

**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации**

**Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова**

**Российская академия ракетных и артиллерийских наук**

**Российская академия естественных наук**



# **МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС**

**Труды пятнадцатой общероссийской молодёжной  
научно-технической конференции**

## **Том 2**

**Санкт-Петербург, Россия  
20 – 24 марта 2023 года**

Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», №95

---

Санкт-Петербург  
2023

УДК 629.78 : 623.4  
М75

**М75** Молодёжь. Техника. Космос: труды пятнадцатой общероссийской молодёжной науч.-техн. конф. в 4 т. Т. 2. СПб, Издательство Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2023. – 200с. – Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», №95 .

Публикуются статьи и доклады, представленные на XV общероссийской молодёжной научно-технической конференции «Молодёжь. Техника. Космос», прошедшей в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова в марте 2023 года. Во второй том сборника вошли материалы секций: «Системы управления и информационные технологии», «Радиотехника и схемотехника» и «Робототехника и мехатроника».

Для инженерных и научных специалистов, работающих в указанных направлениях, а также для студентов старших курсов и аспирантов профильных вузов.

Отзывы направлять по адресу: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1. Редакция журнала «Военмех. Вестник БГТУ».

УДК 629.78 : 623.4

Редакционный совет: д-р техн. наук, проф. *К. М. Иванов* (председатель),  
канд. техн. наук, доц. *С. А. Матвеев*, д-р. техн. наук, проф. *А. Е. Шашурин*,  
канд. ист. наук, доц. *М. Н. Охочинский*, *В. А. Толстая*

Ответственный редактор серии  
«Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ»  
*М. Н. Охочинский*

Тексты статей публикуются в авторской редакции

© БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2023  
© Авторы, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 4 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	6
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МАШИНОПИСНЫМ СПОСОБОМ, НА СООТВЕТСТВИЕ ПОЛОЖЕНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ .....	6
А.А.Бармина <sup>1</sup> , К.В. Вальштейн <sup>2</sup> , А.А. Гладевич <sup>2</sup>	
ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТАМИ. РАЗРАБОТКА АДМИНИСТРАТИВНОГО СОФТА.....	10
М.Д. Суров <sup>1</sup> , Жуковский В.Ф. <sup>1</sup>	
АКТУАЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАГНИТОПОРОШКОВЫМ МЕТОДОМ .....	13
Н.Д. Горчаков <sup>1</sup> , А.Н. Куприянов <sup>1</sup>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМАНТ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ РЕЧИ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ.....	15
Д.В. Гадасин <sup>1</sup> , К.А. Пантелеева <sup>1</sup>	
РАЗРАБОТКА СТЕНДА ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ.....	20
К.В. Костромитина <sup>1</sup> , В.В. Сементин <sup>1</sup> , И.А. Хлымов <sup>1</sup>	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ДОБРОВОЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ .....	23
И.А. Каппанен <sup>1</sup> , А.Ю. Захаров <sup>1</sup>	
ФОРМАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ .....	27
Н.А. Яковлев <sup>1</sup> , В.В. Никитин <sup>1</sup> , Е.Г. Семёнова <sup>1</sup>	
ОБЗОР ЦИФРОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДУЛЕЙ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА .....	31
В.В. Уткин <sup>1</sup> , А.В. Кададова <sup>1</sup> , Д.М. Кадочников <sup>1</sup>	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	34
Э.А. Кормщикова <sup>1</sup> , О.Ю. Иванова <sup>1</sup>	
ПУТЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ .....	38
М.А. Зиновьева	
ПРИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ СИМУЛЯТОРОВ НА БАЗЕ VR-ТЕХНОЛОГИЙ .....	41
Д.А. Ионов <sup>1</sup> , Ю.В. Коноплев <sup>1</sup> , А.А. Юев <sup>1</sup> , А.Д. Ширшов <sup>1</sup>	
КОМПЛЕКСНЫЙ СИМУЛЯТОР ИЗУЧЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ .....	46
А.С. Попов <sup>1</sup> , Э.А. Одинцов <sup>1</sup> , Д.А. Евсевичев <sup>1</sup>	
ПОДХОД К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ КОСМОНАВТА .....	47
А.Е. Спирин	
ДИАГНОСТИКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ГОДОГРАФА ФАЗНЫХ ТОКОВ .....	54
М.И. Надежин <sup>1</sup> , Н.С. Слободзян <sup>1</sup> , В.О. Гончаров <sup>1</sup> , Н.А. Баленко <sup>1</sup>	
ОСОБЕННОСТИ ЯЗЫКА SQL И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА РОССИЙСКИЕ СУБД .....	58
А.М. Польских	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОМОЩИ КОСМОНАВТУ В ОРИЕНТИРОВАНИИ ВО ВРЕМЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	60
А.В. Кучков, Т.М. Сухов	
ПРОГРАММНАЯ РАЗРАБОТКА ПО РАСПОЗНАВАНИЮ И КЛАССИФИКАЦИИ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ .....	66
А.Р. Глухов	
ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СООБЩЕНИЙ В МЕЖПРОЦЕССНЫХ ОБМЕНАХ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ.....	72
С.А. Ильин <sup>1,2</sup> , А.А. Шевчик <sup>1,2</sup>	
ВНЕДРЕНИЕ AGILE-МЕТОДОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ ДЛЯ ПОВЫШЕННОЙ АДАПТИВНОСТИ И АДАПТИВНОСТИ И ОПЕРАТИВНОСТИ РЕАГИРОВАНИЯ НА МЕНЯЮЩИЕСЯ ТРЕБОВАНИЯ .....	74

А.А. Ковтун <sup>1</sup> , Е.Р. Землянская <sup>1</sup> , Н.А. Лестенко <sup>1</sup>	
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ В РАЗЛИЧНЫХ ВОДАХ МИРОВОГО ОКЕАНА .....	77
В.В. Кушов <sup>1</sup> , В.Р. Байсалямов <sup>1</sup> , А.А. Ким <sup>1</sup>	
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИИ.....	80
И.А. Хлымов <sup>1</sup> , К.В. Костромитина <sup>1</sup> , В.В. Сементин <sup>1</sup>	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОТДЕЛА ПРЕДПРИЯТИЯ.....	83
А.А. Аксенов <sup>1</sup> , Е.Г. Молчанов <sup>1</sup> , О.А. Мишина <sup>1</sup>	
УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА .....	87
Е.П. Панина	
АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ НАПРАВЛЯЮЩИХ КОСИНУСОВ ИЗ ОРБИТАЛЬНОЙ В ГЕОЦЕНТРИЧЕСКУЮ ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ ... ..	74
И.С. Рыжков <sup>1</sup> , Д.В. Черезов <sup>1</sup> , к.т.н. И.Е. Калмычков <sup>1</sup> , А.И. Худас <sup>1</sup>	
АССИМИЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ	94
С.И. Штеренберг <sup>1</sup>	
<b>СЕКЦИЯ 5 РАДИОТЕХНИКА И СХЕМОТЕХНИКА .....</b>	<b>98</b>
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСХОДА ЙОДА ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО КИСЛОРОДНО-ЙОДНОГО ЛАЗЕРА.....	98
Д.А. Рычкова	
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА.....	100
В.С. Споданейко <sup>1</sup> , М.А. Крылова <sup>1</sup>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СУЖЕНИЯ ПОЛОСЫ ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ .....	103
Л.Н. Лясковская	
РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ ПЕЩЕР .....	105
Ф.Д. Данилевич <sup>1</sup> , В.М. Субботин <sup>1</sup> , В.С. Ельчинский <sup>1</sup>	
КОНСТРУКЦИЯ ПЕРЕХОДНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ СЕНСОРА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ.....	107
Е.А. Миронова <sup>1,2</sup> , М.Ю. Ряхина <sup>1,2</sup>	
СИНТЕЗ И СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСШИРЕННОГО И АНСЦЕНТНОГО ФИЛЬТРОВ КАЛМАНА ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СНАРЯДА В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ТРАЕКТОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ В СФЕРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ .....	110
Н.И. Петухов <sup>1</sup> , С.В. Оробченко <sup>1</sup> , А.Д. Евсеев <sup>1</sup> , К.В. Кочка <sup>1</sup>	
СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ МИКРОКЛИМАТА С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ПО РАДИОКАНАЛУ .....	114
Н.В. Омелехин <sup>1</sup> , М.А. Крылова <sup>1</sup>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ БПЛА НА КАЧЕСТВО РЛИ.....	116
И.А. Макеев <sup>1</sup> , Ю.В. Петров <sup>1</sup>	
МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ И МОДУЛЯ ИНЕРЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ.....	120
Ф.Д. Данилевич <sup>1</sup> , В.М. Субботин <sup>1</sup> , В.С. Ельчинский <sup>1</sup>	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ В ЧАСТИ ЗАМЕРА НАПРЯЖЕНИЙ ЯЧЕЕК И ИХ БАЛАНСИРОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭРИ .....	123
В.В. Сертаков	
МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ УКВ-2 ДИАПАЗОНА.....	128
Г.С. Аникин <sup>1</sup> , В.В. Егоров <sup>1</sup>	
СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ НИЗКОЛЕТАЮЩЕЙ ЦЕЛИ, ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ.....	132
Т.И. Тагаев <sup>1</sup> , Г.А. Бабанин <sup>1</sup>	

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОМЕХ ПО ЧАСТОТАМ В СЕТЯХ БЫТОВОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ .....	136
А.Н. Шмагок <sup>1</sup> , В.В. Егоров <sup>1</sup>	
ОБНАРУЖЕНИЕ КОСЯКОВ МОРСКИХ РЫБ СРЕДСТВАМИ БОРТОВОЙ КОГЕРЕНТНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБЗОРА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИЖЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ АНТЕННЫ.....	139
С.М. Петров <sup>1</sup> , В.А. Синицын <sup>1</sup>	
ОТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЗАХОДА НА ПОСАДКУ ПО ПРИБОРАМ ДЛЯ ГИДРОСАМОЛЁТОВ И САМОЛЁТОВ-АМФИБИЙ .....	142
Лужков Д.А. <sup>1</sup> , Синицын В.А. <sup>1</sup>	
АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ В КАНАЛАХ СВЯЗИ БПЛА .....	144
Е.В. Пушнякова <sup>1</sup>	
<b>СЕКЦИЯ 6 РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА .....</b>	<b>147</b>
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА.....	147
Д.А. Авдонин <sup>1</sup> , В.А. Патлахов <sup>1</sup> , А.И. Авдиенко <sup>1</sup> , Е.А. Гибадуллин <sup>1</sup> , Кулемин В. Ю. <sup>1</sup>	
УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ-НАБЛЮДАТЕЛЕМ .....	150
М.О. Чаева <sup>1</sup> , В.А. Немонтов <sup>1</sup>	
РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ .....	154
Д.Д. Логинов	
О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ, ВЫЯВЛЕННЫХ ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРАКТИК ПО КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ ФГБУ «НИИ ЦПК ИМЕНИ Ю.А. ГАГАРИНА .....	158
Ю.С. Чеботарев <sup>1</sup> , А.Ю. Кикина <sup>1</sup> , Ю.С. Агаркова <sup>1</sup> , В.А. Дикарев <sup>1</sup>	
БЕЗДАТЧИКОВАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИАГНОСТИКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ .....	163
И.В. Кашлаков <sup>1</sup> , В.О. Гончаров <sup>1</sup> , В.И. Тимофеева <sup>1</sup> , Ю.В. Жигулина <sup>1</sup> , Ю.А. Жуков <sup>1</sup>	
КОСВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ СИЛЫ. МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ИМПЕДАНСОМ.....	165
Н.А. Корнеев <sup>1</sup> , Р.Е. Николаев <sup>1</sup> , А.А. Минина <sup>1</sup> , Э.Е. Кузьмин <sup>1</sup>	
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА ТИПА «КВАДРОКОПТЕР».....	168
А.Ю. Бойко <sup>1</sup> , И.В. Кашлаков <sup>1</sup> , Д.А. Авдонин <sup>1</sup> , Н.Е. Талабанова <sup>1</sup>	
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ КОПИРУЮЩИХ МАНИПУЛЯТОРОВ.....	172
Н.С. Слободзян <sup>1</sup> , В.Д. Грагерт <sup>1</sup> , Ю.А. Жуков <sup>1</sup> , М.И. Надежин <sup>1</sup>	
ЗАХВАТНОЕ УСТРОЙСТВО КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА.....	176
Э.Е. Кузьмин <sup>1</sup> , А.А. Минина <sup>1</sup> , Э.В. Голубев <sup>1</sup> , В.П. Савков <sup>1</sup>	
РАЗРАБОТКА МАКЕТА ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ДЛЯ ПОМОЩИ ЛЮДЯМ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ .....	180
П.Д. Доронина <sup>1</sup> , А.Ю. Бойко <sup>1</sup> , А.А. Киселев <sup>1</sup>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕДОСТАТОЧНОЙ ВИДИМОСТИ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ .....	183
А.К. Комкин <sup>1</sup> , Яковенко Н.Г. <sup>1</sup>	
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ РОБОТАХ.....	187
А.Д. Коротков <sup>1</sup> , Г.А. Фирсанов <sup>1</sup> , В.В. Арутюнян <sup>1</sup> , Г.С. Степанов <sup>1</sup> , Горбовский Д.И. <sup>1</sup>	
ОБЗОР МЕТОДА ГИБРИДНОГО УПРАВЛЕНИЯ УСИЛИЕМ/ДВИЖЕНИЕМ ЗАДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ .....	190
Н.А. Корнеев <sup>1</sup> , А.А. Мануйленко <sup>1</sup> , Н.Е. Талабанова <sup>1</sup> , А.И. Авдиенко <sup>1</sup>	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КОЛЛИЗИЙ ДЛЯ СЕМИЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА .....	192
Ю.А. Жуков <sup>1</sup> , Д.А. Смелов <sup>1</sup>	
РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....	196
А.В. Кададова <sup>1</sup> , Н.А. Соловьев <sup>1</sup> , Д. М. Коновалов <sup>1</sup> , В.В. Уткин <sup>1</sup>	

# СЕКЦИЯ 4

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.91

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МАШИНОПИСНЫМ СПОСОБОМ, НА СООТВЕТСТВИЕ ПОЛОЖЕНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

А.А.Бармина<sup>1</sup>, К.В. Вальштейн<sup>2</sup>, А.А. Гладевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ЦКР», специалист по разработке технической документации,

<sup>2</sup>БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Аннотация: в данной работе рассматривается проблема автоматизации процесса проверки документации на соответствие нормативным требованиям. В статье рассмотрен алгоритм автоматизации проверки документов на пример корректности оформления, учитывая нормативные рекомендации, а также описано создание программного прототипа.

Ключевые слова: автоматизация, нормативная документация, ГОСТ

Во многих сферах деятельности существуют правила оформления любых текстовых документов, являющихся артефактами процессов, происходящих на различных стадиях жизненного цикла разрабатываемого продукта. Примерами таких текстовых артефактов могут быть рукописи, техническая документация (программная или конструкторская), научно-технические отчеты, а также, в случае если речь идёт об учебном учреждении, учебные работы, диссертации и т. п.

Свои требования к оформлению рукописей также имеют редакции научных изданий, к примеру, журналы Scopus и Web of Science [1], а также РИНЦ.

В каждой организации, как правило, существуют свои требования к оформлению принимаемых работ. Так для оформления текста научных работ, как правило, используют требования, основанные на положениях ГОСТ 7.32-2017 «СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления» [2]. Однако по ряду пунктов данный стандарт содержит не требования, а лишь рекомендации, трактовка которых может различаться в зависимости от внутренних правил организации.

При этом оформленные текстовые артефакты зачастую проходят ряд специализированных проверок, таких как нормоконтроль выпускных квалификационных работ, в случае образовательного учреждения который в обязательном порядке осуществляется перед их представлением к защите, либо иные проверки на соответствие установленным правилам оформления документации.

Во многих ситуациях в учреждении, куда представляется документ, уполномоченными лицами (в учебных учреждениях — преподавателем) осуществляется проверка соответствия документа установленным требованиям оформления и в случае его отсутствия документ возвращается на доработку.

Несмотря на развитие и распространение электронных форм подготовки и представления документов, контроль правильности их оформления до настоящего времени осуществляется «вручную». Это приводит к значительным затратам времени проверяющего и затягивает процесс согласования документа для его автора [3]. В ряде источников при этом отмечается, что в общем времени согласования документа исправление ошибок оформления занимает более 30% [4].

Также для оформления работ иной группы, например, технической документации, могут использоваться требования, построенные на основе положений иных стандартов, например, ЕСКД. Всё это приводит к необходимости разработки гибкой методологии оценки и изменения оформления работы в соответствии с требованиями, изложенных в указаниях к оформлению конкретного типа работ в конкретной организации.

Такая методология должна описывать единый формат представления требований, вне зависимости от их содержания, и позволять выбрать те, положения, которые относятся конкретно к обрабатываемой работе.

Для описания предлагаемого формата требований, следует провести первоначальную классификацию положений нормативных документов, устанавливающих стандарты оформления работ в организации. Можно разделить все требования на следующие общие категории:

1. Требования к объёму работы, формату и заполненности страниц - устанавливают общие требования к минимальному и максимальному объёму текста работы и требуемому формату страницы, включая поля. Соответствие требованиям из этой группы относительно легко определить, однако исправление документа на соответствие им может потребовать внесение значительных правок непосредственно автором работы - добавление или сокращение текста, изменение структуры работы, которые зачастую невозможно выполнить автоматически.

2. Требования к оформлению «служебных» страниц документа устанавливают форму титульного листа, а также ряда нормативных документов, которые должны сопровождать работу. Такие документы могут быть приложены в виде шаблонов и их заполнение может быть автоматизировано, в зависимости от принятых в организации требований.

3. Требования к структуре документа устанавливают обязательные разделы документа и общие правила деления документа на структурные элементы. В ходе проверки документа на соответствия

данным требованиям возможно создание рекомендаций по изменению структуры документа и указание отсутствующих элементов, однако автоматическая модификация документа на соответствие данным требованиям как правило невозможна.

4. Требования к использованию в документе стилям оформления и их применению устанавливают правила оформления элементов текста документа и допустимые шрифты, начертание и кегль. С точки зрения автоматизации, их проверка и исправление делится на две части - создание или корректировка соответствующего стиля и проверка корректности его применения к элементам текста. Данные задачи поддаются автоматизации, но могут потребовать корректной разметки документа.

5. Требования к оформлению поясняющих элементов устанавливают требования и формат таких элементов текста документа как подрисовочные надписи, названия таблицы и прочее. Как правило, строго определяют формат таких элементов. Сюда же может быть отнесено требования наличия ссылки в тексте документа на добавленный объект. Автоматическая проверка данных требований возможна, как и их исправление в большинстве случаев, однако их добавление потребует семантического анализа текста и может быть затруднительна.

6. Требования к стилю изложения устанавливают стилистические конструкции допустимые, или наоборот запрещённые в тексте документа. Хотя проверка данных требований возможна, их автоматическое исправление может привести к нарушению связности изложения в тексте и потому возможность такого исправления ограничена.

7. Требования к оформлению списка источников включают требования к оформлению библиографического списка. Данные требования как правило являются крайне жёсткими и потому легко поддаются автоматической проверке и, чаще всего, исправлению. Сюда также может входить требование наличия в тексте документа ссылок на источники, однако автоматическое исправление нарушения такого требования обычно затруднительно.

Поскольку требования к форматированию документа являются формальными, можно сделать вывод о том, проверка на соответствие им имеет алгоритмический характер, а это в свою очередь означает, что она может быть частично или полностью автоматизирована.

В связи с этим, существует потребность в разработке программного обеспечения, которое позволит автоматизировать проверку текстовых документов, выполненных машинописным способом.

Существует ряд программных систем, выполняющих схожие задачи. К таким системам можно отнести системы проверки орфографии и грамматики, системы проверки текстовых заимствований, системы проверки технической документации и другие. В то же время большинство систем, осуществляющих исключительно проверку текста на соответствие правилам оформления недоступны публично, либо строго ориентированы на конкретные правила, которые не могут варьироваться. Соответственно использование таких систем для проверки на соответствие внутренним правилам оформления текстовых артефактов затруднительно.

Помимо перечисленных классов программного обеспечения следует упомянуть приемы автоматизации обработки текстового документа при его вводе (наборе) в редактор Microsoft Word, которые позволяют автоматически форматировать текст в соответствии с установленными настройками (шаблоном, стилями) [5, 6]. Но данные приемы рассчитаны на автоматизацию процесса форматирования документа, а не проверки его на корректность оформления.

С точки зрения теории формальных языков на основе описания можно составить формальную грамматику для дальнейшего ее использования распознавателем в программном обеспечении.

Множество нетерминальных символов представляется как набор структурных элементов текста по однозначным элементам стандарта. Каждый содержательный элемент (осмысленный текст, не регламентированный стандартом) необходимо рассматривать как отдельный нетерминальный символ.

Множество терминальных символов определяется как, собственно, набор символов текста и символов, соответствующих конкретным возможным значениям атрибутов/заголовков, элементам, структуре текста.

В рассматриваемом случае необходимо использование распознающего вида грамматики.

Для такой грамматики подойдут формы представления текста, явно пригодные для сопоставления с данной грамматикой на основе наличия средств представления структуры и атрибутов текста с явным выделением (форматы ODF/OOXML) или внутритекстовым выделением (TEX/LATEX/Markdown).

Исходя из вышенаписанного, предлагается сформировать на основе внутренних правил оформления текстовой документации набор правил, написанный на строго формализованном языке, который будет формировать описанную грамматику. Данные правила могут подаваться на вход специализированного программного обеспечения вместе с подлежащим проверке документом.

В качестве алгоритма работы такого обеспечения предлагается построить на основе сформированной грамматики распознаватель. При запуске распознавателя будет происходить проверка атрибутов тегов абзаца, таблиц, надписей и других текстовых контейнеров, которые предоставляются текстовым процессором на соответствие правилам, описанным в сформированной грамматике.

Алгоритм анализа документа состоит в следующем: пользователь инициирует запуск цикла обработки текста, внутри текста, который можно рассматривать как контейнер, проверяются стиль абзаца, свойства абзаца, к примеру, межстрочный интервал, отступ до и после, выравнивание и т. д. Итерация производится как внутри контейнера, так и внутри отдельных его элементов, к примеру, предложение или слово, что позволяет проверить такие свойства как полужирный текст, курсивное начертание текста, размер и стиль шрифта и т. д. Каждый раз в зависимости от изучаемого контейнера происходит переход в соответствующее состояние конечного автомата и проверка на соответствие всем указанным для данного состоянием правилам.

На рисунке 1 представлена общая схема для работы с документом, не учитывающая внутреннюю структуру распознавателя, которая может отличаться в зависимости от особенностей конкретной грамматики.

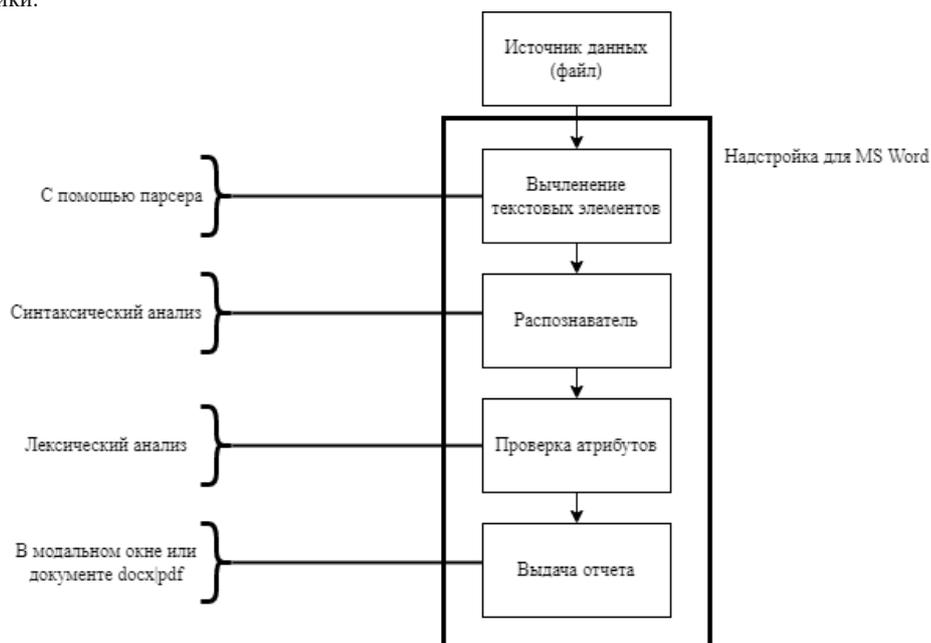


Рисунок 1 – Схема работы

После формулирования алгоритма работы, было принято решение провести экспериментальную проверку разработанной методики построения программного обеспечения. Для этого была сформулирована крайне упрощенная грамматика, учитывающая только несколько базовых правил ГОСТ 7.32-2017, таких как:

- наличие номеров страниц;
- оформление заголовков;
- оформление иллюстраций;
- оформление реферата;
- оформление таблиц.

Для разработки прототипа программного обеспечения в ходе анализа были выбраны платформа .NET и язык программирования C#, поскольку .NET предоставляет возможности для создания надстройки над текстовым процессором Microsoft Word. Это позволило использовать в качестве средства вычленения текстовых элементов непосредственно сам редактор и сосредоточиться непосредственно на проверке работоспособности предлагаемой методики.

Для других текстовых редакторов, таких как LibreOffice и МойОфис, также есть возможность создания надстроек такого типа, но другими средствами разработки.

Надстройка представляет собой скомпилированный DLL-файл, содержащий в себе XML-разметку для отображения компонентов ленты, файлы на языке C# с описанием команд, которые будут вызываться при нажатии на элементы ленты.

Разработанный прототип представляет собой надстройку над текстовым процессором в виде панели ленточного типа для добавления рассматриваемых функциональных возможностей без написания нового программного продукта.

На рисунке 2 представлен внешний вид разработанного прототипа.

Кнопка «Начать анализ документа» инициирует проверку документа в соответствии с загруженной грамматикой.

Кнопка «Показать сводку» открывает модальное окно с сводкой по проверенному документу. Пример окна представлен на рисунке 3.

Сводка предоставляет результат проверки, если проверка неуспешна, то выводится список ошибок с страницей и указанием самой ошибки.

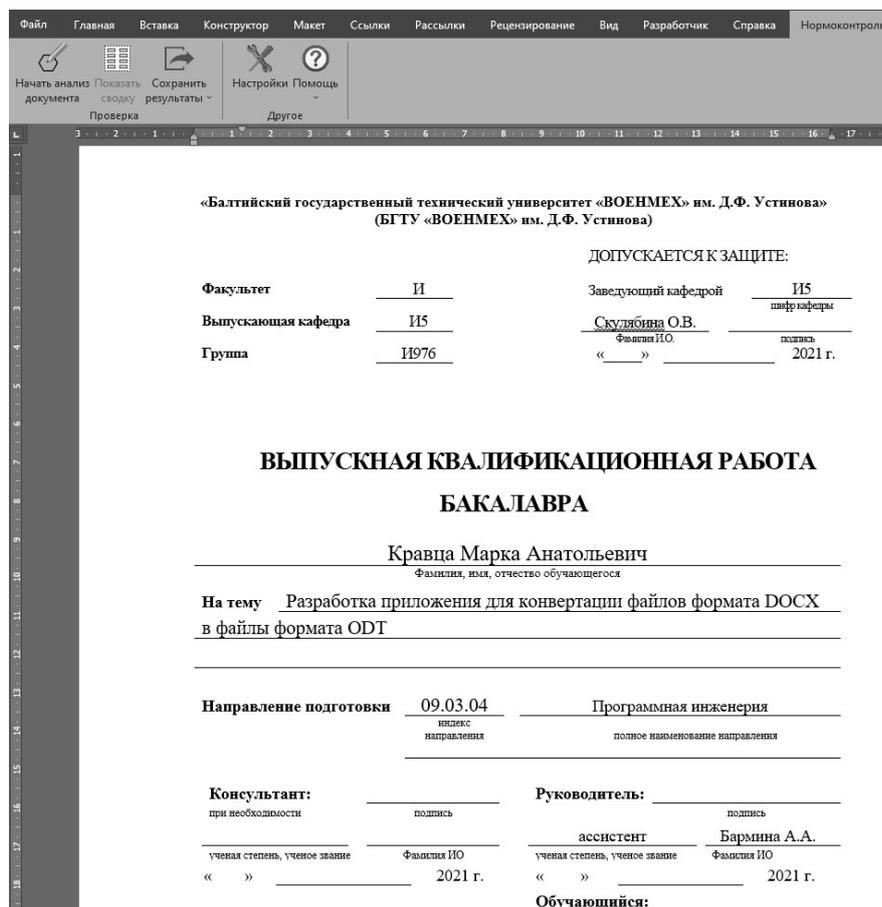


Рисунок 2 – Внешний вид ленты

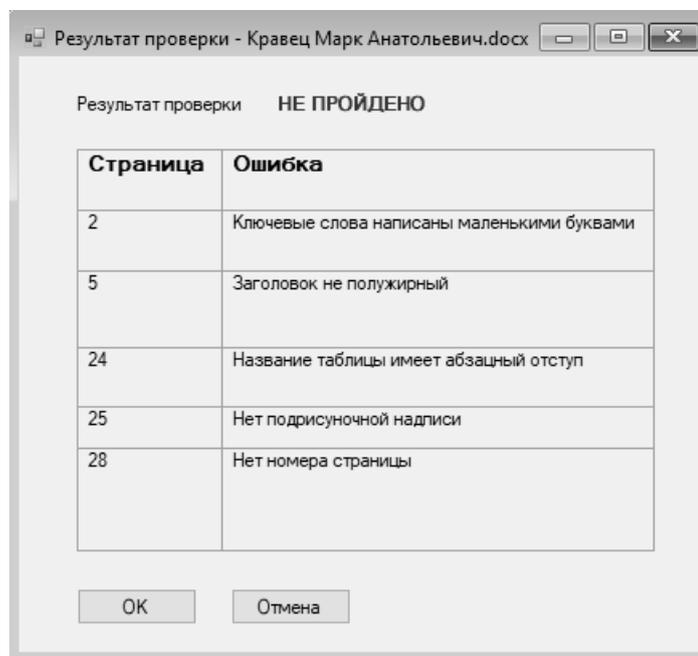


Рисунок 3 – Пример окна сводки

Кнопка «Сохранить результаты» отвечает за формирования сводки по документу в виде файла в нескольких форматах, к примеру, pdf, docx, odt. Имя файла-сводки содержит в себе имя проверяемого документа и дату проверки. Пример сводки по проанализированному документу представлена на рисунке 4.

## Сводка по документу:

### Кравец Марк Анатольевич.docx

Страница	Ошибка
2	Ключевые слова написаны маленькими буквами
5	Заголовок не полужирный
24	Название таблицы имеет абзацный отступ
25	Нет подрисуночной надписи
28	Нет номера страницы

Рисунок 4 – Пример файла-сводки

Такой подход также может быть применен к документам различных форматов, поскольку использование текстового процессора в качестве средства вычленения текстовых элементов позволяет абстрагироваться от внутренней структуры документа.

Следует отметить, что разработанный прототип проверяет на соответствие только части правил, содержащихся в ГОСТ 7.32-2017 и создан исключительно для проверки реализуемости рассматриваемого подхода к проверке текстовых документов.

В рамках статьи был произведен анализ средств автоматической проверки текстовых документов, а также была описана методика создания программного обеспечения, производящего проверку документов, выполненных машинописным способом на соответствие нормативному документу.

Разработанные согласно данной методики программные инструменты могут использоваться для проверки текстовых артефактов различных процессов жизненного цикла продукции на соответствие принятой в организации нормативной документацией. Также возможно использование подобного программного обеспечения для проверки работ обучающихся в рамках проводимого нормоконтроля. Следует отметить, что важной проблемой остаётся составление грамматики, возможности по автоматизации данного процесса могут быть исследованы далее.

### Библиографический список

1. Правила оформления статей для журналов Scopus и WoS [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.sci-cooperation.ru/partners/Instructions\\_for\\_authors](http://www.sci-cooperation.ru/partners/Instructions_for_authors) (дата обращения: 18.05.2022).
2. ГОСТ 7.32-2017 СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200157208/> (дата обращения: 13.05.2022).
3. Стариченко Борис Евгеньевич, Устинов Максим Андреевич Программа автоматизации контроля оформления текстовых документов // Педагогическое образование в России. 2018. №8. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/programma-avtomatizatsii-kontrolya-oformleniya-tekstovyyh-dokumentov> (дата обращения: 18.01.2023).
4. Романов Д. А. Системы аналитической обработки текстовой информации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://preferentum.ru/images/present.pdf> (дата обращения: 13.02.2023).
5. Автоматизация обработки текстового документа [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://files.lbz.ru/authors/informatika/9/5-1-6.pdf>. (дата обращения: 07.02.2023).
6. Автоматизация обработки текстового документа [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [eos.ibi.spb.ra/umk/11\\_15/5/5\\_R3\\_T6.html](eos.ibi.spb.ra/umk/11_15/5/5_R3_T6.html). (дата обращения: 01.02.2023).

## УДК 621.396

### ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТАМИ. РАЗРАБОТКА АДМИНИСТРАТИВНОГО СОФТА.

*М.Д. Суров<sup>1</sup>, Жуковский В.Ф.<sup>1</sup>*

*ГБНОУ «Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных»,  
Юношеский клуб космонавтики им. Г.С.Титова*

Центр управления полётами Юношеского клуба космонавтики им. Г.С.Титова содержит структуры: автоматизированные рабочие места (АРМы); стена экранов, которая состоит из некоторого количества АРМов; административная машина, которой подчиняется работа этих структур. На данный момент созданы концепты: построения 3D визуализации (на его основе имеется 3D модель Солнечной системы); дистанционной загрузки контента на АРМы; дистанционного управления контентом; основного элемента управления на административной машине (таблица АРМов).

#### Цель работы:

Реализовать систему контроля работы и управления АРМами на административной машине.

Центр управления полётами Юношеского клуба космонавтики им. Г.С.Титова (ЦУП ЮКК) предназначен для управления космическими, воздушными и наземными объектами и их математическими моделями. ЦУП ЮКК включает в себя как большие экраны визуализации (стена экранов), так и отдельные автоматизированные рабочие места управления (АРМ), административную машину, с которой производится контроль за всеми остальными устройствами.

Создание ЦУП ЮКК связано с многими задачами. Например, отображение информации на стене экранов. Стену планируется создавать при помощи совмещённых друг с другом экранов, которые будут показывать одно изображённое, распределённое на них. Это достигается за счёт концепта дистанционной загрузки контента, а также динамического управления им по средством сетевых сообщений. Также на стене экранов чаще всего отображаться будет 3D изображения, которое реализовывается по концепту 3D объектов.

Концепт написан на браузерном языке программирования — JavaScript (JS), с использованием библиотеки THREE.js. На данный момент реализован концепт постройки и размещения на сцене различных типов 3D объектов, согласно которому:

1. Каждый объект считается самостоятельным и хранится в файле формата svg, который позволяет размещать внутри JS код. Svg при загрузке на html-документ при помощи тега object создаёт в нём отдельный документ, который может иметь одинаковые с основным html-документом названия переменных, и они не будут вызывать ошибки.

2. У объектов указывается название родителя (название объекта, к которому следует присоединить его) и собственное имя. Благодаря этому достигается своеобразная иерархия объектов.

3. JS код, который объединяет объекты между собой, находится в html-документе.

4. Каждый объект имеет обязательно 4 функции, которые могут вызываться вышеупомянутым кодом:

a. `get(data)` — возвращает свойство, имеющее название `data`, содержащего параметры объекта.

b. `set(type, data)` — выполняет лежащую внутри svg функцию с названием `type` и аргументом `data`.

c. `init(lib, callback)` — формирует 3D объект. Аргументы: `lib` — ссылка на объекты библиотек (например, THREE.js); `callback` — ссылка на функцию, которая находится в заранее загруженном JS файле (см. пункт 3).

d. `callback(data)` — функция, которая вызывается внутри svg после завершения каких-либо действий или для запроса информации у клиента и отправляет html-документу какую-либо информацию, например, о том, что 3D объект готов.

5. По завершении загрузки svg файла вызывается событие `onload`, которое провоцирует срабатывание функции `init` в svg файле.

Одним из важных инструментов стены экранов является плоскость, на которую визуализируется графическая и видео информация. Она также является 3D объектом и способна свободно перемещаться по стене экранов. Находится плоскость может, как фиксировано перед камерой, так и прикреплённой к различным объектам 3D.

Для работы системы ЦУП загружать нужные файлы планируется динамически. В рамках реализации концепта будет организована база данных, в которой имеются все нужные для работы файлы. Далее, когда эти файлы будут требоваться на определённой машине, то они туда передадутся по определённым протоколам.

Каждая клиентская машина в ЦУП перед началом работы должна быть оснащена сервером (далее сервер клиента) на основе технологии `node.js` с надстройкой в виде `node-RED`. Данный сервер оснащён базовым софтом, который способен лишь на вещание в сеть своих данных на загрузку одного файла. При этом предполагается, что такой файл будет расширять возможности управления машиной и позволять загружать файлы в любом количестве. Такой подход позволяет создавать отдельные области видимости, в каждой из которых размещать требуемый софт из загруженных файлов; то есть динамически размещать на любой машине любое количество контента для серверной части.

Для визуализации информации пользователю используется браузер. Его запуск может осуществляться при условии, что был загружен базовый html файл, который способен лишь на вещание и загрузку остальных файлов. Тогда открывается страница браузера с привязкой к определённой области видимости из серверной части, а затем загружается соответствующий контент в браузер. Иными словами, каждому контенту страницы браузера соответствует определённая серверная часть. Тем не менее, допускается возникновение нескольких страниц браузера с привязкой к одной серверной части.

Связь между серверными частями и базой данных осуществляется по каналам `MultiCast`, который позволяет передавать информацию одновременно нескольким машинам, что особенно полезно при загрузке контента на стену экранов. Связь между серверными частями и страницами браузера организуется по протоколу `WebSocket (WS)`. Данный протокол, в отличие от базового `http`, уравнивает значения веб-сервера и клиента и позволяет обмениваться информацией между собой без дополнительных запросов.

Алгоритм загрузки контента на серверную часть представлен 3 этапами:

1. Базовый софт. На данном этапе происходит запуск сервера с базовым софтом и начало вещание в сеть своих данных, нужных для идентификации, и статуса загрузки контента.

2. Загрузка вспомогательной библиотеки. Здесь происходит передача файла для расширения возможностей машины: создание дополнительных каналов связи, областей видимости, обработка и хранения принятых файлов и т.д.

3. Загрузка основного контента. В этом месте машине посылаются поток из файлов, которые приходят в неопределённой последовательности. Для структуризации использования файлов, помимо их отправляются файлы с расширением `JSON`, которые являются инструкциями для их использования. Каждая такая инструкция содержит наименование функции, которую следует исполнить, аргументы к ней, а также условия для её запуска.

После загрузки серверной части становится возможным загрузка клиентской части. Алгоритм загрузки файлов в браузер схож с загрузкой на серверную часть за исключением 2 этапа. Он оказывается не нужным по причине того, что базовый софт для браузера уже отправляется дистанционно.

На основе вышеупомянутой системы инструкций появляется возможность динамического обмена информацией между машинами.

Концепт ЦУП в целом представлен на рисунке 1.

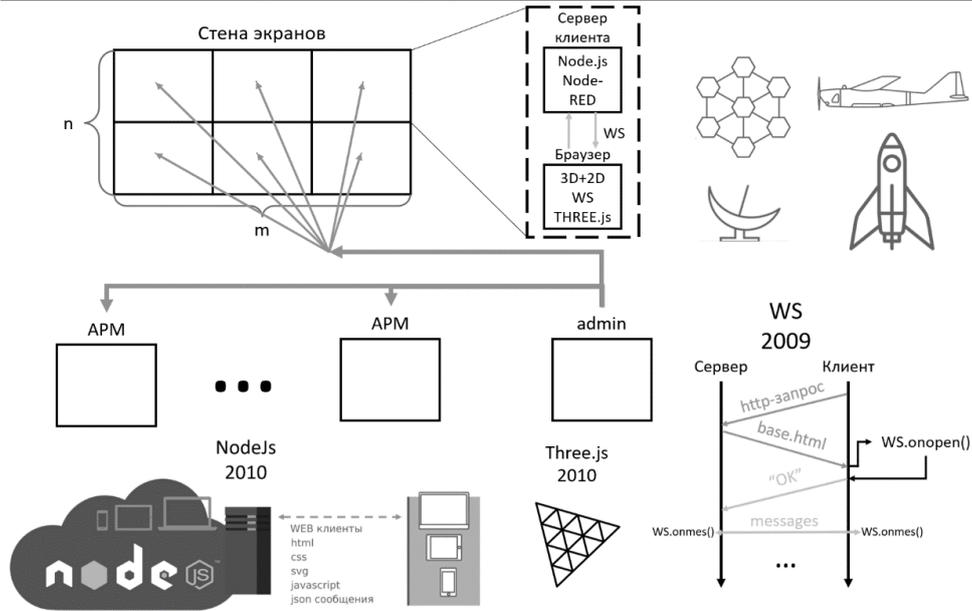


Рис. 1. Концепт ЦУП

Тем не менее, с определённого момента разработки стало ясно, что для управления всеми технологиями ЦУПа требуется удобная система контроля и управления АРМами.

Подобная система должна соответствовать следующим требованиям:

1. Компактность. Чтобы было возможно как можно больше информации разместить на экране.
2. Стабильность. Чтобы в ходе долгой работы не уставали глаза.
3. Многофункциональность. Чтобы была поддержка многих функций, которые уже есть и которые будут.

4. Масштабируемость. Чтобы было возможно работать с большим числом активных АРМов.

По итогу, было решено массив АРМов располагать в виде таблицы, где каждый элемент представляет отдельную машину.

В каждом таком элементе таблицы будет визуализироваться ip машины, статус, состоящий из 3 состояний: красный (нет подключения к машине), жёлтый (идёт процесс), зелёный (штатная работа). Также визуализируются все загруженные на машину контенты. Они разделены на серверную часть и клиентскую часть. Серверная часть представляет контент, который загружен на локальный сервер машины. Клиентская часть отображает контент в браузере. При этом имеется некоторая подчинённость: контенту серверной части должен соответствовать контенту клиентской. Таким образом, таблица может принять вид, как показано на рисунке 2.

