этом обладающее свободным доступом к любым разделам памяти (Random Access). Такое ограничение вызвано необходимостью выполнения таких довольно распространённых операций, как выделения окон в изображении и транспонирование изображения. Оптимальным решением с точки зрения простоты и скорости доступа к памяти является статическое ОЗУ (СОЗУ), однако данный тип микросхем памяти имеет крайне высокую стоимость в пересчёте на объём. Для удешевления вычислителей часто применяют динамические ОЗУ (ДОЗУ), однако в отличие от статической памяти, динамическая обладает не прямым, а псевдопоследовательным доступом. Циклограмма обращения к динамической памяти выглядит как правило так:

- 1) Подаётся на память адрес начала вычитки и сопутствующие сигналы.
- 2) Происходит регенерация памяти (задержка в несколько тактов).
- 3) Память выдает данные по адресам начиная с запрашиваемого, далее последовательно с инкрементацией в единицу (или с другим инкрементом, если такая возможность предусмотрено данным типом микросхем).

Для наглядности представлен рисунок общей теоретической циклограммы (рис.1).

Тем временем, наиболее частые операции при обработке изображения – это классические матричные операции транспонирования и выделения подматриц. Например в контексте оконной фильтрации, БПФ или ДКП [2].

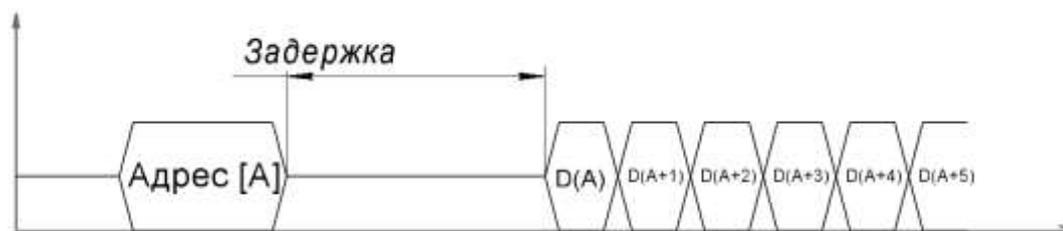


Рис. 1. Общая теоретическая циклограмма работы с динамическим ОЗУ (записи и чтения)

Рассмотрим операцию транспонирования матрицы статическим ОЗУ. Для выполнения операции нужно записать матрицу изображения с постоянной инкрементацией адреса для записи значения каждого пиксела. То есть на шине адреса будут значения  $0, 1, 2, 3, \dots, n \cdot m$ , где  $n$  и  $m$  – размеры матрицы изображения по вертикали и по горизонтали. Для чтения понадобится побитовой переставить местами относительно центра младшую и старшую половины вектора шины адреса (рис.2). Таким образом будут вычитываться  $1, m, 2m, 3m, \dots, m \cdot (n-1), 2, m+1, 2m+1, \dots, m \cdot n$  адреса.

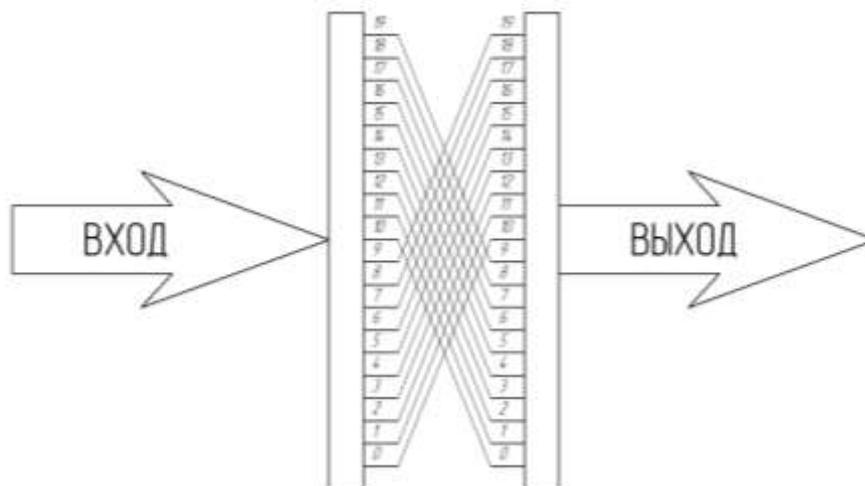


Рис. 2. Схема преобразования шины адреса. В данном примере  $n=m=2^{10}=1024$

Однако при обращении подобным образом к разным адресам на динамической памяти, придется для каждого значения высылать адрес, ждать регенерацию, и только после этого получать одно единственное значение пиксела. Если принять время посылки адреса и время регенерации за  $[t]$ , то время прямой записи изображения составит  $t+(m \cdot n)$ , в то время как чтение транспонированного изображения будет  $t \cdot m \cdot n$ , то есть в  $t-1$  раз дольше (1).

$$\frac{t_{\text{Записи}}}{t_{\text{Чтения}} \Big|_{\text{DRAM}}} = \frac{t_{\text{Задержки}} + m \cdot n}{t_{\text{Задержки}} \cdot m \cdot n}$$

## 2. Принцип оконной буферизации.

В основе первого предложенного алгоритма лежит использование малого буфера статической памяти, куда последовательно вычитываются подматрицы исходной записанной матрицы изображения. Пусть изображение имеет размеры  $m \cdot n$  пикселов, а размер окна будет  $i \cdot i$  пикселов (рис.3). Время задержки на переобращение к памяти –  $t_{\text{Задержки}}$ .

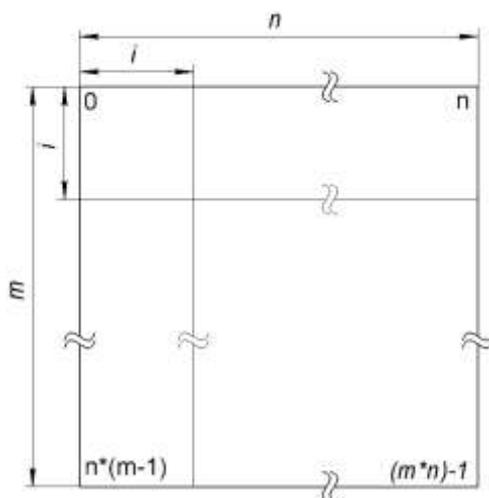


Рис. 3. Схема буферизации изображения

Изображение было записано в ОЗУ по линейно возрастающим адресам (на рис.3 – построчно слева направо, строки сверху вниз). В контексте задачи транспонирования в буфер статической памяти размером  $2i*m$  записываются в порядке возрастания адреса данные изображения в текущем окне  $i*m$ , формируя таким образом нетранспонированную подматрицу  $i*m$  матрицы  $n*m$ . Операцией рассмотренной во введении, производится транспонирование и вычитывание подматрицы из буфера, в то время, как оставшуюся незанятой часть буфера записывается окно такого же размера, но со сдвигом по горизонтали на  $i$ . Операция повторяется до полной обработки всего объема ДОЗУ. Ансамбль всех окон образует  $n/i$  подматриц, транспонированных относительно оригинальной матрицы. Идея выигрыша в скорости заключается в том, что время, затраченное на транспонирование подматрицы  $i*m$  составляет:

$$t_{работы\_СОЗУ} + (t_{задержки\_ДОЗУ} + i) \cdot m$$

Т.к. статическое ОЗУ (СОЗУ) не прекращает своей работы в процессе транспонирования, то будем считать буферизацию как сдвиг во времени. Тогда время транспонирования всего изображения будет:

$$t_{работы\_СОЗУ} + \frac{n}{i} \cdot (t_{задержки\_ДОЗУ} + i) \cdot m$$

Тогда выигрыш составит:

$$\frac{t_{задержки\_ДОЗУ} \cdot m \cdot n}{\frac{n}{i} \cdot (t_{задержки\_ДОЗУ} + i) \cdot m} = \frac{t_{задержки\_ДОЗУ} \cdot m \cdot n}{\frac{t_{задержки\_ДОЗУ} \cdot m \cdot n}{i} + m \cdot n} = \frac{t_{задержки\_ДОЗУ} \cdot i}{t_{задержки\_ДОЗУ} + i} \text{ раз}$$

Если в процессе изображения были прерывания, то можно подобрать такое значение  $i$ , что  $t_{записи}$  будет равно  $t_{чтения}$ .

### 3. Принцип параллельной работы нескольких блоков памяти.

Идея заключается в том, что в каждый из  $i$  блоков памяти записывается своя строка изображения (рис.4). Но читаться могут сразу  $i$  блоков одновременно. В итоге вычитываться будут подматрицы размером  $i$  пикселей по вертикали и 1 пиксель по горизонтали.

Последовательная конкатенация этих подматриц даст транспонированную оригинальную матрицу.

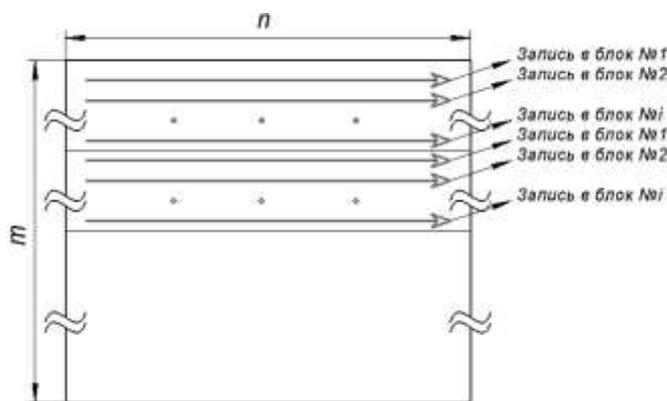


Рис. 3. Схема записи изображения

Таким образом время транспонирования составит:

$$(t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}} + 1) \cdot \frac{m}{i} \cdot n$$

И выигрыш от использования алгоритма:

$$\frac{n \cdot m \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}}{(t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}} + 1) \cdot \frac{m}{i} \cdot n} = \frac{n \cdot m \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}}{\frac{n \cdot m \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}}{i} + \frac{n \cdot m}{i}} = \frac{i \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}}{1 + t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}} \text{ раз}$$

Если объединить оба метода, т.е. вычитывать в буфер по  $j$  блоков параллельно, то время транспонирования составит:

$$(t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}} + j) \cdot \frac{m}{i} \cdot \frac{n}{j}$$

И выигрыш во времени составит:

$$\frac{n \cdot m \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}}{(t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}} + j) \cdot \frac{m}{i} \cdot \frac{n}{j}} = \frac{n \cdot m \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}}{\frac{n \cdot m \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}}{i \cdot j} + \frac{n \cdot m}{i}} = \frac{i \cdot t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}} \cdot j}{j + t_{\text{Задержки\_ДОЗУ}}} \text{ раз}$$

**Вывод:** предложенные алгоритмы серьезно ускоряют работу с динамической памятью. Данные алгоритмы оперируют подматрицами, которые можно выделять условно свободного размера и сразу использовать в операциях оконной фильтрации изображения.

### Список литературы

1. Беклемищев Д.Н., А.Н. Орлов, А.Л. Перерезов, М.Г. Попов, А.В. Горячев, А.И. Кононова. Микропроцессорные средства и системы: Курс лекций / под ред. Ю.В. Савичева — М.: МИЭТ, 2013 288с.//
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений Издание 3-е, Москва: Техносфера, 2012. – 1104 с.,
3. Новосельцева Т.Я., Пухальский Г.И. Цифровые устройства, СПб, Политехника, 1996, 885с.
4. Сергиенко А.Б. – Цифровая обработка сигналов. Конспект лекций, СПб.: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019.
5. Титце У., Шенк К., Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том I: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.: ил
6. Титце У., Шенк К., Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том II: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 942 с.: ил.

7. Харрис С.Л., Харрис Д., Цифровая схемотехника и архитектура компьютера: RISC-V / пер. с англ. В. С. Яценкова, А. Ю. Романова; науч. ред. рус. перевода А. Ю. Романов. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 808 с.: ил.

## УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОСОВЫМИ ФИЛЬТРАМИ НА ВАРИКАПАХ

Т.Е. САМСОНОВА

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

**Аннотация.** Рассмотрен вариант реализации устройства управления полосовыми фильтрами на варикапах. Описан состав опытного образца, приведены фотографии и результаты его работы.

**Ключевые слова:** устройство управления, перестраиваемый полосовой фильтр, варикап.

Полосовые фильтры (ПФ) предназначены для пропускания спектральных составляющих в определенном диапазоне частот и их подавления вне этого диапазона. В отдельных случаях для работы прибора или системы может потребоваться использование полезного сигнала с изменяющейся частотой (во времени или в зависимости от места расположения установки), как например в пассивной когерентной радиолокации [1].

Возможны следующие варианты решения данной задачи:

- набор ПФ с фиксированными характеристиками под каждую заранее известную частоту (канал);
- один перестраиваемый ПФ.

Количество фильтров в наборе зависит от ширины рабочего диапазона частот, требуемой ширины полосы пропускания отдельного канала и степени перекрытия соседних каналов. В результате может потребоваться большое количество фильтров и, следовательно, увеличение габаритов конечного изделия. Кроме того, обязательно должно присутствовать устройство для переключения между каналами.

Перестраиваемые фильтры могут проигрывать по параметрам АЧХ отдельным ПФ, однако они позволяют миниатюризировать изделие и снизить его стоимость. Актуальной задачей для работы с такими ПФ является создание электронного устройства управления.

Пример опытного образца ПФ с диапазоном перестройки от 410 до 760 МГц, разработанного одним из сотрудников кафедры РЭС СПбГЭТУ «ЛЭТИ» по [2], показан на рис. 1.

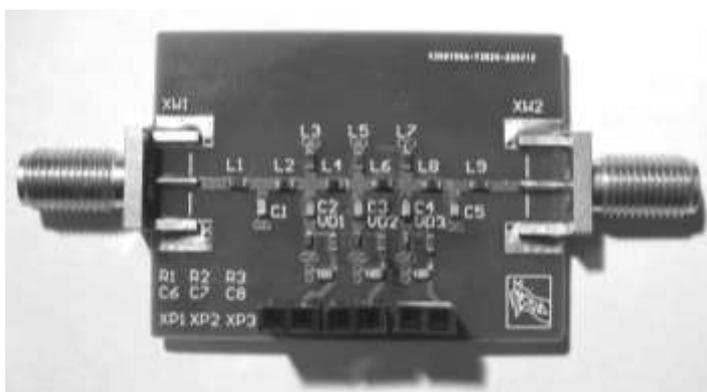


Рис. 1. Перестраиваемый ПФ

Управляющими элементами в подобных ПФ являются варикапы. В данном варианте используются 3 варикапа SMV1235-079LF фирмы Skyworks с диапазоном изменения емкости от 2,4 до 18,2 пФ при изменении напряжения от 0 до 15 В соответственно.

Разработанный опытный образец устройства управления, структурная схема которого рассмотрена в [3], предназначен для ручного использования и выполнен в стандартном корпусе G1910 (фирма Gainta, размеры – 115×83×32 мм). Взаимодействие с пользователем осуществляется с помощью резистивного сенсорного экрана цветного дисплейного модуля (разрешение 320×480 пикселей, рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид устройства управления

Внешнее напряжение питания +5 В подается через USB-разъем типа B. Управление перестраиваемым ПФ осуществляется через разъем IDC-08MR. Включение и отключение устройства производится соответствующей кнопкой.

Внутри корпуса расположен печатный узел, выполненный на двухсторонней печатной плате (рис. 3).

Формирование уровней управляющих напряжений осуществляется двумя сдвоенными 256-позиционными цифровыми потенциометрами AD5262BRUZ20 фирмы Analog Devices. В отличие от многих микросхем такого функционального назначения, они могут работать при однополярном напряжении +15 В, которое получается из внешнего питания с помощью повышающего преобразователя и стабилизатора.

Для хранения настроек, а также выводимых на дисплей изображений и шрифтов используется микросхема flash-памяти объемом 8 Мбайт.

Управляет работой изделия микроконтроллер STM32G473VBT6 фирмы STMicroelectronics, имеющий в составе следующую основную периферию:

- аппаратные интерфейсы для обмена большими объемами информации с дисплеем по 16-битной параллельной шине данных (FMC) и с flash-памятью (QPI-интерфейс);
- аппаратный 9-битный SPI-интерфейс для передачи команд потенциометрам (9-й бит используется для выбора одного из двух потенциометров в каждой микросхеме);
- дополнительный аппаратный SPI-интерфейс для взаимодействия с сенсорным экраном дисплейного модуля;
- часы реального времени (для их работы при отключенном питании предусмотрена батарейка и кварцевый резонатор с частотой 32,768 кГц);

- ЦАП для управления яркостью дисплея;
- АЦП для измерения напряжений на аккумуляторе и USB-разъеме;
- аппаратный USB-интерфейс для взаимодействия с персональным компьютером.

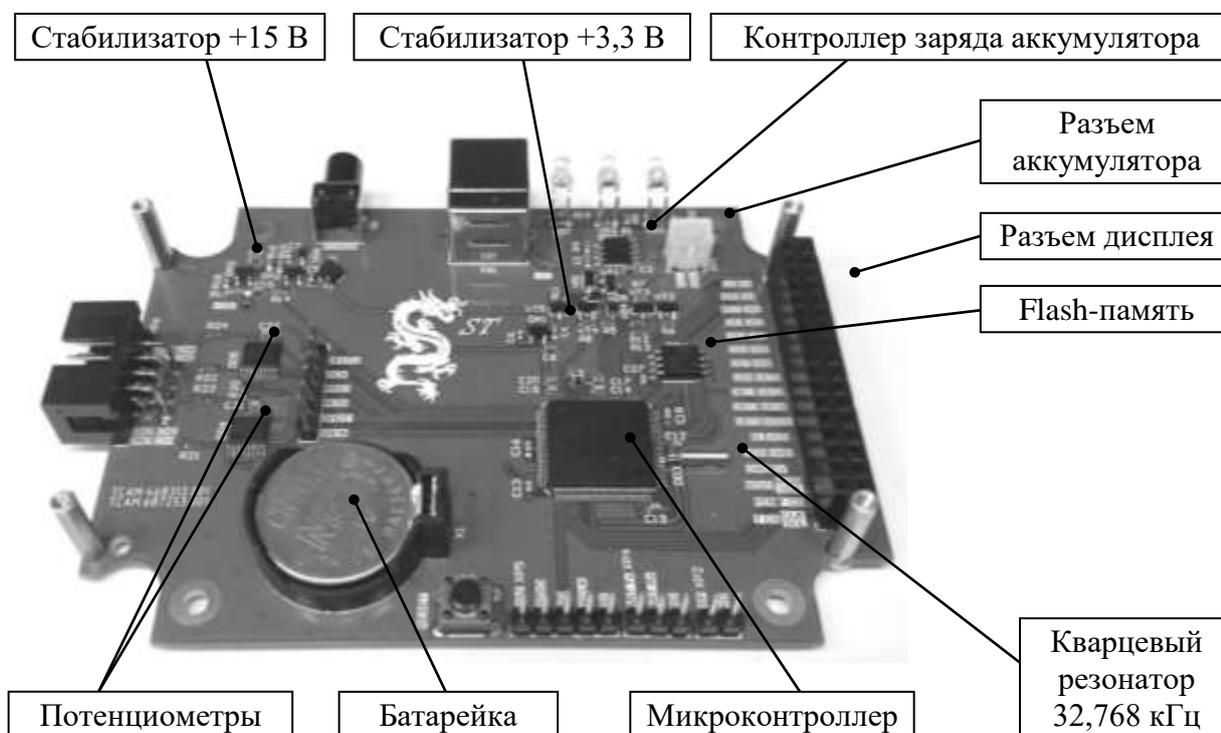


Рис. 3. Печатный узел

Для автономной работы используется плоский литий-полимерный аккумулятор емкостью 1300 мАч, который устанавливается на нижнюю крышку корпуса под плату. Управление процессом его заряда осуществляет микросхема контроллера заряда TP4056.

Выбор источника питания (внешнее или аккумулятор) производится автоматически с помощью схемы сравнения по наибольшему значению напряжения. Ее выход подключен к стабилизатору +3,3 В, от которого подается питание на все цифровые компоненты.

Для создания программного обеспечения использовалась среда разработки STM32CubeIDE и библиотека CMSIS (для удобства обращения к регистрам). Элементы реализации пользовательского интерфейса (заставка, главный экран, информация об изделии) показаны на рис. 4.



Рис. 4. Пользовательский интерфейс

Результат работы устройства с использованием векторного рефлектометра СВАН R140 показан на рис. 5. Для комбинации управляющих напряжений на каналах 1–3 (6, 5,88 и 6,46 В соответственно) для ПФ с рис. 1 была установлена центральная частота полосы пропускания 646 МГц.

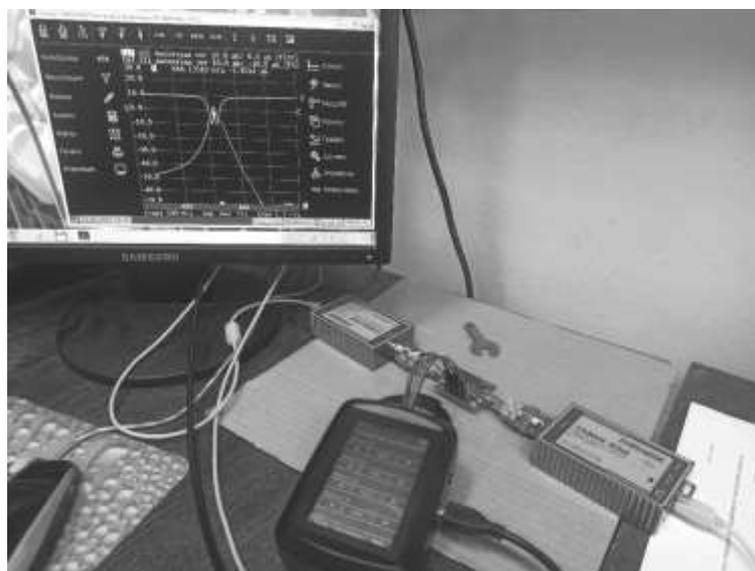


Рис. 5. Управление перестраиваемым ПФ

В настоящее время продолжают работы, направленные на расширение функциональных возможностей работы с устройством, в частности:

- сохранение во flash-память и работа с несколькими комбинациями напряжений для различных ПФ;
- взаимодействие с компьютером по интерфейсу USB, что в том числе позволит использовать изделие в составе комплекса автоматической настройки АЧХ;
- управление уровнем заряда аккумулятора;

- совершенствование режима энергосбережения при питании от аккумулятора;
- использование дисплейного модуля с емкостным сенсорным экраном.

### Список литературы

1. Пассивная когерентная радиолокация / А. В. Бархатов, В. И. Веремьев, Е. Н. Воробьев и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 163 с.
2. Холодник Д. В., Замешаева Е. Ю. Фильтры СВЧ на элементах с сосредоточенными параметрами / под ред. Д. В. Холодника. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. 155 с.
3. Самсонова Т. Е. Структура устройства управления полосовыми фильтрами на варикапах // Инфокоммуникационные технологии в цифровом мире: сб. докл. науч.-техн. шк.-семинара. Санкт-Петербург, 7-10 декабря 2022г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. 100 с.

## ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН КВ ДИАПАЗОНА

М.И. СУГАК, Г.А. КОСТИКОВ, В.А. СУЧКОВ

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Представлена методика экспериментального определения коэффициента усиления ферритовых антенн КВ диапазона с помощью ТЕМ-камеры, приведено обоснование используемого подхода, показаны частотные зависимости коэффициента усиления ферритовой антенны КВ диапазона при перестройке в полосе частот 3-10МГц.

*Ключевые слова:* ферритовая антенна, коэффициент усиления, ТЕМ-камера

Ферритовые стержневые антенны (ФА) относятся к классу электрически малых (ЭМА) и, следовательно, обладают всеми вытекающими особенностями этих устройств: узкой относительной полосой рабочих частот и низким значением КПД. Вместе с тем, они находят широкое применение в устройствах радионавигации, связи, системах определения тела человека в лавине, вещательных радиоприёмниках и пр. Заметим, что наиболее широкое применение они получили в качестве приемных антенн ДВ и СВ диапазонов, т.к. на этих длинах волн возможно изготовление ферритовых стержней с малыми потерями при сравнительно низких требованиях к качеству материала и технологии производства. В некоторых случаях целесообразно их применение в качестве приемо-передающих антенн и на более высоких частотах.

Вопросы расчета характеристик ФА (прежде всего КУ и КПД), несмотря на значительный период времени их использования, в литературе раскрыты недостаточно глубоко. Особенно остро это проявляется для ФА в КВ и УКВ диапазонах. Беглый анализ литературных источников [1-4], показывает, что некоторые аспекты расчета КУ ФА является актуальным и по сей день. В этой связи достаточно остро стоит вопрос экспериментального определения КУ в лабораторных условиях. Задача экспериментального определения частотной зависимости КУ ФА вызывает определенные трудности, обусловленные отсутствием эталонной антенны и высокими техническими требованиями к испытательному полигону, по этой причине целесообразно применение ТЕМ-камеры.

Цель данной работы заключается в измерении частотных зависимостей КУ ряда стержневых ФА КВ диапазона, выполненных на основе распространенного материала М400НН. Основным методом измерений в данной работе является метод калиброванной ТЕМ-камеры, обладающий достаточной точностью и помехозащищенностью по причине контролируемой окружающей электродинамической обстановки. Измерение КУ ФА выполнялось по методике, изложенной в работе [5], заключающейся в помещении исследуемой антенны в калиброванную камеру, измерении коэффициента передачи между портом возбуждения камеры и выходом антенны и последующей обработкой результатов измерений. Камера имела размеры 3030 x 810 x 910 мм<sup>3</sup> и была предварительно откалибрована с применением измерителя уровня поля в диапазоне частот 0-30 МГц.

По полученному из эксперимента набору значений коэффициента передачи, КУ рассчитывался по следующей формуле:

$$G = \frac{8\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{W}{|\vec{E}|^2} K_P \cdot P_{in}, \text{ где}$$

$G$  – коэффициент усиления (дБи),  $\lambda$  – длина волны,  $W$  – волновое сопротивление камеры (150 Ом),  $|\vec{E}|$  – напряжённость электрического поля в камере,  $K_P$  – коэффициент передачи по мощности,  $P_{in}$  – входная мощность.

Эффективность и точность антенных измерений по данной методике иллюстрирует рис.1. Здесь представлены частотные зависимости КУ коротких рассогласованных монополей, обладающих весьма низким КУ, вполне соизмеримым с КУ ФА (расчет и эксперимент). Приведённые кривые позволяют утверждать о состоятельности применяемой методики в КВ диапазоне.

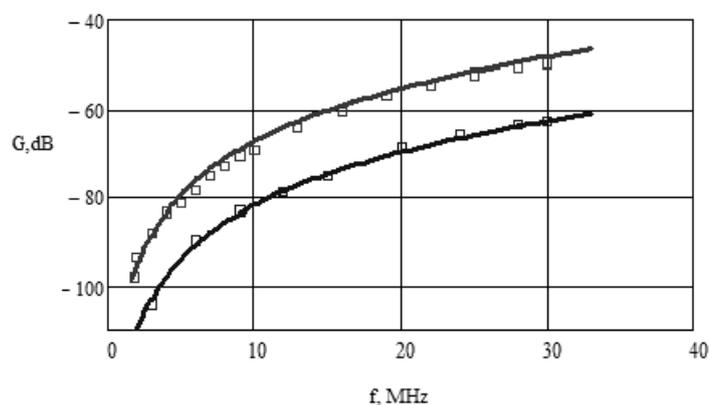


Рис. 1 Расчетная (сплошной линией) и экспериментальная (маркеры) частотные зависимости КУ коротких рассогласованных штыревых антенн

Исследуемые ФА были выполнены на ферритовом стержне марки М400НН с размерами: длина - 160 мм, диаметр - 8 мм, частотные зависимости коэффициентов отражения приведены на рис. 2. Измерения выполнялись векторным анализатором цепей «Arinst VNA» PR-1.

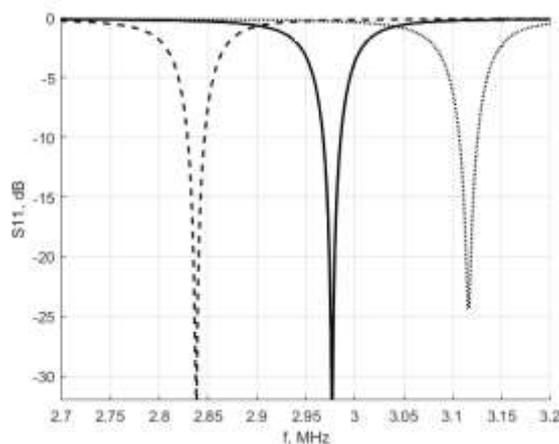


Рис. 2 Частотные зависимости коэффициента отражения ФА при перестройке в полосе 2.8 – 3.15 МГц

Результаты измерений КУ ФА приведены на рис. 3. Здесь обращает на себя внимание заметный рост пикового значения КУ в полосе частот 1-7 МГц, обусловленный увеличением электрических размеров антенны с частотой при незначительном уменьшении потерь в ферритовом материале.

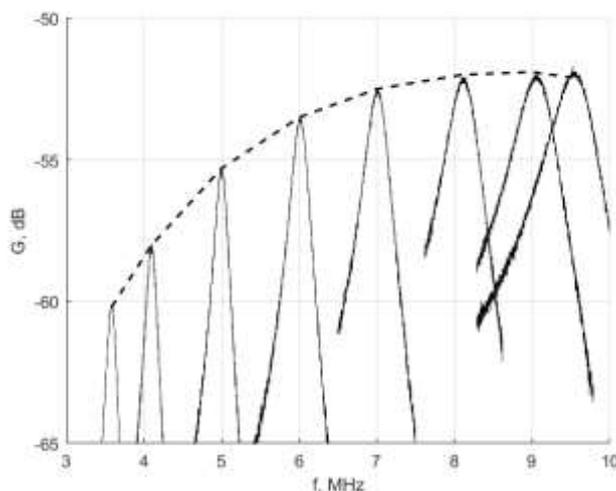


Рис. 3 Семейство частотных зависимостей КУ ФА при перестройке максимума в полосе 3-10 МГц

При этом нужно отметить рост относительной полосы рабочих частот, обусловленный увеличением тепловых потерь в материале (рис.3).

### Список литературы

1. Sugak M.I., Kostikov G.A., Ballandovich S.V., Liubina L.M., Antonov Y.G. Gain Estimation for Electrically Small Antennas with the Use of the Near-Field Zone Measurements.
2. Constantine A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design, 4th Edition", John Wiley & Sons, 2016, 1104 p
3. Хомич В.И. "Ферритовые антенны" М., "Энергия", 1969, 96 стр.
4. Kai Chang "Encyclopedia of RF and microwave engineering", John Wiley & Sons, 2005.
5. Ю.Г. Антонов, М.И. Сугак, Г.А. Костиков Измерение характеристик средневолновой антенны радиопеленгатора в ТЕМ-камере. СПбНТОРЭС: Труды ежегодной НТК, номер: 1 (76), год: 2021, стр.: 33-35. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОС ПРОПУСКАНИЯ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ С ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ НА ДВУХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЧАСТОТАХ

ЧАН Х.Н.<sup>1</sup>, ПОДСТРИГАЕВ А.С.<sup>1</sup>, НГУЕН ЧОНГ НХАН<sup>1</sup>, ИКОНЕНКО Д.А.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО

**Аннотация.** Рассматриваются результаты моделирования процесса обработки различных типов сигналов: немодулированного радиоимпульса, сигналов с двоичной и квадратурной фазовой манипуляцией. Для классификации этих сигналов используется алгоритм с детектированием на двух промежуточных частотах. Исследовано влияние полос пропускания полосовых фильтров на входах детекторов на вероятность правильной классификации принятых сигналов. Показано, что указанные полосы должны приблизительно в два раза превышать спектр ожидаемого сигнала.

*Ключевые слова:* простой импульсный сигнал, сигнал с двоичной фазовой манипуляцией, сигнал с квадратурной фазовой манипуляцией, полосовой фильтр

### Введение

В современных источниках радиоизлучений (ИРИ) широко используются простые и сложные сигналы [1-6], образуя сложную сигнальную обстановку для средств радиомониторинга [7-9]. Поэтому в средствах радиомониторинга применяются различные подходы к обработке этих сигналов с целью извлечения необходимой информации [10-12]. Для решения задачи классификации ИРИ при отсутствии априорных сведений о параметрах сигналов тип модуляции сигналов может определяться, например, с помощью алгоритма классификации с детектированием на двух промежуточных частотах [15-17]. Данный алгоритм принимает решение о типе сигнала на основании результатов сравнений с заданными пороговыми значениями следующих величин: коэффициента наклона линейной аппроксимации закона изменения частоты  $a$ , дисперсии значений несущей частоты и провалов в огибающих сигналов на промежуточной и удвоенной промежуточной частотах. Алгоритм позволяет классифицировать немодулированные радиоимпульсы (РИ), сигналы с ЛЧМ+ (линейной частотной модуляцией с возрастающим законом изменения частоты) и ЛЧМ– (линейной частотной модуляцией с убывающим законом изменения частоты), а также фазоманипулированные сигналы с двоичным (ДФМ) и квадратурным (КФМ) законами чередования фаз.

Для ЛЧМ-сигналов модуль коэффициента  $a$  зависит от скорости изменения частоты, а его знак – от направления изменения частоты. Для сигналов с ЛЧМ+ коэффициент  $a > 0$ , а для сигналов с ЛЧМ–:  $a < 0$ .

Для РИ функция аппроксимации значений несущих частот на интервале существования импульса имеет параметр  $a = 0$ . При приеме РИ после полосовой фильтрации и детектирования сигналов их огибающие не имеют провалов.

Для ДФМ- и КФМ-сигналов коэффициент  $a \approx 0$ . Огибающая на выходе детектора имеет провалы для обоих типов сигналов. После удвоения частоты огибающая ДФМ-сигнала имеет гладкую форму, а для КФМ-сигнала имеется провал.

Сравнение вероятности верной классификации данных сигналов в зависимости от отношения сигнал-шум (ОСШ) выполнено в [16, 17]. Однако, не было исследовано влияние полос пропускания полосовых фильтров (ПФ), выделяющих полосы для детектирования, на эти зависимости при приеме РИ, ДФМ- и КФМ-сигналов. Это не позволяет полностью оценить эффективность работы алгоритма.

С учетом сказанного выше, целью этой работы является исследование влияния полос пропускания ПФ на зависимости вероятности верной классификации РИ, ДФМ- и КФМ-сигналов от ОСШ в алгоритме классификации с детектированием на двух промежуточных частотах.

### **Результат моделирования процесса обработки РИ, ДФМ- и КФМ-сигналов алгоритмом классификации с детектированием на двух промежуточных частотах**

Для оценки влияния полос пропускания фильтров на вероятность верной классификации сигналов и определения приемлемых полос пропускания проведено моделирование работы алгоритма классификации в среде MATLAB.

При моделировании задавались следующие исходные данные:

1. Для входных сигналов: длительность РИ, ДФМ- и КФМ-сигналов – 5 мкс; длительность элемента кода ДФМ- и КФМ-сигналов – 0,5 мкс; несущая частота РИ, ДФМ- и КФМ-сигналов варьировалась от 50 МГц до 450 МГц; начальная фаза РИ – случайная; начальная фаза ДФМ- и КФМ-сигналов – 0; частота дискретизации – 1 ГГц. Гауссовский белый шум имел нулевое среднее значение и единичное среднеквадратическое отклонение. Амплитуда сигналов менялась для обеспечения дискретных значений ОСШ от –20 дБ до 5 дБ.

2. Для алгоритма классификации сигналов [15-17]: вид взвешивающего окна – прямоугольное; количество отсчетов быстрого преобразования Фурье в каждом сегменте – 1024; количество отсчетов наложения двух последовательных сегментов – 0; вероятность ложной тревоги –  $10^{-7}$ ; промежуточная частота – 50 МГц; полосы пропускания ПФ – 2, 4, 6, 8, 10 МГц.

Результаты моделирования представлены на рис. 1.

### **Выводы**

Анализ полученных результатов (рис. 1) позволяет сделать следующие выводы:

1. Для всех типов сигналов с увеличением полосы пропускания ПФ вероятность верной классификации уменьшается. Это связано с тем, что увеличение полосы пропускания ПФ приводит к увеличению шума на выходе ПФ, что ухудшает чувствительность алгоритма.

2. Для ДФМ-сигнала (рис. 1, б) при полосах пропускания ПФ, равных ширине спектра ДФМ-сигнала (2 МГц), вероятность верной классификации ДФМ-сигнала не достигала единицы даже при высоком входном ОСШ 5 дБ. Это связано с тем, что из-за погрешности определения несущей частоты ДФМ-сигнала при заданных полосах пропускания полосовые фильтры пропускали неточные частотные составляющие, которые создавали провалы огибающих на промежуточной и удвоенной промежуточной частотах.

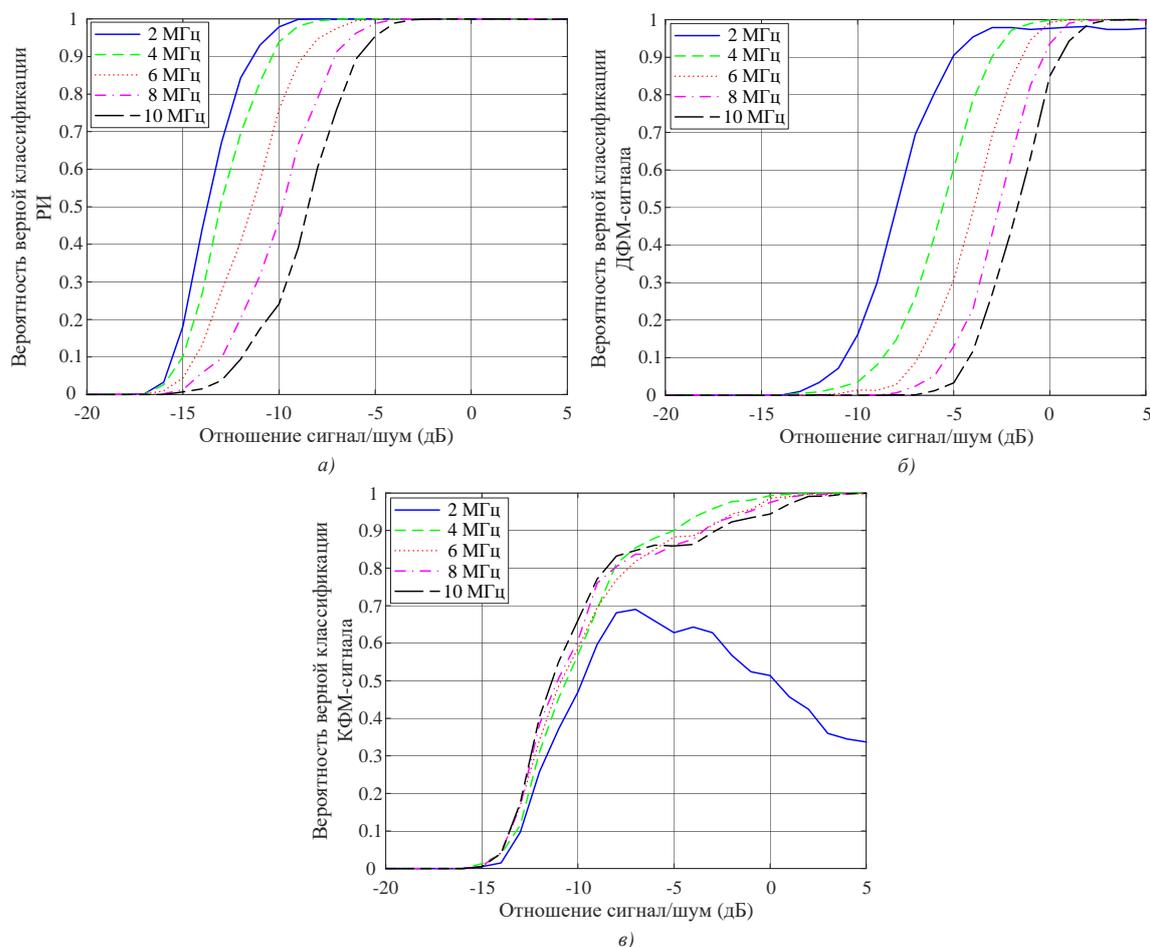


Рис. 1. Зависимости вероятности верной классификации сигналов от ОСШ при разных полосах пропускания полосовых фильтров: а – РИ; б – ДФМ; в – КФМ

3. При использовании полос ПФ, равных ширине спектра КФМ-сигнала, уменьшенных на 2 МГц, алгоритм классификации показал низкую эффективность (см. рис. 1, в). Это объясняется тем, что фильтры не пропускали достаточное количество частотных составляющих, что приводило к образованию провалов в огибающих на промежуточных и удвоенных частотах.

Таким образом, увеличение полосы пропускания ПФ позволяет алгоритму классификации сигналов с детектированием на двух промежуточных частотах повысить вероятность верной классификации сигналов при высоком ОСШ, однако снижает его чувствительность. Поэтому приемлемую для практики ширину полос пропускания ПФ в алгоритме целесообразно выбирать, исходя из примерно двукратного превышения спектра ожидаемого сигнала.

## Список литературы

1. Ivanov S. I., Kuptsov V. D., Fedotov A. A. The signal processing algorithm of automotive FMCW radars with an extended range of speed estimation // Journal of Physics: Conference Series. Saint Petersburg: Institute of Physics Publishing. 2019. Vol. 1236. P. 012081. DOI: 10.1088/1742-6596/1236/1/012081
2. Лихачев В. П., Нгуен Х. Ф. Определение координат источника радиоизлучения линейно-частотно-модулированных сигналов однопозиционным разностно-дальномерным способом // Успехи современной радиоэлектроники. 2022. Т. 76. № 1. С. 59-68. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700784-202201-05>

3. Купряшкин И. Ф., Соколик Н. В. Алгоритм обработки сигналов в радиолокационной системе с непрерывным частотно-модулированным излучением в интересах обнаружения малозаметных воздушных объектов, оценки их дальности и скорости движения // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2019. № 1. С. 39-55. URL: <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2019-22-1-39-47>
4. Дворников С. В., Дворников С. С., Жеглов К. Д. Проактивный контроль пригодности радиоканалов в режиме ППРЧ // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 11. С. 15-20. DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-11-15-20
5. Автомобильная сверхкороткоимпульсная радиолокационная станция обеспечения безопасности движения и контроля дорожной обстановки / В. А. Биусова, А. В. Кочетов, Г. В. Комаров, П. С. Панфилов, В. А. Парусов // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 9. С. 26-30. DOI: 10.21778/2218-5453-2019-9-26-30
6. Спектрально-эффективные сигналы с непрерывной фазой / С. В. Дворников, С. С. Дворников, С. С. Манаенко, А. В. Пшеничников // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2016. Т. 12. № 2. С. 87-93.
7. Кирсанов Э. А., Сирота А. А. Обработка информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга: статистический и нейросетевые подходы. М.: Физико-математическая литература, 2012. 344 с.
8. Podstrigaev A. S., Smolyakov A. V., Maslov I. V. Probability of Pulse Overlap as a Quantitative Indicator of Signal Environment Complexity // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2020. № 23(5). С. 37-45. DOI: 10.32603/19938985-2020-23-5-37-45
9. Подстригаев А. С., Смоляков А. В., Лихачев В. П. Выбор приемника для широкополосного анализа сигнальной обстановки на основе оценки ее сложности // Радиотехника. 2022. Т. 86. № 1. С. 143–153. DOI: 10.18127/j00338486-202201-19
10. Nhan N. T., Podstrigaev A. S., Nghi T. H. A Mathematical Model for Determining the Type of Signal Modulation in a Digital Receiver with Autocorrelation Processing // 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). St. Petersburg. 2021. P. 1650-1654. DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396097
11. Подстригаев А. С., Смоляков А. В., Лихачев В. П. Программно-определяемые средства широкополосного анализа сигналов на основе технологии субдискретизации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. 184 с.
12. Подстригаев А. С. Повышение эффективности матричного приемника в сложной сигнальной обстановке на основе оптоволоконной линии задержки // Труды МАИ. 2021. № 116. DOI: 10.34759/trd-2021-116-08
13. Study of detection characteristics in recognition of simple radio pulses and signals with lfm and psk in the autocorrelation receiver / N. T. Nhan, A. S. Podstrigaev, V. P. Likhachev, A. A. Veselkov, V. V. Davydov, N. S. Myazin, S. S. Makeev // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems: 20th International Conference, NEW2AN 2020. St. Petersburg. 2020. P. 415-423. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65726-0\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65726-0_37)
14. Дворников С. В., Дворников С. С., Коноплев М. А. Метод формирования признаков для распознавания радиосигналов с близкой частотно-временной структурой // Цифровая обработка сигналов. 2011. № 1. С. 24-27.
15. Патент № 2789386 С1 Российская Федерация, МПК G01R 23/16. Способ классификации сигналов / Х. Н. Чан, А. С. Подстригаев, Ч. Н. Нгуен; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова. № 2022119784; заявл. 19.07.2022; опубл. 02.02.2023, Бюл. № 4. 12 с.
16. Чан Хью Нгхи, Подстригаев А. С., Нгуен Чонг Нхан. Алгоритм классификации сигналов с детектированием на двух промежуточных частотах для средств радиотехнического мониторинга // Успехи современной радиоэлектроники. 2022. Т. 76. № 7. С. 30-39. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700784-202207-03>
17. Tran H. N., Podstrigaev A., Trong N. N. A Signal Classification Algorithm with Detection at Two Intermediate Frequencies for RF Spectrum Monitoring // 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics. 2022. pp. 91-94. DOI: 10.1109/EEExPolytech56308.2022.9950890

## СЕКЦИЯ МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПЛАНИРОВЩИКОВ TIMED ELASTIC BAND И DYNAMIC WINDOW APPROACH ДЛЯ CAR-LIKE И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ

А.М. БЕЛКИН, П.В. ШАМОВА, Е.А. МАСЛЕННИКОВА

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

**Аннотация.** Мобильные роботы становятся все более популярными в различных областях, включая производство, медицину и науку. Для выполнения различных задач, таких как автономное вождение, отслеживание объектов и доставка грузов, мобильным роботам необходимо иметь возможность спланировать траекторию для достижения желаемой цели. В этой статье мы рассмотрим различия между планировщиками ROS (*Robot Operating System*) для двух типов мобильных платформ - дифференциальных и *car-like*. Основная цель этой статьи - определить, какой планировщик ROS наилучшим образом подходит для каждого типа мобильной платформы.

*Ключевые слова:* автономный транспорт, мобильная робототехника, локальный планировщик, система, траектория движения.

### Цель исследования

В данной статье мы сравним два алгоритма построения маршрута в ROS: *TEBLocalPlanner* и *DWAPlanner*. *TEBLocalPlanner* — это локальный планировщик движения в ROS, который использует алгоритм движения в ограниченном пространстве (*TEB*) для генерации безопасных и оптимальных траекторий для робота. Он основан на методе оптимизации в реальном времени и учитывает динамические ограничения робота, такие как его скорость и радиус поворота. *TEBLocalPlanner* может быть использован в различных средах, открытых и закрытых, и обеспечивает высокую степень адаптивности.

*DWAPlanner* — это еще один локальный планировщик движения в ROS, который использует алгоритм динамического окна, при котором используется окно скоростей и окно ускорений для генерации возможных траекторий движения, которые могут привести робота к целевой точке. *DWAPlanner* учитывает динамические ограничения робота, такие как его максимальную скорость и ускорение, и использует множество возможных скоростей и ускорений для генерации безопасных и оптимальных траекторий. Он может быть использован в различных средах и обеспечивает высокую скорость планирования и точность управления.

### Описание методов исследования

Для проведения сравнительного анализа между локальными планировщиками будет использоваться *Rviz* - инструмент с открытым исходным кодом, предназначенный для визуализации процессов и отладки алгоритмов робототехнических систем. Данные о местоположении робота будут собираться с помощью скрипта, подписавшегося на топик */amcl\_pose*. Проведение эксперимента в *Rviz* позволит смоделировать одинаковые окружающие условия для наиболее точной оценки характеристик работы локального планировщика. При моделировании экспериментов будут использоваться две самые распро-

страненные и наиболее простые типы мобильных платформ - дифференциальные и *car-like*.

### Сбор данных, используемых при анализе

Для получения информации о местоположении мобильной платформы на карте используется скрипт *ground\_truth\_listener*, который подписывается на топик, публикующий координаты робота. Чтобы целевые точки при всех этапах эксперимента были одинаковыми, был создан скрипт *control\_link*, обменивающийся данными с топиком */move\_base/action\_topics*.

Для объективного сравнения алгоритмов выбрано использование карты *turtlebot3\_world* (рисунок 1), на которой робот перемещается с одинаковыми заданными целями.

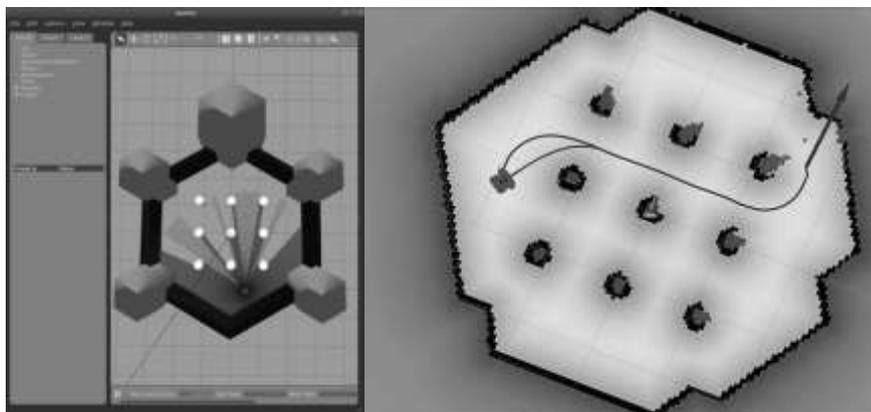


Рис. 1. Местность, используемая для исследования (справа – симулятор Gazebo, слева – визуализация в Rviz)

На рисунке 1 красной линией обозначена глобальная траектория движения, фиолетовой - локальная траектория движения.

### Обработка полученных данных

Для расчета пройденного расстояния и точности достижения цели был использован скрипт *ground\_truth\_listener*, рассчитывающий расстояние до каждого предыдущего положения робота, а также разницу между положением мобильной платформы и целевой точкой. Для расчета времени прохождения маршрута проводились замеры таймером. Далее представим траектории движения мобильной платформы на разных этапах эксперимента и сводную таблицу с итоговыми результатами.

Вначале сформируем в графическом виде траектории роботов в симуляторе.

На рисунках 2-3 видно, что алгоритм *TEBLocalPlanner* может построить траекторию движения для обоих типов мобильных платформ, в то время как *DWAPlanner* строит маршрут короче и проще, но справляется только с дифференциальной платформой, поскольку не имеет возможности строить маршрут с радиусом поворота, не равным нулю. Алгоритм *TEBLocalPlanner* имеет острые углы на протяжении всего маршрута из-за поворота мобильной платформы на необходимый градус, вызванный невозможностью развернуться на месте для *car-like* платформы и погрешностью системы для дифференциальной платформы. Однако, после корректировки и завершения маневра, разница в точности достижения цели становится минимальной.

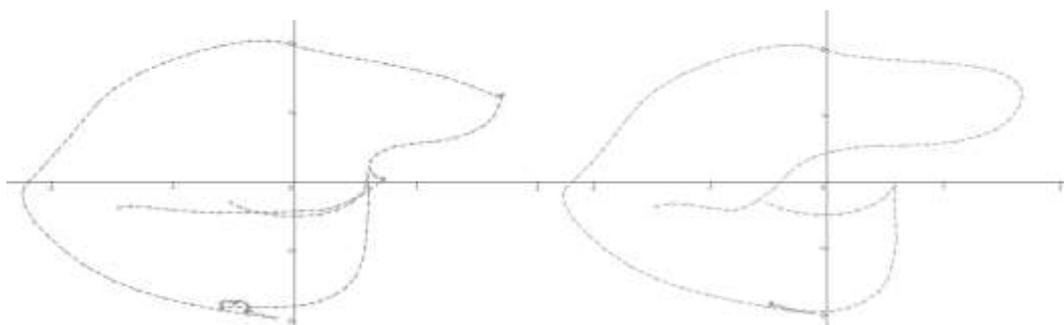


Рис. 2. Траектория движения дифференциального робота по локации (справа – *TEBLocalPlanner*, слева – *DWAPlanner*)

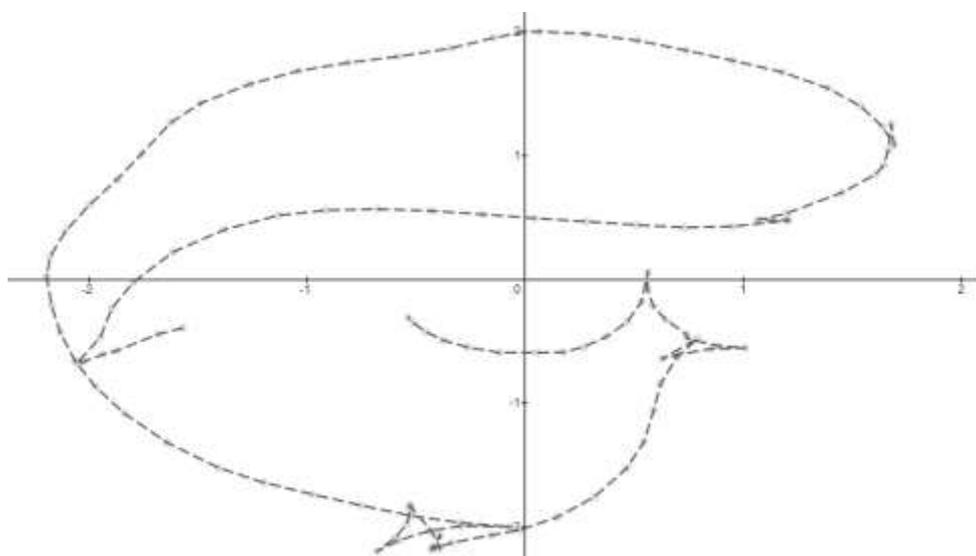


Рис. 3. Траектория движения *car-like* робота по локации (на рисунке представлен исключительно *TEBLocalPlanner*, поскольку *DWAPlanner* не смог построить траекторию для *car-like* платформы)

Рассчитанные параметры для локальных планировщиков (точность достижения цели, время прохождения маршрута и длина маршрута) представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1.