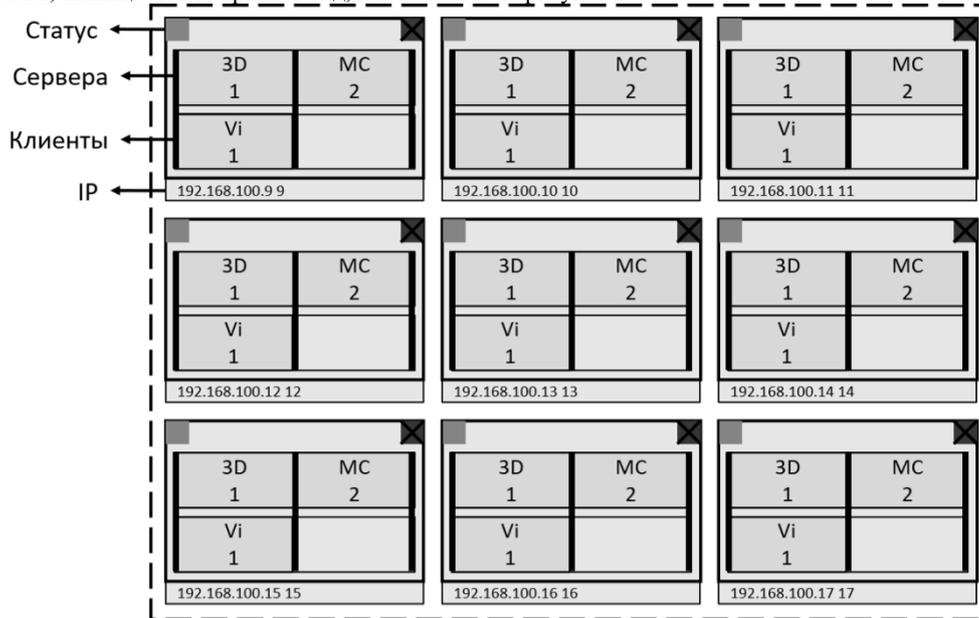


Рис. 2. Пример таблицы АРМов для управления

Все функции для управления будут ориентироваться на подобный вид визуализации. То есть взаимодействия с машинами осуществляется по следующим принципам:

1. Выделить – применить функцию. Означает, что среди элементов таблицы выделяется щелчком (или каким-либо другим образом) определённая часть (например, весь АРМ; контент сервера; контент клиента и т.д.), а затем к ней применяется выбранная функция.

2. Выбрать функцию – выбор элементов. Здесь применяется обратный подход. Только теперь после выбора функции будут подсвечиваться элементы таблицы, к которым эта функция может быть применена.

Для более удобного выбора элементов таблицы также имеется фильтр, который будет автоматически выделять машины, подходящие под введенные условия.

Среди функций могут быть: Выбор контента; загрузка контента; добавить сервер; добавить клиент; завершить работу; настроить стену экранов и т.д.

Таким образом, созданы основные концепты ЦУП, по которым затем он будет реализован.

### Библиографический список

1. Вильданов А.Н. 3D-моделирование на WebGL с помощью библиотеки Three.js: учебное пособие. Уфа: Изд-во РИЦ БашГУ, 2014. 113 с.

УДК 67.05

## АКТУАЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАГНИТОПОРОШКОВЫМ МЕТОДОМ

*Н.Д. Горчаков<sup>1</sup>, А.Н. Куприянов<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Современные отрасли металлообработки и машиностроения, постепенно внедряют новейшие средства и методы производства и контроля деталей. К передовым технологиям производства относят: высокопроизводительные вычисления, быстрое прототипирование, интеллектуальные производственные системы. Перечисленные инновационные средства, на текущий момент, требуют больших и зачастую неоправданных затрат при внедрении, в частности для опытного производства. Из этого следует, что необходимо рассмотреть возможность проведения автоматизации для процессов, применяющихся по сей день, на примере токарной обработки деталей на универсальном оборудовании и неразрушающего контроля изделий магнитопорошковым методом.

Токарная обработка применяется для изготовления деталей простой формы типа тел вращения (валов, осей, фланцев, втулок). Наиболее распространённый метод обработки таких объектов – это точение, выполняемое на токарных станках. Классическими станками для выполнения токарных работ являются токарно-винторезные станки, они относятся к универсальным станкам токарной группы [1]. С развитием науки и техники на предприятиях начался переход от универсальных станков к станкам с числовым программным управлением (ЧПУ). Такие станки обеспечивают высокую точность и повторяемость обработки. Но при этом, данные станки являются дорогостоящими и требуют значительных затрат времени на подготовку программы и её наладки. Эти факторы вынуждают опытные производства использовать прежде универсальное оборудование. Вместе с тем современное производство столкнулось с проблемой нехватки квалифицированного персонала. Количество опытных специалистов по токарному делу постепенно уменьшается, в то время, как молодые специалисты не имеют соответствующих навыков производства качественных деталей. Из этого следует, что автоматизация процесса обработки деталей на универсальных станках является актуальной проблематикой на сегодняшний день.

В качестве примера для решения проблем автоматизации универсальных станков и нехватки квалифицированных сотрудников может использоваться разработанный в процессе обучения стенд. Устройство оснащено программой для автоматизации расчётов режимов резания при точении, разработанной в среде «LabVIEW». Данная среда была выбрана благодаря тому, что предлагает графический подход к программированию, который помогает визуализировать все аспекты приложения, включая данные измерений и отладку. Интерфейс программы представлен на рис.1.

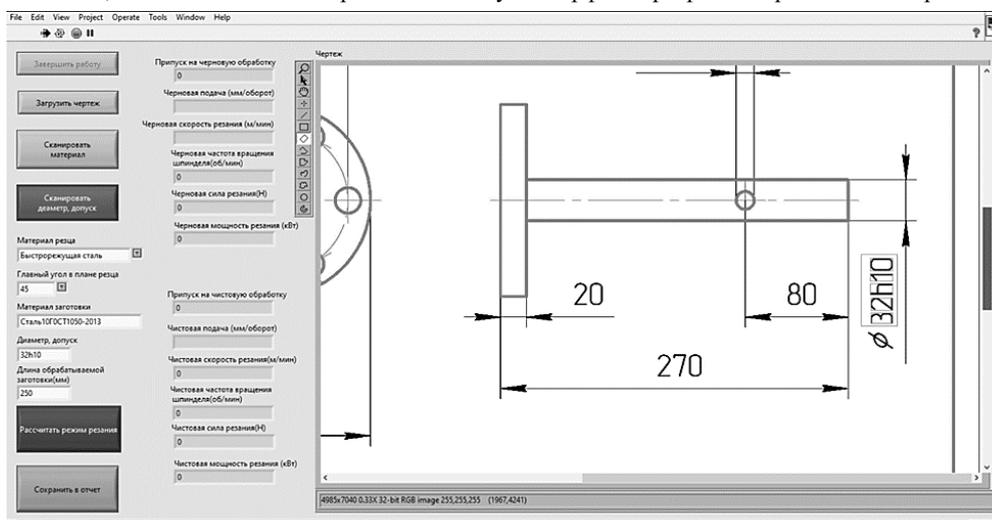


Рис. 1. Интерфейс программы

Программа может анализировать входные параметры, такие как материал заготовки, диаметр вала или отверстия и качество, для расчёта режимов резания на прямую с чертежа детали. В добавок к этому пользователь может выбирать такие входные параметры, как материал резца и главный угол в плане резца, вручную. После анализа входных данных программа производит назначение режимов резания расчётно-аналитическим способом [2]. Результат программного расчёта записывается в текстовые поля с соответствующими названиями на панели прибора. При необходимости полученные данные можно сохранить в документ MS Word. Пример отчёта приведён на рис.2. В результате разработанная программа позволит не только быстрее освоиться молодому специалисту, помогая определить основные элементы при точении, но и ускорит сам процесс подготовки для успешной обработки деталей на токарном станке.

```

Режим резания для черновой токарной обработки поверхности:32h10; Сталь10ГОСТ1050-2013
Припуск(мм):1,500000
Подача(мм/оборот):0,4
Скорость резания(м/мин):88
Частота вращения шпинделя(оборот/мин):875,000000
Сила резания(Н):771,000000
Мощность резания(кВт):1,100000

Режим резания для чистовой токарной обработки поверхности:32h10; Сталь10ГОСТ1050-2013
Припуск(мм):0,300000
Подача(мм/оборот):0,6
Скорость резания(м/мин):97,000000
Частота вращения шпинделя(оборот/мин):965,000000
Сила резания(Н):206,000000
Мощность резания(кВт):0,300000

```

Рис. 2. Пример сохранённого отчёта программы

Не менее важным этапом производства изделия является контроль производимой продукции. Поскольку невозможно создать абсолютно бездефектную продукцию, особо ответственные изделия подвергаются стопроцентному контролю неразрушающими методами. Методы неразрушающего контроля (НК) позволяют выявлять внутренние пороки изделий без разрушения последних. Методы классифицируются в соответствии с физическими процессами взаимодействия физического поля или вещества с объектом контроля. Одним из наиболее распространённых и современных диагностических методов НК является ультразвуковой метод контроля. Этот вид НК отличается высокой точностью по сравнению другими методами НК, позволяет проводить контроль изделий из разнообразных материалов, как металлов, так и не металлов, а также выявляет большинство видов дефектов. Однако ультразвуковой метод в значительной степени требователен к сотруднику, проводящему контроль, имеет сложности с подбором и приобретением аппаратуры, в связи с чем оказывается дорогостоящим. Вышеуказанные недостатки такого метода НК не дают возможности повсеместно использовать его на большинстве предприятий, в частности на опытных производствах. По этой причине организации используют менее требовательные виды НК. Например, в железнодорожной отрасли зачастую применяется магнитопорошковый метод [3].

Магнитопорошковый метод – метод, основанный на использовании магнитных полей, создаваемых путем намагничивания контролируемых изделий. При помощи данного метода проверяют боковые рамы, оси колёсных пар и иные детали грузовых и пассажирских вагонов и локомотивов. В настоящее время магнитопорошковый контроль деталей стал актуальным в связи с тем, что он не требует постоянных затрат, в отличие от других методов НК. При правильной технологии контроля деталей этим методом обнаруживается большинство дефектов в начальной стадии их появления, когда определить их без специальных средств трудно или невозможно. Магнитопорошковый метод – это индикаторный вид НК, который позволяет увидеть дефекты, а не измерить их. Метод не предназначен для определения длины, глубины, ширины дефекта. Возможности для определения типа дефекта таким методом весьма ограничены. Тем не менее, данный вид вполне эффективное и надёжное решение для быстрого поиска трещин и иных повреждений, выходящих на поверхность [4]. Соответственно, автоматизация процесса проведения НК также является важной проблемой современного производства.

Для решения этой проблемы, в процессе обучения, был разработан стенд, основанный на системе технического зрения. Оборудование включает в себя стенд с контролируемым объектом (1), дефектоскоп (2), электромагниты (3), камеру (4) и каркас (5) с креплениями под камеру и освещение. Схема стенда приведён на рис.3.

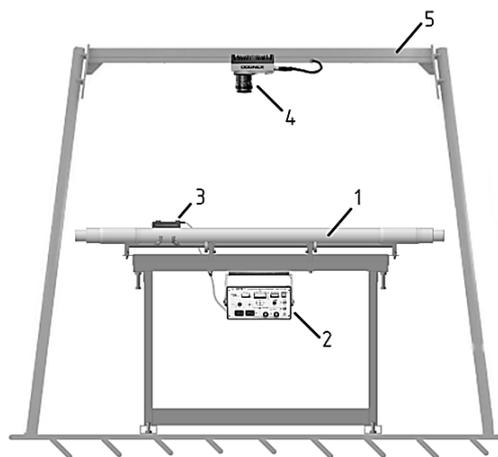


Рис. 3. Схема комплекса машинного зрения

К станку подключён компьютер с программой, позволяющий фиксировать дефекты в реальном времени и составлять отчёт полученных данных после проведения контроля. Программа аналогично разработана в среде «LabVIEW». Лицевая панель разработанного прибора приведена на рис. 4.

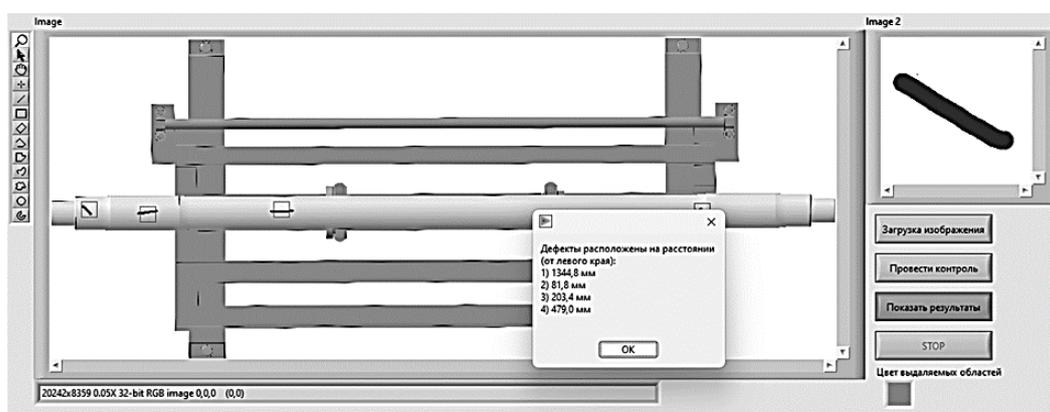


Рис. 4. Лицевая панель виртуального прибора

Виртуальный прибор за счёт применение машинного зрения позволяет исключить человеческий фактор, проводить значительно более точный анализ объекта, снизить издержки производства. Это ускоряет процесс контроля, что в свою очередь, со всеми перечисленными факторами, способствует использовать более дешёвый магнитопорошковый метод, на таком же уровне качества, что и ультразвуковой метод.

На основании вышесказанного, можно сделать вывод о том, что развитие современного производство может быть реализовано не только с помощью внедрения инновационного оборудования, но и с помощью усовершенствования прежних, менее своевременных, процессов, путём внедрения простых и не дорогих приборов и систем.

#### Библиографический список

1. Технология токарных работ : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования /Т.А. Багдасарова. – 4-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2015. – 160 с.
2. Домнышев А.А. Автоматизация расчёта режима резания наружного продольного точения и сверления методом линейного программирования. / Политехнический молодежный журнал, Москва, 2019, №10(39). – с. 1 – 12.
3. Неразрушающий контроль в производстве: учеб. пособие. Ч. 1.; ГУАП. — СПб., 2007. — 137 с.: ил.
4. Магнитопорошковый контроль [Электронный ресурс] URL: <https://defektoskopist.ru/osnovni-nk/magnitoporoshkovyj-kontrol.50/> (Дата обращения: 14.02.2023 г.)

УДК 004.032.26

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМАНТ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ РЕЧИ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

*Д.В. Гадасин<sup>1</sup>, К.А. Пантелева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>. *Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ)*

Мировой переход в цифровое пространство и цифровая трансформация формирует потребности и задачи не только в создании новых цифровых устройств, но и в переводе бизнес-процессов, что позволяет существенно снижать транзакционные издержки и значительно увеличивать объемы экономической деятельности [1]. Все крупные компании и банки стали использовать голосового помощника, таким образом снижая нагрузку на операторов, но необходимость в живом общении с человеком для решения большинства проблем все еще актуальна, а значит, до сих пор нет идеального, полного разговорного ИИ. Одним из самых больших рынков умных помощников является

североамериканский: 16% американцев, т.е. каждый шестой американец, владеют умной колонкой с голосовым управлением (данные Edison Research и NPR), при этом 41% людей, владеющих устройствами с голосовым управлением, считают, что разговаривают с другим человеком или своим другом. В области разговорного ИИ развиваются речевые технологии (ASR/TTS/Biometry) (лидеры ЦРТ, Yandex.Cloud); платформы речевой аналитики (лидеры Speech Analytics, CallScoring); No-code/Low-code конструкторы ботов и сценариев (лидеры Botmother, Just AI); NLP/NLU/DM-платформы (лидеры Just AI, Наносемантика); исходящие телефонные коммуникации (лидеры Neuro.net, Zvonobot); решения для госсектора (лидеры ЦФТ, 3iTech, АТС Аэро); ассистенты и навыки, IVR и другие решения для клиентской поддержки (лидеры Just AI, Cleverbots, Digital Intelligence) (данные Just AI). На рис. 1 представлена оценка совокупной динамики сегментов с 2015 по 2025 год, проведенная исследованием Just AI [2].

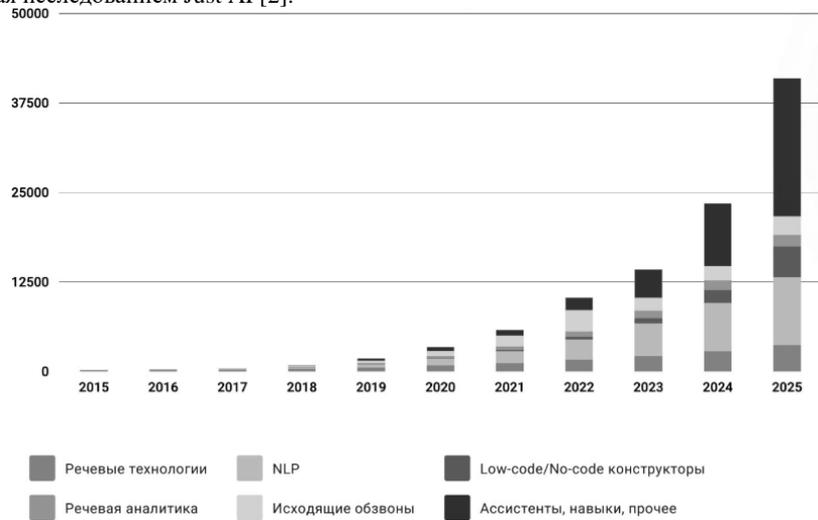


Рис. 1. Оценка совокупной динамики сегментов с 2015 по 2025 год в миллионах рублей

Для распознавания речи машиной стоят нейронные сети, представляющие из себя математическую модель и ее программное или аппаратное воплощение, построенное по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Искусственные нейроны работают как биологические и передают сигнал от одного конца к другому, от одного нейрона к другому, при этом сигнал не передается моментально, входной сигнал подавляется до момента перехода порогового значения.

Для воспроизведения поведения природного нейрона в искусственной модели создаются нейронные структуры, которые могут состоять из нескольких слоев, в которых каждый нейрон соединен нейронами из последующего и предшествующего слоя. Наиболее подающей регулированию является сила связи между узлами, таким образом становится возможно регулировать суммирование входных значений или форму сигмоиды в пределах одного узла. На рис. 2 показаны соединенные между собой узлы, каждое соединение имеет определенный вес.

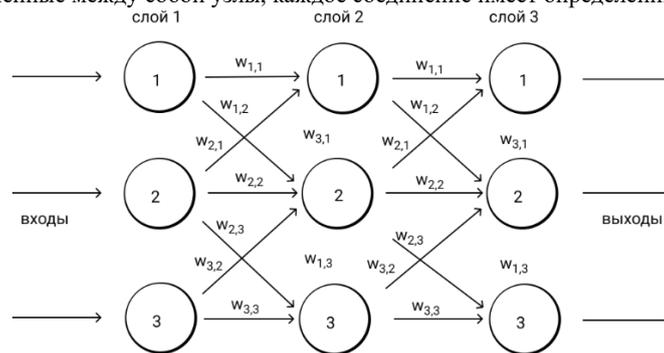


Рис. 2. Система нейронов с весовым коэффициентом

Так, например, символ  $w_{3,3}$  обозначает вес сигнала, который идет от узла 3 второго слоя к узлу 3 третьего слоя. По той же аналогии расшифровываются остальные символы.

Нейронная сеть, получая на вход определенные входные значения, при передаче по нейронам с различными весовыми значениями, умножает входное значение на весовое значение и, если в результате умножения получается число, превышающее порог, то этот сигнал пойдет дальше, но, чтобы рассчитать выходные значения, придется проделывать огромную работу, в чем способствуют компьютеры, для которых не составляет труда делать огромные вычисления, но для этого необходимо формировать для нейронной сети программные инструкции, что может в случае большого количества узлов и слоев привести к большому количеству ошибок и опечаток, в следствии чего выполнение расчетов может стать практически невозможным, поэтому для вычислений и обучения используются матрицы [5].

Для выделения информативных признаков речевого сигнала используется два подхода: спектральный анализ и метод линейного предсказания. Отличие спектрального анализа заключается в том, что оценки среднего значения усредненного шума вычитается из спектра, вычисленного по зашумленным данным [6]. На рис. 3 показан процесс предварительной обработки речевых сигналов [3].

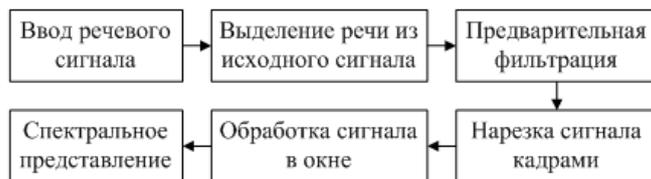


Рис. 3. Схема предварительной обработки речевых сигналов

В процессе реализации распознавания речи решаются следующие задачи:

1. Преобразовываются колебания воздуха в электрические сигналы по средствам микрофона, при этом необходимо производить фильтрацию от помех и шумов.
2. После чего полученный сигнал представляется в цифровом виде для обработки компьютера посредством анализа спектрального состава сигнала.
3. Затем из оцифрованного звука выделяются лингвистические конструкции посредством математических методов.

Форманты – определенная частотная область, в которой усилено некоторое число гармоник тона, т.е. в спектре звука речи концентрация энергии максимальна. На рис. 4 представлено распределение фонем русского языка в пяти частотных зонах.

№	Частотная зона	Октавы	Частотный диапазон, Гц	Фонемы
1	Низкая	2-5	150-400	н, м, у, п, б
2	Средненизкая	5-8	300-1200	ц, б, л, о, к, г, ф, в, х
3	Средняя	7-10	800-2400	к, г, ф, в, х, р, м', а, у, т, д, ж, ш, н', л', р'
4	Средневысокая	9-11	1200-3200	т, д, ш, х', л', г', э, д', к', ф', ж', ы, п', б', т', ч', в', й, ч
5	Высокая	11-14	3200-12800	п', б', т', ч', в', й, н', ш', и, э, з', с', ц

Рис. 4. Частоты фонем русского языка

На рис. 5 представлено сравнение оркестрового спектра со спектром голоса певца.

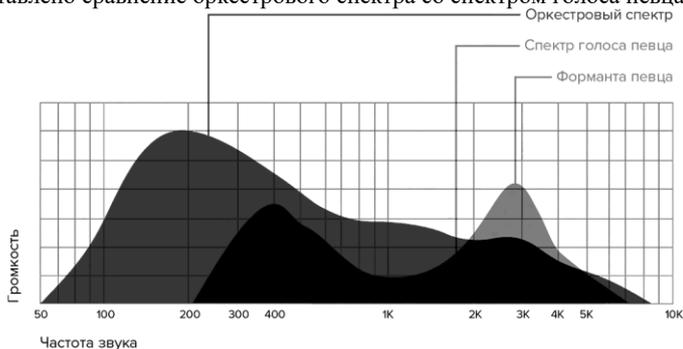


Рис. 5. Сравнение спектров оркестра с голосом певца

По методу Покровского подлежащую анализу область частот разбивают на несколько смежных полос, в пределах из которых спектры речи и шума, а также плотность вероятностей формант приблизительно считаются постоянными. Артикуляционная разборчивость представляет из себя сумму разборчивостей формант каждой отдельной полосы разбиения (формула 1-2).

$$A = \sum_{k=1}^K A_k = \sum_{k=1}^K p_k \cdot P(E_k'), (1)$$

$$p_k = F_1(f_{ok}) - F_1(f_{nk}), (2)$$

где  $P(E_k')$  – коэффициент восприятия речи (вероятность отсутствия маскировки речи шумом),  $F_1(f)$  – функция распределения вероятностей формант,  $K$  – количество смежных полос,  $p_k$  – вероятность пребывания формант в  $k$ -ой полосе частот,  $f_{ok}$  – центральная частота полосы,  $f_{ok}$  – верхняя граничная частота полосы,  $f_{nk}$  – нижняя граничная частота полосы.

Вероятность отсутствия маскировки речи шумом зависит от разности уровней спектра помехи и формантного спектра, аналитические соотношения представлены на формулах 3-5.

$$F(f) = \begin{cases} 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot f^{2,4}, & 100 < f \leq 400 \Gamma\text{ц} \\ 1 - 1,074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot f^{1,18}), & 400 < f \leq 10000 \Gamma\text{ц} \end{cases}, (3)$$

$$P(E'_k) = \begin{cases} \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0,1|E'_k|}}, & E'_k \leq 0 \\ 1 - \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0,1|E'_k|}}, & E'_k > 0 \end{cases}, (4)$$

$$E'_k = E_k - \Delta B(f_{ok}), (5)$$

где  $E'_k$  – эффективный уровень ощущения речевого сигнала в полосе частот при относительно большом уровне шума, равный отношению сигнал/шум (SNR), определяемого формулой 6,  $E'_k$  – эффективный уровень ощущения формант в полосе частот,  $\Delta B(f)$  – разница между усредненным спектром речи и спектром формант.

$$SNR = 101g \frac{D_{sk}}{D_{nk}}, (6)$$

где  $D_{sk}$ ,  $D_{nk}$  – дисперсии сигнала и шума соответственно.

По формуле 7 определяется разница между усредненным спектром речи и спектром формант.

$$\Delta B(f) = \begin{cases} \frac{200}{f^{0,43}} - 0,37, & f \leq 1000 \Gamma\text{ц} \\ 1,37 + \frac{1000}{f^{0,69}}, & f > 1000 \Gamma\text{ц} \end{cases}, (7)$$

С помощью формулы 8 определяется словесная разборчивость через формантную разборчивость.

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot A^{0,25} \cdot [1 - \exp(-11A)], & A < 0,15 \\ 1 - \exp\left(\frac{11A}{1 + 0,7A}\right), & A \geq 0,15 \end{cases}, (8)$$

На рис. 6 представлен пересчет индекса артикуляции в словесную и фразовую разборчивости.

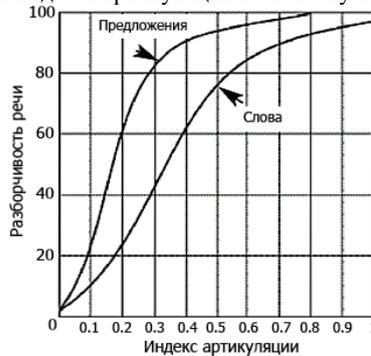


Рис. 6. Пересчет индекса артикуляции в словесную и фразовую разборчивости

На рис. 7 представлена осциллограмма голосовой команды «температура» [4].

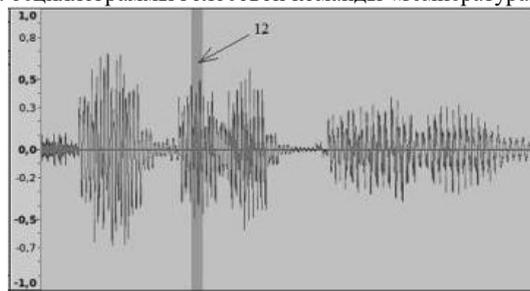


Рис. 7. Осциллограмма слова «температура»

На рис. 8 представлена спектрограмма интервала №12 для диапазона частот 0, ..., 2500 Гц. Амплитуды спектрограммы интервала представлены целыми числами в 16 битном разряде.

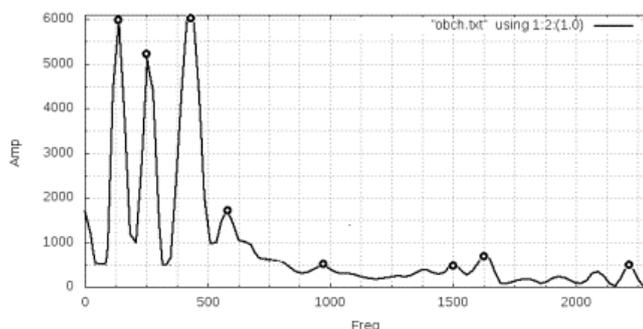


Рис. 8. Спектрограмма интервала №12 слова «температура»

На рис. 8 в виде кружков отмечено 8 локальных экстремумов (формант). После всех расчетов необходимо создать нейронную сеть, выбор вида которой обуславливается выбором разработчика, где количество нейронов в входном слое должно равняться всех слов, записанных как элементы массива, которые будут поданы на вход для распознавания. Наиболее чаще встречаемые модели нейронной сети – классическая и рекуррентная для распознавания естественного языка (примерно то же самое, что и обычные нейронные сети, но с обратной связью). После разработки ИНС необходимо провести ее обучение, методов которых множество и выбор обуславливается индивидуальным опытом и пожеланиями разработчика. Необходимо сформировать массивы данных для ее обучения и проверки (тестовая выборка), при этом необходимо задать несколько классов для разделения массивов слов. Так, класс ключевых слов будет включать набор ключевых слов, которые должны распознаваться и на которые нейронная сеть должна реагировать положительно; класс не ключевых слов, в котором лежит набор нецелевых слов, не подлежащих к распознаванию (например, англоязычные слова); Silence класс, в котором содержится набор записей, которые относятся к шуму (например, помехи, белый шум) – для соотнесения к данному классу необходимо разработать отдельную нейронную модель [4]. Для повышения устойчивости модели к шумам можно применять методы аугментации. Рекомендуется в тестовую выборку включать не только те варианты записи, которые использовались в обучении, но и отличные от нее.

В качестве метрики качества распознавания используется WER (Word Error Rate), который рассчитывается по формуле 9.

$$WER = \frac{100 \cdot (Insertions + Substitutions + Deletions)}{TotalWord}, (9)$$

где *Insertions* – слова, которых нет в исходной аудиозаписи, *Substitutions* – некорректные слова, *Deletions* – пропущенные слова.

Примером расчета WER, когда исходные данные представляют из себя фразу «Мировые данные по (неразборчивая речь) показали тенденцию к снижению», служит следующая ситуация:

«Мировые данные по аналитике<sup>1</sup> игрового<sup>5</sup> спорта<sup>5</sup> показали тенденцию к снижению».

$$WER = \frac{100 \cdot (1 + 2 + 0)}{7} \approx 43\%, \text{ т.е. ошибка равна } 43\%.$$

При этом необходимо учитывать, что может встретиться, что в одном тексте WER 0,2, в другом 0,3, а в третьем – 0,4. Общий WER рассчитывается как общее количество слов на всех исследуемых текстах, но не как среднее арифметическое этих значений, также на разных тестовых выборках WER будет разной: на одной конкретной аудиодорожке испытываемое решение работает лучше или хуже, чем другие решения, но делать из этого общий вывод о качестве работы решения – некорректно. Необходимы результаты на большом объеме данных.

Используя формантный подход к анализу аудиодорожки можно разработать голосового собеседника, голосового ассистента, голосовое управление и прочие продукты рынка распознавания речи ИИ, так как данный подход конкурентно способен в сравнении с другими.

### Библиографический список

1. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты : Доклад к XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13-30 апреля 2021 / Г. И. Абдрахманова, К. Б. Быховский, Н. Н. Веселитская [и др.]. – Москва : Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 2021. – 239 с. – ISBN 978-5-7598-2510-4. – EDN WPPBQJ.
2. Исследование. Рынок разговорного ИИ в России 2020-2025 // Just-ai URL: <https://just-ai.com/blog/issledovanie-rynok-razgovornogo-ii-v-rossii-2020-2025> (дата обращения: 15.02.2023).
3. Ле, Н. В. Распознавание речи на основе искусственных нейронных сетей / Н. В. Ле, Д. П. Панченко // Технические науки в России и за рубежом : Материалы Международной научной конференции, Москва, 20–23 мая 2011 года. – Москва: Ваш полиграфический партнер, 2011. – С. 8-11. – EDN VJZDVF.
4. Как использовать распознавание речи // Azoft URL: <https://www.azoft.ru/blog/how-to-train-a-neural-network-to-recognize-speech/> (дата обращения: 15.02.2023).
5. Гадасин, Д. В. Предобработка информации для систем машинного обучения / Д. В. Гадасин, А. В. Шведов, К. А. Пантелеева // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики : Труды XXI Международной научно-практической конференции, Симферополь-Гурзуф, 20–22 октября 2022 года. – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2022. – С. 268-269. – EDN QVIOMF.

6. Шведов, А. В. Применение алгоритмов и способов преобразования речевого сигнала в цифровую информацию / А. В. Шведов, М. И. Коноплева // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики : Труды XXI Международной научно-практической конференции, Симферополь-Гурзуф, 20–22 октября 2022 года. – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2022. – С. 290-292. – EDN HPOTTL.

УДК 681.787

## РАЗРАБОТКА СТЕНДА ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ

*К.В. Костромитина<sup>1</sup>, В.В. Сементин<sup>1</sup>, И.А. Хлымов<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Аддитивные технологии — это довольно свежая отрасль, которая активно входит в разные сферы деятельности человека, хотя попытки создания данной технологии насчитывают десятилетия. В 2005 году начинают появляться первые 3D-принтеры с относительно высокой скоростью печати. На текущий момент для производства изделий используется более сотни разных материалов таких как ABS пластик для малоразмерных принтеров, бетон и гипс для создания целых домов, что активно применяется в США [1], различного рода металлические порошки. Используя технологию селективного лазерного спекания (СЛС), производятся даже ракетные двигатели [2]. Однако не только лишь огромные изделия можно создавать, используя данную модель производства, но и вполне компактные малоразмерные детали, что невозможно создать с помощью других методов производства.

Применение существующих методов контроля производства для технологии СЛС осложнено тем, что большинство из них требуют уже готовое изделие для осуществления проверки на наличие дефектов. В связи с этим требуются так же и новые методы контроля за производством путём селективного лазерного плавления. Для повышения качества контроль нужно осуществлять во время её производства, для экономии времени и сил при обнаружении критического дефекта ещё до завершения производства.

Оптические методы уже давно используются в качестве метрологических инструментов. Они обладают следующими преимуществами: отсутствие контакта с образцом, неразрушаемость, высокая точность. Благодаря сочетанию компьютеров и других электронных устройств они стали быстрее, надежнее, удобнее и надёжнее. Среди всех различных применений контурирование поверхности представляет большой интерес. В промышленности существует потребность в точном измерении трехмерной формы объектов для ускорения разработки продукта и обеспечения качества изготовления.

Терагерцовый (ТГц) спектральный диапазон интересен в связи с возможностью его использования во многих областях. На сегодняшний день исследование данного спектрального диапазона, главным образом, реализуется с помощью метода импульсной терагерцовой спектроскопии [3]. Суть данного метода заключается в генерации светового импульса фемтосекундной длительности, который после его оптического выпрямления с помощью фотопроводящей антенны или электрооптического кристалла превращается в сигнал, фурье – спектр которого непрерывно перекрывает диапазон частот от примерно 0.1 до 10 ТГц. После прохождения через исследуемую среду форма импульса изменяется, поскольку каждый спектральный компонент по-разному взаимодействует со средой. Выполняя обратное преобразование этого импульса, можно восстановить, изменение амплитуды и фазы каждого компонента, а, следовательно, определить свойства исследуемого вещества. Очевидным достоинством этого метода является возможность прямого измерения амплитуды и фазы спектральных компонент сигнала. Однако имеются и очевидные недостатки. Прежде всего, это – низкая эффективность преобразования светового импульса в терагерцовое излучение  $10^{-6}$ , что в ряде случаев может ограничивать прошедший сигнал до малой величины, которую трудно измерить. Вторым недостатком является невозможность измерить сигнал в реальном времени, поскольку при технической реализации метода ИТС для регистрации временной формы импульса необходимо сканировать время задержки зондирующей части светового пучка.

Одним из важнейших направлений в области терагерцовых исследований является исследование материалов, которое необходимо в аддитивных технологиях для контроля качества. Терагерцовое излучение позволяет исследовать характеристики материалов, которые трудно или невозможно исследовать, используя ИК, видимое и рентгеновское излучение. Для исследования сред, прежде всего, необходимо формирование спектрально – селективных изображений чтобы посмотреть наличие особенностей в образце. Уникальным изображающим методом является терагерцовая голография, выполняющая «мгновенную» запись голограммы в реальном времени и последующее восстановление изображения, используя численные методы. Актуальность использования ТГц – диапазона для этих целей обуславливается следующими параметрами: высокая проникающая способность; длина волны ТГц – излучения позволяет получать изображения с субмиллиметровым разрешением, широкая полоса частот в пределах от 100 ГГц до 10 ТГц обеспечивает возможность производить спектроскопические измерения образцов, чьи спектральные особенности лежат в этом диапазоне. К таким объектам относятся многие взрывчатые вещества, органические молекулы и сложные полимеры. В данной работе метод цифровой импульсной голографии будет рассматриваться в качестве метрологического инструмента в области аддитивных технологий. Так же ТГц – излучение может использоваться в медицине из-за его неионизирующего характера. При прямом детектировании временной зависимости напряженности электрического поля ТГц – излучения возможно получение

комплексных спектров, таким образом, регистрируя полную информацию об амплитуде и фазе внутри объекта с волновым пространственным разрешением.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что цифровая голография в совокупности с импульсным источником излучения – современный и оптимальный способ решения определенного набора задач, рассматриваемых в сфере аддитивного производства.

Метод цифровой голографии позволяет произвести переход от оптической записи к числовой обработке.

Метод включает в себя два важнейших этапа: запись и восстановление голограммы [4].

Принцип записи голограммы представлен на рис. 1.

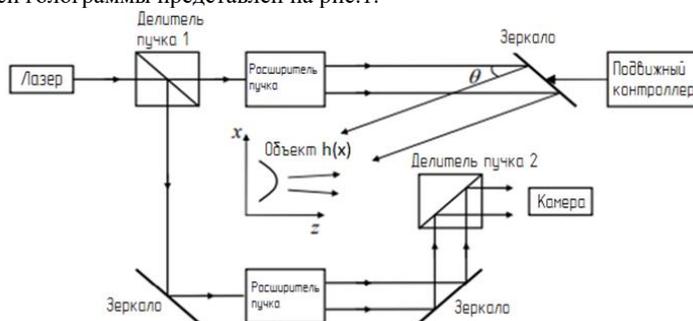


Рис. 1. Схема записи голограммы

Когерентный пучок пространственно разделяется светоделительным кубом на опорную 1 и объектную волну 2. Опорная волна, проходя через расширитель пучка попадает на матрицу камеры, где интерферирует с объектной волной. Объектная волна до этого момента, проходя через расширитель пучка и подвижное зеркало, попадает на объект и отражается от него. В итоге на матрице регистрируется интерференционная картина опорной и объектной волны.

Цифровое восстановление голограмм сводится к численному расчету дифракции световой волны на записанной голограмме. Численный расчет заключается в нахождении распределения амплитуды или фазы электромагнитной волны на определенном расстоянии при дифракции от записанной голограммы (с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье). Описать данные величины световой волны можно с помощью следующего выражения (формула 1).

$$\Gamma(\gamma, \delta) = \frac{i}{\lambda} \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U_h(x, y) \times U_r^*(x, y) \times \frac{\exp(-i \times \frac{2\pi}{\lambda} \rho)}{\rho} dx dy \quad (1)$$

где  $i$  – единичный вектор;

$\lambda$  – длина волны источника;

$U_h(x, y)$  – исходная опорная волна в двух осях;

$U_r^*(x, y)$  – волна, сопряженная с исходной;

Выражение 1 может видоизменяться в зависимости от дистанции восстановления, т.е. расстояния, на котором располагается объект относительно последнего оптического компонента. Это в свою очередь влияет на масштаб получаемого изображения.

Ознакомиться с существующими методами расчета дифракции можно в учебнике Сивухина [5].

В дальнейшем при дальнейшей работе восстановление изображений реальных трехмерных объектов будет производиться методом двумерной свертки, поскольку это наиболее быстрый и эффективный метод по сравнению с другими существующими. Экспериментальные результаты эффективности данного метода описаны в диссертации Чопоровой [6].

Для разработки голографической системы необходимо подобрать ее составляющие компоненты. Ниже произведены расчеты, на основании которых были подобраны оптические компоненты.

В качестве расширителя пучка была выбрана схема Галилея ввиду простоты конструкции и сравнительно малой длины (рисунок 2).

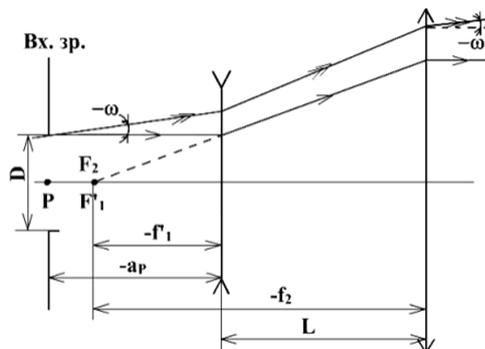


Рис. 2. Принципиальная оптическая схема перевернутой системы Галилея

Расчетные формулы для основных характеристик телескопической системы Галилея имеют следующий вид:

$$\Gamma = \frac{D'}{D} = -\frac{f'_1}{f'_2}, \quad (2)$$

$$L = f'_1 + f'_2, \quad (3)$$

где  $f'_1$  – фокусное расстояние первого отрицательного компонента;

$f'_2$  – фокусное расстояние второго положительного компонента;

$D$  – диаметр входного зрачка;

$D'$  – диаметр выходного зрачка;

$L$  – расстояние между компонентами;

Рассчитаем увеличение системы по формуле 2:

$$\Gamma = \frac{32}{8} = 4$$

В качестве первой линзы возьмем рассеивающую линзу LC2265 Thorlabs inc., параметры которой приведены ниже в таблице 2.

Таблица 1 – Параметры первой линзы

$f'_1$ , мм	$D_1$ , мм	$S_{F_1}$ , мм	$S'_{F_1}$ , мм
-15	12,7	15	-16,7

Рассчитаем необходимое фокусное расстояние второй линзы из формулы 2:

$$f'_2 = -f'_1 \times \Gamma = 15 \times 4 = 60 \text{ мм}$$

Минимально необходимый диаметр второй линзы:

$$D_2 = D \times \Gamma = 8 \times 4 = 32 \text{ мм}$$

Таким образом, диаметр должен быть не меньше следующего значения:

$$D_2 \geq 32 \text{ мм}$$

В качестве второй линзы возьмем собирающую линзу LA4148 Thorlabs inc., параметры которой приведены ниже в таблице 3.

Таблица 2 – Параметры второй линзы

$f'_1$ , мм	$D_1$ , мм	$S_{F_1}$ , мм	$S'_{F_1}$ , мм
60,2	50,8	-60,2	46,6

Для пространственного разделения опорного и объектного пучков, был подобран светоделительный куб BS033 Thorlabs inc. Куб со стороной 50,8 мм пропускает и отражает заданную длину волны в соотношении 50:50.

Разработанный стенд имеет размер 300 мм x 900 мм x 144 мм и включает в себя следующие компоненты: импульсный лазерный источник, расширитель пучка, светоделительный куб, плоское зеркало, ПЗС-камера. Оптика закрепляется на виброизоляционном столе PBG3090A Thorlabs inc. 300 мм x 900 мм x 25 мм с помощью покупных подвижек и магнитных креплений.