### Характеристики работы локальных планировщиков

Параметр	<i>Car-like,</i> <i>DWAPlanner</i>	<i>Car-like,</i> <i>TEBLocalPlanner</i>	Дифференциальный привод, <i>DWAPlanner</i>	Дифференциальный при- вод, <i>TEBLocalPlanner</i>
Точность, см	-	5	6	5
Время про- хождения маршрута, сек	-	94.67	86.37	88.57
Длина марш- рута, см	-	2150	1694	1780

Поскольку симуляция не может быть абсолютно идентичной, каждый этап эксперимента был проведен трижды. Результаты, представленные в таблице, являются средним значением из всех полученных данных. Точность рассчитывалась как расстояние между целевым и текущим положением робота при достижении указанной точки. Длина маршрута является суммой расстояний между всеми положениями мобильной платформы. Время является величиной, измеряемой с помощью секундомера.

### **Заключение**

Исследование показало, что локальные планировщики *TEBLocalPlanner* и *DWAPlanner* могут эффективно работать с разными типами автономных мобильных платформ.

*TEBLocalPlanner* - наиболее уникальный планировщик, имеет возможность быстрой адаптации к изменениям в окружающей среде и может принимать решения на основе полученной карты. Также он позволяет достигать цели с достаточно высокой точностью, при этом не сильно увеличивая длину и соответственно время прохождения проложенного маршрута. Характерной особенностью данного локального планировщика являются острые углы на протяжении всего маршрута, появляющиеся из-за особенности поворота *car-like* робота.

*DWAPlanner*, с другой стороны, не может работать с *car-like* мобильными платформами, но может лучше работать с быстро меняющимся окружением. Он также может использовать детальную карту для более точного позиционирования робота. Характерная особенность планировщика - сглаженные углы при поворотах, упрощенный маршрут и минимальное время достижения целевого положения.

Исходя из вышеперечисленного, локальный планировщик выбирается в зависимости от требований к планированию движения в конкретных условиях. Если требуется универсальность и гибкость вне зависимости от типа мобильной платформы, то *TEBLocalPlanner* может быть более подходящим выбором. Если же требуется более точная оценка препятствий и позиционирование при работе на дифференциальной мобильной платформе, то *DWAPlanner* будет более предпочтительным.

### **Список литературы**

1. Изучение робототехники с помощью Python. [Текст]/ Лентин Джозеф; перевод Корягин А.В.; под ред. Герасименко А. С: Изд-во: ДМК-Пресс, 2019 г.
2. Unix и Linux. Руководство системного администратора. [Текст]/ Немец Э., Хейн Т. Р., Снайдер : Изд-во: Диалектика/Вильямс, 2020 г.
3. ROS на примерах. Руководство по операционной системе роботов. [Текст]/ Р. Патрик Гёбель: Изд-во: Lulu.com, 2012 г.
4. ROS на примерах. Пакеты и программы для продвинутых моделей поведения роботов. [Текст]/ Р. Патрик Гёбель: Изд-во: Lulu.com, 2012 г.
5. Документация локального планировщика DWAPlanner [Электронный ресурс] URL: [https://wiki.ros.org/dwa\\_local\\_planner](https://wiki.ros.org/dwa_local_planner)
6. Документация локального планировщика TEBLocalPlanner [Электронный ресурс] URL: [https://wiki.ros.org/teb\\_local\\_planner](https://wiki.ros.org/teb_local_planner)
7. Документация мобильной платформы turtlebot3\_waffle [Электронный ресурс] URL: <https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/features/>

## РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ОДНОВРЕМЕННОЙ КАРТОГРАФИИ И НАВИГАЦИИ

ДАВЫДОВ В.А.

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

**Аннотация.** В данной статье рассматривается система навигации трёхколёсного наземного робота. Система навигации представляет собой две части: система управления приводами с помощью микроконтроллера, и система, обрабатывающая облако точек, получаемых с лидара, которая обеспечивает одновременное построение двумерной карты местности и локализацию робота в режиме реального времени.

*Ключевые слова:* беспилотные наземные транспортные средства, Robot Operating System, SLAM

### **Введение**

В наше время робототехника становится более востребованной. Роботы требуются во всех сферах деятельности человека – от производства до помощи в быту. Одной из важнейших задач современной робототехники на пути повсеместного внедрения роботов является построение карт для дальнейшей навигации. Лидар позволяет сделать это точно и эффективно. Учитывая сложность создания прототипа, лучшим решением является использование Robot Operating System (ROS), так как она четко структурирует все происходящие процессы, а также упрощает интеграцию различных систем в робота.

Целью данной работы является разработка системы навигации, позволяющей роботу с помощью лидара строить двумерную карту местности, а также в режиме реального времени определять по ней свое местоположение.

### **Система управления роботом**

Объектом управления является трёхколёсный робот с управлением по клавиатуре изображен на рис. 1.

В роботе используется двухколёсный дифференциальный привод. Шасси состоит из двух ведущих колёс, которые установлены на противоположных сторонах корпуса и из одного всенаправленного колеса. Каждое ведущее колесо приводится в движение собственным мотором и управляется независимо друг от друга. Пассивное колесо устанавливается для достижения равновесия всей платформы.

Система управления роботом состоит из двух уровней:

1. Нижний уровень управления реализован на базе микроконтроллера Arduino Uno, основанного на микросхеме ATmega328P, подающим сигналы для управления драйвером двигателей L298N, который подаёт ток на двигатели.

2. Верхний уровень реализован на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi 3B+, который получает сигналы с клавиатуры, обрабатывает их с помощью Robot Operating System, а затем взаимодействует с микроконтроллером Arduino по физическому интерфейсу USB.



*Рис. 1. Мобильный робот*

Таким образом, получая сигналы с клавиатуры, одноплатный компьютер формирует сигналы для микроконтроллерной системы управления, затем микроконтроллер передает команды на драйвер двигателей и тот, в свою очередь, подаёт сигналы для управления на двигатели.

#### **Алгоритм одновременной картографии и навигации**

Для построения двумерной карты местности используется лидар модели RPLIDAR A1, который обеспечивает частоту сканирования 10 Гц и 8000 точек. Использование лидара для задач навигации имеет ряд преимуществ перед камерой, так как лидар не требует дополнительного освещения, также стоит отметить, что обработка изображения, полученного с камеры, требует значительных ресурсов по сравнению с обработкой сигналов лидара.

Ввиду сложности создания прототипа разумно использовать операционную систему роботов (ROS). ROS структурирует многие процессы, а также упрощает обработку сигналов лидара, так как она располагает специальными пакетами для работы с RPLIDAR. Стоит отметить, что ROS устанавливается на несколько популярных операционных систем, но стабильная работа гарантируется лишь на дистрибутивах Linux Ubuntu. Для этого на одноплатный компьютер Raspberry Pi 3B+ была установлена Ubuntu 20.05 Server. Однако для дальнейшей визуализации данных лидара и карты, полученной в результате работы, было установлено графическое окружение XFCE, так как оно является одним из самых экономичных в контексте потребляемых ресурсов графическим окружением. Для визуализации данных лидара был использован инструмент RVIZ, который позволяет графически представить облако точек, которые лидар передает в ROS (рис. 2).

Для достижения поставленной цели необходимо использовать метод SLAM (simultaneous localization and mapping). SLAM – это метод одновременного создания карты окружающей среды и определения местоположения робота. Он широко используется в робототехнике. Во время перемещения текущие измерения и позиция робота меняются, для создания карты необходимо объединить измерения с предыдущих позиций.

В качестве алгоритма SLAM был выбран Hector SLAM, который не требует наличия датчиков одометрии. Данная система обеспечивает высокую скорость обработки данных, а также высокую точность. Hector SLAM позволяет в режиме реального времени, получая данные лидара, строить двумерную карту местности, а также определять местоположение

робота в ней. Кроме того, есть возможность сохранить карту и использовать ее в дальнейшем для навигации с помощью алгоритма AMCL.

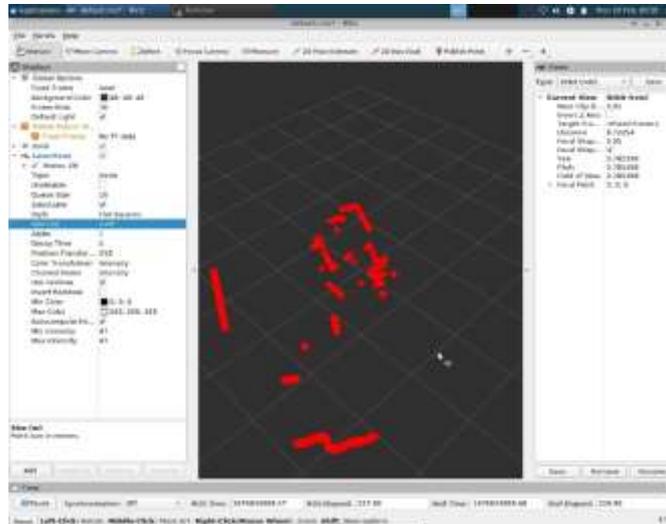


Рис. 2. Необработанные данные лидара

Для построения карты помимо установки вышеперечисленного программного обеспечения также необходимо написать программу для построения карты, которая должна запустить несколько узлов, в том числе `hector_mapping`, выполнить преобразование между системами координат лидара и плоскости движения. После чего ROS начинает построение карты местности. Для демонстрации текущего положения робота относительно карты был добавлен дисплей `Axes` (рис. 3).

Для управления двигателями и связи между Raspberry Pi 3B+ и Arduino Uno необходимо написать программу для микроконтроллера, а также установить ноду для управления Arduino в ROS. После этого взаимодействие верхнего и нижнего уровней управления становится возможным.

После начала построения карты, необходимо запустить пакет для получения команд с клавиатуры, после чего введенные с клавиатуры команды будут отправлены на микроконтроллер, затем робот начнет движение.

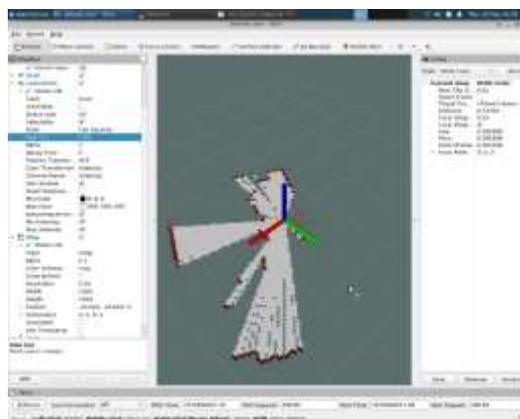


Рис. 3. Построение двумерной карты и определение местоположения робота

Несмотря на все преимущества, система имеет ряд недостатков:

1. Несмотря на высокую скорость сканирования лидара и скорость работы Hector SLAM, робот должен передвигаться достаточно медленно, без сильных кренов. В противном случае карта будет построена некорректно. Эти проблемы можно решить с помощью установки лидара с большей частотой сканирования, а также комбинированием камеры с лидаром для навигации.

2. В виду того, что конструкция робота подразумевает несколько уровней, а лидар расположен на верхнем, преграды, находящиеся ниже зоны видимости лидара, но мешающие движению, не будут отражены на карте.

3. Двигатель, вращающий лидар, имеет ограниченный срок службы – около 1000 часов.

### **Заключение**

В данной работе система навигации осуществляет построение двумерной карты местности, а также локализацию робота в построенной карте. Получая сигналы с клавиатуры, она формирует команды управления, которые отправляются на нижний уровень управления роботом и используются для передвижения робота. Представленный алгоритм позволяет в режиме реального времени точно определять текущее местоположение робота, а также сохранять карту для использования ее в дальнейшей навигации. Для улучшения системы необходимы дополнительные средства сканирования местности для комбинированного использования их вместе с лидаром.

### **Список литературы**

1. Quigley M. Programming Robots with ROS: A practical Introduction to the Robot Operating System. O'Reilly Media, 2016.
2. Fernandez E. Learning ROS for Robotics Programming – Second Edition. Packt Publishing, 2015.
3. Страуструп Б. Язык программирования C++. Москва: Бином, 2021.
4. O’Kane J. A Gentle Introduction to ROS. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.
5. Петин В.А. Микрокомпьютеры Raspberry Pi. Санкт-Петербург: БХВ, 2015.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ 2D-SLAM АЛГОРИТМОВ ДЛЯ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

ЛОБАЗЕВ Н.А., СОКОЛОВ М.О., САЛАМАХИН А.

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

**Аннотация.** В современных робототехнических системах проблема определения местоположения робота является одной из важнейших. Одним из способов решения этой проблемы является применение алгоритмов SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), которые позволяют роботу одновременно определять свое местоположение и создавать карту окружающей среды. Существование разных алгоритмов SLAM ставит перед инженером задачу выбора, оптимизации и отладки этих алгоритмов. Решением этой задачи будет возможность формирования точной карты и точной локализации в ней. Это, в свою очередь, позволит мобильному роботу наилучшим образом производить автономную навигацию в рабочей области, в результате чего решаются проблемы автоматизации робототехнических систем.

*Ключевые слова:* «автономный транспорт», «мобильная робототехника», «совместное картографирование и локализация», «алгоритмы SLAM»

### **Цель исследования**

В настоящее время робототехника является одной из самых актуальных и быстроразвивающихся технических областей, которая находит применение во многих сферах жизни. Проблема определения местоположения робота и построения карты окружающей среды является одной из ключевых задач в робототехнике, которую решают с помощью алгоритмов *SLAM*.

Сравнение различных алгоритмов *SLAM* в контексте их применимости и эффективности является актуальным направлением исследований.

В данной статье предлагается сравнить два алгоритма *SLAM* в *ROS*: *hector\_mapping* и *slam\_gmapping*. *hector\_mapping* – это алгоритм, который обрабатывает данные лидара, оценивает положение робота и строит карту. Он является популярным алгоритмом *SLAM* в *ROS* благодаря своей простоте и эффективности, и может использоваться в различных средах, таких как помещения, улицы и другие пространства.

Алгоритм *slam\_gmapping* использует фильтр частиц для оценки положения робота и построения карты на основе данных лидара и одометрии. Он создает сетку занятости, представляющую окружающую среду в двумерном изображении, где каждая ячейка указывает, занята ли она роботом или нет. Алгоритм может быть использован в различных средах, но может потребоваться больше настроек, чем у *hector\_mapping*, для достижения требуемых результатов.

### **Описание методики проведения исследования**

Для сравнительного анализа эффективности алгоритмов *SLAM* будет использоваться симулятор *Gazebo*, в котором робот перемещается по заранее определенной траектории, формируя карту местности и локализуясь на ней. Данные о координатах робота будут собираться с помощью системы *ROS* и сравниваться с данными, полученными алгоритмами *SLAM*. Эксперимент на симуляторе *Gazebo* позволит оценить точность и скорость работы алгоритмов *SLAM*.

### **Формирование данных, используемых в исследовании**

Для сбора данных о положении робота в симуляторе *Gazebo* будет использоваться плагин *ground truth*, который инициализирует топик `/ground_truth/state` в *ROS*, публикующий данные о положении робота. Для сбора данных будет создан узел на языке программирования *Python*.

Для получения данных о перемещении робота, таких как преобразования системы координат, применим узел на языке программирования *Python*, который будет извлекать данные из системы *tf*.

Для объективного сравнения алгоритмов выбрано использование *3D* модели жилого дома (рисунок 1), на которой робот перемещается по одной и той же траектории.

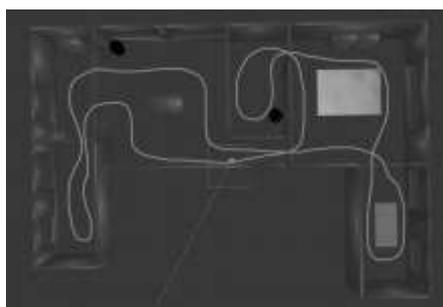


Рисунок 1. Местность и траектория (сплошная линия), используемая для исследования

### Анализ данных

Для сравнения данных из системы *SLAM* и опорных данных из симулятора написана программа на высокоуровневом языке программирования *Python*, позволяющая вычислить стандартное отклонение (СКО) данных из системы *SLAM* относительно опорных данных и построим необходимые графики, иллюстрирующие работу алгоритмов.

Вначале сформируем в графическом виде траекторию робота в симуляторе и системах *SLAM*.

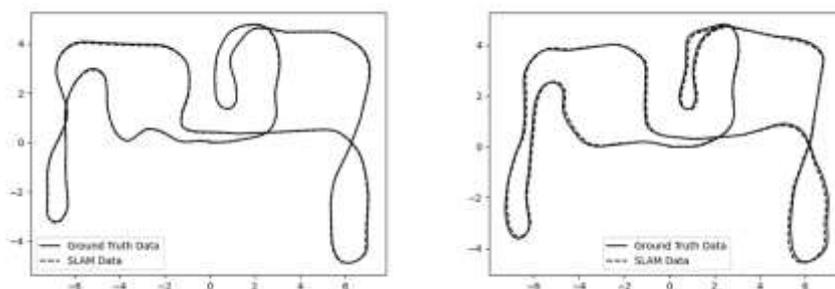


Рисунок 2. Истинная траектория (сплошная линия) и траектория, сформированная на основании данных от алгоритма 2D-SLAM (пунктирная линия) (справа – *hector\_mapping*, слева – *slam\_gmapping*)

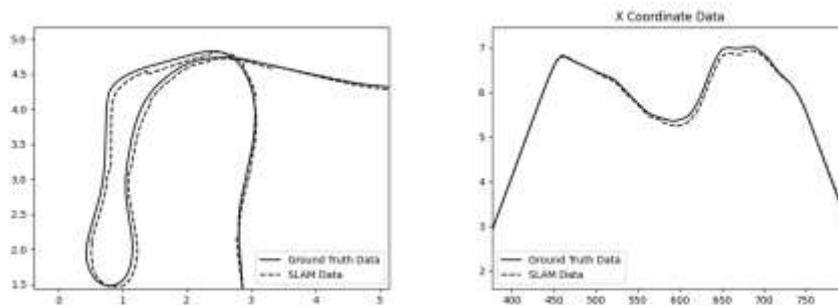


Рисунок 3. Истинная траектория (сплошная линия) и траектория, сформированная на основании данных от алгоритма 2D-SLAM (*slam\_gmapping*) (пунктирная линия)

На рисунках 2-3 видно, что алгоритм *hector\_mapping* более точно соответствует опорному графику с координатами робота в симуляторе, чем алгоритм *slam\_gmapping*. Алгоритм *slam\_gmapping* имеет "скачки" из-за корректировки одометрических измерений, вызванных погрешностью системы одометрии на модели робота с дифференциальным приводом. Однако, после корректировки и завершения маневра, разница в координатах между алгоритмами становится минимальной.

В случае сравнения начальной и конечной координат робота на маршруте (рисунок 4), алгоритм *slam\_gmapping* имеет лучшую точность, несмотря на "скачки" в процессе корректировки одометрических измерений из-за погрешности системы одометрии на модели робота с омни-дифференциальным приводом.

Далее были сформированы графики ошибок позиционирования с помощью двух исследуемых *SLAM*-алгоритмов.

На графиках, полученных на результатах работы алгоритма *hector\_mapping* видно области установившейся ошибки (рисунок 5, левый график). Также, СКО ошибки при использовании этого алгоритма оказалось больше, чем в случае использования

*slam\_gmapping* (рисунок 5, правый график). Эти свидетельствуют о том, что лидар, используемый в *hector\_mapping*, может не давать достаточно информации о положении робота во всем пространстве, что приводит к смещению кадров, только что исследованных областей относительно всей карты.

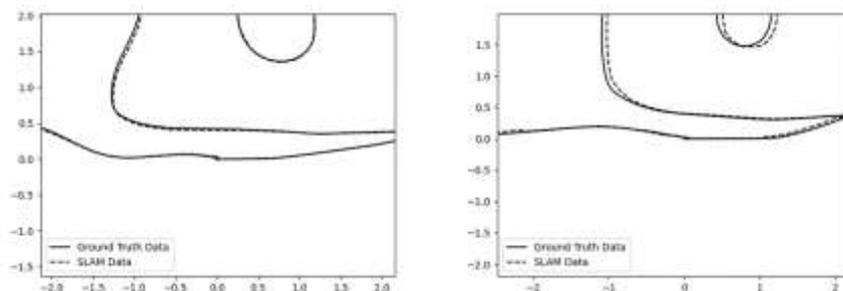


Рисунок 4. Траектория движения робота близь точки начала/конца движения (слева – *hector\_mapping*, справа – *slam\_gmapping*)

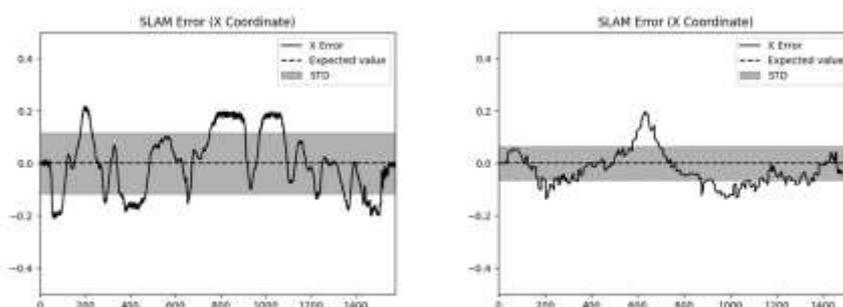


Рисунок 5. График ошибки позиционирования робота в пространстве по оси X (справа – *hector\_mapping*, слева – *slam\_gmapping*)

С другой стороны, на графике ошибки позиционирования алгоритма *slam\_gmapping* были обнаружены пики ошибки, которые вызваны корректировкой одометрических данных в процессе работы алгоритма. Чтобы уменьшить эффект таких ошибок, входные данные корректируются с помощью алгоритмов фильтрации. Однако корректировка может приводить к резкому скачку на графике ошибки позиционирования, что и проявляется в виде множества пиков.

### Заключение

Исследование показало, что алгоритмы *hector\_mapping* и *slam\_gmapping* могут использоваться для решения задачи 2D-SLAM с помощью лидаров. Однако, у каждого из этих алгоритмов есть свои преимущества и недостатки.

Алгоритм *hector\_mapping* обеспечивает более точное позиционирование в отдельных областях карты, что связано с применением быстрого алгоритма для обработки данных лидара и построения карты. Однако, данный алгоритм может давать ошибки при перемещении робота между областями, так как лидарный датчик не всегда может обеспечить достаточно точную информацию о перемещении внутри карты.

Алгоритм *slam\_gmapping*, с другой стороны, может обеспечивать более точное позиционирование во всей области карты за счет использования данных об одометрии и корректировки ошибок с помощью фильтрации входных данных. Однако, этот алгоритм мо-

жет давать большие ошибки с последующей корректировкой одометрических данных, что может потребовать дополнительной настройки и оптимизации параметров алгоритма и более точного пересчета одометрии.

На основании проведенного исследования, рекомендуется выбирать алгоритм в зависимости от требуемой точности и стабильности позиционирования робота в конкретных условиях. Если необходима высокая точность в отдельных областях карты, то можно использовать алгоритм *hector\_mapping*. Если требуется более общее и стабильное позиционирование во всей области карты, то можно выбрать алгоритм *slam\_gmapping*.

### Список литературы

1. Документация по библиотеке *rospy* в *ROS*. [Электронный ресурс] URL: <http://wiki.ros.org/rospy>
2. Как получить достоверные данные о позе в *ROS Gazebo*. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sauravag.com/2017/06/how-to-get-ground-truth-pose-data-in-ros-gazebo>
3. Документация программного пакета *ROS slam\_gmapping*. [Электронный ресурс] URL: [http://wiki.ros.org/slam\\_gmapping?distro=noetic](http://wiki.ros.org/slam_gmapping?distro=noetic)
4. Документация программного пакета *ROS hector\_mapping*. [Электронный ресурс] URL: [http://wiki.ros.org/hector\\_mapping](http://wiki.ros.org/hector_mapping)

## РАЗРАБОТКА МНОГОЗВЕННОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

МАМЯКО А.И., ПОРОХНЕНКО К.А., ПОЛЯКОВ И.

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

**Аннотация.** В работе рассматривается разработка и этапы проектирования многозвеного робота. Проводится анализ печати блоков, определены проблемы при сборке устройства, приводятся примеры проблем моделирования.

*Ключевые слова:* многозвеноый робот, робототехническое устройство, имитация поведения.

Многозвеноое роботизированное устройство представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких блоков, которые работают вместе для выполнения определенной задачи.

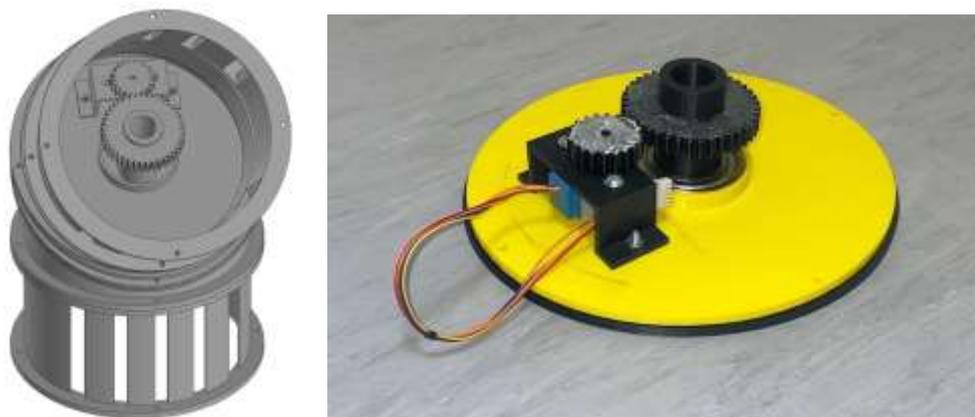
Соединения многозвеноого роботизированного устройства обычно предназначены для перемещения в нескольких направлениях, что позволяет устройству двигаться различными способами. Каждый сустав соединен с двигателем, который управляет его движением.

По мере того, как устройство выполняет свою задачу, датчики могут использоваться для отслеживания его движений и корректировки их по мере необходимости. Например, если устройство сталкивается с препятствием, датчики могут обнаружить его и отправить сигнал, чтобы отрегулировать движение блоков.

Одним из ключевых преимуществ многозвеноых робототехнических устройств является их способность выполнять сложные задачи с высокой степенью точности. Несколько блоков позволяют устройству двигаться различными способами, что позволяет ему выполнять задачи, которые невозможно выполнить человеку. Они используются для выполнения различных задач, требующих точности и гибкости. Такие роботы использу-

ются в производственных цехах, на монтажных работах, в медицине, космических областях для исследований.

Блоки манипуляторов обычно состоят из различных компонентов, таких как электродвигатели, зубчатые передачи, редукторы, суставы, датчики, системы управления и т. д. Каждый блок имеет свою собственную структуру, предназначенную для выполнения определенной функции.



*Рис. 1. 3D-модель и реальный прототип*

Управление манипулятором может осуществляться разными способами. В данном случае, для управления блочным роботом-манипулятором используются программируемый контроллер.

При проектировании прототипа робототехнического устройства были изготовлены блоки. Печать выполнялась на 3D-принтере. Благодаря печати были обнаружены проблемы моделирования: люфт подшипника, гибкость пластика и как следствие, движение шестеренок.



*Рис. 2. Многозвенное робототехническое устройство*

Таким образом, проектируемое устройство состоит из нескольких звеньев, которые соединены между собой подвижными сочленениями. Эти сочленения позволяют роботу двигаться и изгибаться. В дальнейшем планируются испытания робота с большим количе-

ством сочленений, которые позволят лучше смоделировать работу робототехнического устройства с имитацией поведения животного – змеи.

### Список литературы

1. Гордон МакКомб. Сделай сам! Робот на Arduino. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 52 с.
2. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. Основные типы и технические характеристики. Учебное пособие. – М.: КноРус, 2019. – 560 с.
3. Мэттью Скарпино. Двигатели для моделлистов. Руководство по шаговым двигателям, сервоприводам и другим типам электродвигателей. – М.: Вильямс, 2018. – 432 с.
4. Чарльз Платт. Электроника для начинающих. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 480 с.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НА СУДАХ

САППО А.А., ВАРАНКИН Д.К.

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

**Аннотация.** Автоматизация процессов на судах морских является важным направлением для улучшения и оптимизации работы на кораблях. Современные технологии позволяют автоматизировать большинство процессов, связанных с управлением судном, навигацией, обнаружением объектов и проверкой безопасности.

*Ключевые слова:* автоматизация процессов, морские суда, системы управления, экологичное транспортное судно.

Важным элементом автоматизации на кораблях являются автоматические системы управления двигателями, которые позволяют контролировать работу главных и вспомогательных машин, обеспечивая более точное регулирование скорости и расхода топлива. Это не только увеличивает эффективность работы судна, но и сокращает риски возникновения аварийных ситуаций.

Ряд автоматических систем навигации и дистанционного измерения расстояний, таких как GPS (глобальная система позиционирования), AIS (автоматическая система идентификации), и другие позволяют обеспечить более точную навигацию и контролировать окружающую обстановку.

Системы контроля безопасности также широко применяются на судах. Эти системы автоматически контролируют защитные устройства и системы пожаротушения, измеряют уровень опасных газов, контролируют движение на палубе и другое.

Кроме того, автоматизация процессов позволяет максимально увеличить эффективность работы экипажа, обеспечивая автоматическое управление кранами, лебедками и другой грузоподъемной техникой, а также автоматический контроль радиосвязи и связи с береговыми станциями.

Например, автоматизация транспортировки грузов на судах может включать в себя следующие технологии.

Беспилотные суда. Суда, которые могут работать, осуществляя автоматическую загрузку и разгрузку грузов. В настоящее время является одной из актуальных задач по разработке таких устройств, а также модернизации портов для таких судов.

Мониторинг и управление грузами с помощью датчиков и систем. Такой способ позволяет отслеживать грузы в реальном времени, контролировать их положение,

температуру, влажность и другие параметры. Это может помочь в управлении грузоперевозками на судах и осуществлении транспортировки с наименьшими затратами.

Автоматическая система погрузки и разгрузки грузов. Позволяет автоматически перемещать грузы на и с судна, используя роботизированные устройства. Это может повысить скорость транспортировки.

Автономные системы навигации. Помогает управлять судами с помощью камер и сенсоров. Это снижает риски и дает возможность быстрее доставлять грузы.

Использование искусственного интеллекта. Алгоритмы, основанные на машинном обучении, которые оптимизируют транспортировку грузов и предотвращают задержки и дополнительные расходы.

Использование таких средств автоматизации позволяет не только повысить надежность системы, но и спроектировать экологическое чистое судно.

Экологически чистое транспортное судно - это судно, которое использует технологии и ресурсы, которые заботятся о окружающей среде и приводят к минимальному воздействию на природу.

Система управления экологически чистым транспортным судном включает в себя ряд технологических решений и мер, направленных на минимизацию вредного воздействия на окружающую среду.

Один из главных элементов такой системы – это использование двигателей, которые снижают выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Кроме того, на таких судах могут быть установлены системы очистки выбросов от сажи, диоксидов азота и серы, которые дополнительно уменьшают экологическую нагрузку.

Для снижения влияния транспортного судна на морскую фауну используется специальное оборудование, которое предотвращает попадание в открытую воду загрязненных водных растворов и других отходов судовой эксплуатации.

Также на судах может быть система управления расходом энергии и воды.

Экологичные суда играют важную роль в сохранении морской экосистемы и снижении уровня загрязнения воздуха.

В целом, автоматизация процессов на судах морских позволяет существенно повысить эффективность работы судов и уменьшить риски возникновения аварийных ситуаций, что является важным для обеспечения безопасности на водном пространстве.

### **Список литературы**

1. Гофман А. Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Л. Судостроение, 1987. - 360 с.
2. Гусаковский А.В., Ракитин В.Д., Соляков О.В., Яцук Ю.В. Математическое моделирование работы системы автоматического управления движением судна. Журнал Морская радиоэлектроника «Корабли и вооружение как единая система». Выпуск 4(26) декабрь. - СПб.: Печатный дом «Белл», 2008г., с. 14-16
3. Каретников В. В., Ракитин В. Д., Сикарев А.А. Автоматизация судовождения, СПб, 2007-264 с.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ БУТЫЛОК В ФИЛАМЕНТ

ТАРАСОВА Д., ПОРОХНЕНКО К.А., МАМЯКО А.И.

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

**Аннотация.** В работе рассматривается концепция проектируемого устройства для переработки пластиковых бутылок. Исследуются существующие системы по переработке, изучается процесс переработки пластиковых бутылок в филамент: этапы, технологии, требования к сырью, определяются достоинства и недостатки и требования для проектирования прототипа.

*Ключевые слова:* автоматизированное устройство, переработка пластика, филамент.

Защита окружающей среды является важной задачей перед каждым человеком. Пластиковые отходы производства и потребления являются одними из самых распространенных. Это позволяет задуматься над процессом вторичного использования пластиковых отходов. Одним из таких способов является переработка пластиковых бутылок в филамент.

Основной задачей разрабатываемого устройства является повторная 3D печать. При разработке прототипа устройства одной из проблем является повторная печать деталей для получения необходимого результата. Поэтому создание такого устройства, помогающего получать дополнительный филамент, является очень актуальным для печати прототипа разрабатываемых приборов и устройств.

Используемая тара для переработки будет ПЭТ-пластик (полиэтилентерефталат). Это отходы тары для напитков, косметики, бытовой химии.

Проанализировав накопление такой тары за две недели, получили следующие результаты (см. рисунок 1).

Эту тару можно сдать в пункт переработки, а можно переработать в филамент.

Основной концепцией устройства является процесс преобразования ПЭТ-тары в нить, который возможно использовать для 3D печати. Для этого необходимо превратить тару в ленту и нагреть до расплавления материала.



Рис. 1. Накопленная тара за две недели

Главной особенностью является толщина стенок тары. Эта проблема решается уменьшением или увеличением ширины ленты.

Печать такой нитью будет осуществляться на 3D принтере (рис. 2) при температуре стола 80 градусов.

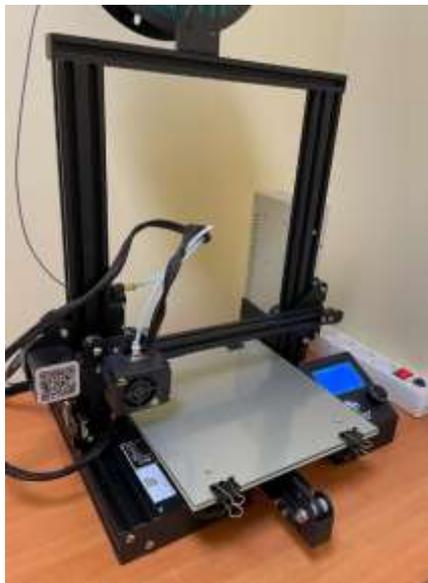


Рис. 2. 3D-принтер для печати

Также стоит отметить, что такой пластик легко липнет к стеклу (столу печати).

Результатом данной разработки будет станок, который сможет перерабатывать накопленное количество пластиковых бутылок и создавать филамент пригодный для пробной 3D-печати. Это поможет уменьшить количество отходов и снизить нагрузку на окружающую среду, а также сэкономить деньги на покупке филамента.

### Список литературы

1. Кутц Майер. Справочник по деградации материалов в окружающей среде. - 2 изд. - Elsevier Science, 2012.
2. Самодельные филаменты из ПЭТ-бутылок для 3D-печати // vektorus URL: <https://vektorus.ru/blog/plastik-dlya-3d-printera-iz-pet-butyllok.html> (дата обращения: 30.04.2023).
3. В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. Экология и охрана окружающей среды. – М.: КноРус, 2012. – 336 с.

## DEVELOPMENT OF METHOD FOR TRACKING THE INCLINATION ANGLE OF ADAPTIVE LASER BEAM HEAD FOR PROCESSING THE FLAT SURFACES OF MATERIALS

RIZKI M.A., FEDOSOV YU.V.

*Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics*

**Abstract.** This research developed a platform called an adaptive laser beam head. This platform aims to be able to compensate for errors that occur during the laser process. In accordance with the research, a method of tracking the inclination angle of the platform is also proposed and developed. With the proposed method, the inclination angle of the platform can be known only through the distance traveled by the laser on the flat surfaces of materials. The results show that the proposed method is successful to determine the inclination angle

of the platform. This is proven by data from experiments and simulations that have been carried out in this research.

*Key words: adaptive laser beam head, control system, laser process, Stewart platform, tracking method.*

### **Introduction**

Laser process technology has been in development for more than 40 years. The use of laser technology includes ablation, surface texturing, laser welding, hybrid welding, laser cutting, etc [1]. Accuracy and high speed in material processing are the main reasons for the widespread use of laser process technology in manufacturing processes [2], [3]. However, the accuracy of the process laser is greatly affected by the level of the laser beam itself. Setting the focus point position during the laser process is important to obtain the optimal level of accuracy and maximum product quality [4]–[7]. There are two main factors that affect the stability of the focus point position during the laser process, namely vibration and the uneven surface of workpieces or material. To be able to increase the stability of the focus point position during the laser process, a stabilization system is needed to can compensate for these two factors.

Based on previous research and how important it is to maintain the stability of the focus point position during the laser process, this research proposes a method that can compensate for the vibration present in the system. In this study, laser beam head is proposed that has adaptive capability to the surface of the workpieces or materials and is resistant to vibration and has selfcalibration capability. In addition, this laser beam head can be applied to existing laser machines.

The proposed laser beam head consists of two parts, namely the laser head actuator and the laser beam detector. The laser head drive is built using the principle of a parallel manipulator which has 6 degrees of freedom (DOF) which is known as Stewart platform. The Stewart platform has the capabilities of being flexible, payload capability, repeatability and positioning accuracy [8]–[10]. With the capabilities possessed by the Stewart platform, the laser beam head can move adaptively to follow the shape and size of the laser spot itself, so that the focus point position can be maintained. So by using the proposed adaptive laser beam head, the two main factors that affect the stability of the focus point position during the laser process can be compensated and increase the accuracy of the laser process.

In this research, a method to detect the angle given by the adaptive laser beam head platform on the surface of flat materials is described. In addition, this experiment aims to be able to determine the level accuracy of the angle given by the platform during workpiece processing. To be able to determine the accuracy of the angle of the adaptive laser beam platform, the results of the angle reading will be compared with the results of the simulation or calculation model of the adaptive laser beam platform that had been developed previously.

### **Method for Tracking the Inclination Angle of Adaptive Laser Beam Head**

Basically, to determine the inclination angle of the adaptive laser beam head can be determined by changing the shape and size of the laser beam to the surface of the materials. The size and shape of the laser beam will be captured by the camera and processed and compared. If after processing there is a difference with the reference, the controller will give an order to the platform to move according to a predetermined angle. However, in this study the camera detection

system has not been implemented. Therefore, in this study to be able to determine the inclination angle, it is applied using the trigonometry formula of a triangle. Figure 1 is the illustration of the development of the method for determining the inclination angle using trigonometry formulas.

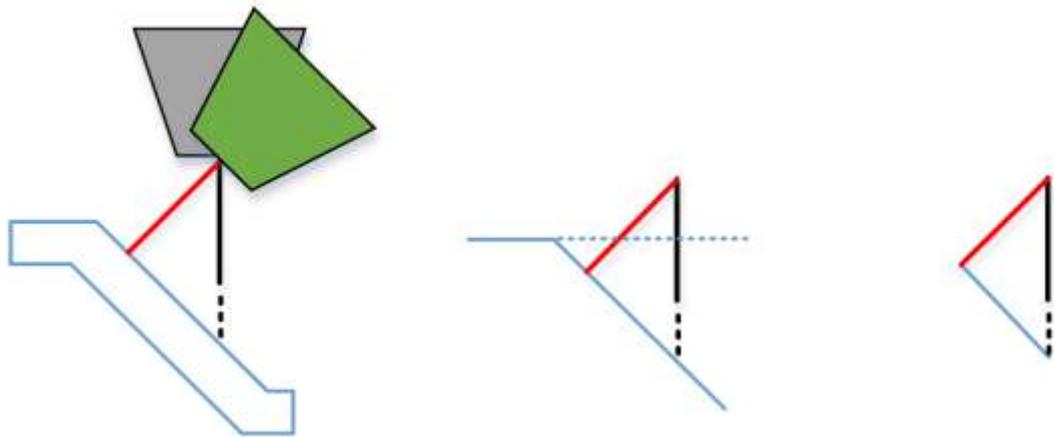


Fig. 1. Illustration of the development of the method for determining the inclination angle using trigonometry formulas.  $\theta$ : angle between material and laser head;  $S1$ : laser length of adaptive laser head (green trapezoid);  $S2$ : distance between green and gray trapezoid lasers;  $S3$ : laser length of gray trapezoid

Figure 1 shows two trapeziums colored green and gray. The green trapezium is a laser beam that moves to follow the slope of the material. The gray trapezium is a laser beam that does not follow the slope of the workpiece. It can be seen that the gray trapezium requires a longer laser beam to reach the surface of the workpiece. This causes the focus point position to change. Therefore, the laser beam head must follow the inclination angle of the material. So in this method to be able to determine the angle of inclination angle, it is necessary to know the value of  $S2$ . The value of  $S2$  is the variable. That is because the greater the value of  $S2$ , the more oblique angle of the material, the greater angle must be provided by the platform. So if  $S2$  can be determined, then to determine the inclination angle is to apply the trigonometry formula of the triangle as follows:

$$\tan(\theta) = \frac{S2}{S1} \quad (1)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{S2}{S1}\right) \quad (2)$$

## Experiment

In this research, an experiment was conducted to determine the inclination angle required by the adaptive laser beam head platform on the surface of flat materials. In addition, the experiment aims to be able to determine the effectiveness and accuracy of the tracking method that had been developed previously. The results of this experiment are also compared with the result of the simulation. This experiment is still limited only in the X coordinate of platform. The experiment was conducted using the Stewart platform, red laser, green laser and flat surfaces of materials. The red laser is an indication of the movement of the platform. The red laser is located at the head of the platform, so the red laser can move freely according to the movement of the platform. The green laser is reference laser where the position of this laser becomes the aiming point of the red laser. The green laser will be beamed on a flat surface of materials with the following distances from the red laser: 25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm, 125 mm and 150 mm. The flat surface of materials will be placed on a platform with a height distance of 120 cm. Figure 2 below is a view of the target setup carried out in this research.

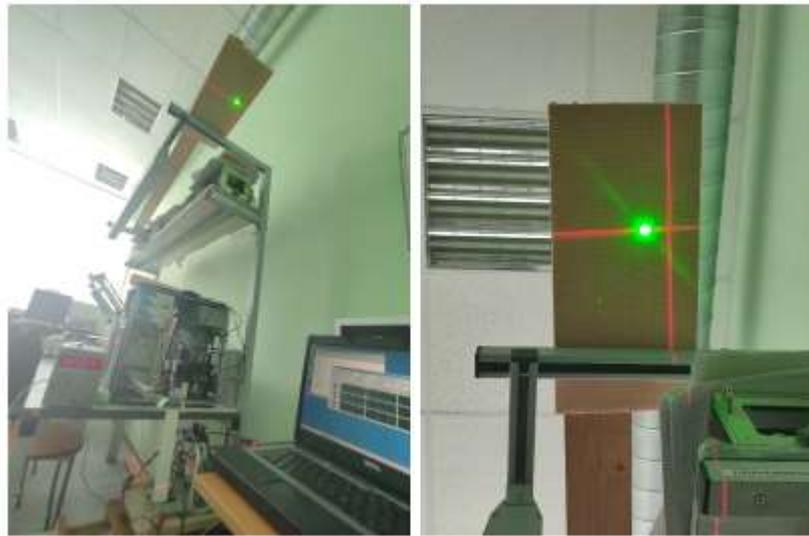


Fig. 2. Setup of platform, target, and laser projections on the experiment

The data acquisition process is carried out by moving the red laser from the initial position to the green laser position. The movement of the red laser is obtained from the movement of the platform that rotates in the X coordinate. The inclination angle of the platform in the experiment is derived from the gyroscope sensor installed on the platform. Experimental and simulation data in this research can be seen in table 1 below.

Table 1

**Inclination Angle Data of Experiment and Simulation**

№	Distance (mm)	Simulation		Experiment	
		Angle (°)	Step	Angle (°)	Step
1	25	1.1	327	1.2	350
2	50	2.3	655	2.4	700
3	75	3.5	981	3.5	1050
4	100	4.7	1306	4.8	1400
5	125	5.9	1630	5.9	1750
6	150	7.1	1951	7.2	2100

To simplify data analysis, the following figure 3 is a comparison graph of inclination angle data between experiment and simulation.

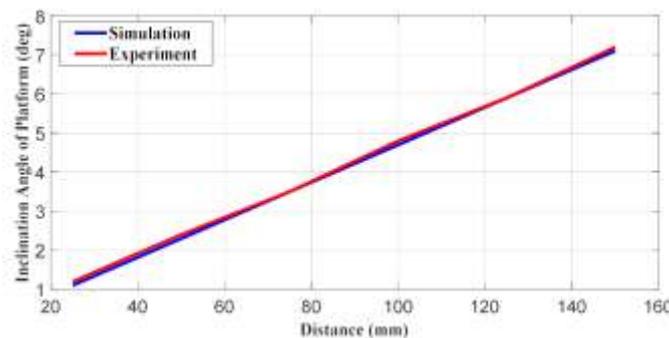


Fig. 3. Angular Inclination Graph of Experiment and Simulation

## Conclusion

In this research, a method was developed to determine the inclination angle of the adaptive laser beam head. As part of the research, data was obtained by comparing experimental and simulation results. Experimental results show that the distance and angle on the platform have a linear relationship, which means that the greater the distance traveled by the platform on a flat material, the greater the angle given by the platform. The experiment also proved the correctness of the tracking inclination angle method that has been developed. From the experiment, it was found that to move by 10 mm, 0,48 degrees of the platform inclination angle is required. The research data will be used as a reference for further research development.

## References

1. A. Happonen, A. Stepanov, and H. Piili, "Feasible Application Area Study for Linear Laser Cutting in Paper Making Processes," *Phys Procedia*, vol. 78, pp. 174–181, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.PHPRO.2015.11.030.
2. Naresh and P. Khatak, "Laser cutting technique: A literature review," *Mater Today Proc*, vol. 56, pp. 2484–2489, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.08.250.
3. M. Sobih, "Laser-based machining - An advanced manufacturing technique for precision cutting," in *Advanced Machining and Finishing*, 2021. doi: 10.1016/B978-0-12-817452-4.00012-9.
4. J. Metelkova, Y. Kinds, K. Kempen, C. de Formanoir, A. Witvrouw, and B. van Hooreweder, "On the influence of laser defocusing in Selective Laser Melting of 316L," *Addit Manuf*, vol. 23, pp. 161–169, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.ADDMA.2018.08.006.
5. G. C. Rodrigues, V. Vorkov, and J. R. Dufloy, "Optimal laser beam configurations for laser cutting of metal sheets," *Procedia CIRP*, vol. 74, pp. 714–718, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.PROCIR.2018.08.026.
6. B. X. Cao, P. le Hoang, S. Ahn, J. o. Kim, and J. Noh, "High-precision detection of focal position on a curved surface for laser processing," *Precis Eng*, vol. 50, pp. 204–210, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.PRECISIONENG.2017.05.008.
7. R. S. Rana, R. Chouksey, K. K. Dhakad, and D. Paliwal, "Optimization of process parameter of Laser beam machining of high strength steels: a review," *Mater Today Proc*, vol. 5, no. 9, pp. 19191–19199, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.MATPR.2018.06.274.
8. M. A. Rizki and Yu. V. Fedosov, "Evaluation and development of a method for compensating the positioning error of computer numeric control equipment," *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 22, no. 6, pp. 1063–1071, Dec. 2022, doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-6-1063-1071.
9. M. Russo and X. Dong, "A calibration procedure for reconfigurable Gough-Stewart manipulators," *Mech Mach Theory*, vol. 152, p. 103920, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2020.103920.
10. Y. Song, W. Tian, Y. Tian, and X. Liu, "Calibration of a Stewart platform by designing a robust joint compensator with artificial neural networks," *Precis Eng*, vol. 77, pp. 375–384, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.PRECISIONENG.2022.07.001.

## СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОД, АВТОМАТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДОЛБЯКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ШЕСТЕРЁН

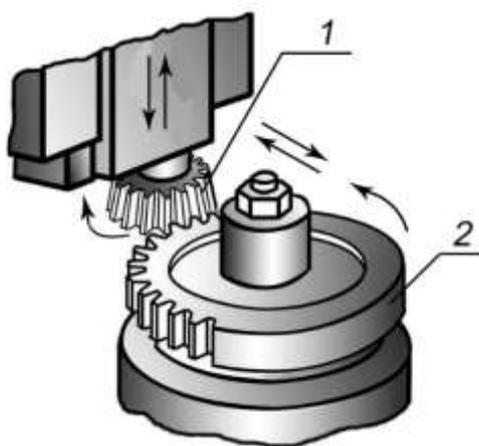
ПЕРЕВАЛОВ Ю.Ю., КУДРЯШ М.Н., МЕЛЬНИКОВ А.С., БЫРКИН Ю.С., РЯБОВ К.А.

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

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена задача упрочнения долбяка для нарезания шестерён. Задача исследования состоит в разработке индукторной системы, которая позволит сконцентрировать энергию магнитного поля в режущей кромке долбяка с целью улучшения свойств её поверхности и повышения износостойкости.

*Ключевые слова:* долбяк, упрочнение, магнитно-импульсное упрочнение, магнитно-импульсная обработка

Долбяк для нарезания шестерен – это инструмент, который используется для нарезания зубьев на заготовке. Долбяк представляет собой стержень с квадратным или шестигранным сечением и небольшой конической загнутой на 90 градусов головкой. Принцип работы долбяка заключается в том, что он ударяется молотком по заготовке, постепенно вырезая форму зубьев на шестерне. Подобные инструменты используются на предприятиях автомобильной промышленности, тяжелого машиностроения, станкостроения и многих других.



*Рис. 2. Принцип работы долбяка: 1 – долбяк, 2 – заготовка [1].*

Время работы долбяка для нарезания шестереней может варьироваться в зависимости от многих факторов, таких как тип и материал шестерни, сложность ее конструкции, качество используемого оборудования и т.д. В среднем, рабочий ресурс долбяков для нарезания шестереней может занимать от нескольких минут до нескольких часов. Однако, долговечность может быть определена только на основе конкретных условий и

требований производства [2]. Это вынуждает производить частые переналадки станков и приводит к экономическим потерям. В настоящее время для повышения износостойкости долбяков используются поверхностная индукционная закалка и нанесение покрытий, например, нитрид титана, для уменьшения трения и износа [2].

Одним из способов дополнительного повышения ресурса долбяков может являться обработка их режущих кромок импульсным магнитным полем высокой напряженности (магнитно-импульсная обработка). На данный момент нет точных данных о связи между свойствами стали и параметрами импульсного магнитного поля, которые необходимы для достижения эффекта поверхностного упрочнения и изменения шероховатости поверхностного слоя обрабатываемого изделия. Однако, исходя из опубликованных результатов исследований в данной области, можно утверждать, что повышение микротвердости поверхностного слоя режущей кромки инструмента достигается при использовании магнитно-импульсной обработки с напряженностью магнитного поля более  $1,8 \cdot 10^5$  А/м [3].

#### Метод исследования

Классические конструкции индукторов, такие как цилиндрический или спиральный индуктор, не всегда способны обеспечить достаточно высокий уровень концентрации магнитного поля в зоне режущей кромки, что снижает эффективность процесса упрочнения.

При решении этой проблемы можно применять нестандартные формы индукторов.

В работе разработаны 3-Д модели индукторных систем. В первом случае плоский спиральный индуктор диаметром 120 мм. Во втором случае аналогичный индуктор, но с дополнительным витком сверху. Материал индуктора в обоих случаях – медь. В качестве упрочняемого образца в обоих случаях рассматривался долбяк из стали марки 20ХГНР диаметром 111.766 мм, число зубьев - 20. Исследование выполнено методом численного моделирования в среде программы JMAG.

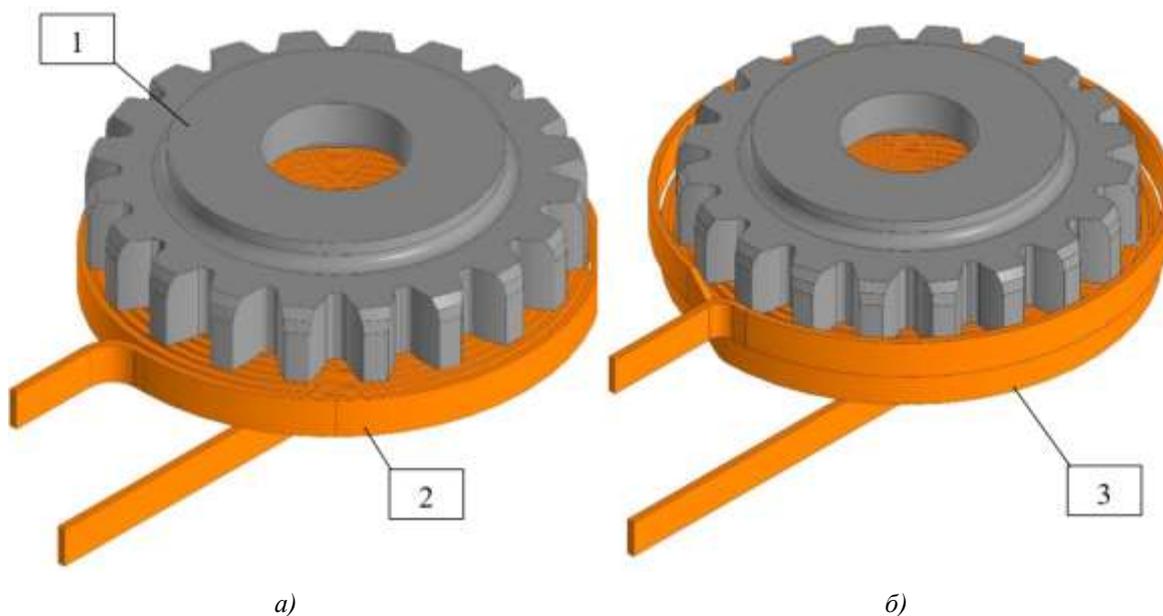


Рис. 2. Долбяк (1) и индукторы: а) спиральный (2); б) спиральный с дополнительным витком (3).

В обоих случаях на вход индуктора подавался ток амплитудой 20 кА.

Для последующей верификации моделей будут проводиться натурные эксперименты. Натурный эксперимент предполагается производить на магнитно-импульсной установке «Инмаг-02М» со следующими характеристиками: энергия импульса от 4 до 15 кДж, амплитуда разрядного тока – до 100 кА, емкость батареи – 300 мкФ (С), паразитная индуктивность ( $L_{п}$ ) – 500 нГн.

Расчётная величина индуктивности индуктора с нагрузкой ( $L_{н}$ ) – 7.27 мкГн.