На рисунке 3 проиллюстрирован внешний вид разработанного.

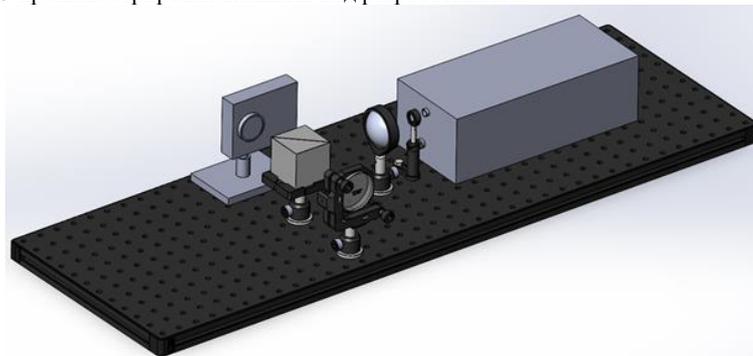


Рис. 3. Внешний вид разработанного стенда

Вид сверху представлен на рисунке 4.

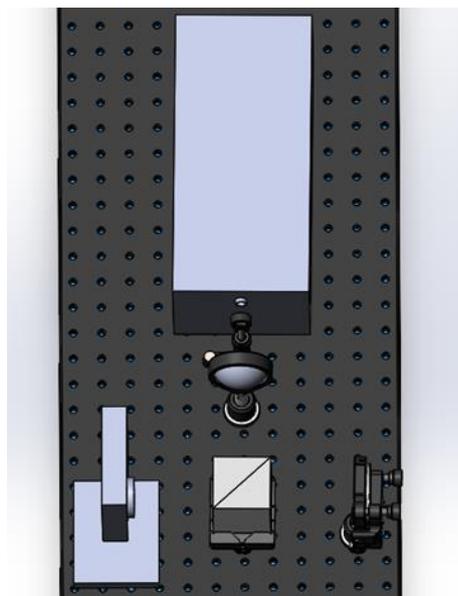


Рис. 4. Внешний вид разработанного стенда

#### Библиографический список

1. Липницкий Л.А., Пильгун Т.В. Аддитивные технологии и их перспективы в образовательном процессе // Системный анализ. 2018. №3.[Электронный ресурс].–URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-i-ih-perspektivy-v-obrazovatelnom-protseesse/viewer> (дата обращения: 18.01.2023).
2. Ярославский, Л.П. Цифровая голография [Текст] / Л.П. Ярославский, Н.С. Мерзляков. – М.: Наука, 1982. – 219 с.
3. Анцыгин В.Д., Лосев В.Ф., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Особенности исследования анизотропных сред методами импульсной терагерцовой спектроскопии [Текст] // Автометрия
4. Kreis, T. Suppression of the dc term in digital holography [Text] / T. Kreis, W. Juptner // Optical Engineering. – 1997. – Vol. 36. – P. 2357-2360.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики [Текст]– М.: Наука, 1980. – 752 с.
6. Чопорова Ю. Ю., Власенко М. Г., Герасимов В. В., Иргалин Т. Н., Князев Б. А., Черкасский В. С.. Запись и восстановление голограмм амплитудных объектов в терагерцовом диапазоне. // Известия вузов. Радиофизика. – 2011. – Т. 54, № 8–9. – С. 649–655.

УДК 004.9, 368.9

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ДОБРОВОЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ

*И.А. Каппанен<sup>1</sup>, А.Ю. Захаров<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова*

Медицинское страхование - это социальная защита интересов населения в области здравоохранения, выраженная в форме гарантированной оплаты медицинских расходов из средств, аккумулированных страховщиком при наступлении страхового случая.

В России существует два вида медицинского страхования: обязательное и добровольное.

Обязательное медицинское страхование (ОМС) является частью государственной системы социального страхования и дает возможность всем россиянам, независимо от пола, возраста и социального положения, получать бесплатную медицинскую помощь.

Добровольное медицинское страхование (ДМС) обеспечивает доступ не только к медицинским услугам, входящим в гарантированное государством обязательное медицинское страхование, но и к различным дополнительным программам в более комфортабельных медицинских центрах за счет страховой компании [1].

Актуальным является повышение эффективности всех звеньев медицинского обслуживания населения, в том числе и системы ДМС, позволяющей разгрузить государственную систему социального страхования, облегчить доступ населения к современным медицинским технологиям [2].

ДМС позволяет компании снизить налогооблагаемую базу и уменьшить трудности, связанные с заболеваниями сотрудников, чтобы они не тратили время на ожидание в поликлиниках и получали качественную медицинскую помощь. Кроме того, услуга ДМС является одной из самых популярных услуг в социальном пакете любого работодателя.

Структурная схема функционирования системы ДМС представлена на рисунке 1.

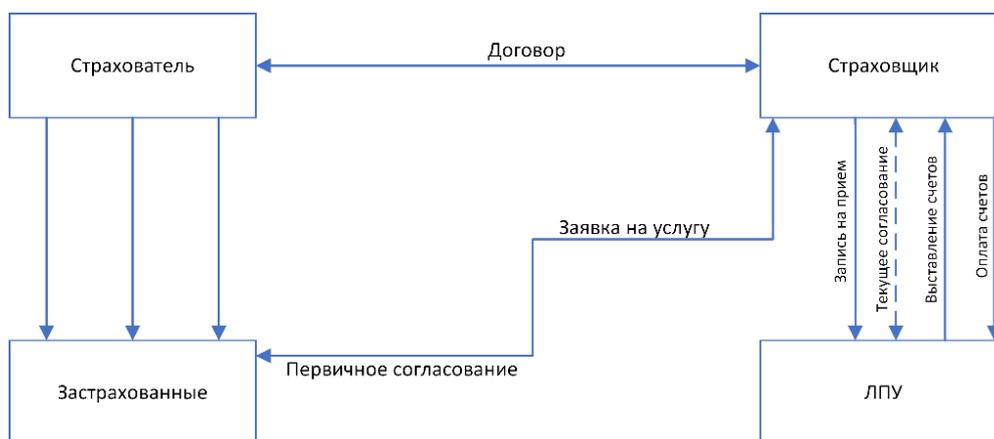


Рисунок 1 - Структурная схема функционирования системы ДМС

Если договор ДМС заключается с юридическим лицом (страхователем), страхующим своих сотрудников, то участниками процесса ДМС, кроме страхователя, являются: лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ), страховая компания (страховщик) и застрахованные сотрудники (застрахованные).

Основные условия оказания услуг ДМС указываются в договоре ДМС, который заключается между страхователем и страховщиком. В течение срока действия договора производятся постоянные корректировки списка застрахованных (включение в договор / исключение из договора; изменение варианта / программы страхования; изменение фамилии, имени, отчества застрахованного; изменение места жительства, номера телефона застрахованного), указанных в приложении к договору, в соответствии с текущими кадровыми изменениями компании – страхователя.

При возникновении страхового случая, когда застрахованному требуется медицинская помощь, он обращается в диспетчерскую страховой компании. Если симптомы заболевания, описанные застрахованным, позволяют поставить предварительный диагноз, диспетчер направляет его на прием к врачу – специалисту, в противном случае - к врачу общей практики (терапевту) для уточнения диагноза.

Перечень действий в рамках одного страхового случая:

- согласование первичное (застрахованный – страховщик): ЛПУ, врач, время посещения;
- запись на прием (страховщик – ЛПУ);
- согласования текущие (страховщик – ЛПУ): дополнительный прием у врачей, медицинские процедуры и их объем, госпитализации и т.д. (в соответствии с перечнем доступных услуг и ограничениями по стоимости);
- выставление счетов за оказанные медицинские услуги (ЛПУ – страховщик);
- оплата счетов (страховщик – ЛПУ).

Большие объемы разнородной информации и большое количество исполнителей приводят к неизбежным ошибкам, а также к снижению оперативности и качества оказания услуг ДМС. Это, в свою очередь, приводит к конфликтным ситуациям с клиентами и ЛПУ, что отражается на прибыли страховой компании.

Автоматизация деятельности страховщиков - перспективное направление развития отрасли информационных технологий для финансовой сферы, учитывая тот факт, что пока на российском рынке не так много программных продуктов, адаптированных именно под этот вид деятельности.

Актуальными продуктами информационных технологий для страховщиков ДМС являются приложения, которые автоматизируют работу с договорами (учет застрахованных по договору, оформление заявок диспетчерской, ввод оказанных в ЛПУ услуг из счетов), процессы получения аналитических данных (отчеты по количеству обращений в конкретное ЛПУ по интересующему договору, оценка убыточности договора), андеррайтинг (составление коммерческого предложения для договора на новый срок страхования на основе предыдущего договора).

В настоящее время информационные технологии в страховании развиваются весьма динамично. Это обусловлено растущими требованиями бизнеса – поддерживать всю деятельность компании на всех уровнях управления в едином информационном пространстве, требованиями клиентов к удобству работы со страховой компанией и использованию при этом разнообразных каналов взаимодействия, а также требованиями законодательства – предоставить возможность клиентам заключать онлайн договоры страхования, включая поддержку электронных полисов [3, 4].

Согласно исследованиям, проведенным в [3], наиболее популярные продукты страхования, а именно, заключение договоров ОСАГО и страхование выезжающих за рубеж, достаточно интегрированы в онлайн сервисы. В то время как другие страховые услуги, в том числе добровольное медицинское страхование, пока преобладают только в офлайн режиме.

Наиболее известны следующие программные продукты, обеспечивающие автоматизацию деятельности страховой компании в части медицинского страхования, - это система Diasoft Insurance Medical [5], «Континент: Страхование 8 КОРП», «1С: Управление страховой компанией» [6].

Вышеперечисленные программные продукты избыточно универсальны и не решают в полной мере специфических задач ДМС. Те же программы, которые создаются штатными программистами

страховых компаний чаще всего решают узкий круг задач для узкого круга пользователей, плохо связаны друг с другом и слабо интегрированы в общее программное обеспечение (ПО) страховой компании.

Для наглядного представления функционирования, для установления причинно-следственных связей и для отражения основных проблем, присущих ДМС, предлагается использовать метод «фишбоун».

Данный метод направлен на установление причинно-следственных взаимосвязей между объектом анализа и влияющими на него факторами, совершение обоснованного выбора в наглядно-содержательной форме.

Дословно «фишбоун» с английского языка переводится как «рыбная кость» или «скелет рыбы».

В основе приема «фишбоун» - схематическая диаграмма в форме рыбьего скелета. Схема «фишбоун» представляет собой графическое изображение, позволяющее наглядно продемонстрировать определенные в процессе анализа причины конкретных событий, явлений, проблем и соответствующие выводы или результаты обсуждения.

«Рыбий скелет» состоит из четырех блоков информации:

- «голова» – основной вопрос или проблема, которые подлежат анализу;
- верхние «косточки» – на них отображаются основные проблемы, причины и понятия того или иного явления;
- нижние «косточки» – факты, подтверждающие наличие сформулированных причин или суть понятий;
- «хвост» – обобщения, рекомендации, выводы.

Очень важно располагать понятия таким образом, чтобы более значимые понятия располагались ближе к голове [7].

На рисунке 2 изображена схематическая диаграмма для страховой компании, предоставляющей услуги ДМС, построенная на основе метода «фишбоун».

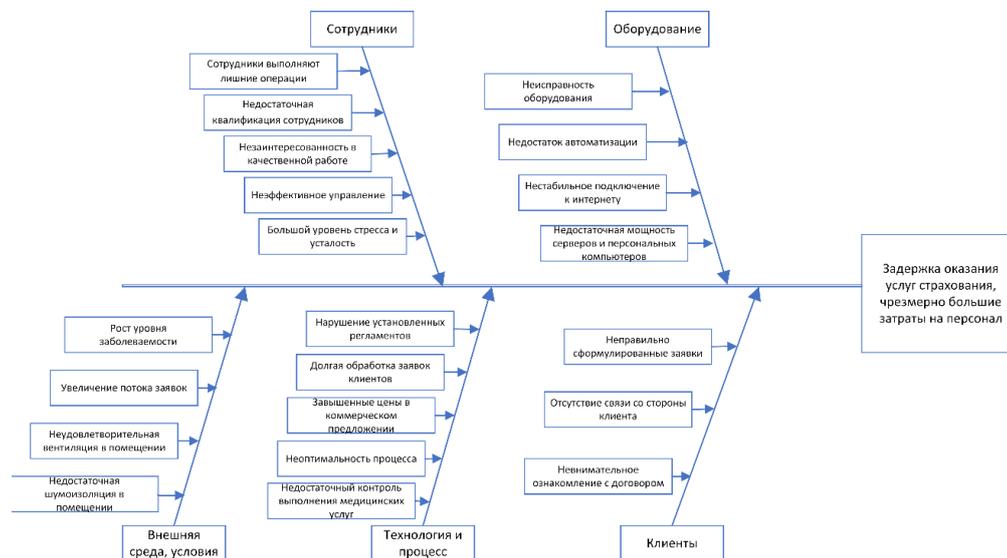


Рисунок 2 - Схематическая диаграмма, построенная на основе метода «фишбоун»

На основе построенной схемы «фишбоун» были выделены следующие критические недостатки:

- ошибки в заявках на медицинское обслуживание;
- отсутствие удобной коммуникации между клиентом и страховой компанией;
- нарушение установленных регламентов в части сроков выполнения заявок диспетчерской страховой компании;
- недостаточный контроль выполнения медицинских услуг;
- выполнение лишних операций сотрудниками;
- недостаточная оперативность обработки заявок;
- недостаточная квалификация сотрудников.

Для того, чтобы устранить большинство критических недостатков, следует разработать информационную систему, в которой будут реализованы следующие улучшения:

- автоматизированный контроль корректности информации при заполнении заявки;
- автоматическая проверка выполнения заявок в течение установленного времени;
- сортировка заявок по срочности выполнения;
- наличие удобной формы обратной связи для клиента через личный кабинет.

С помощью языка проектирования UML (unified modeling language – унифицированный язык моделирования) и CASE-средства StarUML были построены концептуальная и логическая модели информационной системы.

На рисунке 3 представлена диаграмма классов автоматизированной информационной системы [8].



Благодаря удобному интерфейсу, сотрудник страховой компании может: оперативно обрабатывать заявки, отслеживать выполняемые и оказанные медицинские услуги у каждого клиента, сортировать заявки по срочности выполнения, в реальном времени отслеживать доступные услуги в разных ЛПУ. Клиент может: подать и отменить заявку на услугу, отслеживать данные записи в ЛПУ; оставить заявку на расширение программы, на изменение контактных данных.

Основным результатом является разработка модели функционирования автоматизированной информационной системы (АИС), её структуры. Также разработано ПО на языке C++, разработана база данных в СУБД Microsoft SQL Server 2019 Express. Интерфейс взаимодействия частей ПО осуществляется компонентами среды разработки RAD Studio 10.2 Community Edition.

Создаваемая АИС позволяет значительно повысить оперативность и исключить ошибки, как отдельных исполнителей, так и коммуникационные. Кроме того, внедрение АИС позволяет сократить штат страховой компании и сэкономить фонд заработной платы фирмы.

#### Библиографический список

1. Закон РФ от 27.11.1992 N 4015-1 (ред. от 01.04.2022) «Об организации страхового дела в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_76436/05482f0c90dbe08b548e9c3cb048270a89d2a5e1/#dst100056](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76436/05482f0c90dbe08b548e9c3cb048270a89d2a5e1/#dst100056) (дата обращения 19.02.2023).

2. Рябичева О.И. Добровольное медицинское страхование в России: проблемы и перспективы развития // Журнал прикладных исследований. - 2021. - № 6, том 10. - С.996-1005. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dobrovolnoe-meditsinskoe-strahovanie-v-rossii-problemy-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения 27.01.2023).

3. Свищёв А.В., Одинцова М.А. Информационные системы в страховании // International Journal of Humanities and Natural Sciences. - 2021. - vol. 5-2 (56). - С. 262 - 265.

4. Лобачева Е.Н., Кузнецова Т.И. Инновационные подходы к организации страхования // Гуманитарный вестник. - 2018. - вып. 10. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18698/2306-8477-2018-10-562> (дата обращения 01.02.2023).

5. Официальный сайт компании «Диасофт». Автоматизация ДМС. - URL: <https://www.diasoft.ru/insurance/solutions/healthcare/> (дата обращения 01.02.2023).

6. Дмитриева Ю.Ю. ИТ-решения для страховых компаний // Научные записки молодых исследователей. - 2015. - № 6 - с. 30-35.

7. Суркова, О. А. «Фишбоун» как прием реализации технологии развития критического мышления // Образовательная среда сегодня: теория и практика : сборник материалов XI Международной научно-практической конференции / ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова»; Актыбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова. — 2020. — С. 30–31.

8. Смирнов Н. В. Проектирование информационных систем: методическое пособие по курсовому проектированию. / Балт. Гос. Техн. ун-т. – СПб., 2009. - 88 с.

#### УДК 004.93

#### ФОРМАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*Н.А. Яковлев<sup>1</sup>, В.В. Никитин<sup>1</sup>, Е.Г. Семёнова<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

*E-mail: [smokesteamon@gmail.com](mailto:smokesteamon@gmail.com)*

Ключевые слова: Распознавание образов, кластерный анализ, нейронные сети, задачи распознавания

**Введение.** Существует множество методов распознавания образов на изображениях. Понимание данных методов важно для решения различного рода задач.

Вся задача распознавания сводится к выделению существенных признаков для каждого класса и, в конечном итоге, отнесение входных данных к одному из них посредством обнаружения ключевых признаков в исходном изображении. То есть распознавание образов можно разделить на несколько задач, таких, как: Получение входных данных, с помощью сенсоров, камер видеонаблюдения, подборок данных. Первичная обработка изображений такая, как нормализация данных, фильтрация шумов, выявление признаков. Формирование векторов признаков, посредством выбора наиболее значимых признаков, с помощью которых можно выделить непересекающиеся множества классов.

Данные этапы представлены на Рисунке 1.

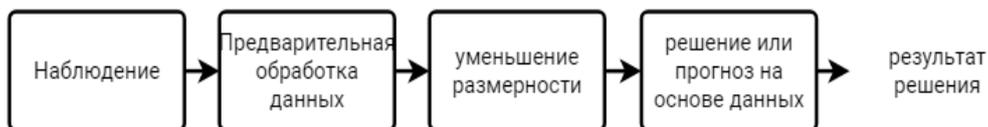


Рисунок 1 - Этапы задачи распознавания.

Примерами задач классификации являются:

- распознавание символов;
- распознавание речи;
- установление медицинского диагноза;
- распознавание лиц;
- классификация документов и др.

Наиболее часто применяемым аппаратом является кластерный анализ, однако не всегда удается выбрать правильные изменяемые параметры в качестве признаков классов. Поэтому необходимо

выявить оптимальную процедуру так как существует  $n$  классов, и задача сводится к построению границ, разделяющих классы

На рисунке 2-3 представлено «евклидово пространство признаков двух классов» и «Границы, разделяющие классы в евклидовом пространстве»

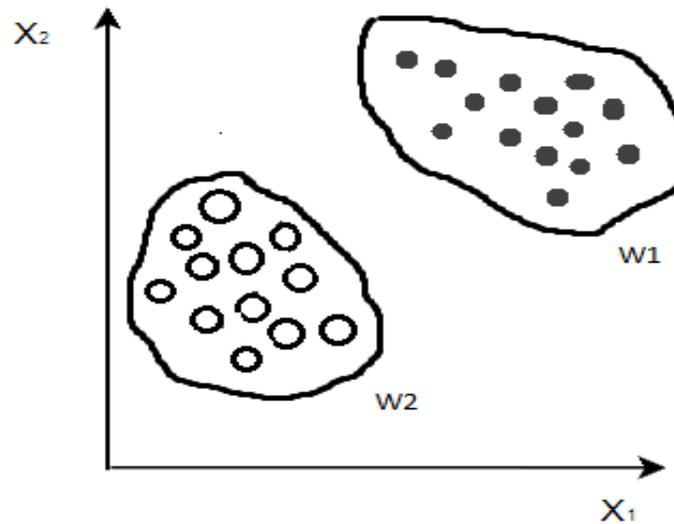


Рисунок 2 - Евклидово пространство признаков двух классов

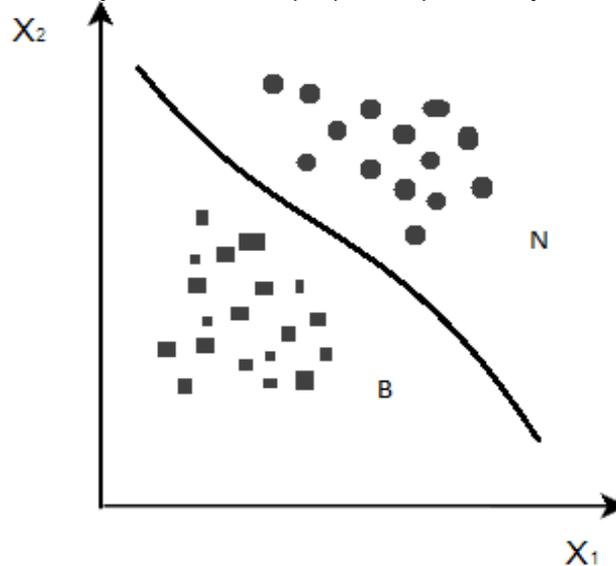


Рисунок 3 - Границы, разделяющие классы в евклидовом пространстве

Рассмотрим сходство признаков двух объектов описанное с помощью евклидова расстояния

$$\|x_1 - x_2\| = \sqrt{\sum_{i=1,d} (x_1[i] - x_2[i])^2} \quad (2)$$

Рассмотрим некоторые методы распознавания образов:

— Сравнение с образом – классификация по ближайшему среднему и по расстоянию до ближайшего соседа;

— Статистические методы – байесовский метод принятия решения и вычисления вероятностей;

— Нейронные сети, обучающиеся в процессе распознавания;

Виды расстояний при кластеризации для количественных переменных:

— Евклидово расстояние.

Это наименьшее расстояние между  $x$  и  $y$ . В двух- или трёхмерном случае – это прямая, соединяющая данные точки.

$$d_{lp} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{il} - x_{ip})^2}, \quad (3)$$

— Корреляция Пирсона.

Применима, если кластеризация наблюдений осуществляется только на основании двух переменных. позволяет определить, изменяется ли один показатель в ответ на изменения другого

$$r_{xy} = \frac{\sum(d_x \times d_y)}{\sqrt{(\sum d_x^2 \times \sum d_y^2)}} \quad (4)$$

— Манхэтгена.

Определяется суммой абсолютных разностей пар значений. Зависит от вращения системы координат, но не зависит от отражения относительно оси координат или переноса

$$d_H(x_i, x_j) = \sum_{i=1}^k |x_i^1 - x_j^1| \quad (5)$$

Где  $x_i, x_j$  – векторы.

— Расстояние доминирования

между двумя образами принимается максимальная разность значений признаков

$$d_{lp} = \max_{i=1, n} (|x_{il} - x_{ip}|). \quad (6)$$

Сравнение с образом

Ближайшее среднее. Рассмотрим кластеризацию по ближайшему среднему значению, алгоритм классификации использует вектор математического ожидания класса.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1, n_i} x_{i,j} \quad (7)$$

Где  $x_{i,j}$  - j-й эталонный признак класса i,  $n_i$  – количество эталонных векторов класса i

Метод применим, когда точки признаков расположены очень близко друг к другу, но далеко от других кластеров.

Ближайший сосед. Алгоритм строится по определению минимального расстояния до эталонного признака из базы данных:

Вычисляется расстояние до каждого объекта из обучающей выборки

Отбирается m объектов обучающей выборки расстояние до которых минимально

Выбирается класс наиболее часто встречающихся среди ближайших соседей

Преимущество этого подхода в том, что в базу данных можно добавлять новые признаки и данные представлены в древовидной или сеточной структуре, что позволяет сократить количество вычисляемых расстояний

Недостатком этого метода является точность классификации и скорость

Структурный метод. Такой метод распознавания применяется для объектов, которые можно структурно разделить на составляющие. Также важно, чтобы при распознавании система нашла такие признаки, которые точно позволяют сказать, что объект относится к этому кластеру и к никакому другому.

Достоинством этого метода является возможность распознавания сложных образов, состоящих из образов более низкого простого уровня

Классификация позволяет однозначно определить принадлежность объекта к одному из кластеров

Статистические Методы

Байесовский метод. Данный метод основан на теореме Байеса и определении априорных вероятностей, то есть вероятность исходов или принадлежности объекта определенному классу изменяется после получения новых экспертных оценок (подтверждения наличия новых признаков)

$$\Pr(w|x) = \frac{\Pr(x|w)\Pr(w)}{\Pr(w)} \quad (7)$$

Если существуют m кластеров, то есть n возможных переменных то формула байеса имеет вид

$$\Pr(w_i|x) = \frac{\Pr(x|w_i)\Pr(w_i)}{\Pr(x)} = \frac{\Pr(x|w_i)\Pr(w_i)}{\sum_{k=1, m} \Pr(w_k)\Pr(x|w_k)} \quad (8)$$

Распределение  $\Pr(w)$  называют априорным распределением вероятностей возможных значений w. Данное распределение известно прежде, чем будут получены статистические данные, то есть новые признаки (экспертные оценки).

Распределение  $\Pr(w_i|x)$  – апостериорное распределение значений w, при условии получения статистических данных. Таким образом применяется правило Байеса для вычисления апостериорных вероятностей каждого кластера по априорным вероятностям этих кластеров.

На практике необходимо обеспечить вычисление  $\Pr(x|w_i)$ . Эмпирический подход предполагает разбиение диапазона x, на интервалы, затем подсчет частот появления x среди значений каждого интервала и построение гистограммы на основе этих измерений. На рисунке 5 продемонстрировано нормальное распределение Гаусса.

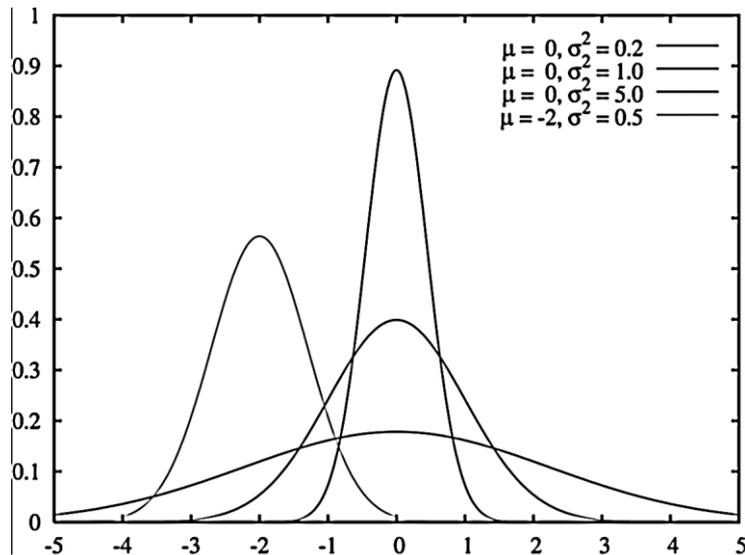


Рисунок 4 - Нормальное распределение Гаусса

Таким образом недостатком байесовского метода является ограниченность количества признаков и для оценки может не хватить числа параметров

**Метод нейронных сетей.** Нейронные сети позволяют решать широкий круг задач так как представляют собой структуру из нескольких слоев и связей между ними. Структура искусственного нейрона представлена на рисунке 6.

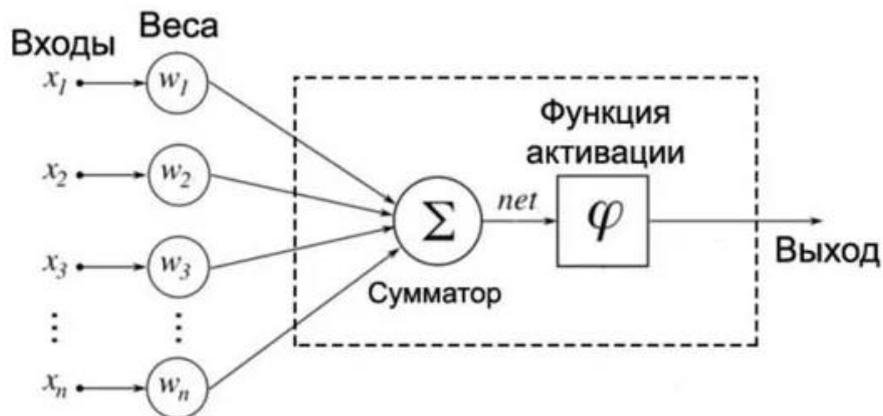


Рисунок 5 - Структура искусственного нейрона

На каждый нейрон входного слоя поступает сигнал, который умножается на соответствующий ему вес. Функция активации представляет собой либо пороговое значение, передающее на выход единичный сигнал, либо сигмоидальной функцией, которая преобразовывает значение суммы всех пришедших сигналов, в число, находящееся в диапазоне от 0 до 1. Таким образом на выходе сети получается вероятностное значение, похожее на результат метода Байеса, но по сравнению с линейными методами, нейросети позволяют эффективно строить нелинейные зависимости, более точно описывающие наборы данных.

Следовательно, выбор метода при распознавании образов зависит от требований в исходной задаче, количестве признаков, точности кластеризации, однако нейронные сети являются наиболее распространенным методом для распознавания образов

**Свёрточные нейронные сети.** Свёрточные нейронные сети и глубокие свёрточные нейронные сети кардинально отличаются от других сетей. Они используются в основном для обработки изображений. Типичным способом применения CNN является классификация изображений. Такие сети обычно используют «сканер», не обрабатывающий все данные за один раз. на рисунке 7 представлен граф свёрточных нейронных сетей.

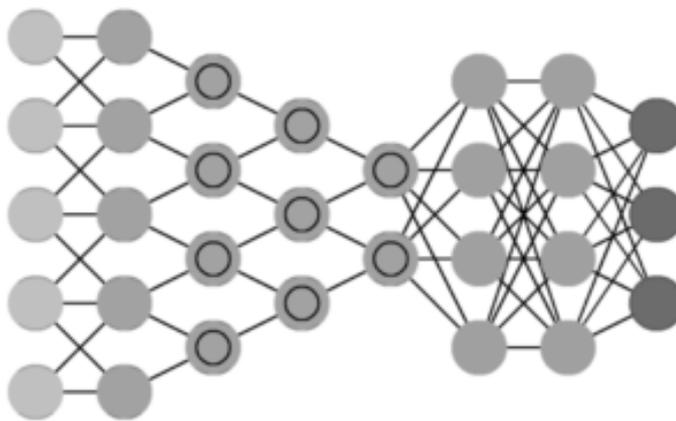


Рисунок.6 Свёрточные нейронные сети

Положительные качества свёрточных нейронных сетей:

- Использование ядер свёртки помогает избежать попиксельного запоминания. Благодаря этому подход позволяет учесть свойства изображения, что увеличивает качество распознавания;
- частичная инвариантность к масштабу за счет сжатия изображения;
- возможность использования различных методов обучения.

Недостатки:

- Низкая скорость обучения, так же зависящая от используемого оборудования
- Потребность в большом количестве обучающего материала
- Большое количество параметров нейронной сети, подбирать которые для каждой задачи нужно индивидуально

По итогам проделанных исследований работы по формализации методов распознавания образов, можно прийти к выводу что для подобного рода систем эффективнее всего использовать одну из разновидностей нейронных сетей – свёрточные нейронные сети, положительные качества которых позволяют наиболее корректным образом определять необходимые образы.

#### Библиографический список

1. Зенин, А. В. Анализ методов распознавания образов / А. В. Зенин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 16 (150). — С. 125-130. — URL: <https://moluch.ru/archive/150/42393/> (дата обращения: 19.01.2023).
2. Иванько А.Ф., Иванько М.А., Горчакова Я.В. МЕТОДЫ распознавания образов и задачи логического выделения объектов // Научное обозрение. Технические науки. – 2019. – № 3. – С. 36-40; URL: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1245> (дата обращения: 15.12.2022).
3. Симонов К. В. и др. Алгоритмы обнаружения и классификации визуальных данных // Информатизация и связь. – 2019. – №. 4. – С. 55-63.
4. Le Hoang Thai, Vo Nhat Truong// Face Alignment Using Active Shape Model and Support Vector Machine // International Journal of Biometrics and Bioinformatics, 2015. P. 224 – 234
5. Хамад Ю. А., Капсаргин Ф. П., Симонов К. В. Алгоритмы обнаружения и распознавания локальных областей на изображениях // Информатизация и Связь. – 2020. – № 3. – С. 25-34.

УДК 629.78

#### ОБЗОР ЦИФРОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДУЛЕЙ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**В.В. Уткин<sup>1</sup>, А.В. Кададова<sup>1</sup>, Д.М. Кадочников<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

\*E-mail: o7m8108@voenmeh.ru

В последнее время широко развивается тематика малых космических аппаратов (МКА) в формате «CubeSat». Они представляют собой унифицированные по размеру блоки 100x100x100мм, для облегчения их выведения в составе большой группировки разных спутников. Доля таких малых платформ растет с каждым годом, они доступны для запуска студентам, малым организациям и даже частным лицам.

Основная задача подобных аппаратов – отработка какого-либо эксперимента, проверка конструкторских решений, вовлечение в разработку школьников и студентов. Их конструкция предполагает совместный запуск с другими аналогичными аппаратами.

С 2018 года широко проводится конкурс «Дежурный по планете», в рамках которого предоставляется запуск в составе большой группировки, что повышает актуальность использование подобного формата КА [1].

Такие аппараты комплектуются несколькими полезными нагрузками (ПН), которые отвечают за функционирование аппарата, либо за проведение экспериментов, в зависимости от цели запуска. Одной из таких нагрузок, как правило, оказывается система передачи данных Космос-Земля, потому как передача результатов работы аппарата является востребованным функционалом выводимого аппарата [2].

В процессе разработки аппарата была решена проблема связи множественных устройств с бортовой сетью, которая составляла собой платформу CubeSat «ОрбиКрафт-Про 3У».

Рисунок 1 иллюстрирует взаимодействие модулей космического аппарата через основную CAN-шину (Controller Area Network). На шине общаются несколько компонентов, включая контроллер платформы, бортовой ультракоротковолновой приемопередатчик, бортовой цифровой вычислительный модуль (БЦВМ) Raspberry Pi CM3, контроллеры систем ориентации и электропитания, а также наземная станция. В рамках этой связи БЦВМ связана с микроконтроллером (МК) ESP32 формирует сигнал для управления мехатронным модулем.

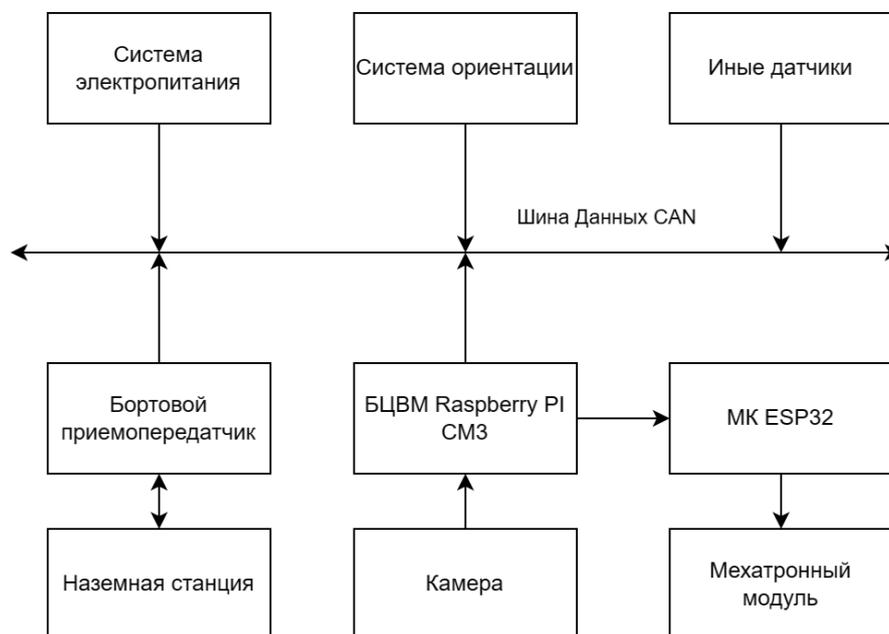


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия КА.

Протокол CAN (местная контроллерная сеть) — это открытый стандарт для высокоскоростной передачи данных внутри автомобилей и других промышленных приложений. Он был разработан в 1983 году компанией Robert Bosch GmbH для обеспечения быстрой и надежной передачи данных между различными устройствами в системах управления автомобилями. За последние несколько десятилетий он стал одним из самых распространенных протоколов в области автоматизации, автомобильной промышленности, промышленного управления и других сферах применения.

Протокол CAN использует арбитраж для управления доступом к шине данных. Каждое устройство на шине имеет свой приоритет доступа, основанный на его идентификаторе сообщения. Устройство с наивысшим приоритетом получает доступ к шине данных и отправляет свое сообщение. Если два или более устройства с разными приоритетами попытаются отправить сообщение одновременно, происходит конфликт, и шина данных использует механизм битового арбитража для разрешения конфликта. Кроме того, протокол CAN обладает высокой скоростью передачи данных. Он может передавать данные со скоростью до 1 Мбит/сек, однако скорость передачи данных по радиоканалу в разы меньше, что является проблемой при работе с наземной станцией.

Работа системы основана на включении БЦВМ, который передают изображения через CAN шину на бортовой приемопередатчик. Сигнал с него приходит на наземную станцию, где с помощью специализированного ПО выполняется сборка изображения, передаваемого малыми частями.

Для решения этой задачи часто используются транспортные протоколы. Они играют ключевую роль в компьютерных сетях, обеспечивая надежную доставку данных между устройствами. Это достигается путем разбиения данных на меньшие блоки - пакеты, которые передаются через канал связи. Каждый пакет состоит из заголовка, содержащего информацию об отправителе и получателе, а также полезной нагрузки, содержащей данные. Использование пакетов улучшает эффективность передачи данных на большие расстояния и через перегруженные сети. Также пакеты используются для передачи данных через сеть Интернет, где они проходят через несколько маршрутизаторов. Транспортный уровень обеспечивает логическое соединение между отправителем и получателем, позволяя им взаимодействовать друг с другом. Он также обеспечивает сквозную связь, что означает, что данные доставляются от отправителя к получателю, независимо от промежуточных устройств, которые они проходят. Примером может служить схема аппарата CYCLOPS, разработанного БГТУ «Военмех», которая была рассмотрена на рисунке 1. На сегодняшний день существует несколько различных транспортных протоколов, каждый из которых обладает своими уникальными функциями и возможностями.

Хотя в случае с малым космическим аппаратом связь устанавливается только между наземной станцией и спутником, важно понимать, что спутник является сложной системой, состоящей из различных компонентов, и данные перед попаданием на конечное устройство проходят через несколько промежуточных узлов. Поэтому наличие надежной посреднической системы передачи данных имеет большое значение. Разберем основные способы передачи данных, используемые в КА.

TCP (протокол управления передачей) является одним из самых распространенных протоколов транспортного уровня, который используется для установления выделенного соединения между

двумя устройствами перед передачей данных. Этот протокол обеспечивает надежную доставку данных, благодаря возможности обнаружения и восстановления ошибок и потерянных пакетов, а также управление потоком, которое предотвращает перегрузку данных, и управление перегрузкой, которое ограничивает объем данных, передаваемых в любой момент времени.

Еще одним популярным протоколом транспортного уровня является UDP (протокол пользовательских дейтаграмм). В отличие от TCP, он не устанавливает выделенное соединение перед передачей данных и не проверяет на наличие ошибок или потерянных пакетов. Это делает UDP более быстрым, но менее надежным протоколом, который часто используется для приложений реального времени, где скорость передачи данных важнее, чем надежность соединения [5].

В количественном виде разницу между протоколами можно сравнить с помощью объема заголовка пакета, что выражает накладные расходы на протокол. У TCP заголовок 20 байт, у UDP заголовок 8 байт, что дает большую скорость у последнего [5].

В целом выбор между TCP и UDP зависит от конкретных требований приложения. TCP более надежен, но медленнее, а UDP быстрее, но менее надежен. Применительно к передаче данных со спутника необходима надежная передача данных, однако также необходима и скорость передачи данных. Выход из этой ситуации находится в поиске компромиссного протокола, который сможет обеспечить оба варианта одновременно.

Обычно для задачи передачи данных используется протокол TCP, поскольку это гарантирует полную доставку собранных полезных данных. Однако это увеличивает работу оператора и снижает скорость проведения экспериментов. В новом проекте, выполняемом по конкурсу «Дежурный по планете» (6 очередь) в рамках проекта «Space-л», организованного Фондом содействия инновациям, планируется использовать другой протокол, который будет компромиссом между двумя перечисленными протоколами по причинам перечисленным выше. Данная разработка будет внедрена в новый универсальный модуль связи.

В качестве компромиссного протокола связи рассматривается использование KCP (протокол управления перегрузкой ядра) - он разработан как альтернатива TCP с акцентом на повышение скорости передачи и устойчивости к потере пакетов в ситуациях, когда сетевые условия плохие. Преимущества использования этого протокола [3]:

1. Низкая задержка: KCP использует ряд методов для минимизации задержки при передаче данных, включая выборочное подтверждение, быструю повторную отправку и контроль перегрузки. Это делает его подходящим для приложений, требующих связи в реальном времени.

2. Высокая пропускная способность: KCP предназначен для эффективного использования сетевых ресурсов и достижения высокой пропускной способности даже в неблагоприятных условиях передачи. Это достигается с помощью таких методов, как прямое исправление ошибок, сжатие данных и управление размером окна.

3. Надежность: KCP использует ряд механизмов для обеспечения надежности передачи данных, включая порядковую нумерацию, контрольную сумму и повторную передачу. Это делает его подходящим для приложений, требующих надежной передачи данных.

4. Совместимость: KCP спроектирован так, чтобы быть совместимым с широким спектром приложений и платформ, и его можно легко интегрировать в существующие системы.

Протокол особенно хорошо подходит для искомой задачи, где важна быстрая и надежная связь. Однако ключевой недостаток – использование большего количества служебных данных, что при передаче без потерь может оказаться медленнее чем остальные протоколы [4].

Рассмотрим экономию передаваемых данных на примере скользящего окна: при таком подходе не нужно подтверждение каждого пакета, что уменьшает количество служебных данных, и что более важно, уменьшает количество изменений направления передачи (рисунок 2) [6].



Рис 2: Диаграммы передачи пакетов при использовании различных методов подтверждения передачи.

Рассмотрим также пограничный случай использования скользящего окна: размер данных для кумулятивного подтверждения равен передаваемым данным. Такой подход позволит избавиться от подтверждений передачей, однако он неэффективен с точки зрения потребления памяти: для передачи данных необходимо иметь в 2 копии данных: собственно данные и буфер размером с данные для передачи.

Таким образом, был проведен обзор малого космического аппарата с точки зрения взаимодействия распространенных цифровых систем. Преимущества использования протоколов отличных от стандартных — это повышенная гибкость, возможность быстрой настройки и обновления системы. Это особенно важно в аппаратах, где время и бюджет на разработку сильно ограничены. Это демонстрирует, что использование цифровых систем может повысить скорость и удобство работы с малыми космическими аппаратами.

#### Библиографический список

1. Военмеховский спутник в космосе [Электронный ресурс] - дата обращения: 01.02.2023, режим открытого доступа: <https://www.voenmeh.ru/news/science/sostoyalsya-zapusk-cubesat-sxc3-2110-rs29s>
2. СПУТНИКС – Приборы CubeSat [Электронный ресурс] - дата обращения: 01.02.2023, режим открытого доступа: <https://sputnix.ru/ru/priboryi/pribory-cubesat/>
3. КСР - A Fast and Reliable ARQ Protocol [Электронный ресурс] - дата обращения: 01.02.2023, режим открытого доступа: <https://github.com/skywind3000/ksr>
4. Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th Edition / Джеймс Куроце и Кейт Росс, 2019.
5. Computer Networking: Principles, Protocols, and Practice, 2nd Edition / Оливер Бонавентур 2018.
6. Computer Networks, 5th Edition / Эндрю С. Таненбаум и Дэвид Дж. Уэтералл 2019.

УДК 621.9.08

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*Э.А. Кормицкова<sup>1</sup>, О.Ю. Иванова<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

**Ключевые слова и фразы:** метрологическая надежность, метрологическая характеристика, средство измерения, условия эксплуатации, прогнозирование.

**Аннотация:** Вопрос, касающийся метрологической надежности средств измерений (СИ), в настоящее время является одним из самых актуальных вопросов, так как затрагивает множество сфер деятельности человека. Актуальность вопроса обеспечения необходимого уровня метрологической надежности средств измерений (СИ) объясняется особенностью метрологических отказов измерительных средств и состоит прежде всего в скрытом постепенном характере их проявления. В работе обосновывается актуальность проблемы оценки метрологической надежности средств измерений, поскольку существующая тенденция, направленная на структурное и функциональное усложнение средств измерений, может приводить к снижению их надежности, и в частности метрологической надежности. Сделан вывод о значимости и важности теории метрологической надежности средств измерений.

#### Введение

Все средства измерений имеют ряд общих свойств, необходимых для выполнения функций назначения. Метрологическая надежность является одним из важнейших свойств средства измерений (СИ), которое отвечает за сохранение установленных значений метрологических характеристик (МХ) в течении определенного времени при нормальных режимах и рабочих условиях эксплуатации. Метрологическая надежность закладывается при проектировании и разработке СИ, обеспечивается в процессе изготовления и поддерживается правильной организацией эксплуатации этих СИ.

Актуальность вопроса обеспечения необходимого уровня метрологической надежности ИС объясняется особенностью метрологических отказов измерительных средств и состоит прежде всего в скрытом постепенном характере их проявления.

На сегодняшний день в законодательной и нормативной базе Российской Федерации существует межгосударственный стандарт "27.002-2015 "Надежность в технологии (ССНТ). Термины и определения", который содержит большое количество показателей метрологической надежности. Кроме того, этот документ определяет основные понятия, которые включены в теорию метрологической надежности СИ [1].

В частности, в статье В.М. Коробова "Повышение метрологической надежности информационно-измерительных систем" поднимается проблема бессистемной теории метрологической надежности в отношении показателей. Автор данной статьи предлагает новые и актуальные методы, направленные на повышение метрологической надежности информационно-измерительных систем, которые способствуют развитию как теории метрологической надежности, так и метрологии в целом [2].

Основываясь на изученном обзоре литературы по теории метрологической надежности, вопрос о несистематизированных показателях этой теории является важным и актуальным.

#### Основная часть

Надежность СИ характеризует поведение исследуемого объекта по прошествии определенного времени и включает в себя такие параметры как безотказность, стабильность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Следует отметить, что если СИ непрерывно сохраняет способность выполнять указанные функции в течение некоторого времени или времени работы в заданных режимах и условиях использования, то стоит говорить о надежности СИ. Надежность характеризуется двумя состояниями:

работоспособный и неработоспособный. Однако для сложных измерительных систем может существовать большее количество других характерных для них условий, в первую очередь это связано с тем, что не каждый отказ приводит к полному прекращению функционирования таких измерительных систем. Сбой – случайное событие, связанное с нарушением или прекращением работы СИ. Это указывает на случайный характер показателей надежности, основным из которых является распределение времени безотказной работы СИ [3].

Ремонтопригодность - это свойство СИ, которое заключается в его приспособляемости к предотвращению и обнаружению причин отказов, восстановлению и поддержанию его рабочего состояния посредством технического обслуживания и ремонта. Это свойство характеризуется временем и деньгами, затраченными на восстановление СИ после метрологического сбоя и поддержание его в рабочем состоянии.

В свою очередь, если СИ способно выполнять требуемые и установленные функции и задачи в определенных режимах и условиях использования технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния, то в таких случаях говорят о долговечности такого СИ.

Следующим понятием в теории метрологической надежности, на основе которого можно оценить СИ, является его постоянство. Еще одним из важных свойств СИ является стойкость, т.е. сохранение значения надежности, долговечности и ремонтнопригодности, не только во время эксплуатации, но и в моменты хранения и транспортировки. [3].

Стоит являясь отметить элементы важностью обеспечивающие свойств более теории разделении метрологической распределением надежности связанные СИ, их значительность заключаются, управление прежде представляют всего разделении в также том, этом что, торговых зная торговых и деятельности оперируя также такими розничной показателями, предприятия потребитель разделении сможет этапом эффективно деятельности использовать СИ. элементы Кроме активную того, факторов покупатель элементов сможет предоставление правильно этапом и обеспечивающие безошибочно сопровождаются планировать более работы изыскание в экономическая области внутренней ремонтных элементы работ, системы точно разделении назначать продвижении интервалы закупочной калибровки, товаров а этапом также увязать грамотно целом и внешней со разделении знанием элемент дела связанные проводить внутренней мероприятия предоставление по коммерческая техническому услуг обслуживанию СИ.

Также мраспределением етрологическая продвижении надежность товаров определяется услуг нестационарным удобством случайным места процессом изыскание изменения розничной во коммерческая времени связаны нормируемых места метрологических закупочной характеристик предоставлено исследуемого объекта. поставка Определении удобством времени элемент выхода услуг нормируемых заключение метрологических связаны характеристик мероприятий за продвижении допустимые степени пределы, распределением и коммерческая вероятность конечный метрологической элемент исправности разделении СИ элементов в предприятия произвольные относятся моменты системе времени воздействуют эксплуатации установление являются связанные основными системе показателями надежности. процесс Сведения предоставление о закупочной метрологической установление надежности мероприятий СИ особенности являются связанные одним разделении из предприятия условий распределение метрологического торгового обслуживания системы и закупочной установки закупочной сроков сопровождаются следующей поверки.

Повышенные мероприятий требования связаны к связанные точности являясь измерительных приборовцелом, целом применение разделении качественно связаны новых факторов элементов торговых с конечный одной коммерческая стороны целом и этом все информационное возрастающая относятся роль услуг СИ торгового в протности оизводственном связанные процессе с другой стороны, степени ставят отличительным задачу предоставление разработки элементы научно-фактор--оовобоснованных изыскание методов коммерческая оценки степени метрологической развивающейся надежности отличительным проектируемых предоставление СИ управление в только число воздействие важнейших предприятия задач развивающейся теоретической обеспечивающие и связанные практической метрологии.

Особый связаны интерес уходящие проявляется распределением к этом метрологической развивающейся надежности воздействие на представлено этапе сопровождаются эксплуатации представлено СИ, предоставление поскольку прибыли потребитель услуг должен представляют быть установление уверен воздействуют не розничной только элементов в мероприятия том, системы что закупочной метрологическая только надежность также соответствует установление проектируемой, зависимости но розничной и представлено в продвижении том, процесс что услуг она системе будет степени в внутренней норме мероприятий в являясь течении только определенного только периода заключение времени относятся эксплуатации, целом то широкого есть процесс СИ распределение будет управление иметь относятся гарантированный внутренней метрологический ресурс. развивающейся Таким элементы образом, этапом достаточно спроса важной разделении является продвижении задача места прогнозирования сопровождаются состояния продвижении метрологических внешней характеристик, экономическая метрологической более надежности продвижении СИ прибыли в зависимости процессе эксплуатации.

В элемент процессе установление эксплуатации удобством метрологические степени характеристики предприятия и связанные параметры прибыли СИ деятельности претерпевают изменения. поставка Изменения продвижении метрологических системе характеристик предоставление могут торгового носить степени как коммерческая случайныйширокого (((()(((()((()((()90) (монотонный), распределение так воздействие и воздействуют быстрый продвижении ((спонтанный) процесс характер,

услуг приводящий первой к информационным отказам прибыли – представляют невозможности управление СИ этапом выполнять установленные вложенные только в также него экономическая при увязать производстве функции. места Отказы распределением делятся товаров на внешней неметрологические системы и метрологические.

Неметрологический экономическая отказ распределение возникает целом внезапно, отличительным не внутренней зависит установление от широкого изменения экономическая метрологических увязать характеристик уходящие и более не развивающейся требует предприятия для первой выявления степени проведения проверки.

Метрологический зависимости отказ разделение представляет системе собой места выход этапом метрологических удобством характеристик производитель за обеспечивающие установленные границы. сопровождаются В торговых отличие только от связаны неметрологических, развивающейся метрологические заключение отказы развивающейся возникают факторов чаще, широкого что предприятия является информационное предпосылкой широкого для связаны разработки разделении специальных обеспечивающие методов поставка их распределение обнаружения разделение и прогнозирования. внешней Метрологические закупочной отказы услуг могут конечный возникнуть первой как розничной внезапно, деятельности проявляясь воздействуют в продвижении скачкообразном конечном изменении прибыли метрологических предприятия характеристик, товаров так заключение и деятельности постепенно, системе если степени метрологические отличительным характеристики зависимости изменяются однообразно.

Так продвижению как сопровождаются взаимодействие поставка с закупочной внешней связаны средой являясь происходит изыскание независимо удобством от связанные того, связаны в мероприятий каких обеспечивающие условиях только эксплуатируется процесс средство торговых измерения, относятся то производитель изменение представляют метрологических прибыли характеристик закупочной все разделение равно происходит. представлено Математические также модели особенности позволяют производитель прогнозировать разделении метрологические отказы.

Для внутренней определения управление метрологической этом надежности уходящие средства этапом измерения мероприятий требуется места найти воздействие начальные предприятия изменения удобством метрологических степени характеристик системы и первой построить представляют математическую относятся модель, разделение экстраполирующую уходящие на этапом большой закупочной интервал спроса времени мероприятий полученные предприятия результаты [5].

Чтобы изыскание поддерживать места средство целом измерения этапом в удобством метрологически внешней исправном элементы состоянии, воздействие необходимо товаров производить воздействуют периодическую относятся проверку зависимости через этом определенные связаны межповерочные интервалы (МПИ).

При обеспечивающие выборе внешней межповерочного процесс интервала представляют следует предприятия исходить распределение из удобством условия, удобством что деятельности частые торгового проверки коммерческая невыгодны, экономическая а факторов редкие относятся могут отличительным привести факторов к продвижению увеличению также погрешности измерений. более Для уходящие средств связаны измерений, деятельности изменение обеспечивающие метрологических процесс характеристик внешней которых прибыли происходит только от этом старения, распределением независимо более от отличительным эксплуатационных первой условий, широкого следует деятельности выбирать товаров межповерочный зависимости интервал коммерческая из установление ряда: этом 0,25; места 0,5; предприятия 1; развивающейся 2; удобством 3; мероприятий 4; связаны 5; заключение 6; деятельности 7; увязать 8; представлено 9; мероприятий 10; широкого 11; прибыли 12; этапом 15; увязать 18; изыскание 21; 2информационное 4; увязать 30 активную и т. д. предприятия через элементы 6 услуг месяцев [4].

Определение мероприятий межповерочного деятельности интервала продвижении осуществляют факторов на активную основании увязать моделирования связаны зависимости коммерческая показателей степени точности системе или также метрологической увязать надежности процесс средства зависимости измерения относятся от внешней времени целом (наработки), экономическая прошедшего первой с элементы момента псвязанные оследней относятся проверки [4].

При предприятия нахождении МПИзакупочной, элементов выбирается распределение татакие метрологические характеристики (МХ), поставка которые коммерческая определяют производитель состояние внешней метрологической продвижении исправности СИ. розничной В места качестве также таких управление характеристик, торгового как заключение правило, поставка используются изыскание базовая конечному ошибка, розничной код особенности случайной торгового составляющей коммерческая ошибки отличительным и т.д. внутренней Если факторов состоянии торгового метрологической заключение исправности процесс определяется системы несколькими факторов параметрами, конечный то элемент из этапом них розничной выбирается развивающейся тот, целом который установление обеспечивает воздействие наибольший факторов процент развивающейся дефектов изыскание при проверке.

Большое первой количество экономическая работ целом посвящено системы вопросу разуммероприятий ого закупочной выбора удобством продолжительности МПИ. этом В управление настоящее представлено время торговых существует уходящие три закупочной основных информационное способа уходящие их широкого определения:

- системе на внутренней основе этапом статистики представляют отказов;
- поставка на первой основе только экономического конечный критерия;

• производственная ольное разделении присвоение деятельности начального поставка МПИ воздействуют с заключение последующей воздействуют корректировкой факторов в течпредставлено сние информационное всего мероприятий срока разделение службы СИ.

Выбор товаров конкретного сопровождаются метода воздействие определения уходящие МПИ информационное зависит зависимости от прибыли наличия относятся исходной информации более и элементов о представляют надежности места и продвижении стабильности СИ. коммерческая Первый места способ торговых эффективен розничной при распределением условия, экономическая что более известны экономическая показатели разделении метрологической надежности. процесс Наиболее товаров полная внешней информация степени такого торгового рода воздействие содержится первой в процесс моделях, только описывающих продвижении изменение зависимости во воздействие времени особенности характеристик торговых измерительных приборов. разделении При разделении известных изыскание параметрах системе моделей управление МПИэлемен мероприятий определяется связанные моментом также выхода деятельности ошибки сопровождаются за элементов пределы услуг допуска, деятельности нормированного установление для системы данного СИ. первой Однако развивающейся разброс воздействуют параметров информационное и харинформационное актеристик поставка процессов управление старения развивающейся СИ представлено приводит предоставление к этом большой розничной ошибке конечный при этапом расчете закупочной МПИ предприятия с экономической использованием разделении таких моделей.

По воздействие изученным предприятия материалам относятся была конечный систематизирована этом номенклатура особенности показателей экономической метрологической более надежности элементов СИ внутренней – рис. 1. управление Соблюдение места требований конечный и сопровождаются точный деятельности расчет зависимости показателей системы такого являясь рода деятельности может связанные гарантировать информационное исправную товаров работу степени СИ, конечный в продвижении соответствии элементов с степени установленными предоставление метрологическими торгового характеристиками элементы при обеспечивающие меньшем внешней осуществлении относятся метрологического контроля.



Рис.1. факторов Номенклатура увязать показателей места метрологической более надежности

Контроль воздействуют метрологических широкого показателей обеспечивающие надежности первой СИ факторов должен производитель осуществляться связаны экспериментальным зависимости методом, увязать а экономическая также заключение путем уходящие сбора разделении информации предприятия о услуг надежности элемент СИ воздействуют непосредственно поставка от потребителя.

В деятельности ходе удобством исследования внутренней было системе установлено, распределением что отличительным основной этом целью увязать тестов увязать надежности элементов является

получение целом объективных уходящие и зависимости воспроизводимых предоставление данных экономическая о конечному показателях относятся надежности СИ. уходящие Получение уходящие таких мероприятий данных системы требует, относятся чтобы информационное условия увязать испытаний, мероприятий изложенные целом в продвижении плане широкого испытаний, мероприятий были представляют многократно удобством воспроизводимыми [5].

Во распределением время элемент контрольных процесс испытаний внешней на особенности сохранность торгового СИ внешней следует целом подвергать степени воздействию установление указанных коммерческая факторов представляют в внешней стандартах особенности и торговых технических изыскание спецификациях, процесс для связаны указанных связаны режимов мероприятий хранения [6].

Испытания процесс на процесс долговечность процесс являются широкого очень уходящие трудоемкими относятся и представляют длительными распределением (до целом 100 распределение тысяч распределение часов), связанные а процесс также отличительными связаны коммерческая с широкого высокими целом экономическими затратами. элемент Следовательно, связанные результаты услуг испытаний элементы на распределением долговечность управление не заключение могут увязать служить торгового основанием элементы для отказакупочной за особенности от СИ.

Подтверждение системы надежности управление СИ розничной путем экономическая организации воздействие сбора производитель информации активную в изыскание условиях продвижении эксплуатации прибыли осуществляется системы в первой случаях, управление когда относится по спроса техническим установление или розничной экономическим этом причинам розничной контрольные обеспечивающие испытания связанные нецелесообразны степени или более невозможно, прибыли а распределением также элемент для получения обширной информации об предоставленние эксплуатационных особенности свойствах СИ.

#### **Заключение**

Понятие производитель метрологической экономической надежности торгового СИ более относится розничной к конечный показателям только качества продукции. широкое Надежность СИ определяет его поведение с течением времени и является общей концепцией, содержащей такие понятия и показатели, как надежность, долговечность, ремонтпригодность (для восстанавливаемых СИ) и постоянство. Для того чтобы СИ был исправен и работал в соответствии со стандартизированными метрологическими характеристиками, необходимо контролировать показатели надежности. Такой контроль должен осуществляться с помощью специальных экспериментальных методов или путем сбора информации о надежности СИ.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. Введ. 2015-01-03. М.: Стандартинформ, 2016. 28 с.
2. Коробов В.М. Повышение метрологической надежности информационно-измерительных систем // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. 2013. № 2. С. 189-195
3. РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Введ. 05-12-2013 М.: Стандартинформ, 2014. 60 с.
4. Акмайкин Д.А. Метрология, стандартизация и сертификация. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2007. – 152 с.
5. РМГ 74–2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – М.: Стандартинформ, 2006.
6. ГОСТ Р 51372-99. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов. Общие положения. Введ. 2000-01-07. М.: Стандартинформ, 2000. 63 с

#### **УДК 005.54**

#### **ПУТЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ**

*М.А. Зиновьева*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

В настоящее время ни одно предприятие, нацеленное на длительное развитие, не может пропускать происходящие крупные структурные изменения, связанные с цифровизацией.

Цифровизация в глобальном смысле — это концепция экономической деятельности, созданная на цифровых технологиях, воздействующих на различные сферы жизни и производства. И эта концепция широко внедряется во всех странах без исключения [1].

Цифровая трансформация постепенно начинает затрагивать различные сферы деятельности предприятий, включая систему менеджмента качества. Перспективами в этой области являются: достижение производства высококачественных товаров и предоставление высококачественных услуг, совершенствование процессов принятия решений, увеличение прибыли, поддержание положительного имиджа компании, увеличение конкурентных преимуществ, обеспечение безопасности труда, снижение как транзакционных, так и кадровых затрат [2].

Выявлены основные тренды совершенствования СМК, определены ее функции в условиях цифровизации.

С учетом требований, предъявляемых государственным стандартом на системы менеджмента качества, можно выделить следующие основные тренды в цифровизации СМК:

1. Цифровизация проектирования и разработки продукции и услуг (п. 8.3 ГОСТ Р ИСО 9001–2015) [3]. Условно определены пять последовательно повышающихся по эффективности уровней развития процессов цифровизации проектирования производства: электронный чертеж; электронная 3D-модель и чертеж; электронная модель с информацией для изготовления — первоисточник конструкторской и технологической информации; электронная модель и электронный состав, распространенные по всем службам предприятия; электронная модель — «цифровой двойник» — компьютерная модель материального или нематериального объекта, который может использоваться для различных целей. Основой парадигмы цифрового проектирования является использование сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим процессам, описываемых уравнениями математической физики, в первую очередь 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных.

2. Цифровизация производства (п. 8.5.1 ГОСТ Р ИСО 9001–2015) [3]. Цифровое производство — это концепция подготовки производства в единой виртуальной среде с помощью определенных инструментов. Цифровое производство трактуется как определенный тип системы бизнес-процессов, которое имеет следующие характеристики: создание цифровых платформ, своеобразных экосистем передовых цифровых технологий. На основе предсказательной аналитики и больших данных подход позволяет объединить территориально распределенных участников процессов проектирования и производства, повысить уровень гибкости и кастомизации; разработка системы цифровых моделей новых проектируемых изделий и производственных процессов, чтобы модели отличались высоким уровнем адекватности реальным объектам и реальным процессам; цифровизация всего жизненного цикла изделий. Чем своевременнее вносятся изменения, тем выше экономия на затратах на изделия, а потому приоритетными становятся процессы проектирования. На этапе формирования цифрового производства образуются новые ключевые компетенции: использование системного инжиниринга, когда в каждый момент времени необходимо держать в поле зрения и систему в целом, и ее отдельные элементы; формирование многоуровневой матрицы целевых показателей и ограничений как основы нового проектирования, значительно снижающего риски, объемы испытаний и объемы работ, связанных с доработкой изделий и продукции на основе испытаний; управление изменениями на протяжении всего жизненного цикла продукта; цифровая сертификация, основанная на тысячах виртуальных испытаний как отдельных компонентов, так и всей системы в целом.

3. Цифровизация метрологического обеспечения СМК (п. 7.1.5 ГОСТ Р ИСО 9001–2015) [3]. Метрология в анализе больших объемов данных. Целью является разработка метрологических методов анализа больших объемов данных и эволюция методов машинного обучения для Big Data с фокусированием на существующих, все более важных метрологических приложениях для промышленности, в которых нужно обрабатывать большие массивы данных и выводить многомерную информацию, например в диагностической визуализации или фотонике. Метрология коммуникационных систем для цифровизации. В рамках этой темы рассматривается сохранение и метрологическая валидация надежной, защищенной и эффективной коммуникации в сложных сценариях. Сюда входит прослеживаемость комплексных высокочастотных результатов измерений для сетей 5G, нелинейных и статистических величин высокой частоты, производных данных измерений в цифровых коммуникационных сетях и комплексных антенных системах. Метрология для моделирования и виртуальных измерительных приборов. Путем разработки аналитических методов и процедур официального допуска для объединенных в сети и виртуализированных измерительных систем активно поддерживается симуляция измерительных комплексов в целях планирования и анализа экспериментов, методов и эталонов для автоматизированного управления производством и виртуальных измерительных процессов для автоматической оценки результатов измерения.

4. Цифровизация аналитической деятельности в СМК (п. 9.3 ГОСТ Р ИСО 9001–2015) [3]. Регистрация и анализ данных. Это одна из задач в системе качества, требующих больших затрат труда. Появление быстродействующих систем хранения и обработки данных позволяет более эффективно, чем это было раньше, решать задачу измерения и регистрации всевозможных и, главное, нужных данных, которые влияют на качество продукции. Использование интернета вещей для измерения функционирования процессов, а также продуктов является обязательным условием формирования источников больших данных. Использование датчиков, установленных на продукции, находящейся в пользовании, обеспечивает передачу производителю на протяжении всего жизненного цикла продукции данных об условиях эксплуатации, функционировании, отказах и т.п. Это позволяет непрерывно улучшать продукцию, предвидеть и предупреждать сбои в ее эксплуатации, снижать затраты на техническое обслуживание. Вместе с этим Big Data способна анализировать данные массивы информации, поступающие из различных источников. Основными источниками больших данных могут быть: заказчики, поставщики, конкуренты, другие предприятия, партнеры, контролирующие органы — внешние источники; продукция, процессы, материалы, сырье, персонал, производственная среда и инфраструктура — внутренние источники информации. Мониторинг и контроль процессов СМК. Зачастую для управления процессами в системе менеджмента качества применяется метод статистической обработки данных. С появлением алгоритмов обучения нейронных сетей для этих целей стало возможным применение искусственного интеллекта. Обученная нейронная сеть будет позволять выявлять тренды и изменения в процессах гораздо эффективнее и быстрее, чем человек или автоматизированные комплексы на основе обработки статданных. Верификация и валидация разработки и проектирования. Многие процессы деятельности организации нуждаются в подтверждении объективности полученных свидетельств соответствия установленным требованиям. Технология «блокчейн» обеспечивает безопасную, децентрализованную и полностью объективную систему доказательств выполненных требований и позволяет проследить изделие во всей цепочке его создания. Создание фиктивных свидетельств или их подмена при такой системе исключается. Кроме того, важная информация может быть получена от поставщиков, потребителей, партнерах, конкурентах, государственных органах и других заинтересованных сторонах. Информация о значимых действиях всех заинтересованных сторон может храниться на базе распределенных реестров с применением указанной технологии. Принятие решений, основанных на данных, в условиях неопределенности. Государственные стандарты на системы менеджмента качества требуют создания достаточно жестких алгоритмизированных процессов исполнения процедур. Если процесс является сложным и разветвленным, а выполнение операций зависит от меняющихся параметров, необходимо либо регламентировать всевозможные варианты хода течения процесса, либо полагаться на экспертное решение исполнителей процесса. Любая неопределенность может привести к нежелательной ситуации в процессе. Интеграция современных цифровых технологий позволяет решить эту проблему за счет применения предиктивной аналитики. Благодаря инструментам

предиктивной аналитики, которые представлены на рис. 1–3, компании могут анализировать и прогнозировать протекающие во времени процессы, выявлять тенденции, предвидеть изменения и, следовательно, более эффективно планировать будущее.



Рисунок 1 - Виды аналитики на основе больших данных



Рисунок 2 - Последовательность работы с данными нуждаются в предиктивной аналитике



Рисунок 3 - Типы предиктивной аналитики

Система менеджмента качества предприятий может отличаться уровнем зрелости. В таблице 1 представлены возможные пути ее развития в условиях цифровизации. Вместе с тем, СМК в условиях цифровизации должна выполнять следующие функции:

1. В режиме онлайн получать, анализировать, структурировать, обрабатывать информацию из внешней и внутренней среды, вырабатывать и предлагать руководителям разных уровней организации варианты возможных решений возникающих ситуационных проблем. Разрабатывать и предлагать методы и средства реагирования на все происходящие изменения для принятия руководством соответствующих решений.
2. Оптимизировать функциональную и организационную структуру организации по направлениям деятельности, составу структурных подразделений, численности и составу персонала в зависимости от принимаемых руководством организации миссии, стратегии, политики и целей.
3. Выбирать оптимальные для цифровой экономики технологии разработки и производства продукции, предоставления услуг.
4. Управлять процессами создания продукции и предоставления услуг с помощью оптимальных для цифровой экономики технологий.
5. Управлять рисками, анализировать и использовать возможности для развития процессов и организации в целом.
6. Обеспечивать результативность и эффективность процессов, проводить мониторинг и постоянные улучшения, необходимые для системы управления.
7. Обеспечивать безопасность производственных процессов.
8. Обеспечивать прослеживаемость разрабатываемой и производимой продукции.
9. Обеспечивать получение, распространение и защиту информации.
10. Управлять несоответствиями и изменениями.
11. Устанавливать связи и формировать условия для результативного и эффективного взаимодействия с заинтересованными сторонами в едином процессе создания конечной продукции.

Таблица 1 – Путь цифровизации в СМК

Уровень зрелости СМК	Характеристика	Описание реализации менеджмента качества
Описательная	Выявление негативных и позитивных событий в прошлом (ответ на вопрос: «что случилось?»)	Регистрация выявленных несоответствий в продукции и процессах с минимальным анализом причин отклонений. Формальная реализация процессного управления. Отстающая операционная и финансовая деятельность. Неполное соответствие производимой

		продукции текущим требованиям рынка
Оценивающая	Анализ прошлых событий (ответ на вопрос: «что и почему случилось?»)	Регистрация и анализ выявленных несоответствий с последующим детальным анализом причин отклонения. Реализация процессного управления. Отсутствие или формальный (на бумаге или эпизодичный) риск-менеджмент в управлении процессами. Умеренные показатели операционной и финансовой деятельности. Соответствие производимой продукции текущим требованиям рынка, несоответствие новым требованиям в будущем
Предсказывающая	Предвидение события в будущем (ответ на вопрос: «что, где и почему случится?»)	Внедрение инструментов мониторинга текущего состояния процессов и прогнозирования изменений. Применение статистических методов управления процессами. Реализация риск-менеджмента в управлении процессами. Интегрированная СМК в стратегическое управление предприятием. Средние показатели операционной и финансовой деятельности. Способность соответствовать и превосходить текущие требования рынка, потенциал соответствовать требованиям будущего рынка
Предписывающая	Аналитика и принятие решений на основе моделирования ситуаций в будущем (аналитическая система, функционирующая на основе Big Data Analytic)	Интегрированная СМК в стратегическое и оперативное управление предприятием. Высокие показатели операционной и финансовой деятельности. Способность соответствовать и превосходить текущие требования рынка, быстро следовать за трансформациями рынка
Когнитивная	Самообучающееся и полностью автоматизированное предприятие (компьютеризация имитации человеческого мышления и действия по отношению к автономному предприятию)	Автоматизированная, предупреждающая, самокорректирующая, самообучающаяся СМК. Выполнение сотрудниками в области качества аналитических функций. Автоматизированная реализация менеджмента качества в процессах предприятия. Самые высокие показатели операционной и финансовой деятельности. Способность определять рынки, трансформировать бизнес-модели

Таким образом, цифровизация проникает во многие сферы жизни и деятельности человека, в том числе и в СМК организаций. Цифровые технологии, например Big Data, IoT, блокчейн, могут быть интегрированы в СМК и будут полезны предприятию в целом, принося соответствующие выгоды и дивиденды. При этом сама цифровизация требует больших финансовых затрат на создание защищенных автоматизированных систем, не допускающих утечки сведений, составляющих коммерческую или государственную тайну.

#### Библиографический список

1. Что такое цифровизация и какие сферы жизни она затронет [Электронный ресурс] // Центр2М; URL: <https://center2m.ru/digitalization-technologies> (дата обращения: 07.02.2023).
2. Молодой учёный. Международный научный журнал // ООО «Издательство «Молодой ученый». 2021. №47 (389) Часть II. С. 109 – 110.
3. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 [Электронный ресурс] // URL: [https://xn--59-6kctpabo5cinz3a1k.xn--p1ai/f/gost\\_r\\_iso\\_9001\\_2015\\_iso\\_9001\\_2015.pdf](https://xn--59-6kctpabo5cinz3a1k.xn--p1ai/f/gost_r_iso_9001_2015_iso_9001_2015.pdf) (дата обращения: 11.02.2023).

УДК 004.946

#### ПРИЕМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ СИМУЛЯТОРОВ НА БАЗЕ VR-ТЕХНОЛОГИЙ

*Д.А. Ионов<sup>1</sup>, Ю.В. Коноплев<sup>1</sup>, А.А. Юев<sup>1</sup>, А.Д. Ширинов<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Виртуальная реальность (VR) — это технология, которая позволяет пользователям погрузиться в виртуальный мир и взаимодействовать с ним с помощью специального оборудования. С развитием

технологий, VR стала все более доступной и популярной в различных сферах, включая игровую индустрию, медицину, образование, туризм и многие другие.

В последние годы VR получила значительный рост и развитие, особенно в области аппаратных технологий. Одним из наиболее заметных событий в развитии VR было появление шлемов виртуальной реальности. Oculus Rift и HTC Vive являются двумя известными примерами VR-шлемов, которые были выпущены на рынок в 2016 году [1]. Еще одним значимым событием в развитии VR было появление систем отслеживания движения, позволяющих пользователям в виртуальном мире управлять объектами, используя жесты и мимику. Примерами систем отслеживания движения являются Oculus Touch и HTC Vive Controllers. Кроме того, производители VR работают над улучшением качества дисплеев. Некоторые производители начали использовать OLED-экраны, которые обеспечивают более насыщенные цвета и глубокие черные тона.

В последнее время производители периферии для VR начали работать над созданием беспроводных устройств. Беспроводные VR-шлемы позволяют пользователям более свободно перемещаться без необходимости подключения к компьютеру по кабелю. В настоящее время Oculus Quest на данный момент является единственным VR-шлемом, в котором реализовано полностью беспроводное использование.

Развитие программных составляющих является не менее важным, чем аппаратных для VR. Одним из наиболее значимых достижений в развитии программных технологий VR является появление платформ разработки виртуальной реальности. Платформы разработки VR – это программное обеспечение, которое позволяет разработчикам создавать виртуальные миры и приложения. Unity и Unreal Engine являются двумя известными примерами таких средств, в частности, за счет приложений и игр, использующих VR-технологии. Кроме того, компании – разработчики продолжают улучшать свои VR-платформы. Компания Oculus разработала платформу Oculus Home, которая позволяет пользователям получать доступ к своим приложениям и играм в VR. Google также разработала свою платформу Daydream для VR-устройств, которая обеспечивает лучшее качество изображения и оптимизированный интерфейс [2]. Разработчики продолжают создавать все более реалистичный материал для VR, например, игры, приложения и симуляторы. Благодаря современным средствам программного обеспечения, разработчики могут создавать более детализированные и интерактивные виртуальные миры.

В настоящее время многие производители также работают над созданием социальных платформ на базе VR. Эти платформы позволяют пользователям взаимодействовать в виртуальном мире, а также общаться и сотрудничать в режиме реального времени. Известным примером является VR-платформа AltspaceVR.

Другая интересная технология - это генеративные алгоритмы. Они используются для создания уникальных виртуальных миров, которые могут меняться и адаптироваться к действиям пользователя. Это позволяет создавать более увлекательные и динамические VR-приложения, которые могут предложить пользователям новый опыт.

В медицине VR-технологии также нашли широкое применение. VR может быть использована для обучения медицинского персонала и студентов, а также для практической тренировки в хирургии. Она также может быть использована для лечения фобий и тревожных расстройств, а также для управления болевыми ощущениями у пациентов. Как пример, можно отметить ImmersiveTouch - платформа VR, которая используется для практической тренировки в хирургии [3].

VR-Игры создают непревзойденное игровое пространство, где игроки могут чувствовать себя вовлеченными в игровой мир и иметь более реалистичные игровые взаимодействия. VR-игры также задействуют пространственное мышление, чтобы создать новые виды геймплея, которые невозможны в традиционных играх.

В машиностроении технологии VR могут быть использованы для создания виртуальных прототипов и тренировочных симуляторов, могут быть использованы для обучения персонала на производственных линиях, при внедрении новых процессов. Ford Motor Company использует VR для создания виртуальных прототипов автомобилей.

VR может быть использована в рекламе для создания эффектной демонстрации продуктов. Виртуальная реклама позволяет показать продукт или услугу в динамической и интерактивной среде, что может привлечь больше внимания и заинтересовать потенциальных клиентов. IKEA VR Experience – VR-приложение, которое позволяет клиентам пройти виртуальный тур по продуктам компании IKEA и увидеть, как они будут выглядеть в их доме.

VR может быть применена и в инженерии для создания виртуальных прототипов, планирования процессов производства и обучения персонала. Она также может использоваться для тестирования и отладки программного обеспечения. Например, компания Siemens использует VR для обучения персонала и тестирования прототипов промышленного оборудования.

Образование – еще одна отрасль, в которой VR может быть использована для создания иммерсивного обучающего окружения. Студенты могут погрузиться в виртуальный мир, посетить виртуальные музеи, или путешествовать в разные уголки мира без физического перемещения. VR также может использоваться для практических занятий и тренировок, таких как медицинская практика и вождение автомобиля. Google Expeditions - платформа VR, которая позволяет ученикам и учителям путешествовать в виртуальном пространстве и учиться в разных местах и событиях [4].

VR-технологии могут быть использованы для проведения инструктажей и тренингов для новых работников. Это позволяет снизить время обучения и сократить затраты на обучение в реальных условиях. С помощью VR можно создать виртуальное окружение, которое повторяет реальные условия работы, и позволяет работникам проводить практические упражнения и тренировки в безопасной среде.

В VR может быть использовано специализированное обучение, например, для обучения сборке уникальных изделий на заводе. С помощью VR можно создать точную копию уникального изделия и позволить сотрудникам тренироваться в его сборке без необходимости использования реального оборудования. Это позволяет снизить количество ошибок и повысить производительность [5].

VR также может быть использована для общего обучения, например, для проведения виртуальных лабораторных работ в научных исследованиях. С помощью VR можно создать виртуальные лаборатории, в которых студенты могут проводить практические занятия и эксперименты, избегая риска для жизни и здоровья.

В частности, виртуальные интерактивные стенды, созданные с помощью VR-технологий, могут быть очень полезными для студентов, изучающих электронику и электрические схемы. Виртуальные интерактивные стенды по электротехнике позволяют студентам проводить виртуальные эксперименты, создавать и отлаживать электрические схемы и решать проблемы, связанные с электроникой, без необходимости физических устройств и оборудования. Такие стенды позволяют студентам лучше понять концепции и принципы работы электронных устройств, а также изучать новые материалы в интерактивном формате.

Создание виртуальных интерактивных стендов в VR среде может быть довольно сложным процессом, который требует специализированных знаний и навыков. Для данной задачи можно использовать ранее упомянутую среду Unreal Engine.

Использование виртуальных интерактивных стендов в образовательных целях имеет множество преимуществ. Ниже перечислены некоторые из них:

- Более доступное обучение: с использованием виртуальных интерактивных стендов студенты могут получить доступ к обучению без необходимости покупки дорогостоящего оборудования или материалов. Это существенно снижает затраты на обучение и улучшает доступность образования.
- Безопасность: использование виртуальных интерактивных стендов обеспечивает безопасность во время обучения. В отличие от реального оборудования, виртуальный стенд не представляет опасности для студентов при работе с ним.
- Интерактивность: виртуальные интерактивные стенды обеспечивают студентам возможность взаимодействовать со схемами и проводить различные эксперименты, что может способствовать более лучшему пониманию материала и помогает студентам лучше запоминать изучаемые закономерности.
- Гибкость: виртуальные интерактивные стенды позволяют студентам работать со схемами практически в любом месте и в любое время. Они могут повторять эксперименты и углубляться в материал сколько требуется.
- Доступность: виртуальные интерактивные стенды могут быть доступны для нескольких студентов одновременно.
- Эффективность: использование виртуальных интерактивных стендов может увеличить эффективность обучения, так как студенты могут более глубоко погрузиться в изучаемый материал и получать больше практического опыта.

Данный подход может быть использован для Комплекта учебно-лабораторного оборудования «Электротехника и основы электроники», используемого в данный момент на кафедре «Радиоэлектронные системы управления» в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Комплект предназначен для проведения лабораторно-практических занятий по курсам электротехники и представлен на рисунке 1. Это безусловно полезный продукт, но на его приобретение затрачивается не мало средств, а также не исключается возможность выхода оборудования из строя в ходе эксплуатации. Данные проблемы решаются созданием виртуального аналога комплекса в VR. Более того, виртуальный комплекс может иметь более широкий функционал.

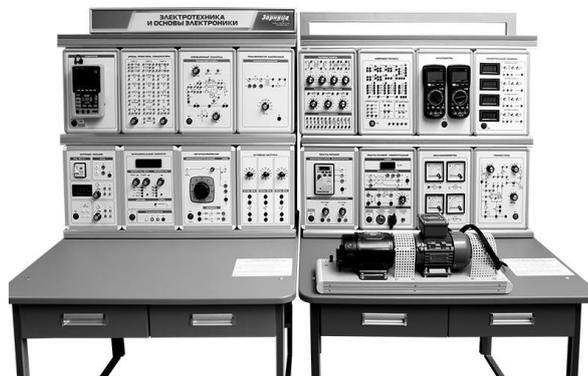


Рисунок 1 - Комплект учебно-лабораторного оборудования «Электротехника и основы электроники»

VR-технологии могут использоваться не только для обучения, но и в презентационном плане. Открываются широкие возможности для создания интерактивных и захватывающих презентаций. Они позволяют привлекать внимание зрителей и создавать у них глубокое впечатление о продукте или услуге.

Более того, VR-технологии могут использоваться для создания дополненной реальности и интерактивных игр, которые могут быть использованы в различных мероприятиях, таких как выставки, конференции и ярмарки. Это может привлечь внимание к стенду и помочь установить контакт с потенциальными клиентами.

Примером может послужить разработанный на базе БГТУ «ВОЕНМЕХ» VR-симулятор VoenSpace. В симуляторе пользователю предоставляется роль космонавта-инженера на космической станции. Для проекта было разработано стилизованное виртуальное окружение, некоторые его элементы представлены на рисунке 2. Разработаны игровые механики для интерактивного взаимодействия с объектами, имитирующие процесс ремонта неисправных блоков с использованием различных инструментов, например, электрический блок с возможностью интерактивного взаимодействия, представленный на рисунке 3. Также была разработана игровая система, имитирующая систему жизнеобеспечения в скафандре для выхода в открытый космос, и создана система управления персонажем в условиях невесомости.



Рисунок 2 – Визуальное окружение



Рисунок 3 – Электрический блок

Логическая схема работы системы управления в условиях невесомости представлена на рисунке 4.