Расчетная частота колебаний тока рассчитывалась по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_{н} + L_{п})C}}$$

Исходя из формулы частота колебаний тока равна 3,3 кГц

### Результаты исследования

Результаты численного моделирования распределения напряженности магнитного поля в поперечном сечении половины долбяка и спирального индуктора, приведены на рисунке 3.

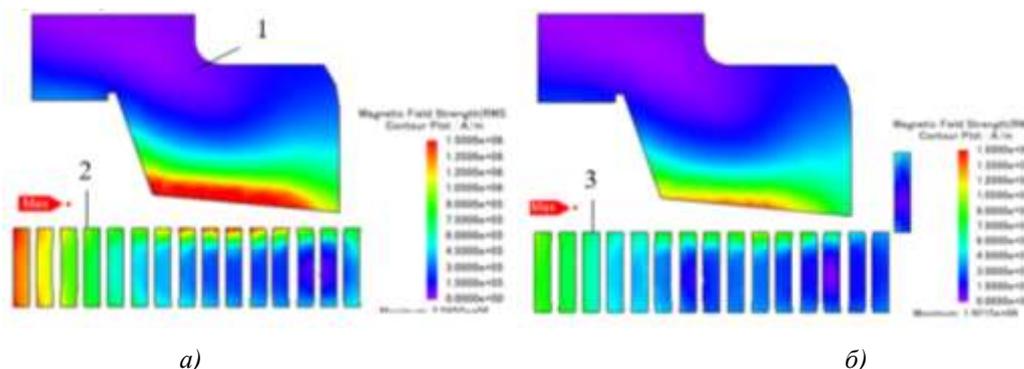


Рис. 3. Картина распределения напряжённости магнитного поля по сечению долбяка и индуктора: 1. поперечное сечение половины долбяка; 2. плоский спиральный индуктор; 3. плоский спиральный индуктор с дополнительным витком сверху

Из полученных результатов можно видеть, что в случае а) на режущей кромке напряженность поля находится в диапазоне от 0,9 до 1,2 МА/м, наибольшая напряженность поля – на плоской поверхности достигает 1,5 МА/м, в случае б): на режущей кромке напряженность поля находится в диапазоне от 0,3 до 0,6 МА/м, но распределяется по всей длине кромки, на плоской поверхности напряженность распределяется в значениях от 0,9 до 1,5 МА/м. Исходя из этих результатов можно предположить, что этого достаточно для достижения эффекта упрочнения.

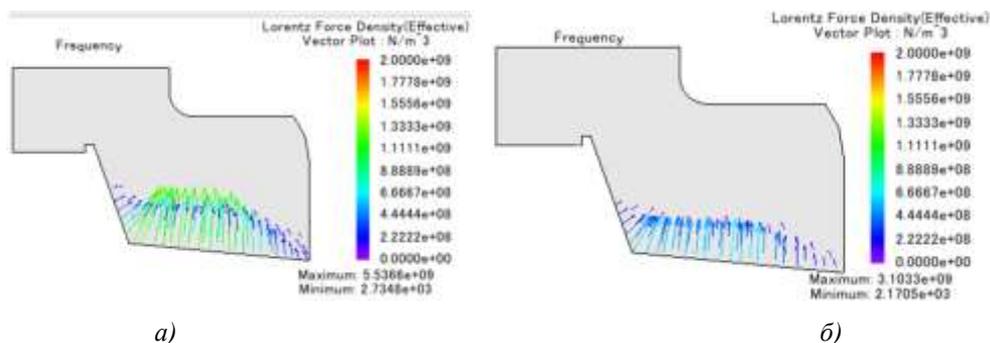


Рис. 4. Векторное распределение плотности силы Лоренца по сечению долбяка.

Предполагается, что наибольший эффект упрочнения поверхности будет наблюдаться в областях долбяка с наибольшей величиной плотности силы Лоренца. Из представленных результатов (рисунок 4) видно, что спиральный индуктор без дополнительного витка обеспечивает более оптимальное распределение.

Также, в результате анализа полученных данных было установлено наличие неравномерности в распределении плотности силы Лоренца, действующей на долбяк.

Кроме того, как видно из рисунке 4, распределение силы Лоренца, действующей на поверхность режущей кромки долбяка, имеет неравномерный характер. Для наиболее наглядного представления данного явления был построен график распределения плотности силы Лоренца вдоль оси, показанной на рисунке 5.

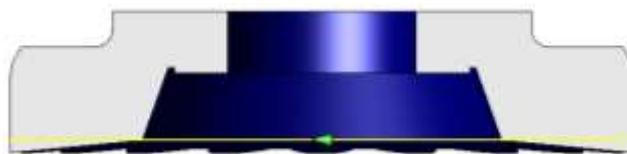


График распределения плотности силы Лоренца вдоль указанной оси показан на рисунке 6.

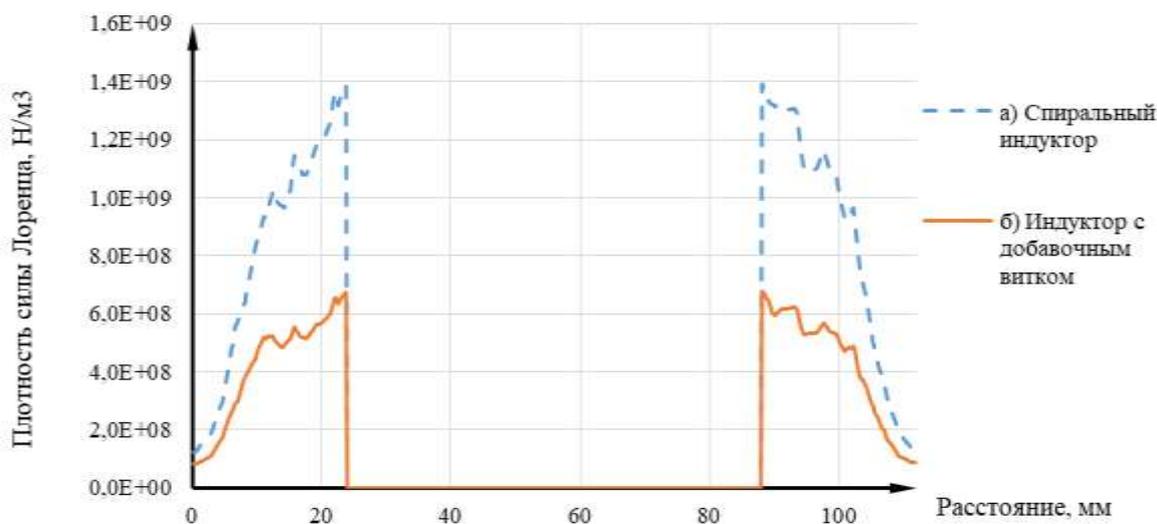


Рис. 6. График распределения плотности силы Лоренца в долбяки при использовании систем индукторов: спирального плоского и с дополнительным витком.

Исходя из графика распределения плотности силы Лоренца (Рис. 6), для случая со спиральным индуктором наибольшее значение достигает  $1,4 \cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup>, а в случае с индуктором с дополнительным витком наибольшее значение составляет  $0,68 \cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup>. В первом случае наблюдается наибольшая неравномерность. Причем, как видно из Рис.6, наибольшее магнитное воздействие в обоих случаях прикладывается к нерабочей поверхности долбяка, что свидетельствует о необходимости дальнейших работ по оптимизации конструкции индукторов.

### Заключение

Из представленных результатов исследования видно, что спиральный индуктор более эффективен, так как с помощью него достигается максимальная напряженность магнитного поля и плотность силы Лоренца на режущей кромке долбяка. Однако, несмотря на то что величина напряженности магнитного поля в режущей кромке является достаточной для достижения эффекта упрочнения, большая часть энергии выделяется в нерабочей поверхности долбяка. Одним из предполагаемых способов решения данной проблемы является использование медных концентраторов. Исследование индукторных систем с концентраторами планируется в рамках дальнейших работ в данной области.

### Список литературы

1. Справочник по металлообработке [Электронный ресурс] URL: <https://p-z-o.ru/products/dolbyaki/dolbyak> (дата обращения: 20.04.2023).
2. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс] URL: <https://mash-xxl.info/info/184787/> (дата обращения: 21.04.2023).
3. A Review on Electromagnetic Forming Process. Dhiraj Gayakwada, Mahesh Kumar Dargara, Pramod Kumar Sharma, Rajesh purohitb, R.S.Rana. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014). Procedia Materials Science 6 (2014) pp.520 – 527.
4. Горчанин, А.И. Влияние магнитно-импульсной обработки на структуру и свойства сложнопрофильного режущего инструмента / А.И. Горчанин, А.М. Милукова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13-15 сентября 2017 г. В 3 кн. / 2 кн. – 2017. – Мн.: ФТИ НАН Беларуси. – С. 48-53.

## ПОВЫШАЮЩИЙ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

ВИКТОРОВ А.Д., ВАН ФУМИНЬ

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

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены вопросы схемотехники и построения алгоритма управления для импульсного повышающего преобразователя постоянного тока (*DC-DC step-up (boost) converter*). Было проведено моделирование работы различных топологий преобразователя в среде математического моделирования Matlab/Simulink с целью сравнения различных способов повышения постоянного напряжения в рамках решения задачи повышения напряжения сборки аккумуляторных батарей для дальнейшего инвертирования напряжения.

*Ключевые слова:* повышающий преобразователь, boost converter, силовая электроника

На данный момент в современной преобразовательной технике для решения множества задач существует необходимость в преобразовании уровня постоянного напряжения. Для решения таких задач как понижение, повышение и стабилизация напряжения разработано большое число топологий преобразователей.

Для создания переменного напряжения с действующим значением  $U_d$  (линейное напряжение) необходимо создать на входе трехфазного инвертора постоянное напряжение

$U_d = \sqrt{\frac{3}{2}} U_n$ . При необходимости создания линейного действующего значения

напряжения **380 В**, исходя из приведенной выше формулы, на входе инвертора необходимо создать напряжение порядка **660 В**. Далее в статье будет рассмотрена возможность применения различных топологий преобразователя для повышения напряжения сборки аккумуляторных батарей до напряжения  $U_d$ .

Простейшая топология повышающего преобразователя представляет из себя катушку индуктивности, попеременно подключаемую последовательно и параллельно с источником постоянного напряжения. Схема этой топологии представлена на рисунке 1.

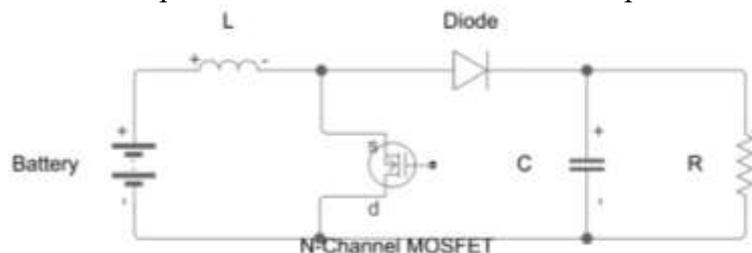


Рис. 3. Схема простейшего повышающего преобразователя

Для примера на рисунке 2 показан график токов и напряжений такого преобразователя при следующих параметрах схемы: входное напряжение  $V_{in} = 12В$ , выходное напряжение  $V_{out} = 24В$ , индуктивность дросселя  $L = 10мкГн$ , частота ШИМ  $f = 62,4кГц$ , скважность  $D = 0,52$ .

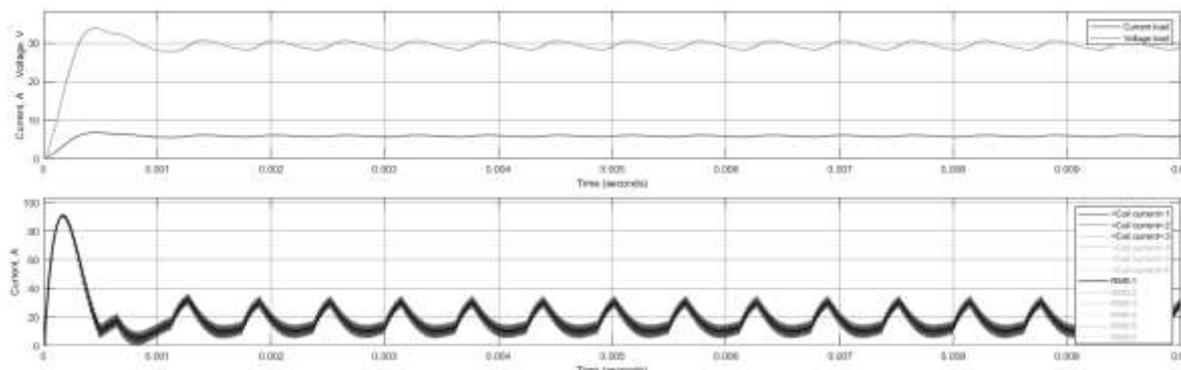


Рис. 4. График токов и напряжений повышающего преобразователя

Напряжение на выходе имеет пульсации, связанные с импульсной природой преобразователя, средняя величина напряжения на выходе составляет 29 Вольт. Действующее значение тока катушки индуктивности составляет около 22 Ампер.

Для повышения выходного напряжения преобразователя и уменьшения действующего значения тока через катушку можно использовать усложненную топологию с тремя параллельными катушками индуктивности с отдельными транзисторами для каждой, что повлечет за собой возможность уменьшения сечения проводника, а значит и габаритов дросселя (схема такого преобразователя представлена на рисунке 3).

При тех же параметрах ШИМ и номиналах реактивных элементов можно получить напряжение порядка 35 Вольт на выходе преобразователя, при этом существенно уменьшается действующее значение тока через катушку (10 А) и немного уменьшается

пульсации выходного напряжения. Графики токов и напряжений повышающего преобразователя представлены на рисунке 4.

Для уменьшения пульсаций выходного напряжения можно модифицировать систему управления повышающим преобразователем с целью включения дросселей в разные моменты времени, смещенные друг относительно друга на 120 электрических градусов одного периода широтно-импульсной модуляции. При этом уровень напряжения на выходе преобразователя остается неизменным, а пульсации существенно уменьшаются. График токов напряжений повышающего преобразователя при таком варианте управления представлен на рисунке 5.

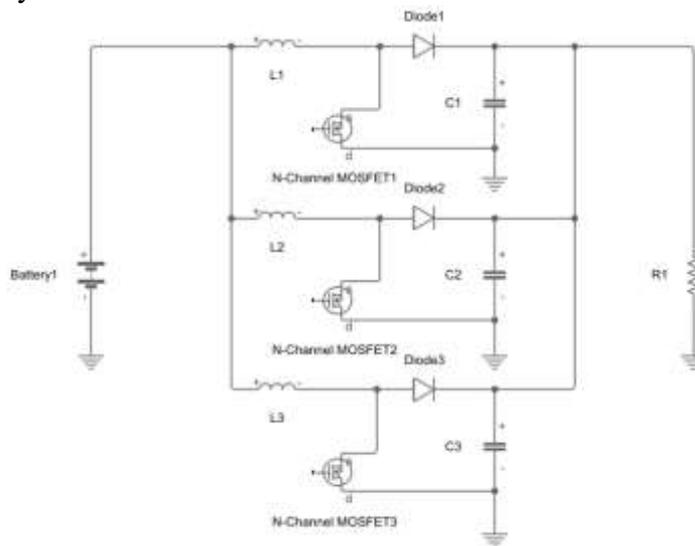


Рис. 5. Электрическая схема повышающего преобразователя с тремя параллельными катушками индуктивности

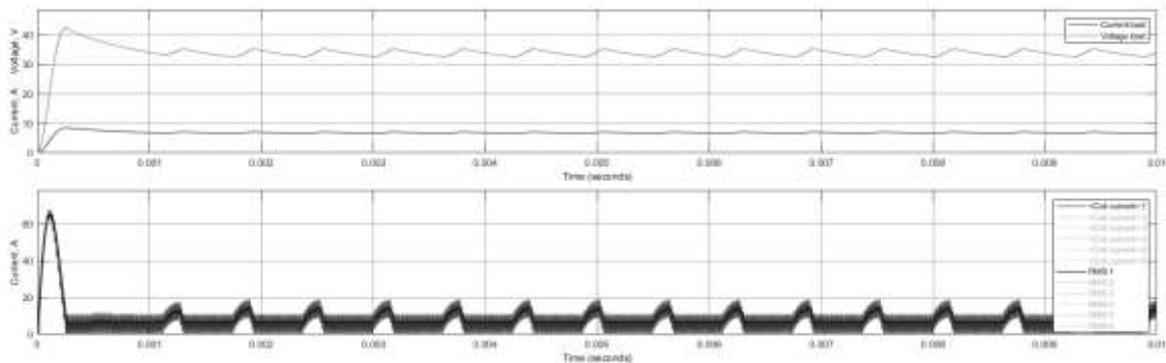


Рис. 6. График токов и напряжений повышающего преобразователя с тремя катушками индуктивности.

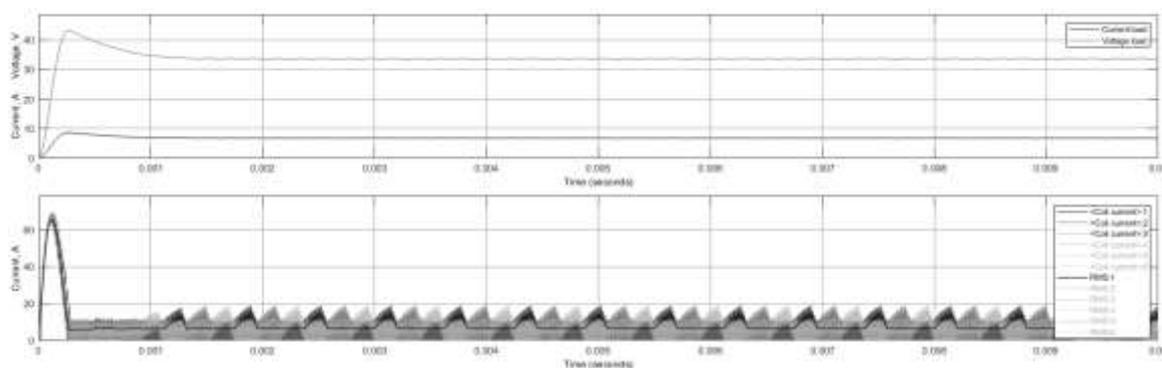


Рис. 7. График токов и напряжений повышающего преобразователя с тремя дросселями со смещенным временем включения.

Эффективность подобного решения экспоненциально убывает с увеличением количества дросселей. Для доказательства этого на рисунках 6 и 7 представлены графики токов и напряжений повышающего преобразователя с шестью катушками. На рисунке 5 изображен график построенный при моделировании преобразователя с тремя парами дросселей, работающих параллельно, при этом пары дросселей включаются со смещением по времени в 120 электрических градусов на один период ШИМ. Схема повышающего преобразователя с шестью катушками аналогична схеме представленной на рисунке 3 с точностью до количества дросселей.

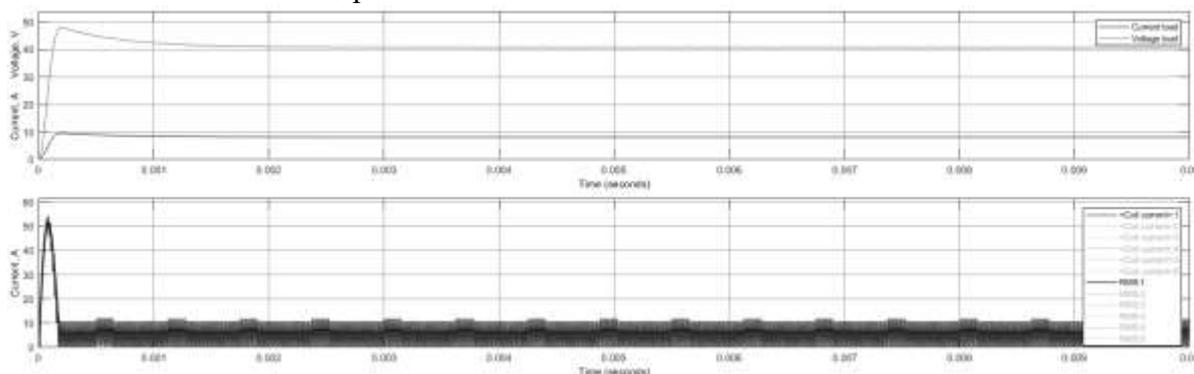


Рис. 6. График токов и напряжений повышающего преобразователя с тремя парами дросселей

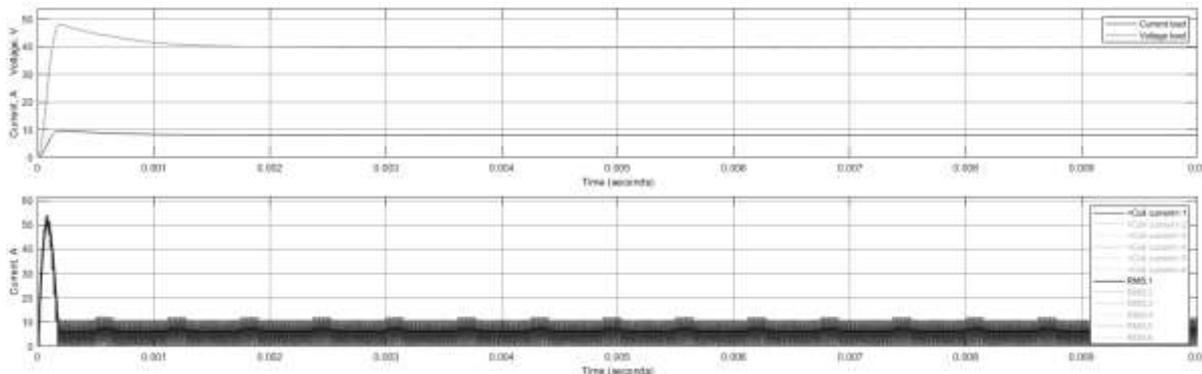


Рис. 7 График токов и напряжений преобразователя с шестью катушками, время включения которых смещено на 60 градусов

Исходя из анализа работы повышающих преобразователей, построенных по топологии описанной выше можно сделать вывод о том, что для задачи повышения напряжения в 20-30 раз использование преобразователей подобной структуры низкоэффективно, с точки зрения стоимости и габаритов. Однако стоит отметить, что при проектировании подобного устройства необходимо найти баланс между пульсациями выходного напряжения, количеством дросселей, стоимостью и максимальной частотой транзисторов, а также их максимального напряжения и тока. При найденном балансе и в совокупности с простотой системы управления, такой преобразователь может быть эффективен для задач стабилизации напряжения аккумуляторных батарей, при условии увеличения напряжения не более чем в 2-4 раза.

### Список литературы

1. Kazmierkowski M.P. Blaabjerg F. Krishnan R. «Control in Power Electronics»
2. Павлова В.А. «Силовая электроника. Автономные инверторы. Преобразователи частоты.»

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАНЦИИ ПО СОРТИРОВКЕ ОТХОДОВ

КУРОВА А., ТРУХАНОВА Н.А., ЛАЗОВСКИЙ Н.В.

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

**Аннотация.** Автоматизированная станция по сортировке отходов значительно упрощает процесс утилизации и переработки, повышает безопасность и эффективность работы, а также сокращает затраты на трудовые ресурсы. Разработка станции состоит из нескольких этапов: моделирование процесса работы, подбор оборудования, разработка алгоритмов распознавания и другие.

*Ключевые слова:* автоматизированная станция, сортировка отходов потребления, утилизация.

В настоящее время сортировка отходов является сложным процессом, который необходимо автоматизировать. Существующие технологии и решения позволяют разработать автоматизированную станцию по переработке отходов потребления.

Для разработки автоматизированной станции необходимо определиться с видом отходов. На сегодняшний день большой процент потребления составляют пластиковые тары и упаковка.

Для того, чтобы понять, как сортировать пластиковые отходы, необходимо разобраться в маркировке.

Пластик маркируется по нескольким параметрам:

по типу материала — для этого используются буквенные обозначения, например, PET или OTHER;

по способу переработки — используются цифры от 1 до 7.

Переработка пластика зависит от его типа и способа маркировки:

- PET (полиэтилентерефталат) — используется в бутылках для воды и безалкогольных напитков. Перерабатывается путем возврата в первоначальное состояние и использования вновь.

- HDPE (высокоплотный полиэтилен) — используется в бутылках для молока, сока и многих других продуктов. Вторичное использование возможно.

- PVC (поливинилхлорид) — используется в окнах, трубах и других изделиях. Существует возможность повторного использования, но с высокой трудоемкостью.
- LDPE (низкоплотный полиэтилен) — используется в пакетах для продуктов и другой упаковке. Подходит для повторного использования.
- PP (полипропилен) — используется в контейнерах для продуктов, бутылках для моющих средств. Может быть переработан и использован повторно.
- PS (полистирол) — используется в стаканчиках для напитков, ящиках для яиц и других продуктах. Трудно подлежит переработке.
- OTHER — означает пластик, который не подходит для рециклинга.

Проектирование станции основывается на следующих показателях сортируемого отхода: объемы и требования безопасности.

На основе полученных данных разработана концепция автоматизированной станции по сортировке отходов: конвейерная лента, которая используется для транспортировки пластиковых бутылок к сортировочному устройству, устройства распознавания (датчики): для определения типа пластика, сортировочные короба, которые используются для сбора отсортированных отходов.

Сортировщик использует датчики для определения типа пластика. Затем тара сбрасывается с конвейерной ленты в соответствующие контейнеры с помощью струи сжатого воздуха. Система управления обеспечивает бесперебойную работу процесса и эффективную сортировку. После завершения сортировки отходы могут быть отправлены на переработку или в пункт обращения с отходами.

Одним из интересных задач исследования при проектировании станции является внедрение нейронных сетей для распознавания пластиковых тар (модернизация сортировщика).

Сортировка пластика с помощью нейронных сетей является задачей классификации поступающего материала на основе обработки изображений. Нейронные сети используются для обучения системы распознавания изображений, которая может идентифицировать и классифицировать различные типы пластика на конвейере для переработки.

Для реализации технологии требуется создание системы сбора информации об объектах с использованием изображений и обучение нейронной сети. Она может быть обучена определять различные материалы на основе их уникальных атрибутов, таких как прозрачность, текстура, цвет и qr-код.

Одним из ключевых преимуществ такой системы является повышение качества сортировки пластика на конвейере.

Таким образом, проектируемая автоматизированная станция по сортировке отходов позволит эффективно разделять отходы на различные фракции в соответствии с их составом.

### Список литературы

1. Курынцева П.А., Селивановская С.Ю. Учебное пособие к специальному курсу "Обращение с отходами производства и потребления" / П.А. Курынцева, С.Ю. Селивановская. – Казань: Казан. ун-т, 2018 – 64 с.
2. Осовская И.И., Полимерные материалы. Применение и переработка: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2017 – С.89.

3. Хорошавин, Л. Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: [учеб. пособие] / Л. Б. Хорошавин, В. А. Беляков, Е. А. Свалов; [науч. ред. А. С. Носков]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016 – 220 с.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ

ХАНСВЯРОВ А.М., МОРОЗОВА Е.В.

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

**Аннотация.** Статья посвящена рассмотрению и разработке системы управления электроприводом главного проветривания шахты. Рассматривается система управления вентиляцией по запросу (VOD). Интегрируя систему VOD с системой управления электроприводом главного проветривания шахты, можно регулировать скорость проветривания в зависимости от фактической потребности, а также оптимизировать энергопотребление электродвигателя.

*Ключевые слова:* система управления, система вентиляции шахты, электропривод.