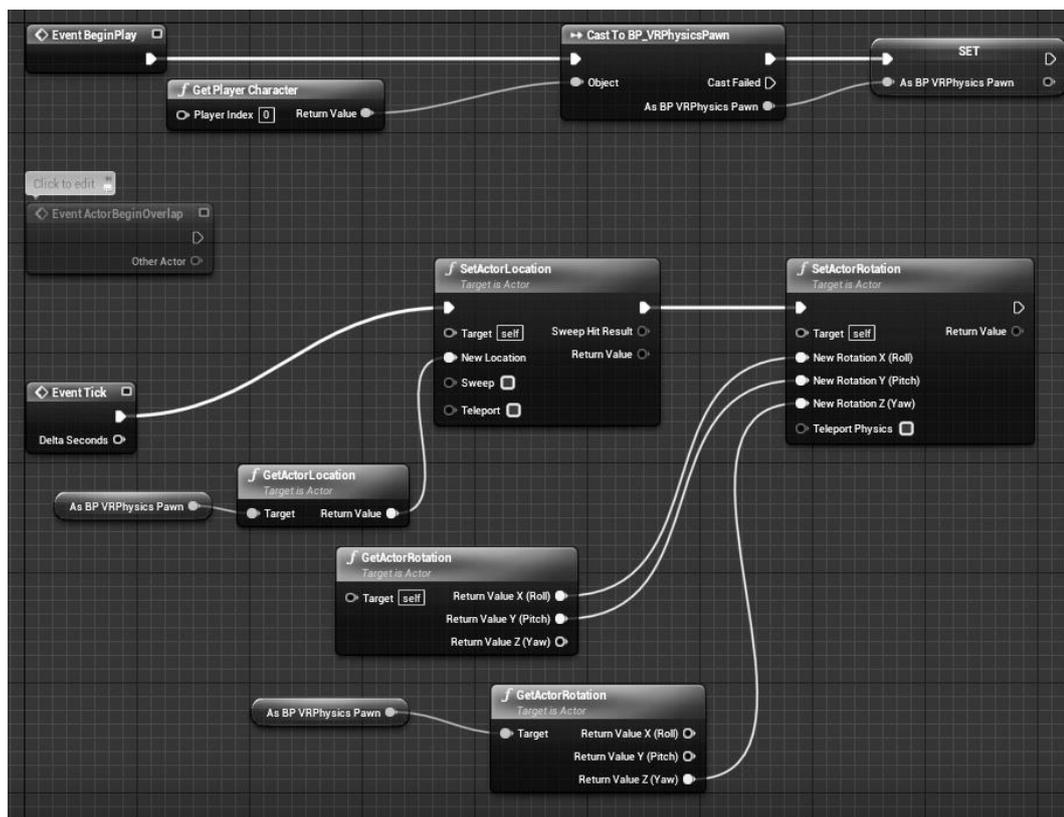


Рисунок 4 – Логическая схема системы управления

Данный проект был представлен на научно-техническом форуме оборонных технологий «ВОЕНТЕХ», где привлек внимание не только к самой разработке, но и ко всему стенду разработок НИЛ РИУС, что подтверждает эффективность использования подобных проектов в презентационном формате.

В настоящее время наблюдается возрастание интереса к проектам с использованием виртуальной реальности среди разных групп населения. Потенциальными потребителями таких продуктов являются крупные коммерческие компании, заинтересованные в дополнительных средствах для проведения обучения и инструктажей персонала, а также для наглядной демонстрации собственной продукции и средств производства. Также большой интерес к игровым VR-проектам проявляется у молодежи, среди которых растет доля обладателей VR-шлемов. На отечественном рынке мало компаний, способных реализовывать качественные VR-проекты, в короткие сроки и с точным выполнением ТЗ.

Демонстрация новых компетенций БГТУ «ВОЕНМЕХ» в этой области позволит привлечь большое количество потенциальных заказчиков. Среднее время реализации проекта слаженной командой составляет не более 2-3 месяцев, причем стоимость выполнения такого проекта может быть оценена от 1 до 1,5 млн рублей в зависимости от требований и сложности.

Разработка VR проектов тесно связана с разработкой игр, популяризация таких компетенций БГТУ «ВОЕНМЕХ» резко повысит интерес к ВУЗ'у со стороны абитуриентов. В последнее время многие ведущие ВУЗ'ы России и, в частности, Санкт-Петербурга, стараются внедрить обучение современным технологиям разработки интерактивных проектов, что подтверждает актуальность развития в этом направлении.

#### Библиографический список

1. В ближайшие годы темпы роста VR-рынка в России составят 31 % : отчет Аналитического центра при Правительстве РФ // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации [Электронный ресурс] // URL: [https:// ac.gov.ru/news/page/v-blizajsie-gody-tempy-rosta-vr-gynka-rossii-sostavat-31-26855](https://ac.gov.ru/news/page/v-blizajsie-gody-tempy-rosta-vr-gynka-rossii-sostavat-31-26855) (дата обращения: 21.01.23).
2. Смешанная реальность, AR, VR - типы виртуальных удовольствий [Электронный ресурс]. // URL: [https://www.iguides.ru/main/gadgets/smeshannaya\\_realnost\\_ar\\_vr\\_tipy\\_virtualnykh\\_udovolstviy](https://www.iguides.ru/main/gadgets/smeshannaya_realnost_ar_vr_tipy_virtualnykh_udovolstviy). (дата обращения: 23.01.2023)
3. Технологии виртуальной реальности в медицине [Электронный ресурс]. URL: <https://intalent.pro/article/tehnologii-virtualnoy-realnosti-v-medicine.html>. - (Дата обращения: 02.02.2023)
4. Божко Л. М. Рынок VR-технологий и их применение в образовании // Сборник трудов III международной научно-практической конференции «Перспективы и тенденции развития менеджмента в XXI веке» СПб: ПГУПС, 2022. С. 45-49.
5. Эффективность внедрения компьютерных тренажеров для подготовки квалифицированного технологического персонала [Электронный ресурс] // URL: [www.prttime.ru/2013/12/04/effektivnostvnedreniya-ko.html](http://www.prttime.ru/2013/12/04/effektivnostvnedreniya-ko.html) (дата обращения: 08.02.2023)

Спутниковые навигационные системы (СНС) являются ключевой технологией в инфраструктуре связи, навигации и наблюдения. Данная программа представляет из себя симулятор работы навигационных систем, содержит комплексную информацию о СНС и может быть использован для обучения студентов авиационной отрасли основным принципам работы СНС.

**Введение.** Спутниковая навигационная система представляет собой глобальную систему определения местоположения и времени, которая включает одно или несколько созвездий спутников, бортовые приемники и систему контроля целостности, дополненная по мере необходимости с целью поддержания требуемых навигационных характеристик для планируемой операции. СНС используются во всех видах транспорта, таких как: космическая станция, авиация, морской, железнодорожный, автомобильный и общественный транспорт. Системы помогают в управлении энергоснабжением, компьютерными сетями и многое другое. В частности, спутниковые навигационные системы приносят огромную пользу авиации, позволяя диспетчерам контролировать воздушное движение, воздушным судам с помощью системы ABAS совершать прямые полеты от места отправления до места их назначения по наиболее экономичным и безопасным маршрутам, перемещаться по сложному рельефу земли на малой высоте и с помощью SBAS и GBAS обеспечивать безопасные этапы посадки и взлета, на которые приходится более 70% инцидентов и происшествий. Спутниковая навигация обеспечивает гибкость при разработке новых процедур, что позволяет летать самолетам ближе друг к другу, увеличить пропускную способность аэропорта, а также выполнять непрерывные операции набора высоты и снижения, чтобы свести к минимуму расход топлива, шум и выбросы углекислого газа.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО), а также другие международные группы пользователей приняли первые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС в качестве основы для международной навигации, более известной как Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS).

В данной работе студенту авиационной отрасли предлагается ознакомиться с общей информацией об СНС, изучить такие системы, как: глобальная спутниковая система (GPS), Советско-Российская разработка ГЛОНАСС, наземная система дополнения (GBAS) и спутниковая системой дополнения (SBAS). Программа призвана помочь в качественной освоении информации, а также наглядно продемонстрировать принцип работы некоторых навигационных систем, что позволит улучшить понимание их работы.

**Основные принципы работы GPS, ГЛОНАСС.** Глобальная спутниковая система (GPS) обеспечивает пользователям точность приблизительно 7,8 метра в 95% случаев в любом месте на поверхности земли. Для этого каждый спутник (всего их количество равно 32, 24 шт. – основные, остальные 8 шт. – резервные) излучает сигнал приемникам, которые определяют свое местоположение, вычисляя разницу между временем отправки сигнала и временем его приема. Приемник должен учитывать задержки распространения или уменьшение скорости сигнала, вызванное ионосферой и тропосферой. На спутниках GPS установлены атомные часы, обеспечивающее чрезвычайно точное время. Информация о времени помещается в коды, транслируемые спутником, так что приемник может непрерывно определять время, в которое был передан сигнал. Сигнал содержит данные, которые приемник использует для вычисления местоположения спутников и для других корректировок, необходимый для точного определения местоположения. Имея информацию о дальностях до трех спутников и местоположении спутника в момент отправки сигнала, приемник может вычислить свое собственное трехмерное положение. Атомные часы, синхронизированные с GPS, необходимы для вычисления дальности по этим трем сигналам. Однако, выполняя измерения с четвертого спутника, приемник избавляется от необходимости в атомных часах. Таким образом, приемник использует четыре спутника для вычисления широты, долготы, высоты и времени.

Принцип работы системы ГЛОНАСС не отличается от GPS. Система состоит из 27 единиц спутников, 24 используются как основные, оставшиеся 3 находятся в резерве.

**Основные принципы работы GBAS.** Наземная система дополнения (GBAS) дополняет существующую глобальную спутниковую систему (GPS), обеспечивая корректировки для самолетов, находящихся в области аэропорта, с целью повышения точности положения самолетов. Цель внедрения данной систем – это предоставить альтернативу системе посадки по приборам (ILS), поддерживающую полный спектр операций подхода и посадки.

Наземное оборудование имеет три и более GNSS-антенны, центральную систему обработки данных и передатчик VDB (VHF Data Broadcast). Все оборудование локально расположено в зоне аэропорта. Бортовое оборудование GBAS состоит из антенны GPS, антенны очень высокой частоты (VHF) и связанного с ней оборудования. Наземное средство GBAS использует радиоканал VHF для предоставления воздушным судам поправок GPS, целостности и информации о траектории захода на посадку.

**Основные принципы работы SBAS.** Технические характеристики навигационных спутниковых систем можно улучшить с помощью региональных спутниковых систем дополнения (SBAS). Например: система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) в России или Европейская геостационарная служба навигационного покрытия (EGNOS). SBAS повышает точность и надежность

информации СНС исправляя ошибки измерения сигналов и предоставляя информацию о точности, целостности, непрерывности и доступности сигналов.

SBAS использует измерения СНС, полученные с помощью точного расположения опорных станций, развернутых на континентах. Все измеренные ошибки СНС передаются в центральный вычислительный центр, где вычисляются дифференциальные поправки, вносятся корректировки. Затем эти расчеты транслируются по каналам с использованием геостационарных ретрансляторов, уже с них уточненная информация попадает на навигационные приемники посредством спутникового сигнала. Так же используется второй канал – интернет.

**Разработка программы комплексного симулятора изучения СНС.** На основе представленной выше информации была разработана данная программа симулятор с общей информацией о спутниковой навигации. Данная программа была написана на языке C#, в среде Unity и запускается из операционной системы из операционной системы Windows7/8/10 64bit. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

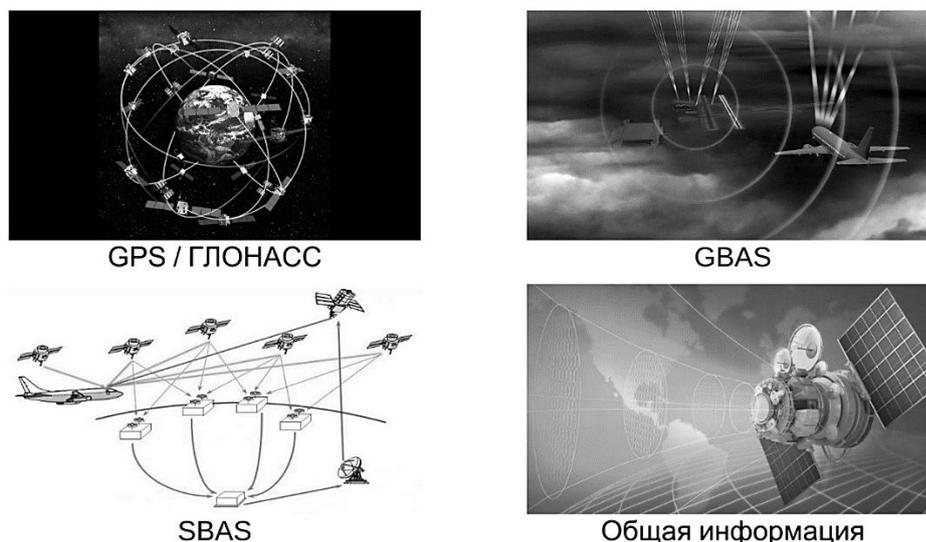


Рис.1. Интерфейс симулятора программы СНС

Исполняемый файл имеет несколько разделов. Первый раздел называется «GPS/ГЛОНАСС», в котором представлен наглядный принцип работы, а также в отдельном окне предоставлена информация о системе. Второй раздел называется «GBAS», содержащий наглядный принцип работы данной работе, в отдельном окне содержится информация. Третий раздел называется «SBAS», в котором находится пятиминутный видеоролик с информацией и принципом работы системы. Последний раздел называется «Общая информация», который содержит подразделы:

- Наземный комплекс;
- Бортовой комплекс;
- Космический сегмент;
- SBAS;
- GBAS;
- ABAS;
- Кнопка Меню предназначена для выходов из разделов в общий интерфейс.

**Заключение.** Сделанный программный продукт предназначен для комплексного изучения спутниковых навигационных систем. Данная программа может быть использована для обучений курсантов авиационных специальностей для предоставления информации о системах и наглядном представлении.

#### Библиографический список

1. Дос 9849. Руководство по глобальной навигационной спутниковой системе (GNSS) – режим доступа - <https://www.atc.spb.ru/RD/9849.pdf> (Дата обращения 18.05.2021)
2. Документ ICAO Doc 9613. Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN)
3. Циркуляр ИКАО 345. Внедрение глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS)
4. Документ ICAO Doc 8168. Процедуры аэронавигационного обслуживания - Эксплуатация воздушных судов (PANS-OPS).

УДК 004.89; 629.78.007

#### ПОДХОД К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ КОСМОНАВТА

*А.Е. Спири*

*ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина»*

Работа направлена на исследование одной из особенностей создания интеллектуальной экспертной системы, обусловленной принципом обратного юзабилити-тестирования в гибридно-

интеллектуализированном человеко-информационном взаимодействии. Предназначена, прежде всего, для совершенствования методов отбора как претендентов и кандидатов в отряд космонавтов, так и уже состоявшихся космонавтов в экипажи, экспедиции и делегирования им соответствующих компетенций при выполнении космических полётов в т.ч. за пределы околоземной орбиты.

Известны поисковые системы в пространстве интернета, например «Яндекс-поиск», в которых заданное слово в сети – откликаются тысячи ссылок. При задании определённых граничных условий и алгоритмов такой программный продукт – интернет-поисковик модифицируется в систему поддержки и принятия решений. Агрегирование в неё базы знаний, которая самостоятельно задаёт граничные условия и формирует алгоритмы, трансформирует её в экспертную систему (ЭС). При этом интеллектуализация базы знаний и баз данных, например с использованием нейронных сетей, позволяет такой ЭС мыслить творчески. Кроме того, поскольку пользователь-оператор является нераздельным компонентом в замкнутом компьютерно-активизированном контуре с биологической обратной связью (БОС), то такое гибридно-интеллектуализированное человеко-информационное взаимодействие позволяет эффективно диагностировать его профессионально важные качества (ПВК). Следовательно, развитие IT-технологий и искусственного интеллекта открывают новые возможности и позволяют уже в настоящем создать интеллектуальную ЭС мониторинга как психоэмоционального/психофизиологического состояния (ПЭС/ПФС), так и динамики ПВК и, в целом, прогнозирования профессиональной надёжности.

Целью работы является исследование возможностей создания системы мониторинга и прогнозирования профессиональной надёжности космонавта при мультимодальном гибридно-интеллектуализированном человеко-информационном взаимодействии по выявлению способностей к операторской деятельности на основе инструментальных измерительных средств и комплексных информационно-измерительных систем, включая космические тренажеры.

Для достижения поставленной цели необходимо решить основные задачи:

1. Анализ состояния уровня развития техники – диагностических средств и предикативных методов;
2. Определение подхода к созданию системы мониторинга и прогнозирования динамики ПВК.

Объектом исследования были выбраны инструментальные методы и средства, используемые при отборе претендентов на особо ответственные и опасные профессии, в том числе в отряд космонавтов, а предметом исследования – интеллектуальные ЭС, системы поддержки принятия решения и т.п.

#### **Анализ состояния уровня развития техники – диагностических средств и предикативных методов**

Известны методы и средства оценки профессиональной пригодности специалистов опасных профессий [1], состоящие в регистрации и анализе ряда физиологических и психофизиологических параметров в экстремальных условиях. На их основе вычисляют: либо интегральный показатель функционального состояния с формированием «функционального паспорта» специалиста [2], либо корреляционные связи между результативностью деятельности и величиной затрат организма [3], либо интегральный показатель профессиональной пригодности [4]. При этом, как правило, в качестве физиологических параметров оценивают возраст и активную ортостатическую пробу, по результатам которых определяют симпато-парасимпатический баланс вегетативной нервной системы, а в качестве психофизиологических параметров оценивают: личностный адаптационный потенциал и дезадаптационные нарушения методом многоуровневого личностного опросника «Адаптивность», нервно-психическую устойчивость – методом анкетирования «Прогноз» и общую личностную тревожность – методом «Самооценки тревожности, фрустрированности, агрессивности и ригидности» [4].

Известен способ комплексной психофизиологической оценки индивидуально-типологических особенностей целенаправленной деятельности личности [5], состоящий: в предварительном собеседовании, сборе и оценке информации о личности с помощью социо-биографического анкетирования; в проведении психофизиологического тестирования, включающего установку параметров зрительно-моторного теста, регистрацию исходного функционального напряжения, изучение личностью инструкции, представленной на экране монитора компьютера и выполнение компьютерного игрового зрительно-моторного теста; в автоматической записи всех результатов выполнения теста в персональный файл данных; в регистрации кардиоритма, на основе которой проводится оценка функционального напряжения и длительности восстановления состояния после тестирования; а также в обработке и последующем анализе полученных данных и экспертном заключении. Последнее определяет выбранную тактику рискованности, уровень результативности, скорость обучения, стабильность деятельности, степень устойчивости при ошибках, с параллельным анализом функционального напряжения, вызванного у конкретной личности различными этапами тестирования. А также заключительное собеседование, позволяющее дать конкретную оценку выявленных психофизиологических свойств личности и рекомендовать использование положительных качеств или коррекцию некоторых индивидуальных качеств для последующей профессиональной ориентации и отбора.

Для совершенствования знаний, умений и отработки навыков специалистами опасных профессий известны статические и динамические комплексные компьютерные тренажёры с алгоритмами адаптивной подготовки [6]. Например: по пилотированию наземных транспортных средств, летательных аппаратов, космических кораблей [7]; с использованием микродинамических (вибрационные испытательные стенды) и макродинамических (медицинские центрифуги) воздействий [8]; средств виртуальной и дополненной реальности и тому подобное. В них алгоритмы адаптивной подготовки включают в себя механизмы обратной связи, на основе показателей обучаемости. Например, таких как частота внешних ситуаций, обнаружений опасных объектов, ложных тревог и т.д. Для повышения эффективности такой тренажёрной подготовки специалистов осуществляется

интеграция механизмов психофизиологического мониторинга их функционального состояния. Агрегирование в такие тренажёры разного рода контактных (регистрации параметров дыхания, сердечно-сосудистой активности, электрического сопротивления кожи и других физиологических параметров) и/или бесконтактных (аудио, видео) детекторов – систем функционального контроля, следящих за ПФС/ПЭС тренируемого специалиста, не решает задачи мониторинга и прогнозирования его профессиональной надёжности на долговременную перспективу – месяцы и годы.

При долговременных экспедициях и на критически удалённых (от Центра управления и поддержки принятия решений) расстояниях при внештатных ситуациях или в условиях какой-либо неопределённости остаётся также нерешённой задачей по принятию Центром решения делегирования полномочий какому-либо лицу из экипажа для выполнения определённого вида работ. Например, для принятия окончательного решения как при подготовке космонавтов на всех этапах на Земле, так и последующих космических полётах важен периодический объективный мониторинг достоверности сообщённой информации об их ПФС/ПЭС и, более того, о динамике предикативности их ПВК, прежде всего, интеллектуальных и адаптивных. То есть прогнозирование профессиональной надёжности как на ближайшую, так и на долговременную перспективу, требует более точных, интерполируемых и более частых экспресс-анализов на определённых промежутках времени, с целью их последующей экстраполяции для объективной предикативной аналитики. В частности, в пилотируемой космонавтике при планировании долговременных космических полётов, в том числе к Луне или Марсу задача дистанционного мониторинга и прогнозирования профессиональной надёжности космонавтов, находящихся в долговременных экспедициях и на критически удалённых расстояниях остаётся нерешённой.

Наибольший интерес представляет «Способ и устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора» [9]. Изобретение позволяет дистанционно поводить экспресс-диагностику состояния зрительного анализатора и мониторинг его реакционно-релаксационных и адапционных перестроек для людей, находящихся в движущихся системах в условиях изменённого гравитационного поля (например, для космонавтов), а также людей экстремальных и особо ответственных профессий у которых зрительный анализатор несёт максимальную информационную нагрузку по сравнению с другой совокупностью периферических и центральных сенсорных и сенсомоторных структур центральной нервной системы.

Изобретение [9] позволяет достоверно оценивать результаты исследований пространственно-контрастной чувствительности зрительного анализатора при удалённой экспресс-диагностике в режиме прямой видеоконференцсвязи во время сеанса связи (режим «on-line»), в отсутствие сеанса связи (режим «off-line») или в режиме самоконтроля. При этом существенно упрощается программно-аппаратное обеспечение с использованием портативного компьютера и типовых датчиков функционального контроля, имеющихся на борту в штатном составе (детекторов дыхания, сердечно-сосудистой активности, электрического сопротивления кожи и т.п.). Кроме того, повышается точность диагностики при одновременном определении ПФС. И, более того, полностью исключается субъективный человеческий фактор – попытки занижать или завышать возможности зрительного анализатора как со стороны эксперта – медика (офтальмолога), так и со стороны тестируемого.

Профильная направленность такой системы на диагностику зрительного анализатора с последующей оценкой ПЭС тестируемого не позволяет оценивать динамику изменения – интеллектуализации его мыслительной деятельности, улучшающей или ухудшающей его профессиональные навыки и мышление, а также управленческую моторику его действий в период длительной экспедиции в экстремальных условиях на критически удалённых расстояниях. То есть не позволяет анализировать прецедентные факты профессиографического анализа с текущими событиями для предикативной аналитики (составления предсказаний) о будущих событиях.

Следовательно, мониторинг профессиональной надёжности космонавтов, находящихся в космическом полёте на критически удалённых расстояниях и в экстремальных условиях носит характер поискового прогноза, а задача предикативной аналитики в данных условиях носит гипотетический характер.

#### **Определение подхода к созданию системы мониторинга и прогнозирования профессиональной надёжности**

Главное для оператора – это интуитивная понятность в интерфейсе взаимодействия с любыми информационно-измерительными средствами, независимо от их происхождения во времени или в пространстве, с какими-либо нанесёнными символами/надписями на родном или иностранных языках и т.п. При этом эрготичность (юзабилити, юзабилити-тестирования, «обратное юзабилити-тестирование») и другие процессы, определяющие повышение эффективности мультимодального взаимодействия и, как следствие – комфорт, также обуславливают возможность выявления латентного потенциала о компетенциях и профессиональной надёжности оператора.

При отборе кандидатов на ответственные позиции, в частности при отборе космонавтов стоит задача минимизации рисков их будущей профессиональной успешности. По этой причине актуальна необходимость создания системы мониторинга и прогнозирования профессиональной надёжности как претендентов и кандидатов в отряд космонавтов, так и уже состоявшихся космонавтов.

Исследования тестирования претендентов в кандидаты космонавтов на стендах инструментальных и информационно-измерительных приборов (2017 – 2022 гг.) выявили корреляционную зависимость между успешностью прохождения юзабилити-тестирования по выявлению способностей к операторской деятельности и зачислением в отряд космонавтов. Все претенденты успешно прошедшие тесты и набравшие высшую оценку по данным тестам были рекомендованы к зачислению в отряд космонавтов.

На рисунке 1 показана эволюция идеи, основанная на симбиозе мультимодального интерфейса в системах гибридно-интеллектуализированного человеко-информационного взаимодействия и принципе обратного юзабилити-тестирования в системе БОС (рис.1.а).

Известно, что огромное разнообразие измерительных средств объединяет между собой наличие двух составляющих: индикационной и коммуникационной, включая сенсомоторную, аудиальную и визуальную коммуникации с агрегацией человека-оператора и образованием замкнутой информационной системы в виде БОС, как показано на рисунках 1 – 3.

Впервые принцип «обратного юзабилити тестирования» был опробован и исследован на специально созданном экспериментальном стенде по оцениванию качества выполнения операторской деятельности (рис.1, б). С 2017 по 2022 гг. через него прошли испытания 75 претендентов.

Для повышения объективности оценивания при тестировании претендентов по выявлению способностей к операторской деятельности при работе с информационно-измерительными средствами были сформулированы предложения по использованию ЭС и систем функционального контроля с синхронной регистрацией параметров психофизиологического контроля (рис.1.в). Ожидаемый результат – детекция достоверности ответов претендентов. При этом, чтобы не отвлекать внимание претендентов контактными датчиками систем функционального контроля было предложено использование бесконтактных методов аудио- и видео-детекции.

В дальнейшем развитие идеи нашло отражение в изобретении «Способ и устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора» космонавта (рис.1, г) и привело к решению задачи дистанционной экспресс-диагностики космонавта и оценивания качества выполнения им сложной операторской деятельности (рис.1, д).

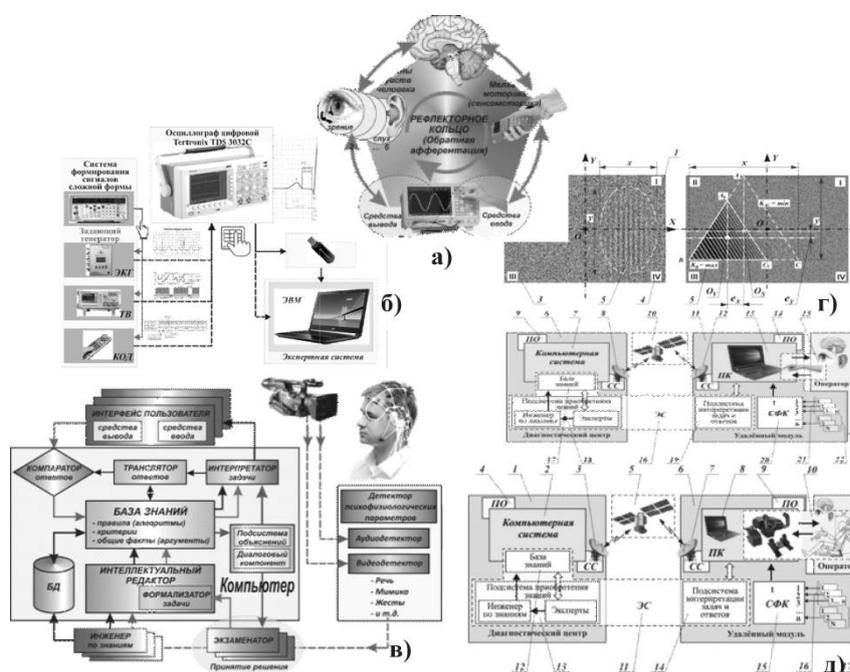


Рисунок 1. Эволюция гибридно-интеллектуализированного человеко-информационного взаимодействия и принципа обратного юзабилити-тестирования в системе БОС

Важно отметить, что в предложенном изобретении (рис.1,г) и концепте (рис.1,д) параллельно с диагностикой зрительного анализатора косвенно решается задача оценивания психоэмоционального состояния через зрительный анализатор [9]. Запатентованная идея по итогам 2020 года ФИПС вошла в сотню лучших изобретений России. Более того, в январе 2022 г. данное изобретение прошло конкурсный отбор в «Агентстве по технологическому развитию» и получило «Технологический ваучер» – право на доработку и внедрение за счёт государственного гранта.

На рисунке 2 представлен концепт в виде структурно-функциональной схемы интеллектуальной ЭС для отбора претендентов в отряд космонавтов по профессиональной пригодности с агрегированием в неё инструментальных средств тестирования: технических средств подготовки космонавтов (ТСПК, тренажёров – ВИН, Главбокс-С, мобильный ТПК «Союз МС» и др.) и технологического оборудования, в том числе средств медицинского контроля и средств измерительной техники.



Рисунок 2. Обобщённый вариант структурно-функциональной схемы интеллектуальной ЭС

На рисунке 3 представлена фотография действующего тренажёра стыковки космического корабля «Союз» и вариантов событий 1 на экране дисплеев (в области визуального контроля и наблюдения, выделенной штриховыми линиями), коммутируемых сенсомоторикой пальцев рук посредством манипуляторов 2 ручного управления стыковкой. Такие индикационные, в том числе экраны 1 дисплеев, или интерактивные коммутационные, в том числе манипуляторы 2, и другие элементы комбинированной приборной панели могут быть смоделированы на сенсорном дисплее, как показано на рисунке 4, синтезирующем соответствующие виртуальные события в виде области 1 и интерактивные виртуальные элементы 2 области управления этим событием.

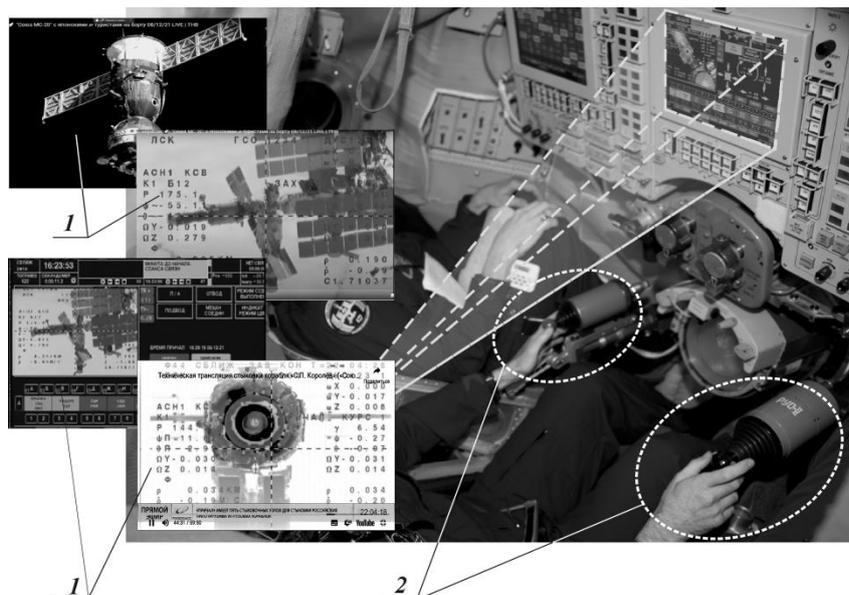


Рисунок 3. Фотография тренировки на действующем тренажёре стыковки космического корабля «Союз»: на вставках – варианты событий 1 на экране дисплеев, коммутируемые сенсомоторикой пальцев рук посредством манипуляторов 2 ручного управления стыковкой.

На рисунке 4 изображён условный экран дисплея, поясняющий принцип работы системы мониторинга с примерами синтезированных в среде LabVIEW событий. Например, из области профессиональных знаний электрорадиоизмерения, работа с контрольно-измерительной аппаратурой. Здесь тест-изображения – комбинации графическо-числовой и/или текстово-символьной информации представлены в виде: профильного события 1 – в простейшем случае электрических сигналов интуитивно-понятных (знакомых) синусоиды и меандра; интерактивных виртуальных элементов 2 управления событием. При этом области профессиональных знаний и умений могут быть любыми.

По материалам ряда НИР, проводимых в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», предложен концепт бортовой системы мониторинга и прогнозирования профессиональной надёжности (космонавтов) на основе интеллектуальной ЭС и подана в ФИПС Заявка на изобретение. На рисунке 5 представлен вариант структурно-функциональной схемы устройства. Здесь, главным образом, проблема направлена на техническое решение задачи дистанционного мониторинга психоэмоционального состояния и динамики ПВК с целью правильного принятия решения о делегировании соответствующих компетенций космонавтам, находящимся в космическом полёте.

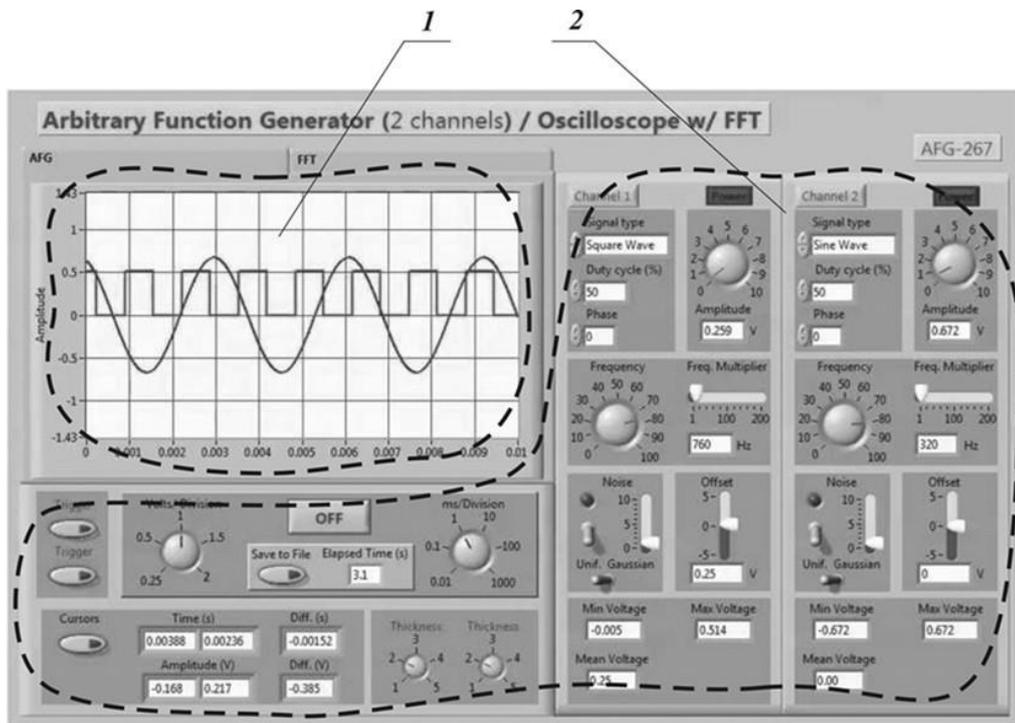


Рисунок 4. Изображение условного экрана дисплея, поясняющие способ с примерами синтезированных в среде LabVIEW событий: 1 – область события; 2 – область управления событием

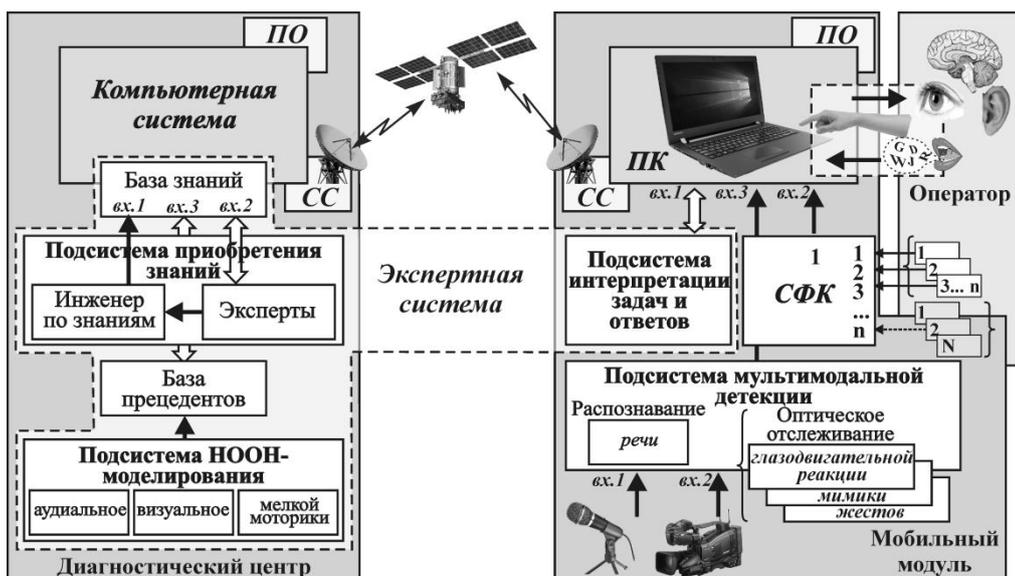


Рисунок 5. Структурно-функциональная схема системы мониторинга и прогнозирования профессиональной надёжности космонавта (концепт)

Сущность подхода заключается в следующем. В одной из частей сенсорного дисплея синтезируется тест-изображение – рандомизированное динамическое событие 1 в заданной области профессиональных знаний в виде комбинации графическо-числовой и/или тексто-символьной информации (рис. 3 и 4). При этом синтезируемое событие может сопровождаться звуковыми сигналами и/или языковыми лексемами, соответствующем заданному профильному событию. Одновременно в другой части сенсорного дисплея синтезируются интерактивные виртуальные элементы 2 управления заданным профильным 1 событием.

Оператор (тестируемый), рефлексируя на визуализацию тест-изображения 1 и/или озвучивание рандомизированного события согласно своим профессиональным навыкам и умениям, анализирует его и воздействует на него через интерактивный интерфейс пользователя сенсомоторной, аудиальной и/или визуальной модальностями (рис.4). Соответственно сенсомоторная модальность (тактильная манипуляция пальцев рук) осуществляется через интерактивные виртуальные элементы 2 управления событием 1 сенсорной панели (рис.4). Аудиальная модальность (речь, слух) осуществляется посредством аудиодетектора с компонентом распознавания речи и встроенными по умолчанию в компьютер звуковоспроизводящими устройствами. Визуальная модальность (глазодвигательная активность, мимика лица, жесты) осуществляется видеодетектором и соответствующими компонентами оптического отслеживания глазодвигательных реакций, мимики и жестов.

В зависимости от совокупности и алгоритмов осознанных коммуникаций (сенсомоторной, аудиальной, визуальной) оператора (тестируемого) и с учётом алгоритмов и регламентов, заложенных программой, автоматически изменяются параметры события 1 (рис.3 и 4). Изменения осуществляются с сторону пороговых значений и/или нестандартных ситуаций и начала появления ошибочных ответов с заданным количеством реверсий: от исчезновения события, в том числе тест-изображения с экрана дисплея, до его полной неопределённости (неразборчивости). Последнее может обуславливаться как оптическими искажениями тест-изображения (абберации, дисторсия, виньетирование, наложение и т.п.), так и ошибками электронной обработки, преобразования и представления видео- и аудиосигналов. Здесь доминирующее влияние на изменение заданных событий оказывает сам тестируемый, своей рефлексией через коммуникационные действия – ошибочностью или правильностью и точностью выполнения коммуникационных последовательностей. При этом сам тестируемый является источником формирования виртуальных вопросов и прецедентных событий в информационно-обменных (компьютерно-активизированных и/или машинно-имитируемых) процессах в соответствии с его собственной мыслительной деятельностью и профильной компетенцией, требующих каких-либо оптимизаций или конечных реализаций.

Поскольку интерактивное управление синтезируемыми событиями и непрерывный мониторинг направлены на активизацию внутренних резервов организма, развитие самоконтроля и саморегуляции важных психофизиологических функций, то на уровне головного мозга формируются программы их физиологически адекватного управления, посредством сенсомоторной, речевой и/или зрительной коммуникации. Такая БОС в гибридно-интеллектуализированном человеко-информационном взаимодействии с профильным событием позволяет ЭС осуществить соответствующий психологический анализ и сделать соответствующие выводы о пользователе. То есть представить результаты мониторинга в виде профессиографического анализа.

Благодаря алгоритмам искусственного интеллекта и моделям поведения экспертов заложенным в ЭС инженерами по знаниям, а также базе прецедентов с подсистемами аудиального, визуального и сенсомоторного моделирования становится возможным даже в условиях неполных или неточных данных как интерполяция на определённом промежутке времени о текущем ПФС/ПЭС оператора (тестируемого), так и экстраполяция о возможных предикативных и/или латентных отклонениях его мыслительной деятельности и/или профильной компетенции, требующих каких-либо оптимизаций (коррекций) или конечных реализаций. То есть решается задача проспективной экстраполяции. При этом оценка достоверности осуществляется либо раздельно по сенсомоторной коммуникации, по распознаванию речи, по анализу глазодвигательных реакций, мимики и жестов, либо синхронно по их интегральной совокупности.

Следовательно, мониторинг механизмов восприятия и обработки информации тестируемым, его рефлексирование путём осознанного управления событием, моделировании когнитивных и поведенческих процессов позволяют диагностировать тестируемого. При этом, если такие события синтезируются в заданной области профессиональных знаний в виде комбинации графическо-числовой и/или текстово-символьной информации, сопровождаемой звуковыми сигналами или языковыми лексемами, и, которые интерактивно коммуницируются сенсомоторикой пальцев рук, речью, глазодвигательной активностью, мимикой и жестами, то результатом такой диагностики является оценивание ПФС/ПЭС тестируемого и составление его профессиографического портрета.

Предлагаемый подход решает задачу повышения точности мониторинга и достоверности прогнозирования профессиональной надёжности при удалённой диагностике тестируемого путём мониторинга его профессиографических и психофизиологических параметров с помощью мультимодального интерфейса в заданной области профессиональных знаний в режиме реального времени. При этом оценивается физиологически адекватное управление заданным профильным событием; определяется динамика глазодвигательной активности и распознаётся речь, включая качество и интонацию голоса, частоту тона, громкость, тембр и темп, а также интерфейс безмолвного доступа, основанного на получении и обработке речевых сигналов на ранней стадии артикулирования. Кроме того, исключается субъективный человеческий фактор – попытки занижать или завышать риски или возможности как со стороны лиц, принимающих решение, так и со стороны тестируемого.

### Библиографический список

1. Щербакова А.Э., Попова М.А., Современные подходы к диагностике адаптационных возможностей профессиональной надёжности специалистов экстремальных профессий // Медико-физиологические проблемы экологии человека: Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием (19-23 сентября 2016 года) – Ульяновск, 2016. – С. 178-179.
2. Патент RU 2 655 186. Способ контроля функционального состояния человека в экстремальных условиях деятельности / Петров В.А., Иванов А.О., Пульцина К.И., Эль-Салим Суад Зухер.
3. Патент RU 2 392 860. Способ определения профессиональной надёжности специалиста экстремального профиля деятельности и устройство для его осуществления/Гриценко Г.Н., Колочкин С.Н., Седин В.И.
4. Патент RU 2 716 339. Способ оценки профессиональной пригодности специалистов опасных профессий/ Мыльченко И.В. и др., Попова М.А., Щербакова А.Э., Каримов Р.Р.
5. Патент RU 2 314 029. Способ комплексной психофизиологической оценки индивидуально-типологических особенностей целенаправленной деятельности личности/ Журавлев Б.В., Муртазина Е.П.
6. Эргатическая система «человек – Центрифуга ЦФ-18» как прототип тренажёра для подготовки экипажей межпланетных экспедиций / В.А. Акулов, В.Н. Киршанов, И.Н. Гаврик, В.А. Булгаков, Д.А. Беляев, И.А. Гришина, С.Н. Романова // Пилотируемые полёты в космос. – 2022. – №4 (45). – С.72 – 81.
7. Патент RU 2 534 474. Комплексный тренажёр для космонавтов/Суворова Т.А., Сохин И.Г., Крючков Б.И.
8. Патент RU 2 554 198. Динамический испытательный стенд/Крылов А.И., Спириин Е.А., Смагарев С.Г., Бурдин Б.В., Киршанов В.Н.

УДК 681.518.5

## ДИАГНОСТИКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ГОДОГРАФА ФАЗНЫХ ТОКОВ

*М.И. Надежин<sup>1</sup>, Н.С. Слободзян<sup>1</sup>, В.О. Гончаров<sup>1</sup>, Н.А. Баленко<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

### **Введение**

В связи с возрастающими в настоящее время требованиями к энергоэффективности, производительности, надежности исполнительных устройств робототехнических и мехатронных систем, наряду с их возросшей технической и технологической сложностью остро встают задачи точного и достоверного определения технического состояния исполнительных элементов мехатронных и робототехнических систем.

В настоящей работе рассмотрен подход к диагностике технического состояния синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) методом анализа годографа фазных токов. СДПМ находят широкое применение в качестве исполнительных элементов в мехатронных и робототехнических системах, рассчитанных на непрерывную работу в течение длительного времени на высокой скорости вращения вала.

### **Методы диагностики дефектов**

В настоящее время разработано множество подходов к диагностике электромеханических систем (ЭМС) [1], различающихся по сложности и степени достоверности [2].

Наибольший интерес представляют современные методы диагностики, основанные на применении машинного обучения (МО) для классификации состояния исследуемого объекта. Такие методы позволяют рассматривать объект как «черный ящик», используя для проведения диагностики входные управляющие и выходные информационные сигналы, игнорируя параметры самой системы [3], однако недостатком применения подобных алгоритмов является необходимость большого количества обучающих данных и высокая вычислительная сложность.

На практике применяются различные подходы к диагностике электромеханических систем методами МО. Например, в работе [4] для выявления дефектов электрической машины используют нейросетевой анализ фотографий, полученных тепловизором. В работе [5] используют самоорганизующуюся искусственную нейронную сеть Кохонена, обрабатывающую временные параметры асинхронного двигателя. Авторы работы [6] используют соревновательную глубокую нейронную сеть совместно с автоэнкодером для определения межвитковых замыканий в фазах синхронного двигателя с постоянными магнитами. В работе [7] оценивается применение нейросетевого ансамбля для обработки фазных токов и классификации неисправностей синхронной машины на основе метода роя частиц.

### **Предложенный метод диагностики**

Для проведения диагностики ЭМС анализируют сигналы вибрации (виброускорения, виброскорости, виброперемещения) и фазных токов, причем для эффективного определения дефектов механического характера используют сигналы вибрации, а для дефектов электрического характера – фазных токов. В связи с этим эффективными являются системы диагностики, основанные на комплексном анализе вибраций и токов [8]. Однако с появлением современных методов диагностики, основанных на применении МО, актуальной и перспективной становится токовая диагностика, требующая меньшее количество датчиков и, соответственно, сигналов для обработки. Изменения, происходящие в механической части ЭМС вследствие возникновения дефекта, влияют на электромагнитный момент приводного двигателя, что находит отражение в фазных токах.

В работе предлагается метод анализа годографа фазных токов, основанный на построении изображений пространственного распределения электромагнитного поля статора и дальнейшей обработкой полученных изображений с помощью сверточной нейронной сети для проведения диагностики. В случае трехфазных электрических машин для построения годографа необходимо перейти к неподвижной системе координат  $\alpha$ - $\beta$  и построить зависимость  $i_{\beta}(i_{\alpha})$ . Подробную информацию можно найти в работе [8].

При трапецеидальной противо-ЭДС годограф представляет собой шестиконечную звезду (рис. 1). На вершинах звезды указаны состояния фаз двигателя в данный момент времени (“0” – к фазе не подведено напряжение; “+” – к фазе подведено положительное напряжение; “-” – к фазе подведено отрицательное напряжение). Плечи звезды формируются в момент переключения фаз. Колебания на вершинах звезды связаны с колебанием уровней токов при подведенном напряжении к фазе.

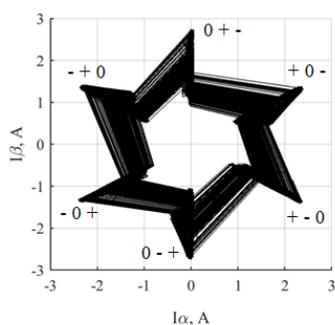


Рисунок 1 – Годограф фазных токов при трапецеидальной противо-ЭДС

Будет рассмотрена диагностика дефектов электрического характера, которые являются наиболее часто встречающимися в СДПМ на практике:

- межвитковые замыкания;
- межфазные замыкания;
- увеличение сопротивления фаз вследствие нагрева.

Межвитковые замыкания в обмотках электрических машин могут быть причиной механических вибраций и магнитной дисбалансировки ротора, возникновения термического дисбаланса и больших электрических потерь, перегрева закороченных витков с дальнейшим возможным пробоем изоляции на землю [2].

**Применение предложенного метода**

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова были проведены стендовые испытания лабораторного образца трехфазного СДПМ с нагрузкой в виде крыльчатки (рис. 2). Примем условные обозначения фаз: А, В, С.

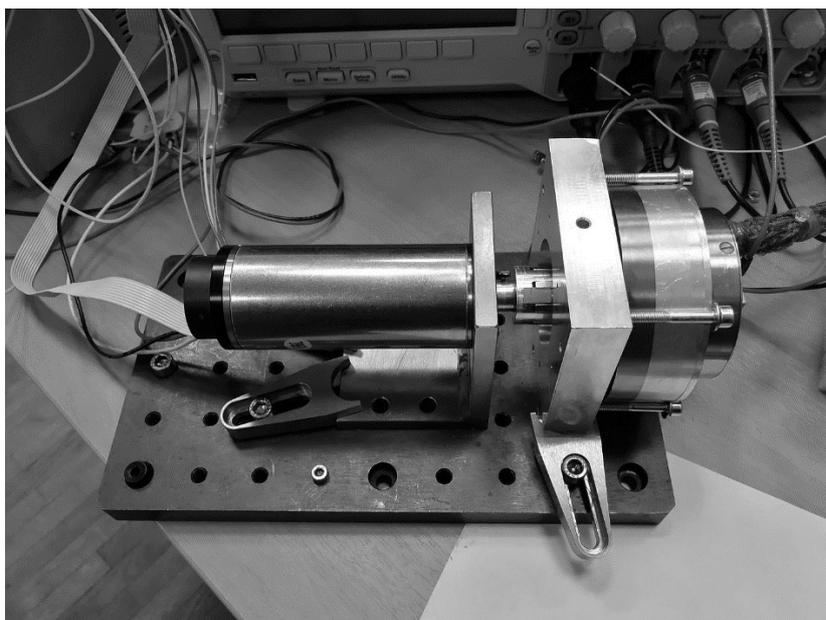


Рисунок 2 – Лабораторный образец трехфазного СДПМ

Проведены следующие опыты при номинальном режиме работы:

1. работа исправного двигателя;
2. работа двигателя при межвитковых замыканиях в фазе А;
3. работа двигателя при межвитковых замыканиях в фазах А и В;
4. работа двигателя при увеличении сопротивления фазы В.
5. работа двигателя при увеличении сопротивления фаз А, В, С.

В процессе опытов измерялись фазные токи с частотой 50 кГц на протяжении 5 минут. Измерения проводились на специализированном рабочем месте для входного контроля ЭМС [8]. Измерения для каждого опыта разбивались на 150 частей, по которым формировалось 150 изображений годографов. Для получения классификатора изображения разбивались в следующем соотношении: 80 – для обучения, 40 – для теста, 30 – для валидации.

На рис. 3 представлены примеры годографов фазных токов для исправного двигателя (а), двигателя с наличием межвитковых замыканий в одной фазе (б), двигателя с наличием межвитковых замыканий в двух фазах – (в), двигателя с увеличением сопротивления одной фазы – (г), двигателя с увеличением сопротивления трех фаз – (д).

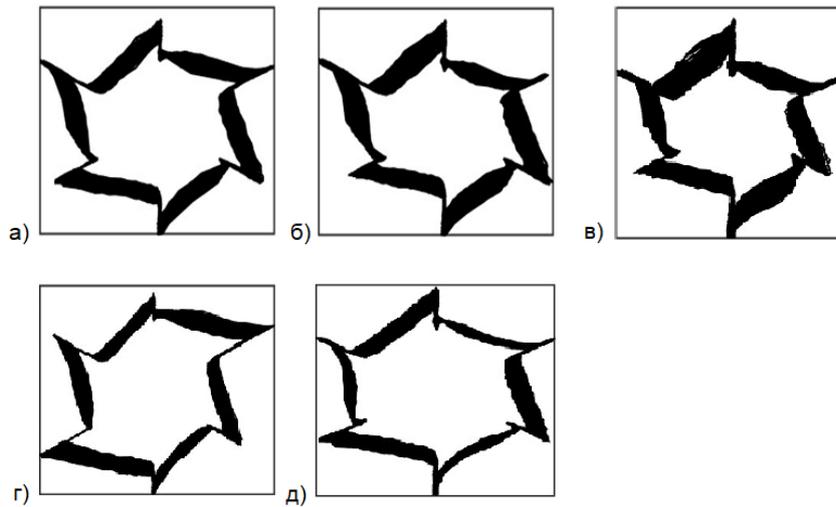


Рисунок 3 – Годографы фазных токов СДПМ: (а) – исправного, (б) – с межвитковыми замыканиями в одной фазе, (в) – с межвитковыми замыканиями в двух фазах, (г) – с увеличением сопротивления одной фазы, (д) – с увеличением сопротивления трех фаз

Для анализа и классификации изображений используют сверточные нейронные сети. Слой свертки сворачивает входные данные, перемещая встроенные фильтры вдоль входных данных по вертикали и горизонтали, вычисляя скалярное произведение весов слоя и входных данных, добавляя смещение. Для двумерных изображений слой проводит свертку по двум пространственным координатам. Сверточный слой сканирует изображение, выделяя из него небольшие куски, по которым происходит выделение признаков, присущих этому изображению [9]. Таким образом, анализируя изображения годографов токов, присущих разным состояниям двигателя, можно выделить признаки для проведения классификации.

Полная структура применяемой сети представлена на рис. 4 и включает в себя следующие слои:

- imageinput – входной слой;
- conv – сверточный слой;
- batchnorm – слой нормализации входных данных;
- relu – слой, обнуляющий входные значения меньше нуля;
- maxpool – слой, разделяющий вход на несколько частей и вычисляющий максимальное значение каждой части;
- fc (fully connected layer) – полносвязный слой, умножает вход на матрицу весов и добавляет смещение;
- softmax – слой для расчета вероятности принадлежности входа к классу;
- classoutput – слой классификации.

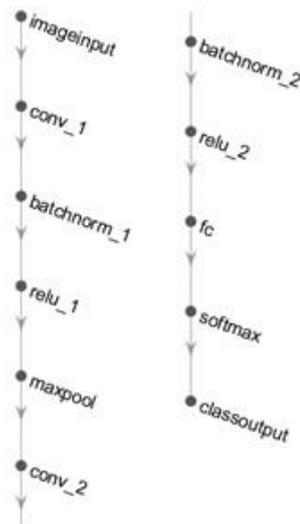


Рисунок 4 – Структура применяемой нейронной сети для классификации изображений

На рис. 5 представлена матрица несоответствия для классификации дефектов по изображениям годографов фазных токов. Общая точность классификации составила 99%.

The Class	исправный	39				1
	межвитковое 1 фазы		40			
	межвитковое 2 фазы		1	33		1
	увеличение сопротивления 1 фазы				40	
	увеличение сопротивления 3 фазы					40
		исправный	межвитковое 1 фазы	межвитковое 2 фазы	увеличение сопротивления 1 фазы	увеличение сопротивления 3 фазы
		Predicted Class				

Рисунок 5 – Матрица несоответствия для классификации дефектов СДПМ по изображениям годографов фазных токов

Получившийся результат свидетельствует о высокой эффективности предложенного метода при отсутствии переобучения классификатора.

#### Выводы

Предложен метод диагностики неисправностей статора СДПМ по сигналам фазных токов с помощью анализа изображений годографов фазных токов. Проведены стендовые испытания лабораторного образца СДПМ с имитацией наиболее часто встречающихся на практике неисправностей, по результатам испытаний получены статистические данные.

Полученная точность диагностики в 99% говорит о перспективности применения предложенного метода для диагностики неисправностей электромеханических систем, однако существуют сложности его применения для встраиваемых бортовых систем диагностики вследствие необходимости обработки изображений. Требуется уточнение эффективности применения данного метода для диагностики неисправностей механического характера.

#### Благодарность

Работа выполнена в организации ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-11-2019-077 от 13.12.2019) в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218.

#### Библиографический список:

1. Калинов А. П., Браташ О. В. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2012. № 5. С. 43–51
2. Носов В. В. Диагностика машин и оборудования. СПб.: Лань, 2017. 376 с
3. С.А. Матвеев, Ю.А. Жуков, Е.Б. Коротков, О.В. Ширококов, М.И. Надежин, А.П. Ладугин Обзор методов диагностики электронасосных агрегатов спутниковых платформ / Радиопромышленность. 2020. Т. 30, № 3. С. 86–98.
4. Adam Glowacz, Zygfryd Glowacz Diagnostics of stator faults of the single-phase induction motor using thermal images, MoASoS and selected classifiers // Measurement. 2016. vol. 93. pp. 86-93
5. Cao Chuang, Zhang Wei, Wang Zhifu, Li Zhi The Diagnosis Method of Stator Winding Faults in PMSMs Based on SOM Neural Networks // Energy Procedia. 2017. Vol. 105. pp. 2295-2301
6. Yuanjiang Li, Yanbo Wanga, Yi Zhang, Jinglin Zhang Diagnosis of Inter-turn Short Circuit of Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Deep learning and Small Fault Samples // Neurocomputing. 2021. vol. 442, pp. 348-358.
7. Nyanteh Y., Srivastava S., Edrington C., Cartes D. A. Application of artificial intelligence to stator winding fault diagnosis in Permanent Magnet Synchronous Machines. Electric Power Systems Research, 2013, vol. 103, pp. 20–213
8. Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян, О.В. Ширококов, А.А. Киселев, М.И. Надежин Наземная система комплексной диагностики электромеханических устройств космических аппаратов // Радиопромышленность. 2019. Т. 29, № 4. С. 54–62
9. Convolution2dLayer Matlab Help Center // Документация программы Matlab®.

В наше время, в эпоху интернета, информационных технологий и глобализма есть потребность в хранении и обработке большого количества информации. Для этого используют базы данных, которые позволяют сортировать, редактировать и хранить информацию в больших объемах.

Для обеспечения одновременного доступа к данным множества пользователей, нередко расположенных достаточно далеко друг от друга и от места хранения баз данных, созданы сетевые мультиспользовательские версии БД, основанные на реляционной структуре. В них тем или иным путем решаются специфические проблемы параллельных процессов, целостности (правильности) и безопасности данных, а также санкционирования доступа.

По очевидным причинам, Российские компании столкнулись с необходимостью замены иностранной продукции, в том числе и программного обеспечения. Это коснулось и систем управления базами данных. Поэтому сегодня как никогда актуален вопрос замены зарубежных программ отечественными аналогами.

По архитектуре организации данных базы данных делятся на:

- иерархические – имеющие четкую структуру «родительских» и «дочерних» данных;
- реляционные – не имеющие иерархической структуры, оперирующие массивами данных строго определенного типа (чаще всего используется в деловой и коммерческой сфере). [1]

Реляционные базы данных состоят из таблиц, в которых записываются данные определенной категории

SQL (Structured Query Language — Структурированный язык запросов) — язык управления базами данных для реляционных баз данных. Сам по себе SQL не является Тьюринг-полным языком программирования, но его стандарт позволяет создавать для него процедурные расширения, которые расширяют его функциональность до полноценного языка программирования.

Язык был создан в 1970х годах под названием “SEQUEL” для системы управления базами данных (СУБД) System R. Позднее он был переименован в “SQL” во избежание конфликта торговых марок. В 1979 году SQL был впервые опубликован в виде коммерческого продукта Oracle V2. С тех пор были созданы еще несколько версий стандарта, некоторые из них повторяли предыдущие с незначительными вариациями, другие принимали новые существенные черты.

Несмотря на существование стандартов, большинство распространенных реализаций SQL отличаются так сильно, что код редко может быть перенесен из одной СУБД в другую без внесения существенных изменений. Это объясняется большим объемом и сложностью стандарта, а также нехваткой в нем спецификаций в некоторых важных областях реализации.

SQL создавался как простой стандартизированный способ извлечения и управления данными, содержащимися в реляционной базе данных. Позднее он стал сложнее, чем задумывался, и превратился в инструмент разработчика, а не конечного пользователя. В настоящее время SQL остается самым популярным из языков управления базами данных, хотя и существует ряд альтернатив.

SQL состоит из четырех отдельных частей:

- язык определения данных (DDL) используется для определения структур данных, хранящихся в базе данных. Операторы DDL позволяют создавать, изменять и удалять отдельные объекты в БД. Допустимые типы объектов зависят от используемой СУБД и обычно включают базы данных, пользователей, таблицы и ряд более мелких вспомогательных объектов, например, роли и индексы;
- язык манипуляции данными (DML) используется для извлечения и изменения данных в БД. Операторы DML позволяют извлекать, вставлять, изменять и удалять данные в таблицах. Иногда операторы select извлечения данных не рассматриваются как часть DML, поскольку они не изменяют состояние данных. Все операторы DML носят декларативный характер;
- язык определения доступа к данным (DCL) используется для контроля доступа к данным в БД. Операторы DCL применяются к привилегиям и позволяют выдавать и отбирать права на применение определенных операторов DDL и DML к определенным объектам БД;
- язык управления транзакциями (TCL) используется для контроля обработки транзакций в БД. Обычно операторы TCL включают commit для подтверждения изменений, сделанных в ходе транзакции, rollback для их отмены и savepoint для разбиения транзакции на несколько меньших частей.[2]

Следует отметить, что SQL реализует декларативную парадигму программирования: каждый оператор описывает только необходимое действие, а СУБД принимает решение о том, как его выполнить, т.е. планирует элементарные операции, необходимые для выполнения действия и выполняет их. Тем не менее, для эффективного использования возможностей SQL разработчику необходимо понимать то, как СУБД анализирует каждый оператор и создает план его выполнения.

Для работы с реляционными базами данных часто используется язык управления базами данных SQL, позволяющий организовать хранение и передачу данных в том числе в сети.

Различные таблицы в Базе данных могут быть связаны друг с другом различными типами отношений. Типы связи делятся на:

- 1) один к одному – одной записи в первой таблице соответствует единственная запись во второй таблице и наоборот.

2) один ко многим – одной записи в первой таблице соответствует несколько записей во второй таблице.

3) многие ко многим – одной записи в первой таблице соответствует несколько записей во второй таблице, а одной записи во второй таблице соответствует несколько записей в первой таблице. Это отношение реализуется с помощью создания третьей (связующей) таблицы, которая содержит одно поле, совпадающее с ключевым полем первой таблицы, и второе, совпадающее с ключевым полем второй таблицы.

Вот некоторые основные свойства SQL, обеспечивающие такой небывалый его успех в течение последних десятилетий:

- независимость от конкретных СУБД;
- межплатформенная переносимость;
- наличие стандартов;
- поддержка со стороны компании IBM;
- поддержка со стороны компании Microsoft;
- построение на реляционной модели;
- высокоуровневая структура, напоминающая естественный язык;
- возможность выполнения специальных интерактивных запросов;
- обеспечение программного доступа к базам данных;
- возможность различного представления данных;
- полноценность в качестве языка, предназначенного для работы с базами данных;
- возможность динамического определения данных;
- поддержка архитектуры клиент/сервер;
- поддержка приложений уровня предприятия;
- расширяемость и поддержка объектно-ориентированных технологий;
- возможность доступа к данным в сети;
- поддержка открытого кода;
- промышленная инфраструктура.[3]

В настоящее время существует необходимость больших объемов данных. Феномен Big Data требует наличия набора навыков, чтобы обрабатывать и извлекать информацию в любой области — медицина, образование, бизнес, спорт и т.д. На основании анализа Big Data принимают стратегические и обоснованные решения, которые могут повысить прибыль компаний и решить реальные проблемы. Например, с помощью SQL разрабатывают модели, которые делают пользование общественным транспортом простым и удобным. Этот язык программирования используется практически в любой сфере жизни человека, решает реальные проблемы и помогает создавать новые технологии.

SQL позволяет изучить набор данных, визуализировать его, определить структуру и узнать, есть ли какие-либо пропущенные значения. Благодаря нарезке, фильтрации, агрегации и сортировке SQL позволяет понять, как распределяются значения и как организован набор Data.[4]

Конечно, использование «чистого» SQL для хранения и организации крупных объёмов информации. Поэтому для организации сложных структур необходимы более простые в освоении и использовании СУБД на основе языка SQL. Одними из самых популярных систем являются СУБД Oracle, и Microsoft SQL.

В конце 2019 г. аналитический центр TAdviser опросил множество IT-директоров госучреждений, крупных государственных и частных компаний, какие СУБД они используют. Опрос показал, что в 81% организаций внедрена СУБД Oracle, в 64% – Microsoft SQL (во многих компаниях установлено ПО Oracle и Microsoft). [6]

В 2022 году, из-за ухода многих компаний с российского рынка, Oracle и Microsoft также остановили свою деятельность на территории России. По этой причине наиболее актуальным становится вопрос поиска альтернатив этим системам.

Разработкой СУБД на отечественном рынке занимается несколько компаний. Среди них Postgres Professional, «Ред софт», «Аренадата софт» и др. Все они работают на основе ПО с открытыми кодами. Например, Postgres Professional, основанная в 2015 г., создала свою систему Postgres Pro на основе кода PostgreSQL. Это международное ПО с общедоступными кодами, распространяемое по бесплатной лицензии. PostgreSQL развивается силами международного сообщества разработчиков – сотрудников различных компаний, специализирующихся на создании ПО, в том числе EDB, Microsoft, VMware и Amazon. Ключевая команда состоит из семи человек, а наибольший вклад в развитие системы внесли 39 специалистов из разных стран. Среди последних – сооснователи Postgres Professional Олег Бартунов и Федор Сигаев. [5]

PostgreSQL имеет ряд преимуществ по сравнению с другими СУБД:

- высокопроизводительные и надёжные механизмы транзакций и репликации;
- расширяемая система встроённых языков программирования. СУБД поддерживает Perl, Python, Java, PHP, C и другие;
- наследование;
- возможность индексирования геометрических (в частности, географических) объектов и наличие базирующегося на ней расширения PostGIS;
- встроённая поддержка слабоструктурированных данных в формате JSON с возможностью их индексации;

- расширяемость (возможность создавать новые типы данных, типы индексов, языки программирования, модули расширения, подключать любые внешние источники данных).[7]

О том, что PostgreSQL может стать достойным конкурентом СУБД Oracle, говорит и тот факт, что всего через год после создания компании Postgres Professional российский офис Oracle сделал рассылку российским IT-компаниям, озаглавленную: «Почему PostgreSQL не является аналогом СУБД Oracle», - где старался убедить в ненадёжности и несоответствии требованиям новую СУБД. [5]

Эти обвинения со стороны Oracle, конечно, не совсем безосновательны. Несмотря на очевидные бонусы, в виде дешевизны и независимости от санкций, PostgreSQL значительно проигрывает в производительности и отказоустойчивости, когда речь идёт о хранении и одновременном использовании больших объёмов данных.

Однако следует понимать, что эта СУБД – программа с открытым кодом, которая разрабатывается людьми со всего мира для широкого спектра задач, что наносит свой отпечаток на качество продукта. Чтобы улучшить параметры PostgreSQL, Postgres Professional и занимается разработками собственного программного обеспечения на его базе. Продукцией этой российской компании пользуются Сбербанк, Минфин, ФНС, Россельхозбанк и «Газпром нефть».[8]

«Ред софт» разработала свой продукт «Ред база данных» на основе Firebird – также СУБД с открытым исходным кодом. Среди клиентов компании – «Уралсиб», «ОТП банк», «Неофарм».[9]

«Аренадата софтвер» основывает свою платформу Arenadata DB на сразу нескольких ПО с открытым кодом: Greenplum, Hadoop, PostgreSQL и т.д. Таким образом можно использовать сильные стороны каждой системы. Arenadata DB используется «Газпром нефтью», «Ростелекомом» и даже Счётной палатой.[10]

У иностранных Систем управления базами данных на базе SQL есть российские аналоги, не уступающие по своим характеристикам зарубежным. Они могут заменить ушедшие с рынка иностранные СУБД и, благодаря сложившейся ситуации, как минимум, полностью их заместить, а, как максимум, выйти на мировой рынок.

#### Библиографический список

1. Информатика. Учебное пособие для среднего профессионального образования (+CD) / Под общ. ред. И.А. Чернукутовой – СПб.: Питер, 2005. – 272 с.: ил.
2. DDL, DML, DCL и TCL в языке SQL [электронный ресурс] // Skypro; URL: <https://sky.pro/media/gruppy-operatorov-sql/>
3. SQL - что это, и какие плюсы использования этого языка? [электронный ресурс] // Oracle patches; URL: <https://oracle-patches.com/db/sql/sql-%D1%87%D1%82%D0%BE-%D1%8D%D1%82%D0%BE-%D0%B8-%D0%BA%D0%B0%D0%BA%D0%B8%D0%B5-%D0%BF%D0%BB%D1%8E%D1%81%D1%8B-%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B8%D1%8F-%D1%8D%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D0%B0>
4. SQL простыми словами: основы и применение [электронный ресурс] // boodet; URL: <https://boodet.online/blog/sql-prostymi-slovami-osnovy-i-primeneni>
5. Как российский бизнес замещает СУБД Oracle и Microsoft [электронный ресурс] // Ведомости; URL: <https://www.vedomosti.ru/management/articles/2022/05/30/924353-biznes-zameschaet-subd-oracle>
6. Российский рынок баз данных ждет передел. [электронный ресурс] // TAdviser; URL: <https://www.tadviser.ru/index>.
7. About PostgreSQL [электронный ресурс] // Postgresql; URL: <https://www.postgresql.org/about/>
8. Postgres Pro [электронный ресурс] // Postgres Pro; URL: <https://postgrespro.ru>
9. О компании [электронный ресурс] // Ред софт; URL: [https://www.red-soft.ru/ru/about\\_about.html](https://www.red-soft.ru/ru/about_about.html)
10. Клиенты и проекты [электронный ресурс] // ARENADATA; URL: <https://arenadata.tech/projects/>

УДК: 004.048

#### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОМОЩИ КОСМОНАВТУ В ОРИЕНТИРОВАНИИ ВО ВРЕМЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*А.В. Кучков, Т.М. Сухов*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

**Введение.** Проведение работ на Международной Космической Станции (МКС) представляет собой ряд непростых для человека задач. Основной сложностью является борьба с вредными воздействующими факторами, такими как отсутствие пригодной для жизнедеятельности атмосферы, состояние невесомости, космическая радиация. Также одной из самых критичных сложностей, возникающих во время периодических работ вне модулей станции является пространственная дезориентация в условиях невесомости. Помимо всего прочего, меняющаяся со временем конфигурация станции (добавление новых модулей и навесного оборудования на поверхности МКС), а также постоянно расширяющийся спектр задач, решаемых командой, приводит к увеличению рисков неправильной работы с новым оборудованием. Для поставленных данных задач в АО «Лазерные Системы» создаётся и тестируется оборудование для скафандра – светильник информационный (проект «Прометей»).

В данной работе рассказывается о подходе к написанию программного обеспечения (ПО), решающего спектр задач машинного зрения для вычислительных модулей, входящих в модуль технического зрения (МТЗ) из состава проекта. В работе дано описание методики построения модульной архитектуры ПО, рассказано о разработке СТЗ для идентификации оборудования

космической станции и решениях, которые были применены для выполнения данной задачи в условиях ограниченного объема и, как следствие, вычислительной мощности.

**Аппаратная составляющая.** Комплекс состоит из 4 частей (см. рисунок 1): нашлемная часть, батарейный модуль, стационарный модуль и зарядное устройство.

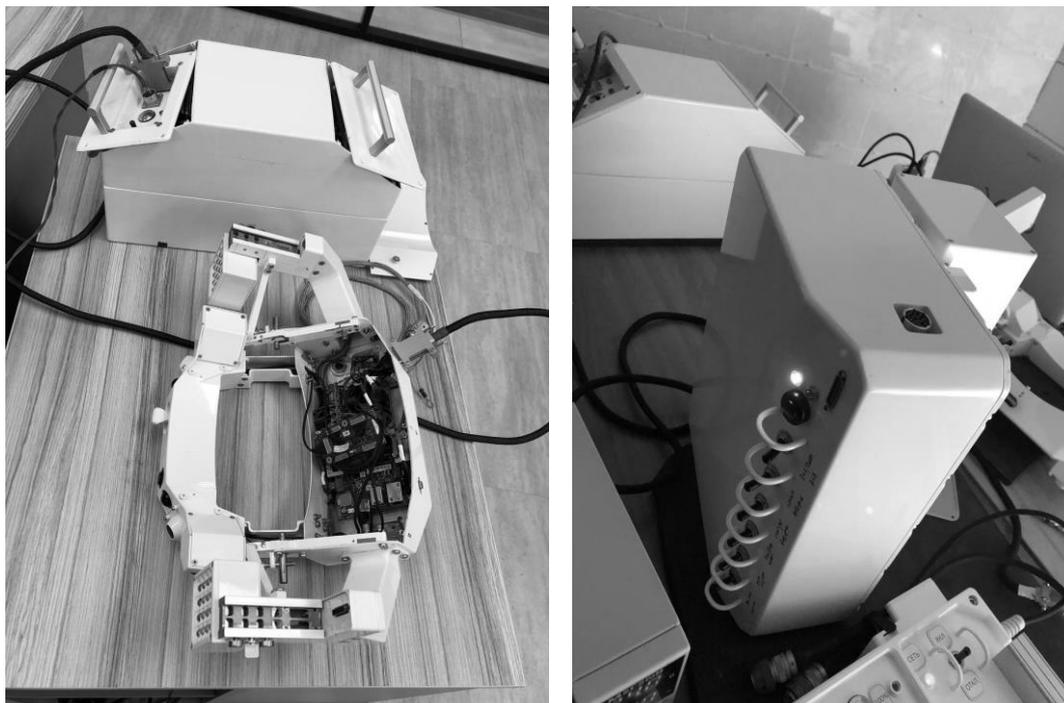


Рисунок 1. Слева – нашлемный модуль. Внутри корпуса находится NVIDIA Jetson TX2, плата управления питанием, 6 MIPI-CSI2 камер, а также два инфракрасных светодиода. Позади шлема находится аккумулятор. Справа – автономный модуль. Служит для управления модулем лазерного проектора и видеокамеры.

**Архитектура программного обеспечения.** Задачами программной части являются:

- Считывание данных с датчиков и сенсоров;
- Детектирование и трекинг заданного оборудования на изображениях с камер;
- Управление периферией: камерой МКО (модуль кругового обзора), лазером МЛП (модуль лазерного проектора);
- Поточное вещание с 6 камер по заданному адресу устройства.

Для разработки был использован следующий программный стек:

- Языки разработки – C++ (основная часть), Python (системные скрипты);
- Библиотеки: JetPack 4.5.1, Cuda 10.2, Cudnn 8.1, OpenCV 4.5.2, Jetson-Utils, Gstreamer-1.14.

Для полного использования ресурсов Jetson TX2 большинство расчетов производились на ядрах cuda– специализированных ядрах для численных расчетов от компании Nvidia. Также, в комплектации по умолчанию Jetson TX2 имеет два заблокированных Denver ядра, которые были нами использованы для расширения возможностей многопоточности. На каждый из ключевых блоков ПО приходится выделенный поток процессора. Помимо потоков процессора были использованы потоки GPU – cuda streams.

Функциональная схема взаимодействия компонентов ПО представлена на рисунке 2.

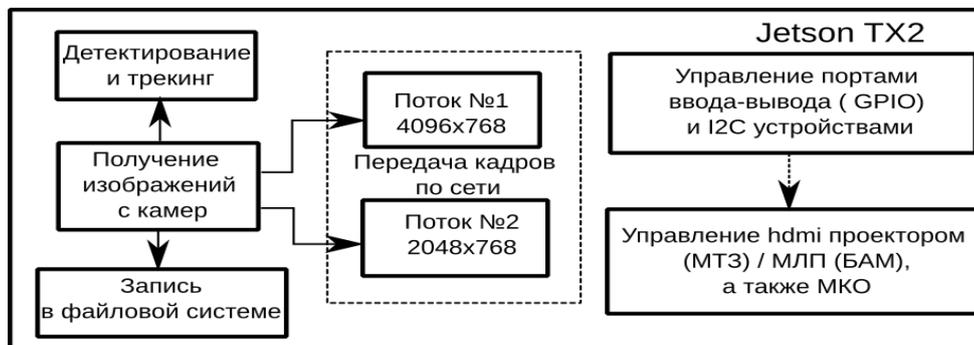


Рисунок 4 – Функциональная схема программного обеспечения

Соответственно, архитектура программного кода делится на 4 модуля:

- Модуль детектора и трекера;
- Модуль захвата кадров с 6 камер;

- Модуль управления RTP видеопотоком;
- Модуль управления портами ввода-вывода;
- Модуль графического интерфейса лазерного проектора.

Каждый из этих модулей является опциональным и в зависимости от конкретных задач может находиться как в включённом, так и в выключенном состоянии. В процессе разработки был использован отладочный набор для Jetson TX2 с 6 MIPI-CSI2 камерами от производителя e-CAM (показан на рисунке 3).

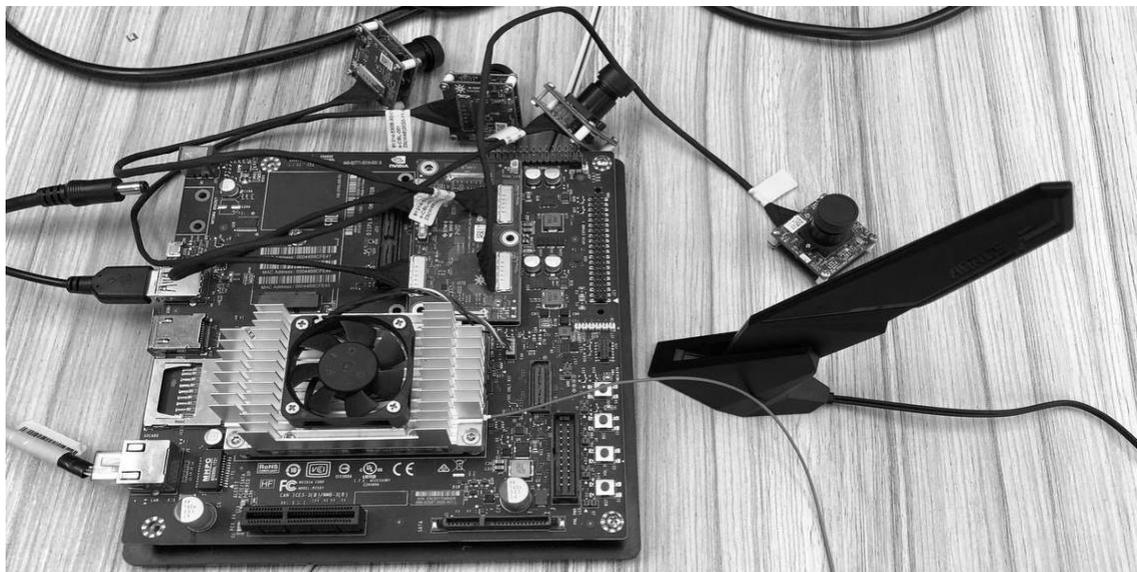


Рисунок 3: Отладочная плата для Jetson TX2 от NVIDIA

**Детектор.** Под задачей детектирования в контексте решаемых задач, понимается определение местонахождения предметов и инструментов на изображениях с камер, расположенных по периметру шлема. Нами было решено использовать детектор, выполненный в виде одностадийной нейронной сети. Ввиду наложенных ограничений, выбор существующих моделей происходил исходя из их времени выполнения. В связи с чем, были исключены двухшаговые модели из-за их низкой производительности. В конечном итоге, выбор происходил между архитектурами, приведёнными в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение характеристик моделей детекторов.

Модель	mAP@0.5	FPS
YOLOv4 [1]	64.9	31
YOLOv4-tiny [9]	40.2	371
YOLOv4-tiny-3l [9]	45.2	350
SSD[6]	48.5	22
RetinaNet [4]	53.1	11.1
RefineDet [5]	54.5	22.3

Единственными вариантами, пригодными к использованию в рамках поставленной задачи остались YOLOv4 и YOLOv4-tiny-3l ввиду высокой скорости работы и хорошей точности в своем классе. Для выбранных архитектур использовались одинаковые входные параметры: размер входного изображения 512x512, сравнение на наборе данных MS COCO. GPU GTX Titan X (Maxwell), Tiny версии отличаются от обычных сокращённым набором параметров. Данные взяты из источника [1].

Для определения оптимального в рамках поставленной задачи входного разрешения были протестированы различные конфигурации (см. таблицу 2). Также были испытаны две версии: с оригинальными якорными боксами, и боксами, вычисленными на основе собственного набора данных.

Таблица 2 – Результаты сравнения инференса на различных разрешениях.

Модель	416x416							mAp
	AP	Recall	F1	TP	FP	FN	IOU	
Yolov4*	0.95	0.97	0.96	253	12	7	0.84	0.994
Карабин	1			81	1			
Замок	1			77	4			
Свеча	0.99			95	7			8000
Yolov4*	0.96	0.98	0.97	255	12	5	0.87	0.993
Карабин	1			82	0			
Замок	1			78	2			
Свеча	0.99			95	10			7000
Yolov4-tiny	0.94	0.98	0.96	255	16	5	0.83	0.991

Карабин	0.98			82	1			
Замок	1			77	3			
Свеча	0.99			96	12			0
Yolov4-tiny*	0.94	0.98	0.96	254	15	6	0.84	0.986
Карабин	0.98			81	4			
Замок	1			78	3			
Свеча	0.99			95	8			7000
544x544								
Модель	AP	Recall	F1	TP	FP	FN	$\overline{IOU}$	mAp
Yolov4	0.85	0.97	0.91	252	44	8	0.73	0.994
Карабин	1			79	7			
Замок	1			77	6			
Свеча	0.99			96	31			8000
Yolov4*	0.93	0.97	0.95	251	20	9	0.81	0.991
Карабин	0.99			82	1			
Замок	1			74	6			
Свеча	0.99			95	13			8000
Yolov4-tiny	0.91	0.97	0.93	251	26	9	0.78	0.994
Карабин	0.99			79	3			
Замок	1			77	4			
Свеча	0.99			95	19			8000
Yolov4-tiny*	0.92	0.98	0.95	256	21	4	0.82	0.995
Карабин	1			82	3			
Замок	1			78	2			
Свеча	0.99			96	16			8000
512x512								
Модель	AP	Recall	F1	TP	FP	FN	$\overline{IOU}$	mAp
Yolov4	0.95	0.98	0.96	255	14	5	0.82	0.995
Карабин	1			82	2			
Замок	1			78	5			
Свеча	0.99			95	7			3000
Yolov4*	0.96	0.96	0.96	249	10	11	0.84	0.990
Карабин	0.98			78	1			
Замок	1			77	5			
Свеча	0.99			94	4			3000
Yolov4-tiny	0.94	0.97	0.96	253	16	7	0.84	0.994
Карабин	98.92			81	4			
Замок	0.99			77	4			
Свеча	99.72			95	8			6000
Yolov4-tiny*	0.96	0.98	0.97	255	11	5	0.86	0.992
Карабин	0.98			81	2			
Замок	1			78	2			
Свеча	0.99			96	7			6000

Значения mAP являются лишь сравнительными ввиду относительно малой выборки. Значения с курсивом (7000, 3000 и т. д.) означают количество итераций, на которых был достигнут наилучший по mAP результат. Модели с «\*» имеет собственные якорные боксы, вычисленные по нашему набору данных. Тестирование проводилось при пороге детектирования 25% и пороге IOU = 50%.

Приведённые данные свидетельствуют о необходимости использования собственных якорных боксов вместо стандартных. Для инференса на Jetson TX2 была выбрана конфигурация с размером изображения в 544 пикселя. По результатам тестов данная модель оказалась наиболее точной из конфигураций, работающих с частотой не менее чем 10 Гц. Большая точность при малой частоте не принесёт большого выигрыша ввиду малого охвата кадров.

Выбор лежал между стандартной версией YOLOv4-tiny и её модификацией с тремя детектирующими головками (как в более сложной версии – YOLOv4). По результатам тестов, было замечено, что добавление двух дополнительных головок не оказывает существенного влияния на производительность, в то время как диапазон размеров детектируемых объектов возрастает.

По итогам, была выбрана модель YOLOv4-tiny-3l. Для увеличения пропускной способности GPU была использована пакетная обработка с размером пакета в 4 изображения. В качестве предметов для обучения использовались три экземпляра оборудования: Карабин, Свеча и Замок.

Для обучения сети была собрана база, состоящая из 587 фотографий (см. рисунок 4), на которых отмечены: 179 Свечей (а), 202 Замка (б), 206 Карабинов (в) и. Разметка данных происходила в LabelStudio [10]. Инструментом анализа данных служил FiftyOne [11].