Главная система вентиляции шахты играет решающую роль в поддержании безопасной и здоровой рабочей среды для горняков. Система вентиляции отвечает за удаление из шахты вредных газов и пыли и снабжение горняков свежим воздухом. Электродвигатель, приводящий в действие систему вентиляции, потребляет значительное количество энергии, что делает необходимым разработку эффективной системы управления для регулирования скорости и потребляемой мощности двигателя.

Система управления предназначена для регулирования скорости двигателя с помощью замкнутой системы управления. Входом в систему управления является желаемая скорость вентиляции, а выходом – скорость двигателя. Система управления использует обратную связь от двигателя для достижения желаемой скорости вентиляции. Система управления также регулирует потребляемую мощность двигателя для минимизации энергопотребления.

Одним из требований при проектировании системы управления является установка приведенных ниже параметров таким образом, чтобы минимизировать мощность, потребляемую всеми вентиляторными установками вентиляционной сети шахты или рудника [1]

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{H_i Q_i}{\eta_i} \rightarrow \min,$$

обеспеченность всех рабочих зон требуемым количеством воздуха

$$Q_j \geq Q_j^*, j = 1, \dots, m,$$

где индекс  $i$  – номер вентиляторной установки; индекс  $j$  – номер рабочей зоны;  $n$  – количество вентиляторов;  $m$  – количество рабочих зон;  $Q$  – расход воздуха;  $H$  – депрессия вентиляторной установки;  $\eta$  – коэффициент полезного действия установки;  $Q^*$  – расход воздуха в рабочей зоне, требуемой для разбавления вредных примесей и обеспечения комфортного микроклимата.

Как показывает практика, требуемые параметры проветривания шахт и рудников за срок службы главной вентиляторной установки могут меняться в несколько раз. Основ-

ными причинами являются изменение горно-геологических условий (газоносности, влажности месторождения, параметров горного давления и физико-механических свойств массива), изменение технических характеристик (топологии сети горных выработок, нагрузок на забои). Так же причинами ухудшения требуемых параметров могут быть следующие:

1. Нерациональный выбор типоразмера вентилятора на стадии проектирования и невозможность экономичной адаптации вентиляторов к изменяющимся режимам проветривания. Вентиляторы выбираются на весь срок службы и зачастую с большим запасом по мощности, что приводит к продолжительной работе в неоптимальных режимах, т.е. низкому к. п. д. вентилятора.

2. Использование для привода таких вентиляторов нерегулируемых асинхронных и синхронных двигателей, которые из-за нерационального выбора вентиляторов работают с низким КПД

3. Применение вентиляторов с регулируемой частотой вращения не соответствует требованиям экономичности и надежности работы ГВУ, т.к. в самих системах электроприводов, как будет показано ниже, теряется в среднем от 10 до 33 % потребляемой энергии, а потоки отказов превышают аналогичные показатели для механического оборудования установок.

Для решения этих проблем применяют вентиляцию по запросу (VOD) – это технология, которая становится все более популярной в горнодобывающей промышленности. Системы VOD предназначены для обеспечения необходимой скорости вентиляции в определенной зоне шахты в зависимости от количества людей или оборудования, работающих в этой зоне. Системы VOD могут значительно снизить потребление энергии, регулируя скорость вентиляции в зависимости от фактической потребности. Эта технология также снижает количество требуемых воздухообменов, что может привести к экономии средств и улучшению качеств воздуха. Блок-схема системы управления с VOD представлена на рисунке 1.

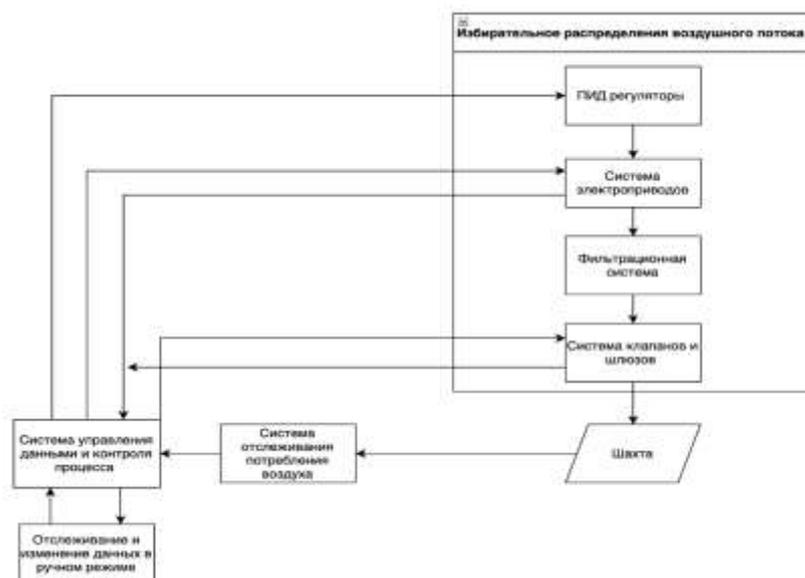


Рис. 1. Блок-схема системы с использованием VOD

Установленные датчики определяют концентрацию газа, а также количество и тип транспортных средств или даже людей, которые работают в этой зоне. Эти датчики связа-

ны с вентилятором и/или регулятором, которые контролируют поток воздуха в этой области (поток воздуха в области может контролироваться как вспомогательным вентилятором, так и регулятором, или каждым из них по отдельности). Когда концентрация газа превышает заданный предел, запускается вентилятор, и, если используется регулятор, его открытие увеличивается, так что воздух поступает в помещение до тех пор, пока концентрация не упадет ниже предела. Как только концентрация становится достаточно низкой, вентилятор автоматически останавливается, а регулятор автоматически уменьшает свое открытие. Точно так же, когда транспортное средство въезжает в зону, система определяет тип транспортного средства и автоматически настраивается в соответствии с предварительно установленными значениями, обеспечивая приток воздуха в эту зону, соответствующий выделению и выбросам тепла этим транспортным средством. Помимо автоматического управления, системой также можно управлять вручную из диспетчерской.

Система управления реализована с использованием программируемого логического контроллера (ПЛК) и человеко-машинного интерфейса (ЧМИ). ПЛК отвечает за управление скоростью и потребляемой мощностью электродвигателя. ЧМИ позволяет оператору удаленно контролировать и управлять системой вентиляции. Система управления предназначена для регулирования скорости двигателя с помощью замкнутой системы управления. Входом в систему управления является желаемая скорость вентиляции, которая определяется системой VOD на основе фактической потребности, а выходом является скорость двигателя. Система управления использует обратную связь от двигателя для регулировки скорости для достижения желаемой скорости вентиляции. Система управления также регулирует потребляемую мощность двигателя для минимизации энергопотребления.

Система управления электроприводом главного проветривания шахты может быть интегрирована с системой VOD для оптимизации энергопотребления системы проветривания. Систему VOD можно использовать для определения требуемой скорости вентиляции на основе фактической потребности, а система управления может регулировать скорость электродвигателя для достижения желаемой скорости вентиляции. Структурная схема управления представлена на рисунке 2.[2]

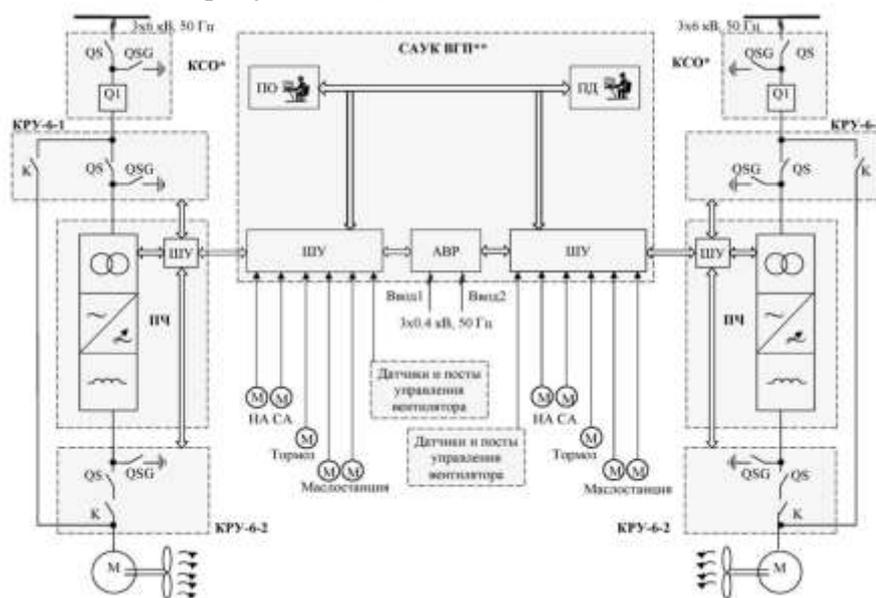


Рис. 2. Структурная схема системы управления

Таблица 1

**Используемое оборудование в системе управления к Рис. 2.**

№	Сокращение	Расшифровка
1	ШУ	шкаф управления
2	БТ	блок трансформатора
3	ШСБ	шкаф силовых блоков
4	БР	блок реакторов
5	КРУ	комплектное распределение устройств
6	ШУ ВГП	шкаф управления вентилятором
7	Шкаф АВР	Автоматический ввод резерва питания с распределительным щитом
8	ПО	Пульт оператора
9	ПД	Пульт диспетчера

Таким образом, интегрируя систему VOD с системой управления электроприводом главного проветривания шахты, можно регулировать скорость проветривания в зависимости от фактической потребности, а также оптимизировать энергопотребление электродвигателя. Такая интеграция может привести к значительной экономии энергии и улучшению качества воздуха в шахте.

**Список литературы**

1. Automated ventilation control in mines. Challenges, state of the art, areas for improvement. [Электронный ресурс] [https://www.researchgate.net/publication/349544877\\_Automated\\_ventilation\\_control\\_in\\_mines\\_Challenges\\_state\\_of\\_the\\_art\\_areas\\_for\\_improvement](https://www.researchgate.net/publication/349544877_Automated_ventilation_control_in_mines_Challenges_state_of_the_art_areas_for_improvement)
2. Электропривод вентилятора главного проветривания ВО-42,5РЗ. ЭраСиб. [Электронный ресурс] <https://erasib.ru/otraslevye-resheniya/ugol/ventilyator-glavnogo-provetrivaniya/elektroprivod-ventilyatora-vo-425r3>

## СЕКЦИЯ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБРАЗОВАНИЯ

БУРАВЛЕВ А.С., СУСЛОВА К.А., ПРОХОРОВ А.С.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

*им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** Рассматриваются перспективы внедрения искусственного интеллекта и машинного обучения в традиционную систему образования. Проведен анализ концепции обучения, построенной на двух лицах – преподаватель и студент, за основу предмета обучения взят теоретический материал и эффективное его применение на практике. Приведены используемые языковые модели нейронной сети, арт-генераторы изображений, систем антиплагиата.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, нейронные сети, информационные процессы, обучаемые системы, информационные системы и технологии, интернет-пространство, машинное обучение, образование, концепция обучения.

#### **Введение**

В современном мире с постоянным улучшением информационных систем и технологий широкое распространение получила тенденция использования искусственного интеллекта для получения оригинального контента, упрощающего функционирование многих процессов в отечественных сферах инфраструктуры. Нынешняя имитация машинами человеческого интеллекта позволяет не только легко отвечать на поставленные вопросы, но и создавать уникальные решения, способные значительно изменить текущий курс развития рынка мировых технологий. Дальнейшие перспективы внедрения нейронных сетей как отдельной отрасли искусственного интеллекта задают новые возможности применения мощностей машинного обучения для улучшения качества и методов решения задач в традиционной системе образования.

Сегодня искусственный интеллект (ИИ) – бурно развивающееся направление, имеющее многочисленные приложения. Человек хочет иметь интеллектуальные программы, которые могли бы автоматизировать рутинный труд, понимали речь и изображения, ставили медицинские диагнозы и поддерживали научные исследования.

Углубляясь в структуру методологии искусственного интеллекта, можно обозначить ИИ как наиболее общее понятие системы, предназначенной для имитации интеллектуальной и творческой деятельности стандартного индивидуума. При этом машинное обучение представляется в качестве отдельной составляющей применения ИИ [1]. Концепция данного определения построена на специальных алгоритмах, способных к самообучению, анализу и оценке данных, поданных на вход. Нейронные сети по сути и являются определенной классификацией алгоритмов машинного обучения, структура которых представляется в виде нейронов человеческого мозга.

Наиболее эффективными и развивающимися нейронными сетями на данный момент являются [2]:

Арт-генераторы. Нейросети, которые нарисуют изображение по заданному текстовому описанию:

- Midjourney.com достаточно быстро справляется с текстовым запросом и генерирует по нему сразу 4 варианта изображений;
- Dream позволит в несколько кликов сгенерировать изображение невероятной красоты и отличного качества по вашему текстовому запросу или изображению;
- DALL·E 2 используется для генерации изображения по текстовому запросу или наброску, с помощью DALL-E 2 можно внести невероятно реалистичные изменения в уже существующие фото и арт-иллюстрации, так как нейросеть принимает во внимание и тени, и отражения, и текстуры

Нейросети, основанные на языковых моделях:

- ChatGPT представляет собой чат-бот, который не просто способен вести с вами диалог, понимая контекст переписки, но и поможет найти ошибку в коде, сочинить стих, написать сочинение или даже станет интересным оппонентом в дискуссии на любую тему;
- Anyword, нейросеть с удобным интерфейсом для написания коротких постов или статей.

### **Анализ текущих возможностей нейронных сетей**

Структура нейронной сети, называемая также «архитектурой» или «топологией», состоит из количества слоев, элементарных единиц и механизма регулировки веса[3]. Простейшей структурой принято считать структуру, в которой единицы распределяются по двум слоям: входной слой и выходной слой. При этом каждая единица входного слоя имеет один вход и один выход, который равен входу [3].

В отличие от компьютерных устройств, построенных на электронно-вычислительной базе, на вход которой подаются инструкции от пользователя, нейросеть способна справиться с заданиями, шаги решения которых могут быть заранее не известны. Подобный метод считается надежным благодаря способности к обучаемости искусственного интеллекта. Главная идея заключается в подборе эффективного набора признаков, передаваемых алгоритму машинного обучения. Существуют и определенные сложности при ручном поиске наиболее подходящих данных для обучающих алгоритмов. По этой причине разработаны специальные средства, такие как обучение представлений или же глубокое обучение. В обучении представления за основу берется отбор факторов вариативности, объясняющих наблюдаемые данные. Важным преимуществом данного подхода является обеспечение качества информации, подданной на вход алгоритму и адаптация к актуальным задачам с минимальным вмешательством в исходный код.

На данный момент нейронные сети с ключевым фактором обучаемости и доступом к огромному количеству интернет-ресурсов способны к генерации нового контента, разработка которого человеческими ресурсами может быть весьма трудозатратна. Кроме того, с бурным развитием ИИ постоянно улучшаются и текущие возможности анализа, сбора данных и выявления зависимостей. В связи с этим, наблюдаются перспективы внедрения мощностей машинного обучения в традиционную систему образования. Нынешняя концепция обучения строится на двух лицах – преподаватель и студент. За основу любого предмета обучения берется теоретический материал и эффективное его применение на практике. При этом возможны и различные формы обучения,

предполагающие очное, заочное и гибридное обучение. Сформированная структура просвещения является весьма стойкой, но при этом довольно часто возникают проблемы в восприятии слушателями информации, используемой в различных научных пособиях, а также и со стороны наставников, занимающихся проверкой работ. В первом случае явление характеризуется определенными принципами устройства познания учащихся, во втором же самым наличием значительного объема работ, подлежащих проверке.

### **Ключевые задачи и способы их решения**

На основе анализа текущих проблем в образовании можно сформулировать ключевые задачи, решение или упрощение которых возможно благодаря внедрению нейронных сетей:

- Генерация студентами материала для обучения.
- Совершенствование системы антиплагиата.
- Проверка интеллектуальной деятельности на базовые ошибки.

С учетом специфичности в восприятии информации обучающимися, проявляется разносторонний подход у отдельных участников процесса обучения: одним достаточно теоретических научных пособий, другие же используют для погружения в исследование интернет-источники. Случается, и так, что в процессе обзора предметной области иногда сложно обозначить для себя конкретику исследуемой задачи.

Именно поэтому генераторы текста на основе машинного обучения вполне применимы в качестве инструмента для обзора изучаемых понятий. Как известно, искусственный интеллект в ходе обучения уже имеет свойство накопления информации, черпаемой из открытых источников электронных ресурсов. При должном обучении, представления, поданные на вход ИИ, могут включать в себя также и базу научной литературы, различных исследований, задокументированных в отдельные статьи. Данная концепция позволяет использовать нейросеть для разбиения сложных понятий и терминов на более простые составляющие, достаточно легко воспринимаемые студентами. Одновременно с этим, при повторном запросе к алгоритмам происходит генерация информации, описывающей нужный феномен иным образом, не отдаляясь от сути поставленного вопроса. Таким образом, каждый индивидуум способен найти для себя оригинальные данные, подходящие под конкретное восприятие.

В задаче совершенствования системы антиплагиата при рассмотрении текущей методологии антиплагиата, ситуация состоит в следующем: сейчас алгоритмы программы защищены от большого количества манипуляций, которые выполняются студентами для коррекции результата и увеличения уникальности текстов. В частности, система защищена от перестановки абзацев и замены кириллических букв латинскими, от перестановки слов и перегруппировки предложений, от замены пробелов точками, точек запятыми и отдельных слов их синонимами [4].

Наряду с появлением все более усложненных методов, таких как заимствование тезисов с иностранных сайтов, не входящих в список открытых отечественных источников и хранилище системы антиплагиата или же использование все тех же технологий нейронных сетей, возникает необходимость создания средства для предотвращения подобных приемов.

Мерой предупреждения таких способов также может стать искусственный интеллект. База алгоритмов, задействованных в системе антиплагиата в основном охватывает именно Российские ресурсы информационного поля. На фоне этого ИИ поддерживает

возможность обучения с помощью признаков, построенных на базе интернет-пространства, включающего информационные источники множества стран. В тоже время снова выделяется предрасположенность нейросети к постоянному саморазвитию. Упоминание данного свойства в контексте задачи обусловлено наличием потенциала к обнаружению и приспособлению к новым методикам плагиата. При обучении представлений машинного обучения на основе базы данных научных статей и публикаций высших учебных заведений создается благоприятная обстановка для точного подбора весовых коэффициентов, отвечающих за корректность получаемых данных на выходе. На основании изложенного, в будущей перспективе нейронные сети вполне могут покрыть вытекающие недостатки и улучшить общепринятую систему антиплагиата.

Касательно концепции проверки работ интеллектуальной деятельности, на данный момент преподаватель выступает главной фигурой, отвечающей за полноценное изучение дисциплин учащимися. В данном процессе в качествеотяжеляющего фактора выступает объемный поток заданий, поступающих на рассмотрение ответственному лицу. Для внесения полноценной конкретики в суть поставленной проблемы необходимо уточнение, что под техническим заданием подразумеваются конкретные практические или же курсовые работы, в выполнении которых задействованы студенты. Хорошо известно, что на регулирование процедуры контроля корректного исполнения задач отводятся значительные временные затраты. Наставники на протяжении некоторого срока либо назначают слушателям определенный набор материалов, на который заранее уже готов ответ, либо же каждый раз составляют новое множество практических работ, проверка которых наступает по мере поступления готовых решений.

Внедрение нейросетевых технологий в любой из представленных вариантов позволит внести положительные изменения в организацию проверок путем разбиения вычислительных задач на более простые элементы и предоставления их для решения ИИ. Нейросети генераторы так или иначе владеют или поддерживают добавление типового математического аппарата, который может быть улучшен путем интеграции с другими техническими сервисами.

Кроме того, на этом фоне выделяется и ранее упомянутый продукт OpenAI – ChatGPT. ChatGPT теперь может обращаться к Wolfram|Alpha и Wolfram Language через плагин, для сложных вычислений и точных, контролируемых знаний и данных. Плагин Wolfram может выполнять код и исправлять ошибки, а также переводить естественный язык в точный язык Wolfram Language [5]. Подобные манипуляции в будущем позволят задействовать искусственный интеллект в качестве вспомогательного инструмента контроля заданий на базовые алгоритмические ошибки, что сократит временные затраты преподавателей, отвечающих за этот процесс.

### **Трудности внедрения**

Хотя работа искусственных нейронных сетей имеет много преимуществ, имеются и некоторые недостатки их практического применения. Например, проблема насыщения сети: чем больше значения сигналов, тем ближе к нулю градиенты активационной функции, что мешает подбору наилучших коэффициентов. Кроме того, большинство вариантов проектирования искусственных нейронных сетей – эвристические, а значит, не дают единственно верных решений. Также требуются большие затраты времени и усилий для много цикловой настройки элементов модели и их связей и последующего построения непосредственно модели [6].

Следует отметить, что несмотря на все перспективы и возможности внедрения нейросетей в образовательную сферу, подбор наиболее подходящих весов при формировании ответа на запрос пользователя основывается на наибольшем совпадении представлений с исходными данными. Это свидетельствует об отсутствии целевой функции, что не может гарантировать единственно верный ответ на выходе. Если же при планировании творческих работ обозначенное явление менее заметно, то в технических направлениях данный аспект является наиболее критичным. Для минимизации такого негативного эффекта используется тщательное обучение алгоритмов на наиболее подходящих наборах данных, но при этом на данный момент невозможно полностью избавиться от вероятности ошибок. Помимо этого, обучение искусственного интеллекта является весьма долгим и трудозатратным процессом, сроки окончания которого заранее неизвестны.

Предполагая также возможное использование нейросетей в учебном процессе, важно учитывать и сложности переориентации преподавателей к новым технологиям. Ранее сформированная методология образования является надежной и выполняет поставленные задачи по обучению квалифицированных специалистов. В связи с этим, как таковое внедрение искусственного интеллекта в любую отрасль не исключает появление сомнений в целесообразности и эффективности его использования до получения наиболее показательных результатов, относящихся именно к специфике исследуемой области.

### **Выводы**

В заключении следует отметить, что нейросетевые технологии, вопреки своему бурному и широкому развитию, в настоящее время остаются весьма специфичными по своему использованию в первую очередь по причине отсутствия контроля со стороны органов надзора за их применением. Вседозволенность их использования порождает проблемы с обеспечением безопасности данных. При этом отсутствует информация о точности объективных исследований на эту тему, что связано с постоянным наращиванием мощностей машинного обучения и внедрения новых механизмов в структуры их применения. С каждым днем добавляются все новые технические аспекты, которые влияют на практичность использования нейросетей. Полноценный искусственный интеллект допускает в своей работе неточности, но при этом обучается на своих ошибках и делает определенные выводы. Его дальнейшее развитие подобно появлению новых нейронов в человеческом мозге – является неизбежным и актуальным на сегодняшний день. Вследствие этого, нейронную сеть вполне можно обозначить как инструмент в организации интеллектуальной деятельности, перспективы использования которого имеют как преимущества, недостатки и ограничения, исходя из которых целесообразно тщательно проверять получаемый результат и предпочтительно разделять запросы на более простые задачи.

### **Список литературы**

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
2. Лучшие нейросети 2023 года – Интернет-издание vc.ru. [Электронный ресурс] – URL: <https://vc.ru/u/624385-vetas-iz-octoweb/585040-luchshie-neyroseti-2023-goda> (Дата обращения: 08.04.2023).
3. Иванько А.Ф., Иванько М.А., Колесникова О.Д. Информационные нейронные сети // Научное обозрение. Технические науки. – 2019. – № 4. – С. 11-16 – URL: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1250> (Дата обращения: 14.04.2023).

4. Абраров, Р. Д. Разработка методов поиска плагиата / Р. Д. Абраров. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 12.4 (116.4). — С. 5-7. — URL: <https://moluch.ru/archive/116/32119/> (Дата обращения: 10.04.2023).
5. ChatGPT + Wolfram – Интернет-издание vc.ru. [Электронный ресурс] – URL: <https://vc.ru/future/647535-chatgpt-wolfram> (Дата обращения: 20.04.2023).
6. Кутареева А.А. Современные проблемы в сфере искусственных нейронных сетей // Материалы XV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» — URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018034748> (Дата обращения: 21.04.2023).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ DOS-АТАК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИЧЕСКОГО СЕТЕВОГО СИМУЛЯТОРА GNS3

ДЕДОВ Д. О.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»*

**Аннотация.** В работе рассмотрены основные виды сетевых атак, класса DoS, а также способы идентификации их. Показано, что при исследовании механизмов осуществления сетевых атак существенные затруднения вызывает практическая реализация, поскольку она обладает высокой стоимостью оборудования и сложностью его настройки. Для преодоления трудностей натурных испытаний предложено использование эмуляторов компьютерных сетей, которые позволяют изучить особенности работы сетевого оборудования, различных сетевых протоколов, а также специфику сетевых угроз.

*Ключевые слова:* DoS, системные ресурсы, сетевая атака,

### **Введение**

Стремительный рост подключенных к сети Интернет-устройств, приводит не только к автоматизации рутинных операций, но увеличению количества кибератак. При этом ландшафт киберугроз динамически меняется каждый год. Так по данным ПАО «Ростелеком» в 2022 году количество компьютерных атак выросло в несколько раз [1]. В свете сложившейся геополитической ситуации, сайты российских компаний стали ключевой мишенью хакеров, которые активно использовали сетевые атаки на онлайн-ресурсы, нарушив таким образом работу компаний и организаций. Рассматривая статистические данные, атаки DoS можно разделить на три основные категории:

Атаки уязвимости — злоумышленник отправляет определенную последовательность пакетов в уязвимое приложение или операционную систему, запущенную на целевом узле, что вызывает отказ работы службы или даже сбой хоста.

Затопление полосы пропускания — злоумышленник отправляет заданное количество пакетов, превышающее то, которое может обработать целевой хост. Это позволяет снизить пропускную способность сети до уровня нарушения получения пакетов от законных пользователей.

Наводнение подключений — это когда злоумышленник устанавливает множество полуоткрытых или полностью открытых TCP-соединений на целевом хосте, приводит к тому, что хост перестает принимать законные соединения.

Это подтверждается исследованием [2], в котором показано, что сетевая атака может причинить серьезный ущерб как техническим, так и бизнес-аспектам деятельности организации. В техническом плане атака может привести к потере или повреждению

данных, выходу из строя систем и сетей, нарушению доступности ресурсов, что приводит к остановке работы бизнес-процессов, потере дохода и убыткам компании.

Обеспечение безопасности от сетевых атак строится на непрерывном мониторинге сетевого трафика и совершенствовании методов их обнаружения. В существующих исследованиях [3-9] показано, что идентификация DoS атаки возможно с использованием статистических методов. Это позволяет осуществлять прогнозирование трафика на базе циклического анализа временных рядов, который определять загрузку сети на основе поиска периодичности в сетевом трафике [3] и своевременно реагировать на затопление полосы пропускания.

В [4] показана возможность использования алгоритма интеллектуального анализа в задачах обнаружения и многоклассовой классификации аномалий с использованием искусственной нейронной сети прямого распространения. Аналогичный результат был получен при применении системы нейро-нечеткого вывода в [5]. Однако применяемые методы обладают высоким ресурсопотреблением не всегда могут идентифицировать новые классы атак.

В работе [2] разработан алгоритм расчета переходных вероятностей при исследовании динамики реализации сетевых атак на примере обобщенной графовой модели развития атаки, представленной в виде конечного полумарковского процесса. Продолжение исследования в [6] позволяет перейти к построению интегрального показателя безопасности сетевой инфраструктуры. Приведенный подход позволяет получить количественную оценку угроз, но на практике сталкивается с трудностями получения количественных оценок интенсивностей переходов.

Подход к моделированию атак и исследованию поведения системы под их воздействием представлен в работах [7, 8]. Показано, что при изучении технологий и методов защиты компьютерных сетей существенные затруднения вызывает практическая часть исследования атак в связи с высокой стоимостью оборудования и сложностью его настройки. Выходом из сложившейся ситуации служит использование эмуляторов компьютерных сетей, которые позволяют изучить особенности работы сетевого оборудования, различных сетевых протоколов, а также специфику сетевых угроз.

### **Построение стенда для моделирования Dos-атак**

Для моделирования сетевых атак на базе симуляторов, вне зависимости от особенностей их функционирования встает задача развертывания сетевой инфраструктуры, и формирование набора атак, который осуществляет злоумышленник. В общем случае задачу построения стенда можно определить в несколько этапов:

Шаг 1. Подготовка структурной схемы сети и задание IP адресации.

Шаг 2. Настройка сетевой инфраструктуры, в том числе настройка VLAN, access и trunk-портов развертываемой сети, развертывание программного обеспечения на подключаемых серверах, формирование маршрутизации от клиентских ПК и от виртуальных машин к роутерам.

Шаг 3. Проверка работоспособности сетевой инфраструктуры.

Шаг 4. Разработка сценария сетевой атаки. Формирование программного обеспечения для развертывания сетевой атаки.

Шаг 5. Построение системы идентификации и противодействия для моделируемой сетевой атаки.

**Моделирования Dos-атак** было осуществлено на базе симулятора GNS3. Для реализации атаки выбрана одна из разновидностей сетевых атак типа отказ от обслуживания, таких как SYN Flood. На базе симулятора GNS3 создана сеть из 5-ти компьютеров, на 2-х из которых расположены виртуальные машины Debian Server и Kali Linux (рис. 1). Установленное ПО Debian отвечает серверную часть, а Kali Linux за атакующую часть, остальные 3 машины отвечают за клиентскую часть. Сеть обслуживается коммутаторами Ethernet и маршрутизаторами Cisco. Клиентские машины находятся в отдельной локальной сети 172.25.10.0/24 и могут получить доступ к веб-серверу через маршрутизатор Cisco 3640.

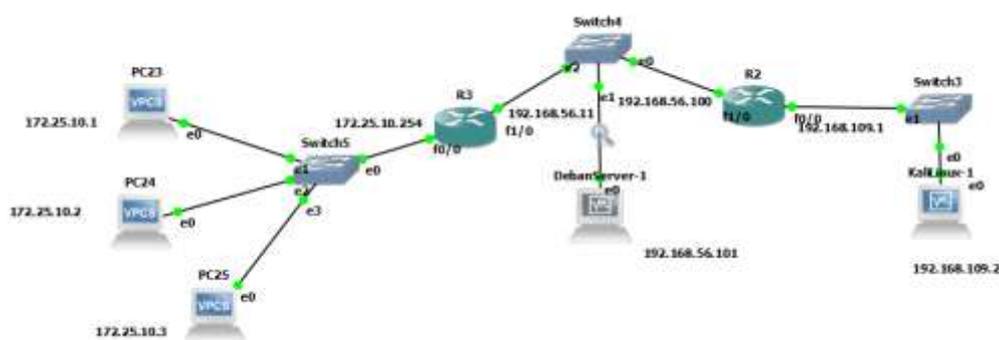


Рис. 1. Схема стенда для моделирования Dos-атак

Тестирование на работоспособность сети осуществлялось запросами протокола ICMP, типа ping и показало ряд ограничений сетевых конфигурации:

Наличие высокой нагрузки на процессор компьютера, на котором установлена среда эмуляции, которая ограничивает количество маршрутизаторов до 10 на один компьютер;

низкая производительность на L2 уровне сети, поскольку эмуляция большого количества ASIC-микросхем, обеспечивающих быструю обработку пакетов в реальных коммутаторах, вызывает трудности на обычном компьютере. В отличие от этого, маршрутизаторы работают на процессоре, поэтому их эмуляция не вызывает таких проблем.

Для осуществления атаки на сервере Debian, было использовано программное обеспечение [10] Ettercap, которое отправляет множество TCP-пакетов с установленным флагом SYN (synchronize) на целевой сервер. Каждый пакет запрашивает установление нового соединения TCP, и сервер отвечает на каждый пакет, отправляя пакет с установленными флагами SYN и ACK (acknowledge) в ответ. Однако, поскольку Ettercap не продолжает процедуру установки соединения, отправляя ACK-подтверждение, сервер продолжает ожидать завершения соединения, что приводит к блокировке ресурсов сервера и временной невозможности обработки легитимного трафика. После запуска атаки, для оценки ее протекания и поведения сетевой инфраструктуры использовался инструмент Wireshark, который позволил оценить изменение структуры трафика, проходящего через ближайший к веб-серверу коммутатор (рис. 2). Использование Wireshark также позволило получить статистику характеристик скорости полученных и

отправленных пакетов, переданных по протоколу TCP для построение порогового значения штатного режима функционирования сетевой инфраструктуры.

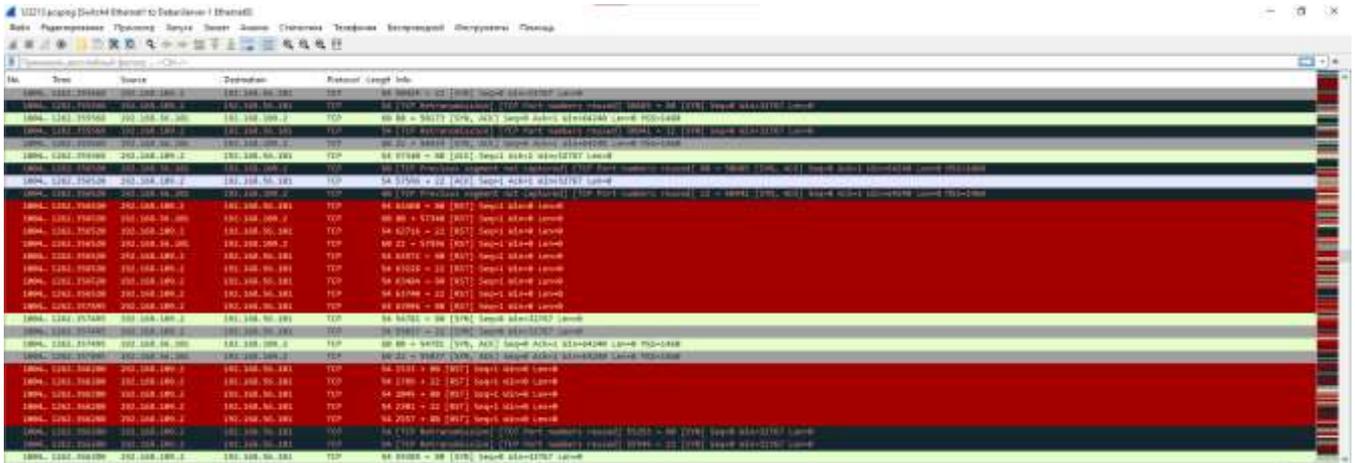


Рис. 2. Работа Wireshark после атаки

Моделирование атаки (рис. 3) показало, что большое количество подключений генерируется с IP-адреса 192.168.109.2. Ettercap отправляет ложный ответ с флагом RST (reset), что приводит к перегрузке ресурсов сервера Debian, а значит, что сервер не способен обрабатывать легитимный трафик.

Для оценки поведения сетевой инфраструктуры с целью идентификации атаки в Wireshark использовалась утилита статистики, которая позволяет оценить характеристики скорости полученных и отправленных пакетов, переданных по протоколу TCP (рис. 2).

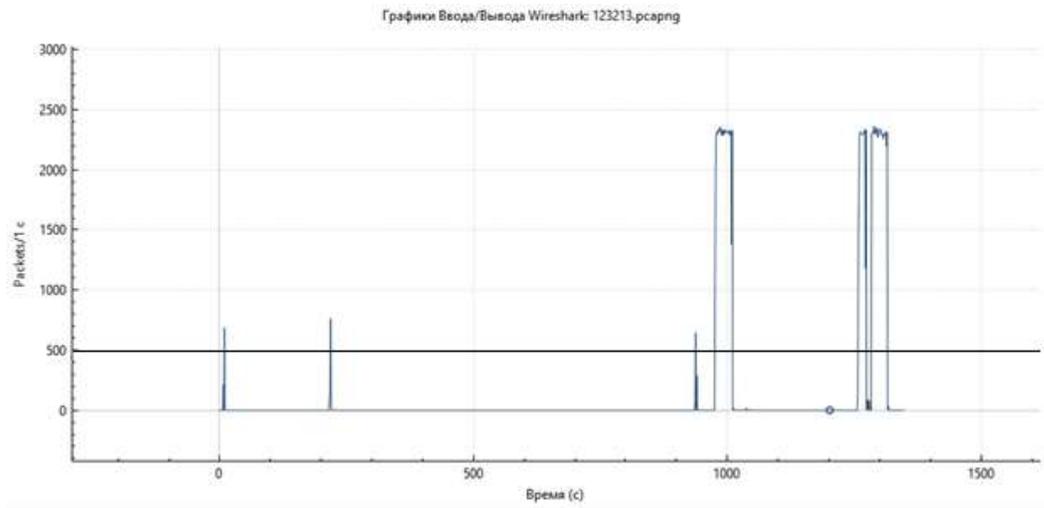
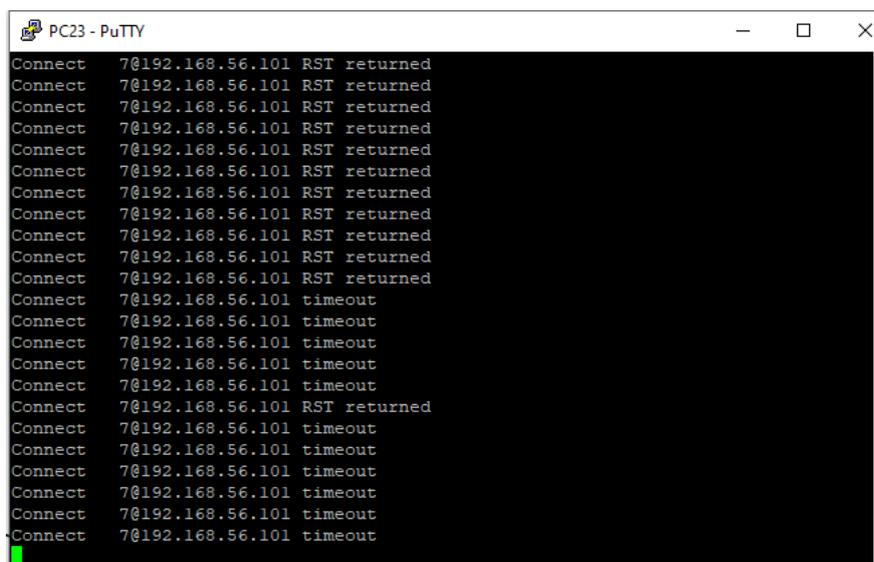


Рис. 3. График скорости передачи данных

Исходя из представленной статистики можно сделать вывод о том, что график на рис.2 показывает аномальный сетевой трафик. По количеству пройденных пиков нетрудно заметить, что, проведено несколько атак, а превышение допустимого порогового значения отправки пакетов за единицу времени для веб-сервера, свидетельствует об увеличении нагрузки на его ресурсы, с возможностью выхода его из строя. Это подтверждается тем, что сервер перестал отвечать на пользовательские запросы с хоста РС 23 во время атаки (рис.3).



```
PC23 - PuTTY
Connect 7@192.168.56.101 RST returned
Connect 7@192.168.56.101 timeout
Connect 7@192.168.56.101 timeout
Connect 7@192.168.56.101 timeout
Connect 7@192.168.56.101 timeout
Connect 7@192.168.56.101 RST returned
Connect 7@192.168.56.101 timeout
```

Рис. 4. Нарушение прохождения пакетов по сети

Использование GNS3 для моделирования атаки SYN flood является полезным инструментом для изучения таких атак и разработки методов защиты. Практическое использование показало, что процесс моделирования позволяет экспериментировать с различными параметрами и настройками устройств сети, для поиска оптимального решения для защиты от атак.

### Заключение

К дальнейшим направлениям исследования целесообразно отнести разработку методов идентификации и прогнозирования сетевых атак, а также применение разработанного аппарата в эмуляторе GNS3 при обучении студентов.

### Список литературы

1. Отчет об атаках на онлайн-ресурсы российских компаний. Электронный ресурс [https://rt-solar.ru/upload/iblock/34a/5w4h9o57axovdbv3ng7givrz271ykir3/Ataki-na-onlayn\\_resursy-rossiyskikh-kompaniy-v-2022-godu.pdf](https://rt-solar.ru/upload/iblock/34a/5w4h9o57axovdbv3ng7givrz271ykir3/Ataki-na-onlayn_resursy-rossiyskikh-kompaniy-v-2022-godu.pdf). По состоянию на 16.04.2023.
2. Дровникова И. Г., Овчинникова Е. С. Расчет переходных вероятностей при исследовании динамики реализации сетевых атак в автоматизированных системах органов внутренних дел // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии. – 2021. – № 7-3. – С. 48-54.
3. Киреева Н. В., Караулова О. А. Оценка аномалий сетевого трафика на основе циклического анализа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12, № 11. – С. 28-33. – DOI 10.24411/2072-8735-2018-10173.
4. Кононов Р. В., Шелухин, О. И. Многоклассовая классификация сетевых атак методами интеллектуального анализа // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2022. – Т. 9, № 1. – С. 11-16.
5. Парфенов Д. И., Болодурина И. П., Забродина Л. С., Жигалов А. Ю. Исследование алгоритмов адаптивных нейро-нечетких сетей ANFIS для решения задачи идентификации сетевых атак // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 3. – С. 533-542. – DOI 10.25559/SITITO.16.202003.533-542.
6. Овчинникова Е. С., Дровникова И. Г. Практические результаты оценки показателей опасности реализации сетевых атак в автоматизированных системах ОВД // Охрана, безопасность, связь. – 2022. – № 7-2. – С. 265-271.
7. Кадан А. М., Белоголовая Н. В. Моделирование атак на компоненты сетевой инфраструктуры средствами Графического Сетевого Эмулятора GNS3 // Информационные системы и технологии: материалы междуна-

родного научного конгресса по информатике. В 3 ч., Минск, 27–28 октября 2022 года. Том 3. – Минск: Белорусский государственный университет, 2022. – С. 73-79.

8. Абрамова Т. В., Крылов В. В., Даминов А. Т. Моделирование режима обнаружения атаки ping-flooding на базе учебно-исследовательского сетевого стенда // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS : сборник статей LIV Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 мая 2021 года. – Пенза: Общество с ограниченной ответственностью "Наука и Просвещение", 2021. – С. 50-53.

9. Фаткиева Р. Р. Применение бинарных деревьев для агрегации событий систем обнаружения вторжений // Труды СПИИРАН. – 2015. – № 3(40). – С. 110-121.

10. Ettercap – инструмент Kali Linux. Электронный ресурс <https://www.kali.org/tools/ettercap/>. По состоянию на 16.04.2023.

11. Ларшина В. Л. Вредоносные программы. Атаки сетей // Южноуральские криминалистические чтения: Материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 02 декабря 2018 года / Под редакцией И.А. Макаренко. Том Выпуск 26. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. – С. 44-55.

12. Фаткиева, Р. Р. Корреляционный анализ аномального сетевого трафика // Труды СПИИРАН. – 2012. – № 4(23). – С. 93-99.

13. Крибель А. М., Перов Р. А., Лаута О. С., Скоробогатов С. Ю. Модель выявления аномалий в сетевом трафике сети передачи данных в условиях компьютерных атак // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 5. – С. 228-239. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-5-228-240.

14. Ветров И. А., Подтопелный В. В. Особенности формирования вектора современных сетевых атак / И. А. Ветров, // Вестник СибГУТИ. – 2022. – № 3(59). – С. 3-13. – DOI 10.55648/1998-6920-2022-16-3-3-13.

## ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ ПО ВОДОСНАБЖЕНИЮ В ЗДАНИИ

КАРНАУХОВА Е.А.<sup>1</sup>, МАРКВИРЕР В.Д.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
(НИУ ВШЭ), г. Пермь*

<sup>2</sup>*Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ),  
г. Пермь*

**Аннотация.** В статье приведён анализ состояния рынка недвижимости по России и городу Перми. Доказана целесообразность использования интеллектуальных технологий в зданиях. Рассчитана примерная стоимость индивидуального дома в Перми с монтажом системы управления аварийными ситуациями водоснабжения, а также приведён расчёт стоимости устранения последствий аварии в случае прорыва трубы с горячей водой. Получен вывод об окупаемости системы управления водоснабжением при возникновении хотя бы одной крупной аварии.

*Ключевые слова:* стоимость системы управления водоснабжением, рынок недвижимости, окупаемость интеллектуальных систем.

### Введение

Известно, что интеллектуализация зданий является приоритетным направлением развития цифровой экономики в России. Однако для перехода к цифровым («умным») зданиям требуется провести ряд мероприятий по проектированию, разработке интеллектуальных систем и внедрению таких систем в уже существующие здания, а также закладывать интеллектуальность в проекты новых домов и сооружений. Концепция «умных» зданий подразумевает разделение инфраструктуры здания на три элемента: физический объект, цифровой двойник и средства контроля и мониторинга состояния здания в режиме реального времени. Ни для кого не секрет, что цифровизация требует серьёзных вложений со стороны собственников зданий. Многие считают, что «умные» системы управления зда-

ниями слишком дорого стоят, не задумываясь, что в перспективе такие системы могут позволить избежать крупных затрат на устранение последствий аварий или снизить расходы на коммунальные услуги.

Целью данной работы является доказательство эффективности применения цифровых технологий эксплуатации здания на примере жилого дома с точки зрения снижения возможных затрат на устранение последствий аварий на водопроводной сети дома. Для достижения цели необходимо определить объект оценки, его себестоимость на рынке, целесообразность модификации существующих водопроводных систем, а также провести расчёт возможных затрат на устранение последствий аварии на системе водоснабжения.

### **Анализ состояния рынка недвижимости в России и городе Пермь**

Для вычисления оценки стоимости системы управления аварийными ситуациями по водоснабжению в здании определим тип зданий, используемый в расчётах, и его стоимость. В таблице 1 (см. ниже) представлены сводные данные по проведённому анализу рынка недвижимости в России и городе Пермь.

*Таблица 1*

#### **Статистика по рынку недвижимости в России и Перми**

	ед. изм.	Россия	Пермь
Средний спрос на квартиры на первичном рынке	%	-14	-19,5
Средний спрос на квартиры на вторичном рынке	%	-12	-19,9
Средний спрос на ИЖС	%	45	30
Средняя площадь квартир	кв. м	50	55,89
Средняя площадь индивидуальных домов	кв. м	159	235
Рост средней стоимости за квадратный метр в новостройках за 5 лет	%	44,25	50
Средняя стоимость квадратного метра в новостройках на апрель 2023 года	рублей	109 106	103 488
Средняя стоимость объекта ИЖС	рублей	5 870 000	6 865 180,7
Средняя стоимость квадратного метра объекта ИЖС	рублей	36 918,24	29 213,53

Согласно данным из таблицы 1 следует отметить, что спрос на квартиры в России за год упал примерно на 13% (на 12% на вторичном рынке и на 14% – на первичном) [1], а в Перми – упал примерно на 20% [2]. Доля индивидуального жилищного строительства (ИЖС) в России в среднем увеличивается примерно на 45% [3], а спрос на ИЖС в Перми за 3 года увеличился более чем на 30%, и, по словам экспертов, дальше будет сохранять тенденцию к росту [4].

Средняя площадь квартир в России составляет около 50 квадратных метров [5]. Средняя площадь всех квартир в Перми по данным за три года (с 2020 по 2023 год) составляет 55,89 квадратных метра [6]. В то время, как средняя площадь индивидуальных домов по России составляет 159 квадратных метра, а город Пермь занимает 1 место по России со средней площадью индивидуальных домов в 235 квадратных метров [7].

Согласно статистике, стоимость квартир в новостройках Перми за 5 лет выросла почти на 50%: за квадратный метр цена выросла на 46 469 рублей и составляет 103 488 рублей, а стоимость индивидуальных домов – выросла почти на 1 781 477 рублей за объект и составляет 6 865 180,7 рублей [8]. По России динамика стоимости первичного рынка жилья аналогична Перми: за 5 лет наблюдается на 44,25% [9]. В абсолютных значениях за квад-

ратный метр цена выросла на 48 285 рублей и составляет 109 106 рублей [10]. На конец 2022 года средняя стоимость индивидуальных домов по России составляет 5,87 млн рублей [11].

По проведённому анализу рынка недвижимости в России и Перми выделяются следующие зависимости:

- спрос на квартиры снижается, а на ИЖС увеличивается, как по России, так и в Перми;
- средняя площадь жилья в Перми выше, чем по России;
- в Перми наблюдается больший рост средней стоимости за квадратный метр в новостройках за 5 лет, но средняя стоимость квадратного метра остаётся меньше, чем по России;
- средняя стоимость объекта ИЖС по России ниже, чем в Перми, однако в Перми средняя стоимость одного квадратного метра объекта ИЖС ниже, чем по России почти на 8 тысяч рублей.

Таким образом, индивидуальные дома в Перми имеют меньшую стоимость относительно площади дома, и на дома отмечается высокий спрос, по сравнению с квартирами. Следовательно, далее в работе рассматривается оценка стоимости системы управления аварийной ситуацией водоснабжения в здании, где зданием является индивидуальный дом (стоимость дома) в Перми.

#### **Целесообразность применения интеллектуальных технологий в здании при авариях на системе водоснабжения**

В предыдущем разделе рассмотрена статистика по рынку недвижимости, в котором не предусмотрена интеллектуализация зданий. Далее представлен анализ статьи [12], где авторы рассчитывают экономическую эффективность применения автоматизированной системы управления на примере офисного здания (бизнес-центра в г. Санкт-Петербург). Цыпленков Д.Е. и Гамаюнова О.С. в данном исследовании приходят к выводу об окупаемости интеллектуальных систем в здании за 8 лет. Однако они не учитывают возможные затраты на устранение аварий систем водоснабжения, водоотведения, отопления и электроэнергии. Расчёты окупаемости интеллектуализации инженерных систем производятся авторами исходя из затрат на ежегодно повышающиеся тарифы на коммунальные услуги, затратности на монтаж и пусконаладку системы «умного офиса», а также фиксированных затрат на функционирование «умной» системы.

Согласно статистике [13] в России средний возраст имеющихся на конец 2021 года машин и оборудования по водоснабжению, водоотведению, организации сбора и утилизации отходов, деятельности по ликвидации загрязнений составляет 14,1 лет (третье место по всем основным фондам). Около 168 тысяч километров уличной водопроводной сети нуждается в ремонте / замене, что составляет 44% от всей протяжённости водопроводной сети. При этом число аварий на водопроводах достигло 55 тысяч в 2021 году [14].

В работе [15] приводится исследование аварий в 58 различных библиотеках по России. Ежегодно с 2010 по 2020 год в библиотеках, участвующих исследовании происходило от 33 до 64 аварий, при этом 20% аварий связаны с прорывом систем холодного водоснабжения и отопления.

Рассмотренная статистика показывает, что системы водоснабжения в среднем имеют возраст близкий к нормативному сроку службы в 20 и 30 лет для холодной и горячей воды при нормальных условиях. Практически половина всей уличной водопроводной сети во-

доснабжения нуждается в ремонте или замене оборудования. Достаточно часто происходят аварии в процессе эксплуатации, что расходует дополнительные водные ресурсы при несвоевременном реагировании, а также требует дополнительных затрат на восстановление.

### Расчёт стоимости системы управления аварийными ситуациями в здании

Согласно проведённому анализу, целесообразно рассчитать стоимость индивидуального дома в Перми с установкой системы управления аварийными ситуациями водоснабжения.

В таблице 2 представлены усреднённые цены на разработку блока управления системой водоснабжения, датчики, регуляторы и услуги по монтажу оборудования [16], имеющиеся в свободном доступе.

Таблица 2

#### Стоимость дома с установкой системы управления аварийными ситуациями водоснабжения

Наименование	Количество (шт)	Цена (рублей/шт)	Стоимость (рублей)
Стоимость индивидуального дома в Перми	1	6 865 180,7	6 865 180,7
Расходы на разработку блока управления системой водоснабжения			
Стоимость разработки ПО (сценарии и пользовательский интерфейс)	1	100 000	100 000
Одноплатный компьютер	1	8 000	8 000
Распределительная коробка, провода, шнур с вилкой, соединители	1	3 000	3 000
Датчики и регуляторы			
Кран шаровой с электроприводом	10	4 000	40 000
Датчик давления воды	10	2 500	25 000
Датчик протечки воды	3	3 000	9 000
Услуги по монтажу оборудования			
Монтаж оборудования (датчик)	10	1 000	10 000
Монтаж оборудования (кран)	10	700	7 000
<b>Итого</b>	<b>47</b>	<b>6 987 380,7</b>	<b>7 067 180,7</b>

Стоимость дома с дополнительной установкой системы управления аварийными ситуациями водоснабжения повысит стоимость индивидуального дома на 79 800 рублей.

Без монтажа системы управления водоснабжением здания (индивидуального дома) при эксплуатации здания могут возникнуть аварийные ситуации, наносящие высокий ущерб имуществу, что может привести к дополнительным затратам на устранение аварии и восстановление имущества.

Далее рассмотрен вариант стоимости устранения последствий аварии на системе водоснабжения в индивидуальном доме в Перми (табл. 3). Предположим, что произошёл прорыв трубы горячего водоснабжения в доме, а авария была замечена спустя час. Вода за это время разлилась по полу, повредила напольное покрытие, а также деревянные части мебели, расположенные вплотную к полу.

Для устранения повреждённого имущества потребуется замена напольного покрытия (или его части), а также покупка новой мебели (или замена повреждённых частей), что может обойтись в десятки или сотни тысяч рублей – для примера возьмём 100 000 рублей.

За час из водопроводной трубы горячей воды с сечением 20 мм со средней проходимостью 0,9 кубометров в час на пол выливается 0,9 куб. м воды. Средняя стоимость одного кубометра горячей воды в Перми составляет примерно 200 рублей, следовательно, за протечку такого количества воды собственник жилья дополнительно потратит 180 рублей. На устранение аварии необходимы услуги сантехника, которые имеют разную стоимость в зависимости от сложности ремонта, поэтому взята средняя цена работы сантехника в 3 000 рублей. Аналогично поступаем с расходным материалом для выполнения ремонтных работ сантехником – для расчётов берём 2 000 рублей.

Таблица 3

**Возможный вариант затрат на устранение последствий аварии на системе водоснабжения**

Наименование	Количество (ед.)	Цена (рублей/ед.)	Стоимость (рублей)
Ущерб имущества	—	100 000	100 000
Услуги сантехника	—	3 000	3 000
Расходный материал	—	2 000	2 000
Расход воды при аварии	0,9 куб. м	200	180
<b>Итого</b>	—	105 200	<b>105 180</b>

Итоговая стоимость устранения рассмотренной выше аварии обойдётся собственнику дома примерно в 105 180 рублей, что на 25 380 рублей дороже стоимости установки системы управления водоснабжением. При условии, что в доме установлена «умная» система водоснабжения, затраты на устранения аварии будут рассчитываться только из услуг сантехника и расходных материалов – 5 000 рублей, т.е. разница составит 20 380 рублей. Система управления водоснабжением при обнаружении аварии мгновенно отреагирует на это и перекроет подачу воды в трубе, где распознана нестандартная ситуация, следовательно, не будет нанесён серьёзный вред имуществу.