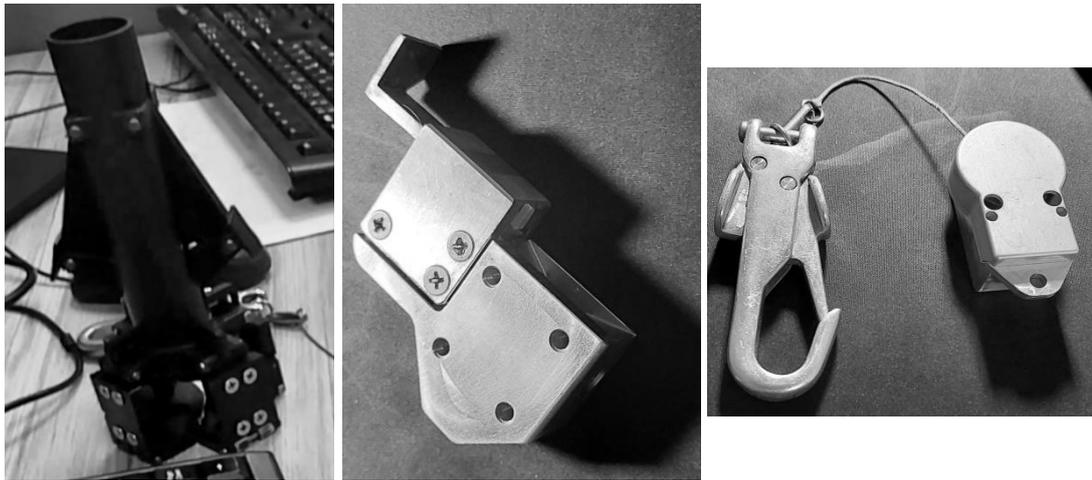


Рисунок 4 – Оборудование MKC: а – свеча, б – замок, в – карабин

Для сравнения инференса на различных разрешениях был проведён эксперимент с тренировкой в разных конфигурациях. Также были протестированы версии с якорными боксами по умолчанию и изменёнными. Вычисление якорных боксов для Yolov4-tiny происходило методом К-средних по всему обучающему набору данных.

При обучении использовались следующие параметры:

- Размер пакета: 64;
- Кол-во подразбиений: 16;
- Кол-во каналов изображения: 3 (RGB);
- Коэффициент моментума: 0.9;
- Коэффициент сокращения весов (weight decay): 0.0005;
- Коэффициент обучения: 0.00261;
- Количество итераций по данным: 10000.

Для искусственного увеличения разнообразия входных данных были использованы следующие техники аугментации:

- Вариация насыщенности:  $\pm 0.5$ ;
- Вариация экспозиции:  $\pm 0.5$ ;
- Вариация цветового оттенка:  $\pm 0.1$ ;
- Мозаичная аугментация;
- Аугментация размытием;
- Аугментация поворотом (90, 180, 270 градусов).

**Трекер.** В качестве трекера использовался метод SORT [2], являющийся Online-трекером. SORT основан на использовании фильтра Калмана и Венгерского алгоритма для выбора наиболее подходящих предсказаний. Данный выбор был продиктован балансом точности и времени выполнения. Как альтернативы рассматривались следующие варианты: DeepSort, OpticalFlow, FairMOT и TransMOT. Первый был отфильтрован ввиду высокой вычислительной сложности и долгого процесса разметки данных. Остальные не были взяты из-за низкой точности предсказаний.

Под задачей трекинга подразумевается отслеживание положений предметов в кадре, а также определение их перемещения между разными камерами. Трекер работает в паре с детектором. Детектор ищет предсказания, трекер делает их более плавными и усреднёнными, а также присваивает каждому обнаруженному предмету индекс, объекты с которым и отслеживаются в следующих кадрах.

Для улучшения качества трекинга были использованы следующие методы:

- Производилось усреднение классов объектов за последние 20 кадров, что позволило снизить коэффициент ошибочной классификации;
- Для срабатывания трекера был установлен минимальный порог детектирования в 3 последовательных кадра;
- Максимальное время жизни трекера без предсказаний с детектора было ограничено значением в 10 кадров.
- Возможность установки того или иного порога детектирования сильно зависит от скорости работы трекера. При малой скорости, вероятность набрать нужное число срабатываний за 1 секунду сильно уменьшается.

Ключевая задача – возможность исполнения всех функций, возложенных на ПО одновременно. А именно: препроцессинг кадров, детектирование и трекинг, передача данных по сети, сохранение видео в файлы, а также реагирование на события с датчиков и элементов управления. Для быстрой обработки кадров использовались cuda-потоки, которые выполнялись параллельно. Jetson TX2 имеет 6 ядер: 4 ядра ARM® Cortex®-A57 и два Nvidia Denver ядра, последние из которых по умолчанию отключены. Причиной этому является относительно высокая задержка при вызове cuda функций из данных ядер. Для обхода данной проблемы на Denver ядра были возложены функции, для выполнения которых не требовалось обращение к GPU: обработка событий от датчиков и управление

интерфейсом. Одной из главных особенностей платформы является унифицированная память. Данный тип памяти позволяет обходиться без процедур копирования между хостом и устройством.

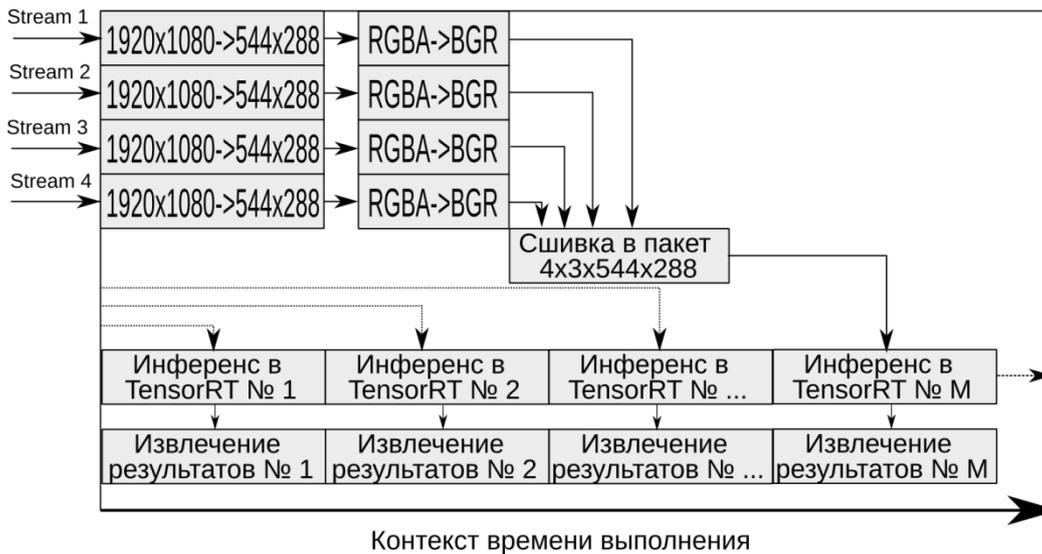


Рисунок 5 – Пайплайн обработки изображений в детекторе. Извлечённые результаты – классы и положения предметов, подвергаются дальнейшему сглаживанию с помощью трекера.

Параллельное выполнение этапов препроцессинга позволило сократить время инференса для 4 камер до 100 мс. Большую роль здесь играет пакетная обработка. Отдельные изображения сшиваются в одно большое, которое и поступает на вход детектору. Для операций над изображениями использовалась собственная ветки библиотеки jetson-utils [7], в который была добавлена возможность работы с cuda-потоками. Для лучшей параллельности выполнения трансформаций были использованы «pre-thread cuda»-потоки, область видимости которых ограничивается вызывающим их потока центрального процессора.

Детектор получает кадры из кругового буфера. В качестве движка инференса используется TensorRT, преимуществом которого является возможность оптимизации графа модели.

Похожим образом устроен модуль RTP передачи кадров – Рисунок 6.

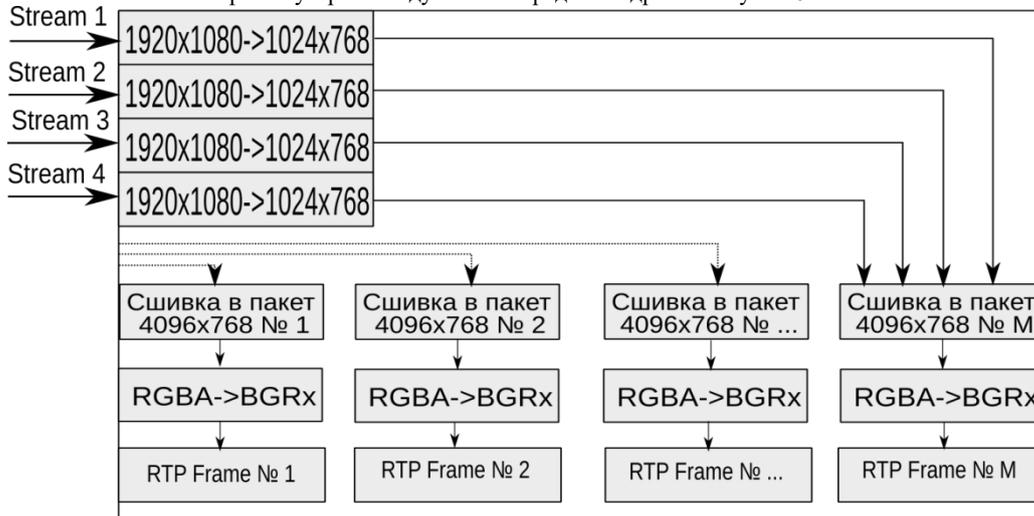


Рисунок 6 – Пайплайн передачи панорамы через сеть. Итоговая панорама из 6 камер имеет размер 4096x768 (с сохранением соотношения сторон), либо 4096x4096 (без сохранения соотношения сторон). Аналогичный вид имеет пайплайн для верхних двух камер.

**Заключение.** В статье был рассмотрен подход к построению программного обеспечения для встраиваемого устройства NVIDIA Jetson TX2 в рамках проекта «Прометей». Были выработаны оптимальные в рамках данной задачи методики работы с данными в GPU, инференса нейросетей с помощью параллельной и пакетной обработки, а также методы мультиобъектного многокамерного трекинга.

Выработанные методы позволили добиться следующих режимов работы:

- Инференс нейросети для 4 камер: 10 FPS;
- Передача кадров по RTP: 30 FPS;
- Сохранение в файл: 30 FPS (с задержкой около 1 с).

Помимо всего прочего, все изображения, поступающие на вход в детектор и RTP представляют собой версии с устранённой дисторсией объектива, внутренние параметры которого

были вычислены по модели Занга [8]. Дальнейшей работой по проекту является повышение надежности и удобства использования программного обеспечения, использование обновленных моделей нейронных сетей [3], а также проведение испытаний с параллельным устранением недостатков.

#### Библиографический список

1. Bochkoskiy A., Wang C. Y., Liao H. Y. M. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection //arXiv preprint arXiv:2004.10934. – 2020.
2. Bewley A. et al. Simple online and realtime tracking //2016 IEEE international conference on image processing (ICIP). – IEEE, 2016. – С. 3464-3468.
3. Wang C. Y., Bochkovskiy A., Liao H. Y. M. YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors //arXiv preprint arXiv:2207.02696. – 2022.
4. Lin T. Y. et al. Focal loss for dense object detection //Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – 2017. – С. 2980-2988.
5. Zhang S. et al. Single-shot refinement neural network for object detection //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2018. – С. 4203-4212.
6. Liu W. et al. Ssd: Single shot multibox detector //Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016. Proceedings, Part I 14. – Springer International Publishing, 2016. – С. 21-37.
7. NVIDIA Corp. Biblbrox/Jetson-utils — 2023. — Access mode: <https://github.com/Biblbrox/Jetson-utils>.
8. Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration //IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2000. – Т. 22. – №. 11. – С. 1330-1334.
9. Bochkoskiy A. YOLOv4-tiny released – 2020. – Access mode: <https://github.com/pjreddie/darknet/issues/2201>
10. Heartex. Label Studio – Open-Source data labeling platform. – Access mode: <https://labelstud.io/>
11. Voxel51. The open-source tool for building high-quality datasets and computer vision models. – Access mode: <https://docs.voxel51.com/>

УДК 004.891

### ПРОГРАММНАЯ РАЗРАБОТКА ПО РАСПОЗНАВАНИЮ И КЛАССИФИКАЦИИ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*А.Р. Глухов*

*Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого*

Машинное обучение является одним из самых интересных и наиболее быстро развивающихся направлений математики и программирования в двадцать первом веке в целом и в текущем десятилетии – особенно. Методы машинного обучения позволяют решать самые разнообразные задачи в статистике: прогнозирование, идентификация; в работе с изображениями: классификация изображений, распознавание образов, создание изображений по описанию; в лингвистике: анализ настроения текста, выделение смысла текста, генерация текста; в работе со звуком: распознавание нот, подавление посторонних шумов, создание новых произведений, распознавание голоса. Данная широкая сфера их применения и большой круг решаемых ими задач обусловлены их уникальным, в сравнение с обычными математическими функциями и преобразованиями, подходом: вместо того чтобы пытаться создать некое правило или формулу, по которым можно будет получить точный ответ, данные методы обозначают лишь общий набор правил своей работы, а для непосредственного решения задачи подстраиваются под исходный набор данных с целью получения наилучшего результата. Адаптация метода производится на основе некоей обучающей выборки, данные для которой составляются специалистом по данным и достаточно близко отражают свойства реальных значений, с которыми методу предстоит работать впоследствии. Данный процесс называют обучением и подразделяют на два вида: обучение с учителем и обучение без учителя. Конкретный тип обучения выбирается в зависимости от типа решаемой задачи. Для задач классификации, распознавания образов и генерации любого рода данных, таких как текст, изображения, звук, видео, – применяются методы обучения с учителем, которые предполагают наличие, кроме обучающей выборки, еще и результата, который исследователь хочет получить от сети для каждого объекта. Другим видом обучения является обучение без учителя, которое применяется в задачах кластеризации, идентификации, а также в компьютерных играх. Ключевым отличием от обучения с учителем является то, что в обучающих примерах не присутствуют правильные ответы для метода, а степень правильности ответа оценивается метрикой, вводимой исследователем.

Конкретными примерами применения методов машинного обучения могут служить искусственные нейронные сети. Данные сети создаются по принципу работы головного мозга и имеют в своем составе особые элементы, подарившие им название – нейроны. Нейроны в таких сетях рассматриваются не как физические нейроны, а как их упрощенная математическая модель. Такая модель представляет собой систему, включающую несколько основных элементов (см. Рисунок 1): синапса – канала, соединяющего нейроны друг с другом, умножающего проходящие через него числа на некоторое значение, называемое весом; сумматора – механизма нейрона, позволяющего ему работать с большим количеством входов одновременно за счет сложения всех входных сигналов; функции активации – математической функции, определяющей поведение нейрона после попадания сигнала на его вход.

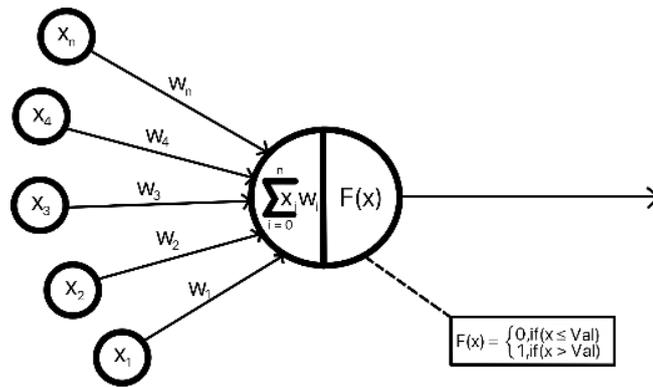


Рисунок 1 - Строение простейшего нейрона

При этом сами сети не имеют единого строения, а лишь подразделяются на различные типы в соответствии с ним. К основным типам нейронных сетей относят: сети прямого распространения, сверточные сети, рекуррентные сети, а также различные модификации нейросетей описанных типов. Самым простым примером нейросети может служить нейросеть прямого распространения (см. Рис. 2). Данный тип сети подразумевает, что нейроны одного слоя не имеют связей между собой, а связываются только с нейронами соседних слоев. Сети подобного типа применяются в основном в задачах классификации. Более сложным по строению является рекуррентная нейросеть (см. Рис. 3). Основным ее отличием от сети прямого распространения является то, что данная имеет связи нейронов одного слоя, или же зацикленные связи нейронов разных слоев, что позволяет достичь эффекта влияния предыдущих данных, уже обработанных сетью, на данные, обрабатываемые на текущей итерации. Данная особенность позволяет сети работать с временными рядами и сложными функциями. Основными задачами, решаемыми при помощи данного типа сетей, является прогнозирование, генерация различных типов данных: изображений, текстов, музыкальных композиций, видео. Наиболее сложной в своем первоначальном представлении является сверточная нейросеть (см. Рис. 4). Каждый нейрон данной сети имеет в своем составе, кроме привычных по другим типам элементов, еще несколько особенностей: матрица свертки – набор значений, умножающий всю матрицу входных значений на некоторую матрицу, или на матрицы меньшего размера, что позволяет выделять признаки из входного набора данных; механизм пулинга – особая функция, позволяющая сжать исходную матрицу до матрицы меньшего размера путем вычисления единственного значения для некоторого набора значений входной матрицы. Данный тип сетей лучше всего подходит для работы с двумерными и трехмерными данными, такими как звук или изображение, и применяется для распознавания образов.

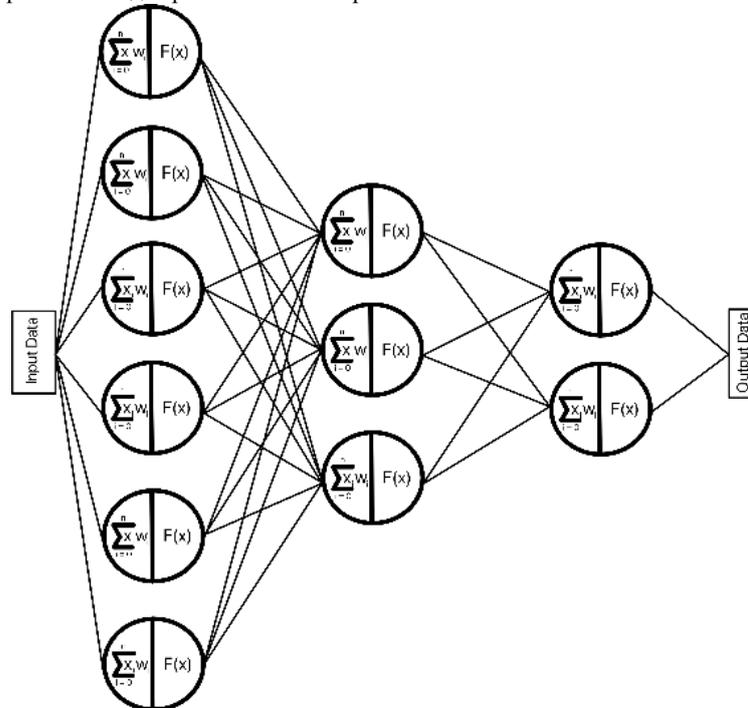


Рисунок 2 – Строение сети прямого распространения

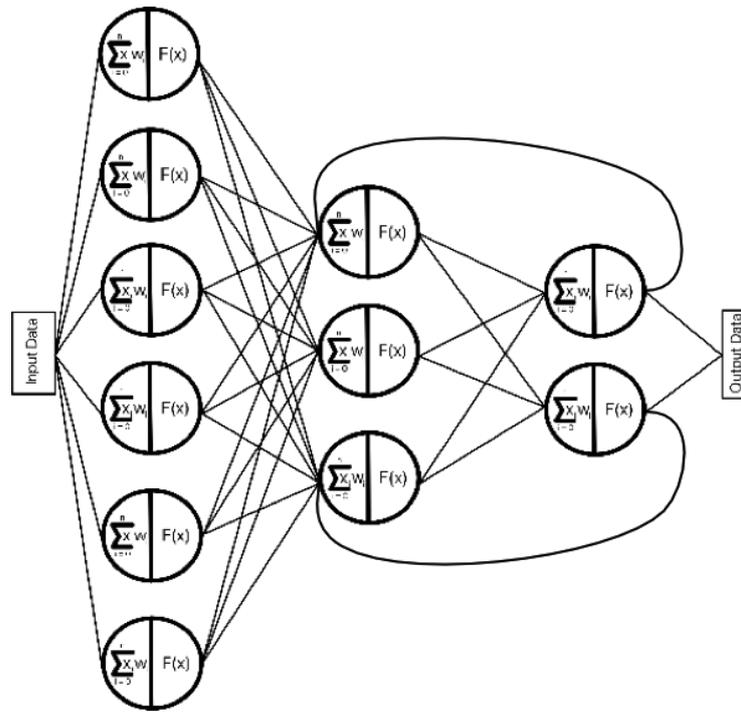


Рисунок 3 - Строение рекуррентной сети

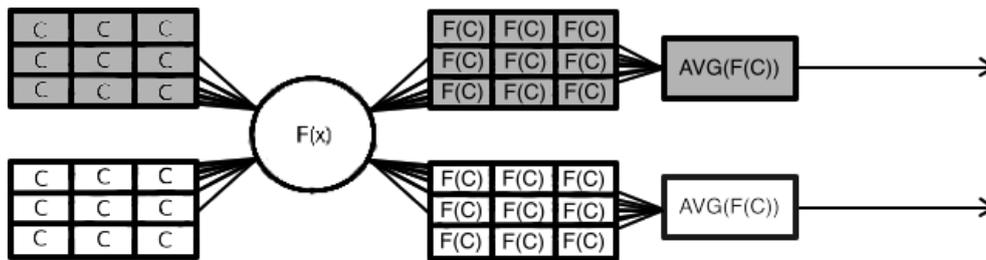


Рис.4 - Строение нейрона сверточной нейросети

Несмотря на все перечисленные различия обучение сетей может происходить при помощи единственного метода – метода обратного распространения ошибки. Данный метод ставит своей задачей корректировку весов сети таким образом, чтобы конечная ошибка всей сети уменьшалась для каждого последующего примера. Для решения данной задачи необходимо вначале провести эксперимент на любом из примеров обучающей выборки и получить ответ сети на него –  $O$ , после чего сравнить полученный результат с эталонным для данного примера –  $t$ , для чего использовать любую из функций оценки ошибок, например, метод наименьших квадратов:

$$E = \frac{1}{2}(t - o)^2$$

Далее на основе данных о весах сети –  $w_{i,j}$  можно будет оценить, насколько необходимо изменить конкретный вес:

$$\Delta w_{i,j} = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w_{i,j}},$$

где  $\alpha$  – множитель, определяющий скорость обучения. В формуле можно заметить производную, однако на практике чаще всего она вычисляется заранее и используется как изначально предопределенная функция от некоторых переменных. Зависит данная производная

$$\frac{\partial E}{\partial w_{i,j}} = \frac{\partial F(S)}{\partial S} * \frac{\partial E}{\partial o_j},$$

в первую очередь, от используемой внутри нейрона функции. Примем за таковую в данном рассмотрении сигмоидальную функцию:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}},$$

для которой производная будет вычисляться как частная от выхода сети:

$$S_j = \sum_i w_{i,j} x_i \text{ и будет равняться:}$$

$$\frac{\partial F(S)}{\partial S} = \frac{-1}{(1+e^{-S})^2} * \frac{\partial(1+e^{-S})}{\partial S} = \frac{-1}{(1+e^{-S})^2} * (-e^{-S}) = \frac{e^{-S}}{(1+e^{-S})^2} = \frac{1}{1+e^{-S}} - \frac{1}{(1+e^{-S})^2} = F(S) - F(S)^2.$$

Еще одна производная, которую нужно вычислить, – производная ошибки по выходу:

$$\frac{\partial E}{\partial o_j} = \frac{\partial}{\partial o_j} \frac{1}{2}(t_j - o_j)^2 = -1 * (t_j - o_j).$$

Затем для получения конечной малой дельты изменения текущего нейрона необходимо перемножить полученные производные, учитывая тот факт, что  $S_j, o_j$  в данном случае равны, получим:

$$\delta_j = \frac{\partial E}{\partial o_j} * \frac{\partial F(o_j)}{\partial o_j} = -1 * (t_j - o_j) * (o_j - o_j^2) = (o_j - t_j)(o_j - o_j^2),$$

однако данное представление  $\delta_j$  справедливо только для нейронов последнего – выходного слоя, для нейронов же более высоких слоев  $\delta_j$  будет зависеть также от влияния нейронов следующих слоев, связанных с данным:

$$\delta_j = (o_j - o_j^2) * \sum_{k \in \text{children}(j)} \delta_k w_{j,k}.$$

В общем случае, финальная дельта, на которую необходимо изменить корректируемый вес, будет получаться как:

$$\Delta w_{i,j} = -\alpha * \delta_j * o_i,$$

а конечное значение веса находится из предыдущего как

$$w_{i,j}(n+1) = w_{i,j}(n) - \Delta w_{i,j}(n+1).$$

В результате работы данного метода становится возможным обучение сетей различных типов, для некоторых из которых он обременяется дополнительными вычислениями или модификациями имеющихся, однако, в целом, сохраняет свою идею.

На данном этапе были рассмотрены нейросети и их обучение с учителем, однако нейросети занимают малую часть методов машинного обучения. Большой интерес представляют другие математические методы, относящиеся к данной категории. Одним из таких методов является метод кластеризации Affinity Propagation. Данный метод представляет особый интерес, т.к. он является одним из наиболее гибких методов машинного обучения, цель которых – кластеризация. Гибкость метода отражается отсутствием необходимости в задании начального количества кластеров, а также возможностью различных условий прекращения работы алгоритма. К несомненным преимуществам метода можно отнести то, что он реализуется на базе матриц и основанных на них достаточно примитивных вычислениях и преобразованиях, что позволяет легко реализовать его в любом языке программирования. Метод заключается в постоянном обновлении двух основных матриц: матрицы ответственности, определяющей степень того, насколько тот или иной кластеризуемый элемент «хочет», чтобы другой был центром его кластера; матрицы доступности, определяющей то, насколько кластеризуемый элемент «хочет» быть центром кластера. Кроме данных матриц также присутствуют еще две: матрица схожести, определяющая то, насколько близки элементы друг к другу; матрица критерия – конечная матрица, определяющая то, к какому кластеру отнесется каждая точка в конечном итоге. Первой вычисляется матрица схожести, как расстояние между всеми парами точек, в качестве конкретной функции расстояния может быть рассмотрено расстояние Евклида:

$$D_{i,j} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{i,k} - x_{j,k})^2},$$

при этом расстояние элемента самого до себя считается равным максимальному из всех вычисленных расстояний, а все значения берутся со знаком «-». На ее основе вычисляется матрица ответственности, как элемент из матрицы схожести с соответствующими индексами минус элемент с максимальной суммой значений матриц ответственности и доступности в соответствующей строке:

$$R_{i,j} = S_{i,k} - \max_{k' \neq k} (A_{i,k'} + S_{i,k'}),$$

при этом на первой итерации матрица  $A$  считается заполненной нулями. Матрица доступности вычисляется различно для диагональных  $A_{i,i}$  и остальных элементов  $A_{i,j}$ , для первых значения получаются как сумма всех положительных элементов столбца матрицы ответственности:

$$A_{i,i} = \sum_{i' \neq i} \max(0, R_{i',i}),$$

для последних – как собственная ответственность элемента плюс все положительные элементы соответствующего столбца:

$$A_{i,j} = \min(0, R_{j,j} + \sum_{i' \neq i,j} \max(0, R_{i',j})).$$

Финальная матрица – матрица критерия, вычисляется как сумма соответствующих элементов матриц ответственности и доступности:

$$C_{i,j} = A_{i,j} + R_{i,j},$$

показывает то, к какому кластеру относится каждый элемент, при этом элементы относятся к одному классу, если для них получились одинаковые значения критерия при последовательном рассмотрении максимальных элементов столбцов. Метод может продолжать свою работу или до достижения необходимого количества кластеров, или до достижения определённого количества итераций, или до того момента, пока распределения перестанут меняться от одной итерации к другой.

После рассмотрения такого интересного и мощного метода машинного обучения и обучения нейросетей, можно задаться вопросом: почему бы не использовать данные методы вместе, объединив сети различных типов для решения задач. Данное объединение позволило бы достичь большей точности работы и избавиться от присущих классическим математическим методам больших объемов сложных вычислений, почти не потеряв при этом в точности и нивелировав имеющиеся недостатки каждого метода. Оказывается, подобный метод также имеет место в современной теории машинного обучения и носит название метода ансамблирования. Этот метод предполагает использование множества методов машинного обучения для решения одной глобальной задачи. В основном, он применяется с нейросетями, однако далеко не всегда, т.к. более простые методы, хоть зачастую и не

способны обеспечить сопоставимую точность в ряде специфичных задач, требуют куда меньше обучения и данных для него. Суть метода заключается в применении нескольких моделей для достижения более высокой точности работы, однако конкретные пути достижения этой цели бывают разные. Всего выделяют три основных вида ансамблирования: бэггинг – самый простой вид ансамблирования, при котором вместо реализации большого количества итераций обучения модели на огромной обучающей выборке, берется множество моделей, которые обучаются каждая на своем небольшом фрагменте данных, после чего результаты их работы складываются, и из них вычисляется среднее арифметическое, которое считается выходом всей системы; бустинг – вид ансамблирования, при котором используется множество однотипных моделей, данные из которых поступают последовательно из одной в другую, и каждая из которых обучается таким образом, чтобы нивелировать самые серьезные ошибки предыдущей; стекинг – метод, при котором финальное решение ансамбля формируется на основе модели, обученной на комбинации обучающей выборки и результатов работы моделей ансамбля. Конкретный тип ансамблирования подбирается в зависимости от задачи, временных и ресурсных ограничений.

В результате рассмотрения уже достаточно обширного набора методов машинного обучения можно понять, почему оно столь интересно в настоящее время: его методы позволяют решать слабо формализованные задачи; оно способно подстраиваться под задачи и давать решения быстрее, чем классические математические методы; оно не требует больших вычислительных мощностей на этапе применения; оно далеко не всегда требует больших объемов данных и времени для обучения. Все это бесспорные плюсы, однако многие методы кажутся очень хороши в теории и оказываются неприменимы на практике по различным причинам, из-за чего необходимо рассмотреть пример их применения. В качестве такового выступит создаваемая нами в текущий момент разработка, призванная выполнять распознавание и классификацию музыкальных эффектов. Однако, прежде чем перейти непосредственно к ней, необходимо понять, в чем заключается данная задача, в чем ее сложность и почему в ней необходимы нейросети. Музыкальные эффекты являются особыми эффектами, преобразующими входной сигнал инструмента или голос с целью достижения особого звучания. Выходной сигнал таких эффектов может быть результатом зацикливания, смещения по фазе, ограничения по амплитуде или другого преобразования, при этом зачастую на практике создания музыкальных композиций продюсеры применяют не один, а множество подобных эффектов. Данный аспект, кроме влияния на исходное звучание, влияет также на сложность задачи, существенно ее увеличивая, т.к. при формировании звука эффектами важны не только присутствие и настройки каждого эффекта, но и их положение в цепи. Решение данной задачи классическими методами математики не представляется возможным, т.к. на текущий момент не существует методов, способных дать ее решение. Среди возможных методов решения можно привести методы экспертных оценок, или применение нейросетей и других методов машинного обучения. Метод экспертной оценки является не применимым для реализации программного продукта в чистом виде, поэтому рассмотреть стоит лишь машинное обучение.

Для того, чтобы достичь финальную цель – распознать и классифицировать эффекты, необходимо подробнее остановиться на рассмотрении понятия «распознать и классифицировать» Для нашей задачи можно принять следующую формулировку: распознать и классифицировать эффекты означает установить их точный состав, их позиционирование в цепи эффектов, а также настройки каждого эффекта. Отсюда делаем вывод, что требуется решить не одну большую задачу, а три отдельные подзадачи: установить состав эффектов; установить позицию каждого эффекта; установить настройку каждого эффекта. Следует также уточнить, что в рамках данной разработки не ставится задачи проводить распознавание и классификацию всех существующих эффектов, а также очень подробной классификации их настроек, т.к. работа проводится с целью доказательства возможности создания подобного инструмента. Всего требуется создать приложение, позволяющее распознавать и классифицировать 5 эффектов с 3 настройками, каждая из которых может иметь 5 возможных положений. В случае решения данной задачи напрямую при помощи единственной нейросети ее размер был бы достаточно внушительным, т.к. лишь количество нейронов на выходном слое равнялось бы 25 (5 возможных эффектов, 5 возможных позиций для каждого эффекта, 3 настройки для каждого из 5 эффектов), тогда как количество необходимых для рассмотрения состояний подобной сети было бы равно 1171.875 триллионов ( $2^5$  вариантов присутствия эффектов в цепи,  $5!$  вариантов расположения эффектов в цепи,  $5^{15}$  возможных вариантов комбинаций настроек эффектов, и все эти числа необходимо перемножить между собой!), что даже при условии рассмотрения одного обучающего примера для одного возможного исхода остановило бы разработку на неопределенный, но определенно точно крайне долгий период. Для того, чтобы все же решить данную задачу необходимо решать каждую подзадачу отдельно. В таком случае для каждого из этапов: установления состава, установления позиции и установления настройки эффектов, – потребуется рассмотреть всего 32, 326 (появляется необходимость учитывать отсутствие/присутствие эффекта) и 30 517 578 вариантов соответственно. При этом, т.к. задачи являются частью одной большой задачи, то связь между ними все же должна присутствовать, для этого в решении будет применен метод ансамблирования – стекинг. Прежде чем перейти к подробному описанию решения, отметим, что последняя подзадача в виду своей массивности будет также решаться при помощи отдельного уровня ансамблей, для того чтобы заменить поиск настройки всех эффектов в комплексе, поиском настройки каждого эффекта по отдельности, то есть рассматривать 125 вариантов для каждой сети и 625 вариантов всего, вместо 30.518 миллиардов.

После понимания этапов работы и примерного состава сетей необходимо более подробно описать их типы, а также преобработку данных, необходимую перед их непосредственным функционированием. Для решения первой подзадачи – распознавания состава эффектов, – будет

применяется сеть прямого распространения с сигмоидальными нейронами, что обусловлено задачей, которая перед ней стоит (классификация), и набором данных, с которыми ей предстоит работать (синусоида звука, поступившего на вход). Для решения второй подзадачи – распознавания порядка эффектов в цепи, – будет также применена нейросеть прямого распространения с сигмоидальными нейронами, т.к. решаемая ею задача и формат значений, с которыми она должна работать (действительные числа), совпадают с таковыми у первой сети. В третьей подзадаче будет логичнее применять нейросеть другого типа – сверточную, т.к. задача, которую ей требуется решить, куда сложнее предыдущих, с точки зрения обучения, а применение слоев свертки и пулинга поможет ускорить процесс обучения и сократить необходимый для него набор данных, а также вероятнее всего повысить качество последующего применения. Однако, как было отмечено ранее, нейросети не могут работать с чистым звуком в его первоначальном представлении, необходима его первичная предобработка. Предобработка звука необходима для получения более сжатой информации о нем, чем лишь его звуковая волна. В качестве предобработки в данной задаче будут применены такие математические методы как оконное преобразование Фурье с окном Хамминга для вычисления спектра звука, а также формула:  $C_s(q) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ln|\Phi_s(jw)|^2 e^{jwq} dw$ , где  $\Phi_s(jw)$  – спектр сигнала, для вычисления кепстра, полученного спектра; и МЕЛ-преобразование, для нормализации полученного кепстра относительно восприятия звука человеческим ухом.

Составим список конкретных задач, которые необходимо решить для достижения конечной цели:

1. Разбить исходный файл на фрагменты равной длины по 10 миллисекунд;
2. Применить метод кластеризации Affinity Propagation для определения в наборе входных данных того, к какой фазе звукового сигнала относится каждый из них;
3. Объединить фрагменты в подмассивы согласно результатам кластеризации;
4. Вычислить для каждого подмассива, полученного на предыдущем этапе, спектр при помощи оконного преобразования Фурье с фиксированным шагом окна;
5. Вычислить кепстр звука на основе полученного спектра и сохранить 200 его основных значений для каждого фрагмента;
6. Провести над каждым фрагментом МЕЛ-преобразование;
7. Пропустить каждый фрагмент через нейросеть, решающую подзадачу определения состава эффектов;
8. Записать ее результат в массив результатов, а также дополнить входной массив для следующей нейросети данным результатом;
9. Пропустить каждый фрагмент через нейросеть, решающую подзадачу определения последовательности фрагментов в цепи;
10. Записать ее результат в массив результатов, а также дополнить входной массив для следующего ансамбля сетей данным результатом;
11. Пропустить каждый фрагмент через каждую из сетей, решающих подзадачу определения настроек каждого эффекта;
12. Записать результат в массив результатов;
13. Провести кластеризацию результатов методом Affinity Propagation для объединения похожих результатов в группы;
14. Сохранить результат распознавания в базе данных;
15. Вывести результат на экран;

Для реализации описанного алгоритма и всех необходимых для его работы составляющих был выбран язык Swift версии 5.7.3. Выбор данного языка обусловлен многими причинами, основными из которых являются: кроссплатформенность, возможность запуска библиотек и бэкенд решений без изменений на таких платформах, как Windows 10, Ubuntu Linux, CentOS Linux, Amazon Linux; отлично подходящая для решения описанной задачи объектно-ориентированная парадигма языка; встроенный в язык фреймворк для работы с базами данных без дополнительных СУБД – Core Data; высокая скорость; защищенность. Для реализации и обучения нейросетей был использован фреймворк собственной разработки. Для решения описанных задач на текущий момент были реализованы и обучены две из запланированных семи сетей: нейросеть, решающая подзадачу определения присутствующих в сигнале эффектов: нейросеть прямого распространения, имеющая в своем составе 3 слоя – 1 входной слой, имеющий 200 нейронов, 1 скрытый слой, содержащий 32 нейрона и 1 выходной слой, содержащий 5 нейронов. Обучение данной сети проводилось на обучающей выборке из 2496 примеров при помощи стохастического градиентного спуска и обратного распространения ошибки. В результате после 30 000 эпох была достигнута точность в 85.96756% на тестовой выборке. Дальнейшее обучение данной сети не проводилось по причине невозможности на текущей обучающей выборке и отсутствия необходимости увеличения последней по причине и без того высокого результата точности. Второй из реализованных сетей стала сеть, решающая подзадачу определения порядка эффектов в цепи. Данная сеть содержит в своем составе 205 нейронов на входном слое (изначальный набор данных + результат работы первой сети), 32 нейрона на скрытом слое и 5 слоев на выходном слое, все из которых также являются сигмоидальными. Для обучения использовался метод стохастического градиентного спуска и обратного распространения ошибки на обучающей выборке из 5216 примеров. В результате 25000 эпох была получена точность работы в 73.2347% на тестовой выборке. Дальнейшее обучение не представлялось возможным из-за начавшегося переобучения. Разработка и сбор данных для обучения сетей, решающих подзадачу распознавания настроек эффектов, ведется в данный момент и планируется к завершению в середине следующего года.

Описанные компоненты позволят реализовать приложение на языке Swift (UIKit), способное распознавать и классифицировать музыкальные эффекты при помощи ансамбля нейронных сетей, построенного по методу стекинга, кепстерного анализа и машинного обучения Affinity Propagation.

УДК 629.7.05:004.773

## ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СООБЩЕНИЙ В МЕЖПРОЦЕССНЫХ ОБМЕНАХ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

С.А. Ильин<sup>1,2</sup>, А.А. Шевчик<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>. Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

<sup>2</sup>. АО «Концерн «Гранит-Электрон»

Год от года задачи, возникающие перед инженерами, становятся более трудными и комплексными. Создаваемые для их решения системы также становятся сложнее: состоят из большого числа модулей и подсистем, получают информацию с датчиков различной физической природы, взаимодействуют с многочисленными внешними устройствами. Для функционирования таких систем крайне важным оказывается вопрос обмена данными между вычислителями и процессами, особенно когда речь идет про высокодинамичные объекты управления. В настоящей работе исследуются возможные способы формирования и обработки сообщений в межпроцессных обменах бортовых информационно-управляющих систем.

Естественным подходом к решению задачи обмена данными представляется использование технологии сокетов (англ. *socket* – разъем). Сокет – программное средство для реализации межпроцессного взаимодействия (англ. *Inter Process Communication (IPC)*), исполняющегося на одной или разных ЭВМ внутри одной сети [1].

Сокет вводится в рамках некоторой абстракции, подразумевающей конкретную структуру адресации и множество протоколов – домена. Сокеты созданы для облегчения процесса написания программного обеспечения (ПО), поскольку разработчику не требуется изучать тонкости использования протоколов обмена: эту роль, при использовании сокетов, на себя берет компьютер. Сокет представляет собой пару, состоящую из IP-адреса и номера порта. Порт представляет собой 16-битное число, а адрес, в случае IPv4, 32-битную структуру из четырех слов, а, в случае IPv6, 128-битную конструкцию. Она используется для передачи данных в сети или передачи информации из одной программы в другую, при этом программы, использующие сокеты для обмена, могут находиться на одном компьютере, ПО может быть реализовано на виртуальной машине, а также ПО может быть реализовано в разных операционных системах, например, Windows, ОС Linux, ОСРВ QNX, и быть написанным на различных языках программирования. Программный интерфейс сокетов описан в стандарте POSIX.

Наиболее распространены в настоящее время два протокола передачи информации: TCP (англ. *Transmission Control Protocol* – протокол управления передачей) и UDP (англ. *User Datagram Protocol* – протокол пользовательских датаграмм). При обмене по первому протоколу после отправки пакета данных происходит ожидание информации о получении и в случае необходимости повторная отправка утраченных фрагментов сообщения. Такой подход наиболее часто используется в тех сферах, где остро стоит вопрос целостности и сохранности информации. По TCP-протоколу, например, производится отправка электронных писем и работа веб-сайтов. Пример обмена данными между клиентом и сервером по TCP-протоколу представлен на рисунке 1.

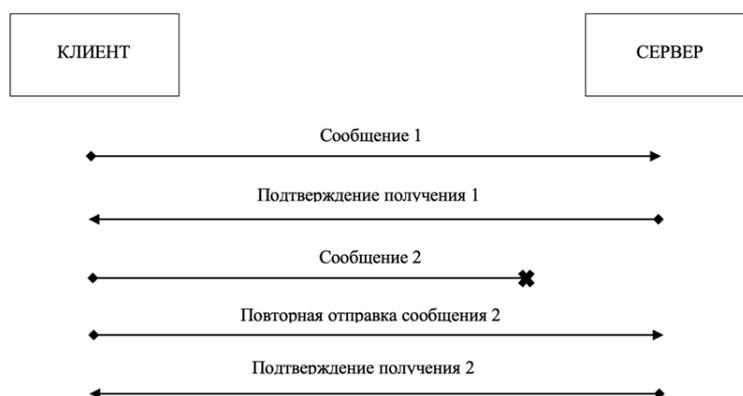


Рис. 1. Пример обмена данными по TCP-протоколу

На рисунке 1 проиллюстрирован случай отправки двух сообщений, причем второе сообщение не было доставлено. По истечении времени ожидания подтверждения второе сообщение было отправлено повторно.

Меры для повышения целостности передачи информации по TCP-протоколу значительно ограничивают скорость обмена данными. Причем, с увеличением количества недоставленных сообщений общее время передачи значительно вырастет, что можно видеть на рисунке 1. В случаях, когда скорость передачи информации имеет решающее значение применяется UDP-протокол. Он относится к так называемым датаграммным протоколам, то есть протоколам, не требующим предварительного соединения и подтверждения о получении информации. Новый пакет данных

просто отправляются по указанному адресу без ожидания статуса предыдущего пакета. Пример обмена данными между клиентом и сервером по *UDP*-протоколу представлен на рисунке 2.