**Заключение**

В результате проведённого исследования получен вывод о том, что стоимость дома с системой управления аварийными ситуациями водоснабжения ниже, чем дом без неё, в случае возникновения аварийной ситуации. Стоит отметить, что аварии системы водоснабжения случаются часто: частота появления зависит от степени интенсивности эксплуатации, возраста комплектующих. Возможны ситуации, когда авария появляется в следствие использования материалов невысокого качества при строительстве дома, тогда появление аварии непредсказуемо и может произойти даже на раннем этапе пользования домом и системой водоснабжения.

Приведённые в работе расчёты не являются фиксированными и зависят от рыночных цен, поэтому с течением времени могут изменяться. В работе представлен способ оценки целесообразности внедрения системы управления инженерными системами на примере системы водоснабжения индивидуального дома.

**Список литературы**

1. Аналитики Циан подвели итоги 2022 года на рынке недвижимости: сайт. – URL: <https://perm.cian.ru/stati-analitiki-tsiyan-podveli-itogi-2022-goda-na-rynke-nedvizhimosti-328452/> (дата обращения 20.04.2023).
2. В Перми резко упал спрос на жилье при сохранившемся росте цен: сайт. – URL: <https://ura.news/news/1052615398> (дата обращения 20.04.2023).
3. Рост частного строительства продолжается: сайт. – URL: [https://blog-domclick-](https://blog-domclick-228)

ru.turbopages.org/blog.domclick.ru/s/nedvizhimost/post/rost-chastnogo-stroitelstva-prodolzhaetsya (дата обращения 20.04.2023).

4. Лидеры те же: Росреестр посчитал количество построенных частных домов в Прикамье: сайт. – URL: <https://perm-bezformata-com.turbopages.org/perm.bezformata.com/s/listnews/kolichestvo-postroennih-chastnih-domov/104494749/> (дата обращения 20.04.2023).

5. ЦИАН: квартиры в России потеряли девять процентов площади с 2019 по 2023 год: сайт. – URL: <https://lenta-ru.turbopages.org/lenta.ru/s/news/2023/02/21/cian/> (дата обращения 20.04.2023).

6. Цены на продажу квартир в Перми: сайт. – URL: <https://perm.mirkvartir.ru/prodazha-kvartir/?monthsOffset=36> (дата обращения 20.04.2023).

7. По средней площади домов и коттеджей Пермь занимает I место в России: сайт. – URL: <https://dzen.ru/a/WuMНbi9XjAxyRmFc> (дата обращения 20.04.2023).

8. Цена продажи квартир в Перми: сайт. – URL: <https://perm.restate.ru/graph/ceny-prodazhi-kvartir/> (дата обращения 20.04.2023).

9. Строительство в России. 2022 [Электронный ресурс] // Росстат. 2022. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Stroit\\_2022.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Stroit_2022.pdf) (дата обращения 20.04.2023).

10. Средняя стоимость недвижимости в России: сайт. – URL: <https://gogov.ru/articles/average-property-prices> (дата обращения 20.04.2023).

11. Аналитики назвали регионы, где сильнее всего выросли цены на частные дома: сайт. – URL: <https://realty.rbc.ru/news/635a45a09a7947866cd57f75> (дата обращения 20.04.2023).

12. Цыпленков, Д. Е. Экономическая эффективность применения автоматизированной системы управления офисным зданием / Д. Е. Цыпленков, О. С. Гамаюнова // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года / Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2021. – С. 209-212. – EDN МНСИPL. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46294817> (дата обращения 20.04.2023).

13. Технологическое развитие отраслей экономики: сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189> (дата обращения 20.04.2023).

14. Жилищные условия: сайт. – URL: [https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye\\_usloviya](https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye_usloviya) (дата обращения 20.04.2023).

15. Мониторинг аварийных ситуаций в библиотеках: сайт. – URL: <http://www.unkniga.ru/biblioteki/bibdelo/12346-monitoring-avariynyh-situatsiy-v-bibliotekah.html> (дата обращения 20.04.2023).

16. Умная защита от протечек для частного дома (много датчиков): сайт. – URL: <https://dzen.ru/a/Xklp5VwfTiUzMWS-> (дата обращения 20.04.2023).

## К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

СОРОКИНА С.А., КУЗЯКОВ О.Н.

*ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет*

**Аннотация.** В статье рассматриваются аспекты информационной безопасности в медицинских учреждениях, проведен анализ процессов управления сертификатами и закрытыми ключами (PKI) с использованием функциональной модели потоков данных в радиологических информационных системах.

Ключевые слова: Информационная безопасность, медицинская информационная система, радиологическая информационная система, PACS, PKI.

### **Актуальность**

В рамках реализации проекта Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), посвященного цифровой трансформации процессов оказания медицинских услуг [1], в настоящее время невозможно представить функционирования какого-либо медицинского учреждения без использования информационных систем и технологий. Оперирование цифровыми медицинскими данными предоставляет возможность оперативного получения врачом необходимой информации о пациенте, что увеличивает скорость принятия решения о постановке диагноза и методах лечения [2].

Вместе с тем, в ходе решения задач, связанных с хранением, систематизацией и обработкой увеличивающихся объемов персональных данных в медицинских информационных системах (МИС) все более насущными и актуальными становятся вопросы обеспечения информационной безопасности [3].

В данной статье важным является вопрос рассмотрения аспектов информационной безопасности радиологической информационной системы (РИС), применяемой в отделениях лучевой диагностики и входящей в состав МИС.

Основная задача РИС состоит в поддержке принятия решений для врачей-рентгенологов [4], что позволяет эффективно автоматизировать ввод, хранение и обработку протоколов диагностического обследования пациентов, а также обеспечивает возможность просмотра медицинских изображений из электронной медицинской карты на любом автоматизированном рабочем месте специалиста в пределах медицинской организации.

РИС может быть интегрирована с системой передачи и архивации радиологических данных PACS («Picture Archiving and Communication System»). При совместном использовании РИС и PACS обеспечивается интеграция между МИС и диагностическим оборудованием по медицинским коммуникационным протоколам DICOM («Digital Imaging and Communications in Medicine») и HL7 («Health Level 7»), а также хранение и обработка медицинских изображений, включая 3D-реконструкцию и удаленный web-доступ к архивам радиологических данных [4].

В ходе анализа работы РИС с использованием PACS был выявлен ряд уязвимостей и угроз информационной безопасности, к которым можно отнести утечку персональных данных пациентов по техническим каналам связи, а также несанкционированный доступ к её структурным элементам. В РИС обрабатываются данные, включающие сведения о состоянии здоровья граждан, которые относятся к врачебной тайне [3], из-за чего ключевое значение приобретает защита персональных данных пациента, выявление, предотвращение или минимизации ущерба от возможных актуальных внешних угроз информационной безопасности в медицинском учреждении.

Для детализации процессов передачи данных в РИС была использована методология структурного анализа потоков данных DFD («Data Flow Diagram»). В качестве среды разработки DFD диаграммы было использовано программное обеспечение для анализа, моделирования и разработки информационных систем «Ramus Educational».

В результате декомпозиции функциональной модели РИС на составные части была разработана DFD диаграмма (рисунок 1).

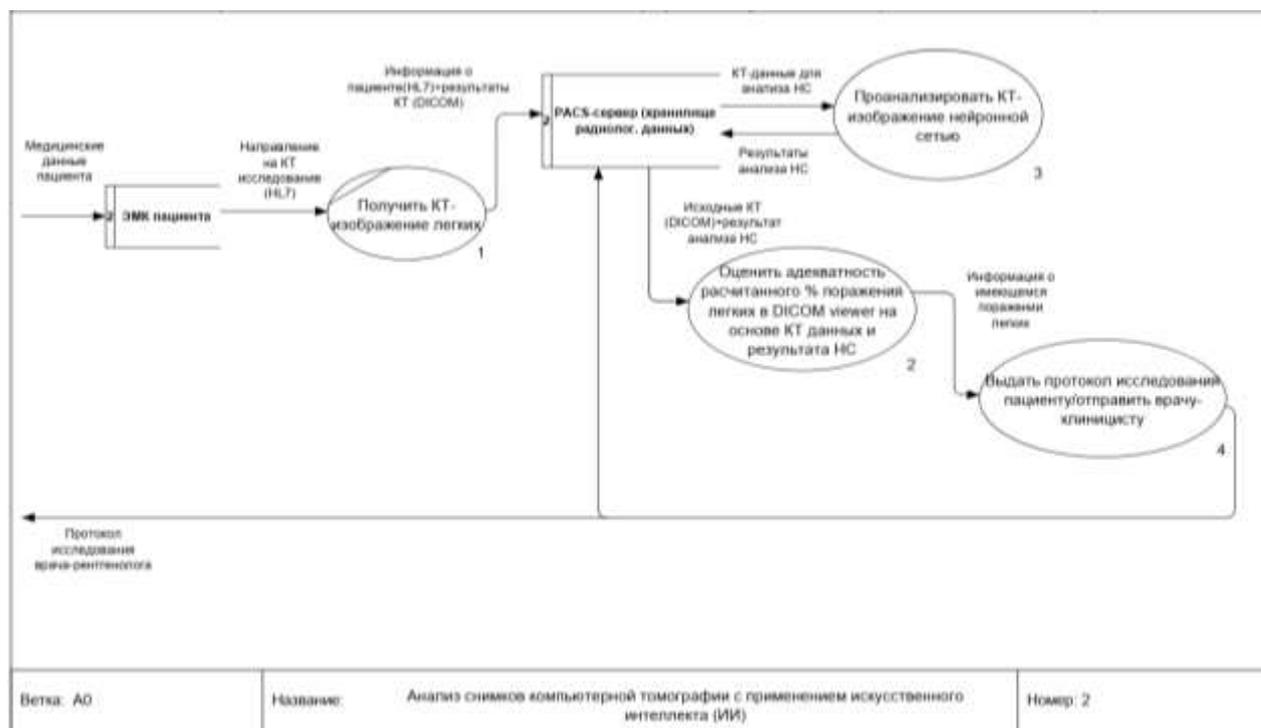


Рис. 1. DFD диаграмма потоков медицинских данных в РИС

Из диаграммы видно, что наибольшее количество потоков персональных данных пациентов, которые могут быть подвергнуты внешним угрозам при передаче по техническим каналам связи, поступает на центральный сервер – в систему PACS. PACS осуществляет передачу медицинских изображений посредством транспортных (TCP) и DICOM протоколов, из-за чего возникает угроза несанкционированного доступа к конфиденциальным данным пациентов.

Для сетевого шифрования по данному типу протоколов используется инфраструктура открытых ключей (PKI, «Public Key Infrastructure») [4], при помощи которой осуществляется управление сертификатами и закрытыми ключами передаваемых данных (рисунок 2). Ввиду ограниченного срока действия сертификаты должны регулярно обновляться. Но на сегодняшний день не существует официального регламента или стандарта для решения этой задачи.

Кроме того, для шифрования информации на основе PKI в настоящее время используется асимметричный алгоритм шифрования RSA («Rivest Shamir Adleman») [5], который также имеет значительный недостаток – низкую скорость шифрования (30 кбит/с при 512 битном ключе на процессоре с частотой 2 ГГц), из-за чего медицинские данные шифруются с помощью более производительных симметричных алгоритмов со случайным (сеансовым) ключом, а сам ключ шифруется с помощью RSA.

Такой механизм шифрования медицинских данных имеет потенциальные уязвимости в работе из-за необходимости использовать генератор случайных чисел для формирования сеансового ключа симметричного шифрования. Также существует вероятность, что RSA-шифр может быть взломан ввиду тенденции роста вычислительной мощности процессоров и улучшением математических алгоритмов поиска простых чисел – множителей.

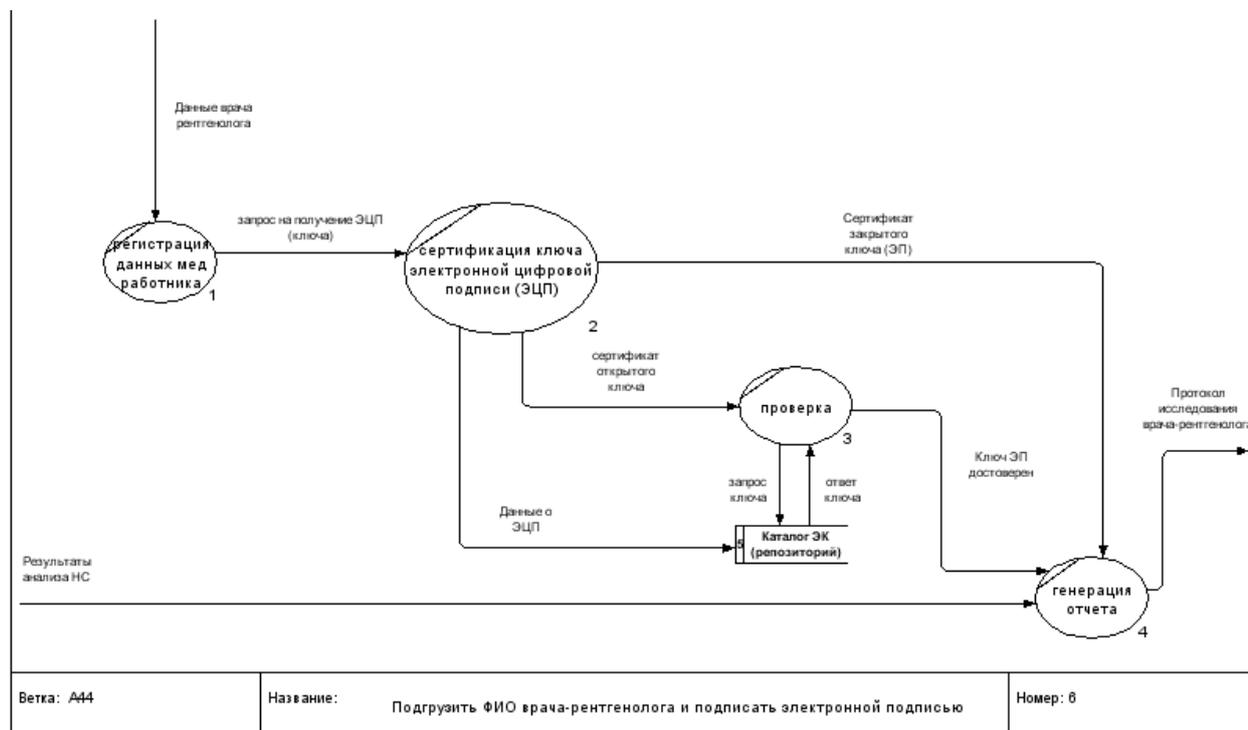


Рис. 2. DFD диаграмма процесса управления сертификатами и закрытыми ключами (PKI)

В результате детализации функциональной модели потоков данных РИС было выявлено, что из-за отсутствия регулярного обновления сертификатов PKI для сетевого шифрования по транспортным протоколам передачи данных, а также несовершенного механизма шифрования RSA существует вероятность угрозы нарушения конфиденциальности медицинских данных пациентов при работе с медицинской системой архивирования PACS.

### Заключение

Таким образом, для обеспечения необходимого уровня безопасности информационных ресурсов медицинской организации в РИС планируется разработка методов автоматического обновления PKI, а также нового алгоритма шифрования персональных медицинских данных, которые исключат необходимость использования вспомогательных средств для формирования ключей шифрования, что позволит повысить уровень защиты конфиденциальной информации пациентов и минимизировать объем ущерба от реализации угроз без значительного влияния на скорость и надежность работы программного обеспечения, используемого в медицинской организации.

### Список литературы

1. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации здравоохранения: распоряжение Правительства РФ от 29 декабря 2021 г. № 3980-р // Собрание законодательства РФ. 2021 г.
2. Обмачевская С. Н. Информационные технологии в профессиональной деятельности медицинских работников: учебное пособие для СПО. 3-е изд., стер. СПб.: Изд-во «Лань», 2022. 184 с.
3. Фалеев, М.И., Черных Г.С. Угрозы национальной безопасности государства в информационной сфере // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. Т. 4. С. 21-25.

4. Шабрина, С. А., Аминова А. Безопасность медицинских данных в информационной системе архивации изображений и связи (PACS): преимущества и недостатки // World science: problems and innovations: сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза: Изд-во «Наука и Просвещение», 2021. С. 104-106.

5. Магомедов Ш. Г. Анализ защиты компьютерных сетей и приложений информационных процессов учреждений здравоохранения // Cloud of Science. 2020 Т. 7. № 3. С. 685–704.

## АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КАЛЬКУЛЯЦИИ

СТРЕЛКОВА А.С., ВОЛОБУЕВА Е.И.

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

**Аннотация.** Статья описывает основные инструментальные средства для калькуляции, анализирует их преимущества и недостатки. Рассмотрены как стандартные средства, встроенные в операционные системы, так и специализированные программы. Также приведены предложения по улучшению ПО.

*Ключевые слова:* инструментальные средства для калькуляции, электронные таблицы, программное обеспечение для управления проектами, калькуляция, себестоимость, основные затраты, косвенные затраты

### Введение

В современном мире использование инструментальных средств для расчета калькуляции становится все более актуальным. Выбор программ для калькуляции зависит от поставленных задач, которые необходимо решить, и от предпочтений пользователя. Современные инструментальные средства для калькуляции позволяют эффективно оценивать затраты и доходы, повышать точность расчетов и уменьшать стоимость производства. Рассмотрим основные понятия калькуляции работ и услуг.

### Понятие калькуляции, структура, примеры использования

Калькуляция (от латинского "calculatio" - счет, вычисление) – это расчет затрат на производство продукта или оказание услуги, а также определение цены, которую необходимо установить для того, чтобы окупить затраты и получить прибыль [1]. Калькуляция может включать в себя расчет стоимости сырья, материалов, энергии, труда, амортизации оборудования и других расходов. Калькуляция позволяет оценить реальную стоимость продукции или услуги для дальнейшего принятия решения по управлению производственным процессом.

Калькуляция рассчитывается как сумма основных и косвенных затрат.

Основные затраты – это затраты, которые являются прямыми затратами на производство продукции или услуги [2]. Они относятся к статьям затрат, которые прямо связаны с выпуском продукции. Например, затраты на материалы и комплектующие.

Косвенные затраты – это расходы, которые связаны не напрямую с производством продукции или оказанием услуг, влияющие на общую себестоимость [1]. К таким затратам относятся затраты на аренду помещений, коммунальные услуги, зарплаты административного персонала, налоги и другие непроизводственные расходы.

### **Сравнение с другими методами расчета себестоимости**

Помимо метода калькуляции существуют и другие методы расчета себестоимости товаров или услуг для формирования цены. Среди них рассматриваются расчет по себестоимости каждой единицы, по методу средней себестоимости и по методу ФИФО (FIFO).

При методе расчета по себестоимости каждой единицы общая себестоимость продукции распределяется на стоимость каждой единицы продукции. Для этого необходимо знать все затраты на производство продукции, такие как сырье, материалы, трудовые ресурсы, налоги и т.д., и разделить их на количество произведенных единиц продукции. Таким образом, можно определить точную стоимость каждой единицы продукции и установить цену на продукцию, учитывая желаемую прибыль. Но данный метод эффективен только на предприятиях с единичной продукцией.

Метод средней себестоимости (или метод взвешенной средней) предполагает, что себестоимость продукции рассчитывается на основе средней стоимости всех единиц продукции, доступных для продажи на конец периода. То есть расчет себестоимости происходит по среднему арифметическому, при чем в расчете не имеет значения из какой поставки реализован товар. Данный метод в следствие расчета по среднему арифметическому обладает стабильностью цены, но при этом он не точен, что является его недостатком.

Метод ФИФО предполагает, что первые товары, которые были закуплены и поступили на склад, будут первыми проданы. Таким образом, себестоимость продукта будет рассчитываться на основе стоимости первых закупленных товаров и очереди. Данный метод более точен, чем предыдущие, особенно выгоден он в плане налогов на прибыль.

Все перечисленные методы уступают калькуляции в точности подсчетов и универсальности. Это связано с тем, что калькуляция в отличие от остальных методов способна давать наиболее точные значения в ситуациях, когда существенная часть затрат на производство одних товаров значительно отличается от затрат на производство других. Также вследствие полного учета всех затрат калькуляция будет эффективнее учитывать изменения цен на сырье, материалы и иные компоненты производства.

### **Виды инструментальных средств для калькуляции**

#### ***Электронные таблицы***

Microsoft Excel – один из известных инструментов для калькуляции, который предлагает широкий спектр возможностей для работы с данными и формулами [3]. Программа позволяет выполнить различные расчеты и создавать математические модели для решения сложных проблем: использовать формулы, функции и макросы, чтобы упростить и автоматизировать процесс калькуляции и анализа данных. Главное преимущество программы заключается в простоте использования и гибкости. Но у программы есть свои недостатки. Рассмотрим их:

- Ограниченный объем данных. При обработке огромных таблиц, программа может работать медленно и возникать проблемы с отображением данных памятью компьютера, что приведет к сбою в работе программы.
- Непригодна для работы с базами данных. Программа не предназначена для поиска, фильтрации, извлечения и анализа больших объемов данных из базы данных, которые могут содержать сотни тысяч или даже миллионы записей.
- Недостаточная защита данных и возможность их потери или повреждения.

### ***Специализированные программы***

1С – это комплекс программного обеспечения для автоматизации управления предприятиями, а также для бухгалтерского и налогового учета [3]. Однако многие эксперты отмечают, что 1С может использоваться для различных других целей, таких как создание калькулятора для расчета стоимости проектов и услуг. Программное обеспечение (ПО) позволяет создать базу данных, которая может быть заполнена всеми необходимыми компонентами, такими как материалы, часы работы, транспортные затраты и т.д. Все затраты, связанные с проектами, могут быть записаны в базе данных и использоваться для калькуляции. Также программа позволяет создавать индивидуальные калькуляторы для определенных типов работ и услуг.

1С имеет возможность автоматизировать процесс расчета и управления стоимостью проектов и услуг. Программа предоставляет контроль за стоимостью и позволяет выявлять непредвиденные расходы при выполнении проекта. Если расходы начинают превышать ожидаемый уровень, ПО может уведомить об этом и предложить план издержек для сокращения затрат.

Из недостатков следует отметить:

- Интеграция 1С с другими системами бывает не всегда легкой и требует дополнительной настройки.
- Стоимость лицензии на программный комплекс 1С может быть довольно высокой, особенно для небольших предприятий или организаций.
- Неудобства в работе с большими объемами данных: 1С может иметь проблемы при работе с большими объемами данных и требовать дополнительной настройки.
- Ограничения в возможностях настройки отчетности могут приводить к затруднениям в создании и анализе отчетов, особенно для сложных бизнес-процессов.

### ***ПО для управления проектами***

Microsoft Project – это ПО, созданное для управления проектами и ресурсами [4]. Программа позволяет менеджерам проектов контролировать бюджет проекта и вести учет затрат на ресурсы и материалы. Она содержит множество функций для контроля бюджета, включая расчет затрат на ресурсы. Данное ПО включает множество функций, которые позволяют пользователям детально описывать проекты и задачи. Это позволяет менеджерам проектов быстро распределить ресурсы, обеспечить их эффективное использование и следить за выполнением работ.

В Microsoft Project могут быть определены зависимости между задачами, что позволяет автоматически пересчитывать даты сроков выполнения работ при изменении одной из задач. Это позволяет пользователям быстро реагировать на изменения в проекте, минимизировать риски и управлять работами с большей точностью.

К недостаткам Microsoft Project относятся:

- Высокая стоимость продукта.
- Ограниченность функциональности. Microsoft Project не может обеспечить все необходимые функции для реализации сложных проектов.
- Интеграция Microsoft Project с другими приложениями, такими как Microsoft Excel, может быть не совсем легкой и требует дополнительных усилий.

- Отсутствие функциональности для управления рисками. Программа не имеет встроенной функциональности для управления рисками, что может быть проблемой для проектов, требующих высокой степени управления рисками.

### Сравнение инструментальных средств

В таблице 1 приведено сравнение характеристик рассмотренных выше инструментальных средств.

Таблица 1

#### Сравнение характеристик инструментальных средств

Характеристики	Microsoft Excel	1С	Microsoft Project
Удобство использования	Есть	Есть	Есть
Разнообразие функций	Есть	Есть	Есть
Безопасность	Есть	Есть	Есть
Простота использования	Есть	Нет	Нет

Продолжение таблицы 1

Быстрое создание таблиц	Есть	Нет	Нет
Возможность автоматизации	Нет	Есть	Есть
Управление проектами	Нет	Есть	Есть
Анализ данных	Есть	Есть	Нет
Работа с большими данными	Нет	Есть	Есть
Сложность работы с формулами	Нет	Нет	Есть
Высокая стоимость платформы	Нет	Есть	Есть
Управление рисками	Нет	Нет	Нет
Совместимость с другими ПО	С другими продуктами Microsoft	С другими продуктами 1С	С другими продуктами Microsoft
Доступность	На всех платформах	Только на ПК под управлением Microsoft	Только на ПК под управлением Microsoft

Таким образом, при выборе инструментальных средств для калькуляции следует руководствоваться конкретными задачами и потребностями пользователя. Если необходимо работать с большими объемами данных или создавать проектные расписания и управлять ресурсами, то 1С или Microsoft Project могут оказаться более подходящими инструментами. Если же необходимо просто проводить базовый анализ данных и создавать отчеты, то Microsoft Excel может быть достаточным.

### Предложения по улучшению ПО

Точный расчет затрат, связанных с каждым этапом производственного цикла, является одним из наиболее значимых элементов успеха любой производственной операции. Именно здесь на помощь приходят приложения для расчетов - мощные программные средства, которые могут помочь производителям быстро определить затраты на сырье, рабочую силу и другие факторы, связанные с производством.

Однако даже самые сложные вычислительные приложения могут быть улучшены, поскольку всегда существует потребность в инновациях и прогрессе. В качестве одного из предложений по улучшению можно выдвинуть повышение точности. Важно, чтобы ПО точно рассчитывало данные для предоставления максимально правдивой информации. Для повышения точности ПО целесообразно включать автоматизированные проверки достоверности, встроенную автоматизацию и интеграцию с другим производственным обо-

рудованием и системами. Данные нововведения могут значительно повысить точность в расчетах. Также для улучшения можно рассмотреть вопрос создаваемой отчетности. ПО может генерировать простые для понимания отчеты, для обсуждения с руководством или другими заинтересованными сторонами. В отчеты можно включать обобщающую и аналитическую информацию, как ключевые показатели эффективности, операционную эффективность и анализ распределения затрат. Добавление такого функционала может значительно улучшить и упростить дальнейший анализ и работу с данными показателями, что сможет благоприятно отразиться на производственных процессах.

### **Список литературы**

1. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. - Москва: Советская энциклопедия; Санкт-Петербург: Фонд "Ленингр. галерея", 2002. - 1628 с.
2. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь, — М.: Инфра-М, 2006.
3. Яснев В.Н. Информационные системы и технологии в экономике. М.: Юнити-Дана, 2008.
4. MS Project: Обзор Возможностей для Эффективного Планирования – URL: <https://blog.ganttpro.com/ru/obzor-ms-microsoft-project/> (Дата обращения 09.04.2023).

Сборник материалов  
XI Научно-практической конференции с международным участием  
«НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО»  
для студентов, аспирантов и молодых ученых  
состоявшейся 18-20 мая 2023 г.  
в г.Санкт-Петербурге  
Том II