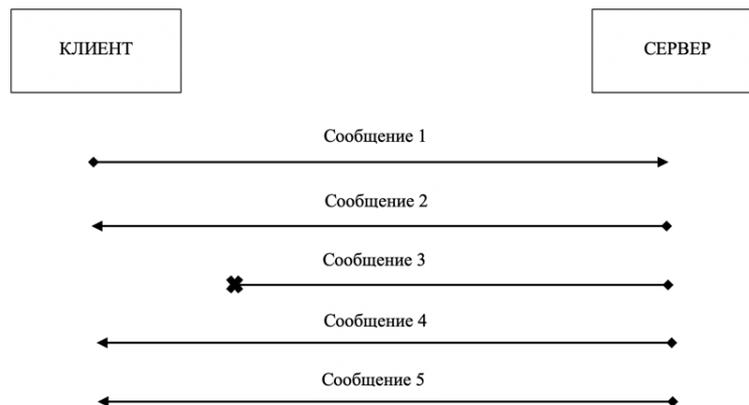


Рис. 2. Пример обмена данными по *UDP*-протоколу

В качестве существующих примеров использования *UDP*-протокола можно привести передачу потоковых видео и системы реального времени.

Изложенные выше принципы и подходы к формированию, передаче и обработке сообщений были использованы при разработке специального ПО (СПО) [2]. Данное СПО используется для формирования входных параметров вычислительным модулям, реализующим бортовые алгоритмы БЦВМ. Обмен данными реализован в соответствии с протоколами информационного взаимодействия с БЦВМ, имитируя штатный обмен между вычислителями бортовых алгоритмов управления движением, конечного участка динамики управления, моделей бортовых датчиков/измерителей, телеметрической системой, наземной аппаратурой систем управления. Также может быть имитирована работа бортовых вычислительных средств [3].

При помощи СПО решается задача постепенного создания математической модели бортовой информационно-управляющей системы. Ввиду сложности этой системы, производится ее декомпозиция и представление в виде отдельных смысловых блоков. Каждый блок описывает либо модуль системы, либо датчик, либо набор связанных по смыслу алгоритмов. Также выделяется блок, приближенно описывающий внешнее окружение. Каждый блок может быть описан математически, но для полноценного представления всей бортовой информационно-управляющей системы этого недостаточно. Блоки взаимодействуют между собой: выходные (вычисленные) параметры одного блока являются входными для другого. Так, например, блок датчика обычно не нуждается в параметрах других блоков, однако многие блоки будут использовать «моделируемые» таким датчиком значения. То же, что и про блок датчика, можно сказать и в отношении модели окружающей среды. Значит, для решения задачи необходимо реализовать модель обмена данными между блоками. Математически в последовательно выполняемой задаче это сделать значительно труднее, чем реализовать многопроцессность программно, поэтому на этом этапе крайне удобно становится использовать СПО. Общая логика анализа системы сохраняется, однако в СПО смысловые блоки будут иметь вид запускаемых процессов.

Разрабатываемое СПО запускает несколько процессов, взаимодействующих друг с другом с помощью *IPC* “*socket*” (*UDP*-протокол, домен *AF\_INET*). Процессы имитируют работу бортовых датчиков, БЦВМ бортовых алгоритмов управления движением, реализуют линеаризованную модель динамики движения объекта управления, описанного как твердое тело, начиная с участка равномерного и прямолинейного движения на постоянной высоте [2], в т.ч. имитируют передачу ТМ-данных. Характер ТМ-данных, а также необходимость работать с ними в режиме реального времени (или по возможности близкому к нему режиму) выступает одним из доказательств необходимости использования именно *UDP*-протокола.

При реализации обмена с помощью сокетов вводится клиент-серверная модель. Клиент – участник информационного обмена, отвечающий за подключение к серверу с известным *IP*-адресом и номером порта. Сервер принимает подключение и начинает процесс двунаправленного обмена данными, который производится по заранее определенным правилам – протоколам. Клиенты используют только клиентские сокет, в то время как серверные приложения используют и клиентские и серверные сокет. В момент обмена используется сокет программы отправителя и программы получателя. Для создания нового сокета нужно выполнить некоторые действия: инициализировать новый сокет и указать для сокета *IP*-адрес, после этих действий можно получать и отправлять данные с этого сокета. К одному серверу может подключаться несколько клиентов, это происходит, потому что сервер при запросе на подключение к сокету создает его копию и запоминает какая копия отвечает за какое подключение, при этом изначальный сокет не изменяется.

Поскольку в разрабатываемом СПО происходит взаимодействие некоторого набора программ, то для более быстрого и удобного добавления новых модулей был создан «шаблон» интерфейсной части обмена бортовых приборов. Шаблон представляет из себя заготовку, которая может использоваться в связке со всеми остальными процессами СПО после незначительной настройки и добавления вызова соответствующих функций, за которые отвечает вводимый модуль.

Таким образом, СПО позволяет реализовать создание и уточнение математической модели бортовой информационно-управляющей системы путём присоединения бортовых версий ПО к набору существующих моделей датчиков и окружения.

В настоящий момент СПО реализовано на одном персональном компьютере с операционной системой *Windows*. Однако в дальнейшем возможно задействование большего числа компьютеров и переход к кроссплатформенной реализации с использованием других операционных систем, например, ОС *Linux*, ОСРВ *QNX*. В том числе в перспективе возможно применение виртуальных машин.

В настоящей работе были исследованы возможные способы формирования и обработки сообщений в межпроцессных обменах бортовых информационно-управляющих систем, проанализированы и сопоставлены существующие протоколы передачи информации. Сделанные в ходе настоящего исследования выводы были использованы при создании СПО. В процессе выполнения настоящей работы был разработан шаблон информационных обменов, который должен позволить в дальнейшем уточнять математическую модель объекта управления быстрее и проще. Созданный шаблон также в целом способствует возможности масштабирования СПО.

*Научный руководитель: А. А. Александров.*

#### Библиографический список

1. Сокеты [Электронный ресурс] // Сетевое программирование; URL: <https://lecturesnet.readthedocs.io/net/low-level/ipc/socket/intro.html> (дата обращения: 10.02.2023).
2. Свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения RU2022682369.
3. Александров А.А. и др. Организация вычислений при автономном математическом моделировании работы бортовых информационно-управляющих систем // Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2017): в 3-х томах. Материалы локальной научно-технической конференции "Управление в распределённых и сетевых системах" (УРисС-2017). Издательство ЮФУ, 2017 г. Том 3, стр. 71 – 73.

УДК 004

#### ВНЕДРЕНИЕ AGILE-МЕТОДОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ ДЛЯ ПОВЫШЕННОЙ АДАПТИВНОСТИ И АДАПТИВНОСТИ И ОПЕРАТИВНОСТИ РЕАГИРОВАНИЯ НА МЕНЯЮЩИЕСЯ ТРЕБОВАНИЯ.

*А.А. Ковтун<sup>1</sup>, Е.Р. Землянская<sup>1</sup>, Н.А. Лестенко<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова*

Agile (гибкая) методология в управлении проектами приобрела значительную популярность в последние годы благодаря своей способности повышать адаптивность и быстроту реагирования на меняющиеся требования. Методология делает упор на сотрудничество, гибкость и постоянное совершенствование, что делает ее идеальной для динамичных проектных сред, которые могут изменяться ввиду уточнения требований.

Традиционной моделью разработки долгое время считалась водопадная модель разработки программных продуктов (Waterfall). Данная модель состоит из следующих этапов: сбор и анализ требований, создание архитектуры и дизайна системы, разработка и тестирование продукта, и в дальнейшем, вывод в эксплуатацию. Суть водопадной модели заключалась в разработке большого объема документации, постоянного мониторинга рисков, а также в многократном повторении некоторых этапов для увеличения эффективности и точности. Данная модель разработки затруднительна при создании небольших или малобюджетных проектов, поэтому крупные компании долгое время использовали такую методологию из-за своего размера ресурсов и возможностей проектирования и создания продукции.

Проблематика данного метода состоит в том, что заказчик тратит большое количество ресурсов на создание документации, а не на прототип в течение долгого времени при изменении требований к продукту. Данная модель имеет ряд сложностей при ускоренном выводе продукта на рынок, так как компании придерживаются четкой структуры и порядка разработки, которая им привычна, но сложна в корректировке приоритетов при создании продукта. Случается, что требования к продукту из-за динамических условий среды меняются быстрее, чем процесс согласования этапов разработки. Данную проблему решает вышеописанная методология разработки проектов Agile.

Ценность Agile-методологии заключается в том, что благодаря постоянным и точечным взаимодействиям с заказчиком, а также быстром реагировании на изменения требований рынка, разработчики своевременно вносят корректировки в свой продукт, что позволяет уменьшить сроки и затраты на реализацию проекта. В Agile упор состоит в работе с концепцией продукта с учетом всех текущих и будущих изменений, а не на постоянную переработку требований к продукту, который существует только теоретически.

Еще одним преимуществом Agile методологии является ее акцент на командной работе и сотрудничестве. Agile команды обычно работают кросс-функциональным образом, когда члены команды из разных отделов и дисциплин работают вместе для достижения общей цели. Такой подход способствует развитию чувства общей сопричастности и ответственности, что может привести к улучшению коммуникации, координации и, в конечном счете, к успеху проекта.

На рисунках 1 и 2 представлено сравнение влияния рисков в процессе разработки продукта при работе по методологии "Водопад" и Agile.

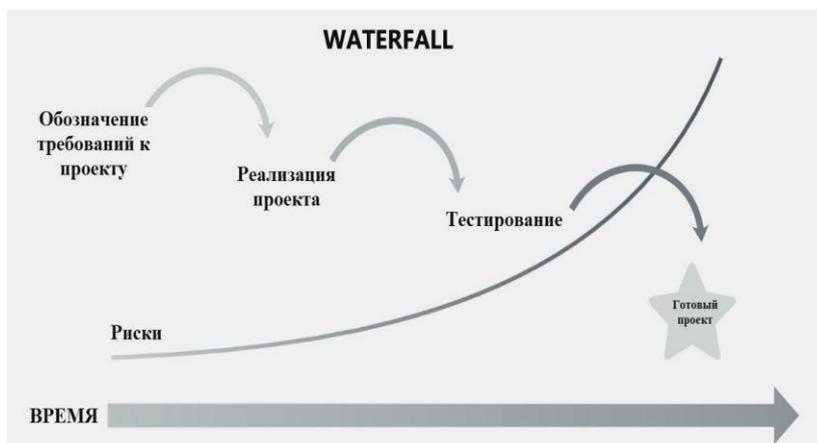


Рисунок 1 - Структура методологии Waterfall

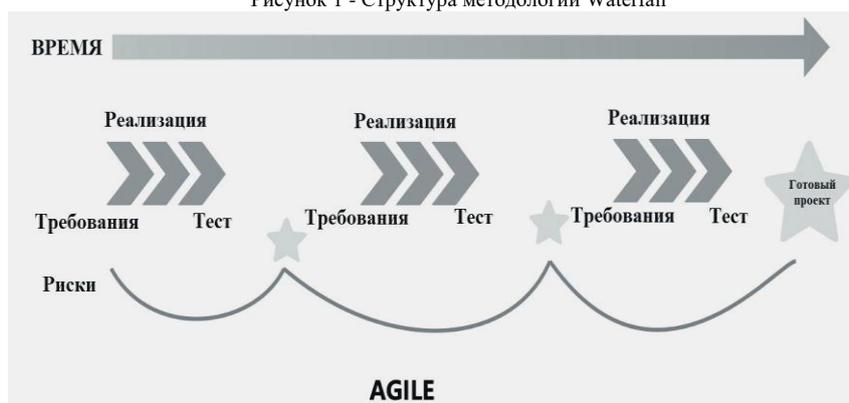


Рисунок 2 - Структура методологии Agile

Исходя из вышепредставленных данных, можно увидеть, что Agile разбивает процесс разработки на множественные отрезки, которые именуются спринтами. Так как у спринта есть свой фиксированный срок, который задается командой разработчиков, по завершении которого все поставленные задачи должны быть выполнены. После каждой итерации фиксируется статистика тестирования и рассматриваются следующие планы по дальнейшей реализации продукта. При выходе на финальную стадию проекта предшествующие риски уже предусмотрены, что уменьшает вероятность ошибки при дальнейшей разработке проекта и внесении изменений.

Скорость реализации каждой подзадачи или спринта никогда не будет стабильно равномерной, так как задачи могут быть от больших до малых по объему. При этом, при работе в команде необходимо всегда учитывать человеческий фактор. Также важно понимать, что при многократном повторении шаблонных действий и постоянном получении одинаковых результатов данная методология будет неэффективна.

Важным шагом является создание подходящей структуры для управления проектами с использованием подмножеств Agile-методологии, таких как Scrum, Kanban или Lean. Существует несколько сервисов, которые можно использовать для поддержки Agile-методологии, а также их подмножеств, таких как Jira, Trello и Asana. Эти сервисы предоставляют такие функции, как отслеживание задач, планирование спринта и инструменты совместной работы, которые необходимы для управления гибкими проектами, что упрощает работу в команде при создании или внесении корректировок в разрабатываемый проект.

Jira предоставляет полный набор функций для управления гибкими проектами, включая управление отставанием от графика разработки, планирование спринта и отслеживание проблем. На рисунке 3 представлен интерфейс инструмента Jira.

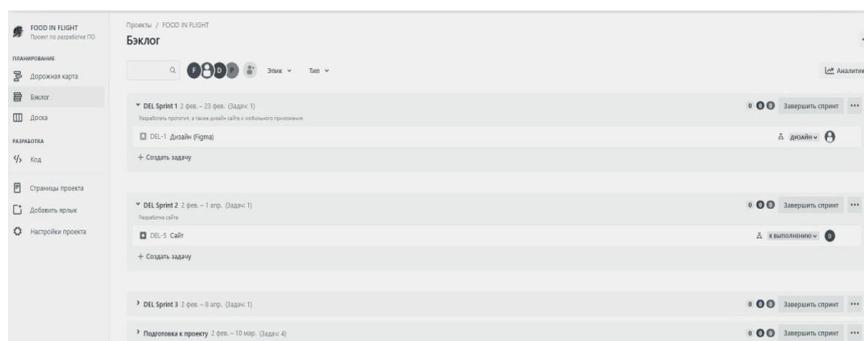


Рисунок 3 - Платформа Jira

Trello считается одним из самых гибких инструментов для разработки, который особенно полезен для управления небольшими, более неформальными проектами, данный инструмент подходит при создании проектов с ограниченными ресурсами.

Еще одним универсальным инструментом является Asana, который может быть использован для широкого спектра потребностей в управлении проектами. Интерфейсы Asana, а также Trello представлены на рисунках 4 и 5.

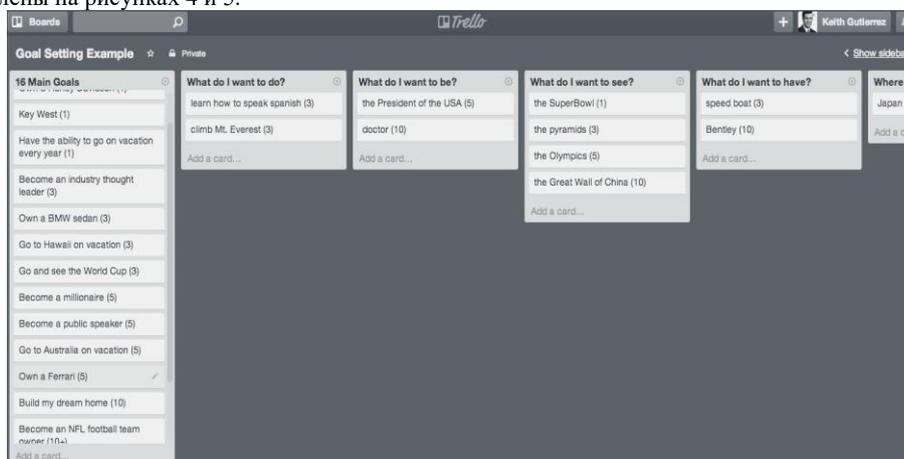


Рисунок 4 - Платформа Trello

Team Objectives						
Add Project	Status	Progress	Dates	Priority	Approval stage	
Event Planning General Asana Templates	● On Track Jul 17	54%	Jul 2 - Oct 24	High	Changes...	
Candidate Tracking General Asana Templates	● At Risk Jul 5	25%	May 28 - Oct 3	Medium	Ready for...	
Editorial Calendar General Asana Templates	● No status updates, yet	77%	Jul 26 - Oct 31	Low	Approved	
Campaign Management General Asana Templates	● On Track Jul 5	38%	May 1 - Oct 31	High	Approved	
Work and Creative Requests General Asana Templates	● On Track Jul 5	80%	Due Oct 5	Low	Ready for...	
Team Onboarding Plan General Asana Templates	● Off Track Jul 5	26%	Aug 26 - Sep 26	Low	Changes...	

Рисунок 5 - Платформа Asana

Agile подход на промышленных предприятиях позволяет командам более эффективно управлять различными заинтересованными сторонами, участвующими в этих проектах, от заказчиков до разработчиков и конечных пользователей. Обеспечивая большую прозрачность и открытую коммуникацию, Agile может помочь обеспечить согласованность всех сторон в отношении целей и приоритетов проекта, что в конечном итоге может привести к более успешным результатам. Существенным минусом является безопасность таких проектов, поскольку большинство проектов содержат коммерческую тайну, а использовать сервисы (например, Trello, Asana) небезопасно.

В заключение, Agile-методология имеет быстрые темпы развития в молодом поколении команд разработчиков, так как является ценным подходом к управлению проектами, особенно в современной быстро меняющейся и динамичной бизнес-среде. Сосредоточив внимание на сотрудничестве, гибкости и постоянном совершенствовании, разнообразная Agile-методология может помочь организациям более эффективно достигать целей своих проектов.

Но стоит учитывать тот факт, что не все компании готовы внедрять данную методологию разработки, так как в ней отсутствует классическая иерархическая структура процесса.

#### Библиографический список

1. "Agile Project Management: Creating Innovative Products", 2-ое издание, автор - Джим Хайсмит, 2009.
2. "Agile Project Management for Dummies", автор Марк Лэйтон, 2012.
3. "Agile Estimating and Planning", автор Майк Кон, 2006.

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ В РАЗЛИЧНЫХ ВОДАХ МИРОВОГО ОКЕАНА

*В.В. Кушов<sup>1</sup>, В.Р. Байсаямов<sup>1</sup>, А.А. Ким<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Водная среда обладает неблагоприятными особенностями для распространения оптического излучения на значительное расстояние. Существенно ограничивающим фактором эффективности и дальность оптических систем в водной среде является её возможная замутнённость, а также изменение физических, химических и динамических условий в океанах. Вследствие этого, оптические данные можно различным образом использовать для получения информации об океанографических условиях, в частности динамических. Свойства Мирового океана, такие как солёность и температура, отличны для разных морей и океанов, как видно из рисунков 1 и 2 [1]. Данные параметры влияют на погрешность измерения расстояния акустическими приборами, что приводит к необходимости их постоянной калибровки для различных вод. Таким образом, целью данной работы является оценка влияния неоднородности воды на точность измерения расстояния в различных водах мирового океана лазерным подводным дальномером.

Для обнаружения, дальности и визуализации высокая пространственная направленность лазерного излучения позволяет точно определять пространственную локализацию. Оптические технологии обещают более высокие скорости передачи данных для связи по сравнению с их акустическими аналогами. Большинство подводных оптических систем работают в сине-зеленой части электромагнитного спектра, где морская вода имеет минимум поглощения. Малая длина световых волн позволяет осуществлять подводное зондирование предметов и построение их пространственных моделей с разрешением, недоступным для звуковых волн [2]. Световые методы зондирования являются более скрытными от наблюдателя за пределами области затухания света [3].

Оптические методы в меньшей степени воздействуют на фауну акватории. Доказано, что использование сонаров оказывает негативное влияние на морских животных, использующих звуковую локацию [4-5]. Гидроакустические методы основываются на измерении макроскопических параметров водной среды, в то время как микроскопические характеристики остаются за пределом их разрешающей способности. Главным преимуществом оптических методов гидрологии является их существенно более высокая точность в масштабах микро-измерений, что обуславливается малой длиной волны оптического излучения и возможностью его непосредственного взаимодействия с частицами и микрочастицами (молекулами) среды [6]. Некоторые типы информации о водной среде могут быть получены преимущественно или исключительно оптическими методами. Однако не только микроскопические характеристики водной среды могут быть эффективно измерены оптическими методами. Так, например, Шлирен-фотография, когерентное зондирование, методы оптической томографии, оптические проекционные измерительные системы и т.д. могут обеспечить существенно более высокое разрешение по сравнению с методами гидроакустики в решении задач измерения мезо-масштабов:  $10^{-3} \dots 10^{-1}$  метра. К задачам такого рода можно отнести обнаружение (и локализацию в пространстве) пылевых частиц и пузырьков, исследование динамики и визуализацию мелкомасштабных вихревых процессов и потоков и т.д. С другой стороны, дальность действия оптических средств гидрологии ввиду интенсивного взаимодействия излучения со средой (рассеяние, поглощение) ограничивается единицами-десятками метров.

Таким образом, можно заключить, что оптические методы [7] гидрологии наиболее применимы для решения задач мезо- и микромасштабов с дальностью действия, ограниченной несколькими десятками метров, а также, для поиска косвенных признаков наличия объектов в средах с высокой помехозащищённостью.

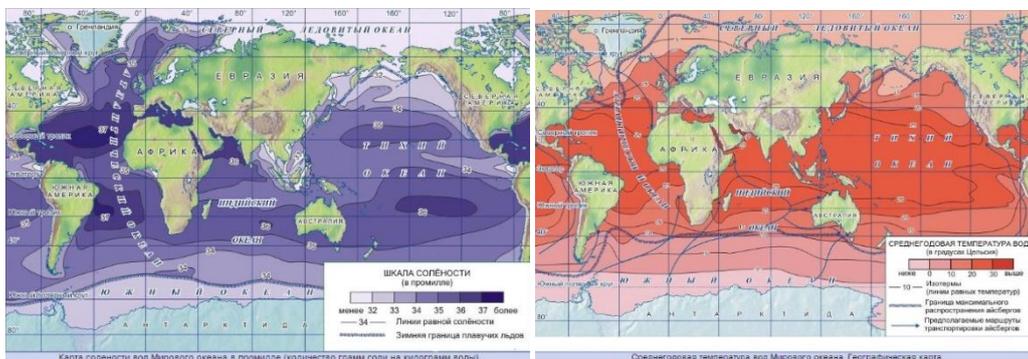


Рисунок 2 – Карта температуры вод Мирового океана

Оценить погрешность измерения расстояния подводным лазерным дальномером можно с помощью следующей формулы:

$$\sigma D = \frac{c}{2\sqrt{2}m\pi n_w f SNR}, \quad (1)$$

где  $c$  – это скорость света,  $m$  – коэффициент частотной модуляции, который для стандартных фазовых дальномеров составляет  $\sim 0,7$ ,  $f$  – частота модуляции равная 100 МГц, SNR – отношение сигнал/шум равное 10,  $n_w$  – показатель преломления, вычисляемый по следующей формуле [2]:

$$n(\lambda, Temp, S, P) = 1.3247 + 3.3 \times 10^3 \lambda^{-2} - 3.2 \times 10^7 \lambda^{-4} - 2.5 \times 10^{-6} Temp^2 + (5 - 2 \times 10^{-2} Temp)(4 \times 10^{-5} S) + (1.45 \times 10^{-5} P)(1.021 - 6 \times 10^{-4} S)(1 - 4.5 \times 10^{-3} Temp) \quad (2)$$

где  $\lambda$  – длина волны в нм равная 520 нм, что является минимумом спектра поглощения воды,  $Temp$  – температура в Цельсия, изменяемая в диапазоне от 3 до 30  $^{\circ}C$ , исходя из рисунка 2,  $S$  – соленость воды в процентах, изменяемая в диапазоне от 3,2 до 3,7%, исходя из рисунка 1,  $P$  – давление в кгс/см<sup>2</sup>, взятое для глубины  $\sim 30$  м и равное 2,967 кгс/см<sup>2</sup> [8].

Был проведен расчёт показателя преломления по формуле (2) для двух крайних случаев солёности (3,2% и 3,7%) по всему диапазону температуры от 3 до 30  $^{\circ}C$ . На рисунке 3 представлены результаты расчёта.

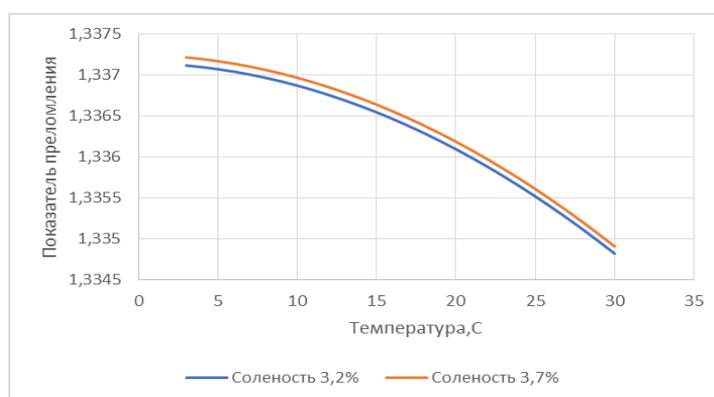


Рисунок 3 – Зависимость показателя преломления воды от температуры

Далее по формуле (1) был произведен расчёт погрешности измерения расстояния лазерным подводным дальномером. На рисунке 4 представлены результаты расчёта. Как видно из полученных графиков для погрешности измерения расстояния, влияние температуры и солёности (неоднородности воды) на точность измерения лазерного подводного дальномера незначительно, разница между погрешностью измерения расстояния для границ диапазона температуры составила  $\sim 450$  мкм. Из этого можно сделать вывод, что для лазерного подводного дальномера не нужна калибровка при перемещении его в различных водах Мирового океана.

Также были проведены экспериментальные измерения в резервуаре, заполненном водой, температура и солёность которой контролировались, а в качестве источника излучения использовался лазерный диод с длиной волны 520 нм. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

На рисунке 5 показан резервуар с водой, в котором распространяется лазерное излучение.

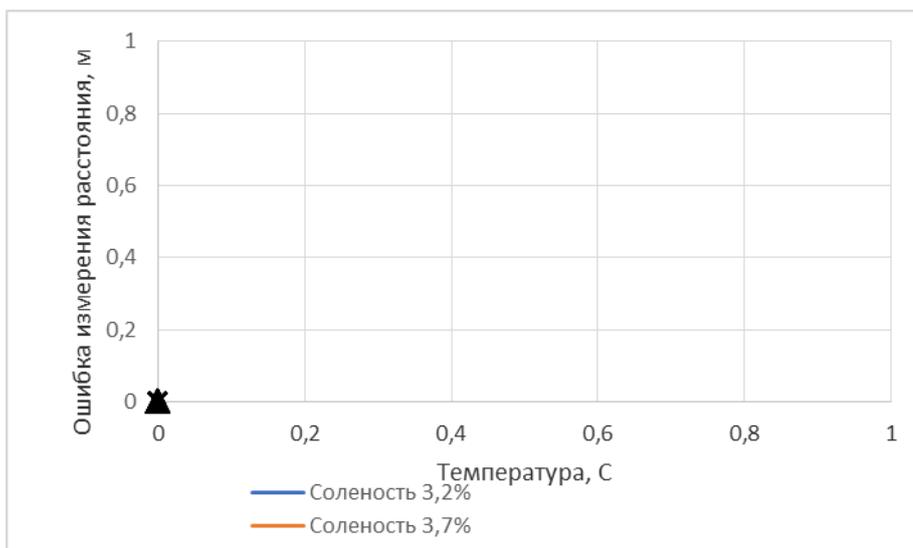


Рисунок 4 – Зависимость ошибки измерения расстояния лазерным подводным дальномером от температуры

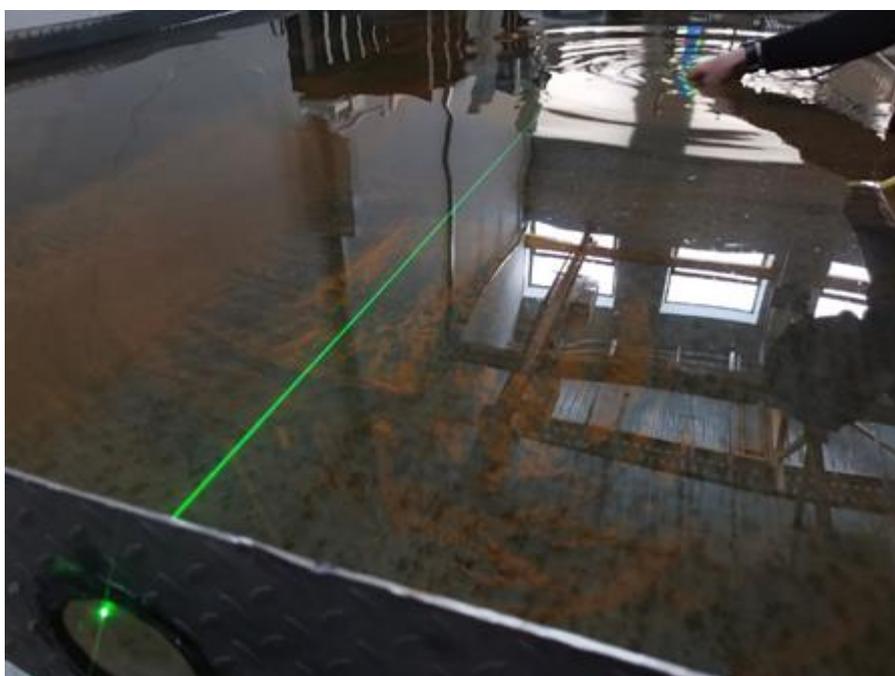


Рисунок 5 – Экспериментальные измерения в резервуаре

Исходя из проведенного теоретического расчёта и эксперимента, можно сделать вывод, что показатель преломления не влияет на ошибку измерения расстояния лазерным подводным дальномером. Основное влияние на ошибку измерения расстояния оказывает отношение сигнал/шум – SNR, и частота модуляции излучения.

#### Библиографический список

1. Дроздов В.В. Общая экология. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011. - 412 с
2. Кумпан С.А., Диссертация «Оптическая система передачи данных в подводной среде», Российский Государственный Гидрометеорологический Университет.
3. Дистанционное зондирование земли : учеб. пособие / Е. Н. Сутырина. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с. ISBN 978-5-9624-0801-9 УЗ
4. Лебедев и др. О реакциях черноморской хамсы на акустические раздражители //Биологические науки. М. 1965. №2. С.15 – 18
5. В.И. Кудрявцев «О проблеме использования акустических полей для управления поведение использования акустических полей для управления поведением рыб и других водных животных» ВНИРО, г.Москва Известия ТРТУ Секция окружающей среды и здоровья людей С.131 – 135
6. Борейшо А. С., Ивакин С. В. Б 82 Лазеры: устройство и действие: Учебное пособие. — 2-е изд., стер. - СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 304 с.
7. Введение в оплотехнику: учебное пособие / В.В. Лентовский, Л.И. Васильева, Д.Л. Федоров; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2020. – 108 с.
8. Gomer T. McNeil «Metrical Fundamentals of Underwater Lens System» McNeil Engineering 10252 Hatherleigh Drive, Bethesda, Maryland 20014

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИИ

*И.А. Хлымов<sup>1</sup>, К.В. Костромитина<sup>1</sup>, В.В. Сементин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Голографические измерительные системы являются одним из наиболее перспективных инструментов экспериментального исследования деформационных свойств материалов и анализа напряженно-деформированного состояния объектов. Аналоговые варианты технологии нашли достаточно широкое применение в экспериментальной механике в 1970–1990-х гг.

Появление в последние годы цифровых голографических систем позволило сделать их значительно более технологичными – устранить необходимость химической обработки фотоматериалов. В цифровой голографии осуществляется компьютерное восстановление объектной волны. При этом метод цифровой голографии обладает уникальным свойством – фаза восстановленной объектной волны может быть рассчитана из одной голограммы [1]. Этот факт обеспечивает принципиально новую возможность – запись практически неограниченной серии одиночных голограмм, соответствующих различным состояниям объекта, и последующее получение (путем их попарного сравнения) зависимости перемещений и деформаций не только от координат, но и от времени. Таким образом, обеспечивается возможность исследования на качественно новом уровне любых процессов деформирования, включая нестационарные квазидинамические и динамические процессы (термическое расширение, текучесть, ползучесть, случайные и затухающие колебания, распространение упругих волн при ударных и взрывных воздействиях и т. д.).

Таким образом, метод цифровой голографической интерферометрии обеспечивает наиболее широкие возможности при анализе напряженно-деформируемого состояния в сравнении с другими оптическими методами.

Процесс голографии состоит из двух частей: записи и восстановления. В цифровой голографии восстановление голограмм, т.е. получение изображения предмета происходит численно с помощью специализированных программ, основанных на численном расчёте дифракционного интеграла Кирхгофа [2]. Однако, какой подход не был бы использован, на восстановленном изображении будут нулевой порядок дифракции, имеющий максимальную интенсивность, первый порядок (мнимое изображение) и минус первый порядок (действительное изображение). Схема голографического процесса показана на рисунке 1.

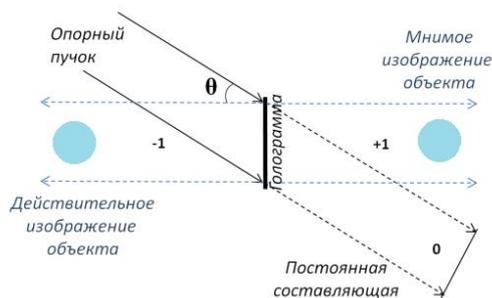


Рисунок 5 – Схема голографического процесса

Существуют осевая и внеосевая цифровые голографии. Во внеосевой цифровой голографии мнимое изображение, действительное изображение и постоянная составляющая оказываются пространственно разнесены. Для этого опорный пучок при записи отклоняют на определённый угол. Осевая схема Габора, где все три составляющие накладываются одна на другую, в данной работе не рассматривается. В идеальном случае во внеосевой голографии все составляющие восстановленного изображения оказываются пространственно отделены друг от друга, и достаточно просто выбрать только нужную часть для дальнейшей работы. На практике при малых углах отклонения опорного пучка изображения, находящиеся в разных дифракционных порядках, частично перекрываются. При этом если действительное изображение расфокусировано, то при наложении на мнимое оно будет образовывать зашумление, которое можно подавить вместе с постоянной составляющей. Поэтому при использовании малых углов отклонения опорного пучка важно, чтобы одно из изображений в 1 или -1 порядках дифракции было расфокусировано.

Для изучения методов улучшения качества получаемых голограмм в БГТУ «Военмех» был создан стенд для записи голограмм, работающий на принципе интерферометра Майкельсона, а также разработана программа для цифрового восстановления изображений.

В первую очередь будет произведено восстановление изображения интерферирующих волн, от двух зеркал для наглядного представления разнесения порядков с помощью отклонения опорного пучка на некоторый угол. На рисунке 2 показаны как нулевой, так и первые порядки интерференции.



Рисунок 6 - Восстановленное изображение интерферометра Майкельсона

Для начала работы предпочтительно избавиться от нулевого порядка и от действительного изображения исследуемого предмета с помощью программы.

Хорошим подходом является использование лапласиана голограммы вместо самой голограммы для цифрового восстановления [3]. Результат работы представлен на рисунке 3.

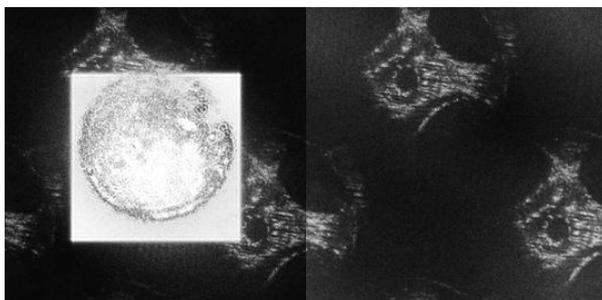


Рисунок 7 - Результат обработки восстановленной голограммы дискретным оператором Лапласа

Лапласиан голограммы при цифровом восстановлении образует функцию, модулирующую спектр исходной голограммы и подавляющую постоянную составляющую практически полностью. Однако гармонический характер этой функции воздействует и на восстановленное изображение объекта, меняя его яркость согласно виду функции. Описанные подходы к подавлению постоянной составляющей в том или ином виде формировали так называемую оконную функцию, т.е. такую функцию, которая после Фурье-преобразования модулировала бы восстановленное изображение, устранив лишнее и оставляя нужное.

В статье [4] был предложен и исследован новый метод цифровой обработки сигналов для уменьшения шума двойного изображения от цифровых голограмм Френеля. Было продемонстрировано, как сначала восстановить нежелательное двойное изображение, когда оно находится в фокусе и в этой плоскости было вычислена маска сегментации, которая ограничивает это изображение в фокусе. Это достигается за счет значительного заполнения нулем в алгоритме реконструкции. Возникающее в результате увеличение объема вычислений решается с помощью специальных аппаратных устройств. Затем двойное изображение сегментируется и удаляется с помощью простой пространственной фильтрации. Результирующее цифровое волновое поле является обратным, распространяющимся на плоскость изображения желаемого объекта. Изображение свободно от двойного изображения, что приводит к улучшению качества реконструкций. Результаты восстановления голограммы с помощью этого метода приведены на рисунке 4.

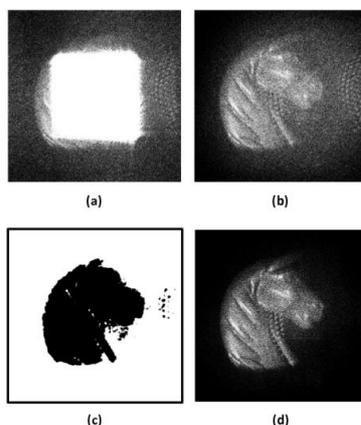


Рисунок 4 – Реконструкция (а) необработанной голограммы, (b) голограммы после удаления нулевого порядка, (c) вычисленной маски сегментации, (d) голограммы после удаления постоянной составляющей и двойного изображения

К методам повышения качества можно добавить фильтр Калмана. При формировании фильтра Калмана используется динамическая модель системы, известные управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния [5]. Под последовательными измерениями понимаются значения разности фаз в каждой следующей точке сечения. Алгоритм Калмана состоит из двух повторяющихся этапов: экстраполяции и коррекции. На первом этапе делается предсказание состояния системы в текущий момент времени с учётом неточности измерений на основании состояния системы в предыдущий момент времени. На втором, измеренное значение корректирует предсказанное также с учётом неточности и зашумленности [6].

График, на котором показан принцип работы фильтра Калмана, приведен на рисунке 5.

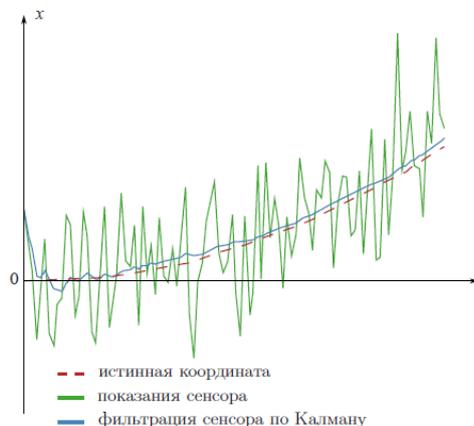


Рисунок 5 - График работы фильтра Калмана

В последние годы глубокое обучение с помощью Convolutional neural network (CNN) становится мощным инструментом для решения обратной задачи в различных областях оптической визуализации, включая восстановление рассеянного изображения, зондирование волнового фронта, сверхразрешение, флуоресцентную микроскопию, шумоподавление и восстановление фазы. Поскольку реконструкцию Digital Holography (DH) также можно рассматривать как обратную задачу, в DH было введено глубокое обучение. Многие проблемы DH, которые было трудно решить в прошлом, теперь могут быть решены CNN, такие как классификация, компенсация аберраций, адаптивная пространственная фильтрация и предсказание фокуса [7]. Существует множество алгоритмов, основанных на CNN для реконструкции DH, которые используют CNN для устранения двойного члена изображения и получения точного расстояния фокусировки. Чтобы добиться одноэтапной реконструкции голограммы, в алгоритм вводится сквозная структура. После изучения взаимосвязи между голограммами и соответствующим сложным распределением информация о волновом фронте может быть непосредственно восстановлена из голограммы с одним кадром. В этом процессе одновременно устраняются двойное изображение, изображение нулевого порядка и компоненты аберрации [8]. Большинство из этих алгоритмов основаны на модели UNet, которая является классическим методом парного обучения и широко используется в области голографии. Однако голограмма и соответствующее распределение реального объекта должны быть строго сопряжены в процессе обучения. Предварительное знание распределения объектов определяет точность результата реконструкции. На самом деле распределение объектов трудно получить в эксперименте. В то же время смещение, вызванное нестабильностью системы во время процесса записи, вероятно, снизит точность обучения алгоритма требования сопряжения. Теоретически точность реконструкции должна быть высокой, но этого не произойдет по вышеуказанным причинам.

Результаты записи голограмм с помощью метода сверточной сети показаны на рисунке 6.

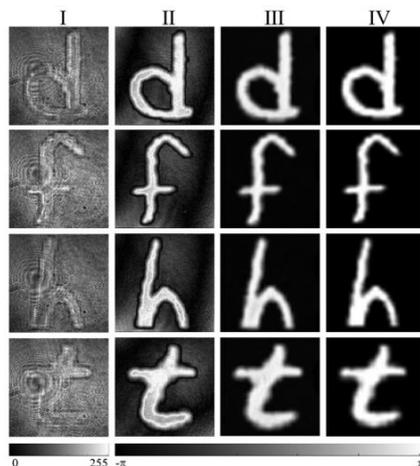


Рисунок 6 – (I) Реконструкция необработанной голограммы. (II), (III) Реконструкция через традиционный метод и предложенный алгоритм. (IV) Изображения для реконструкции

В статье [9] предлагается новая сквозная структура глубокого обучения для решения проблем в рамках одноэтапного подхода, который использует непарные и меньшее количество изображений для обучения. Особенностью предлагаемой сети является то, что реальное распределение объекта не требуется. Голограммы, используемые в процессе обучения, и даже их количество могут не иметь отношения к их меткам, которые называются непарными. Строгая взаимосвязь между голограммой и этикеткой, установленная в традиционной сквозной структуре, заменяется тремя функциями потери в предлагаемой структуре. Это имеет смысл для реконструкции динамических объектов с фазовым контрастом, таких как биологические клетки, поскольку распределение фаз парного объекта и его голограмма должны быть строго выровнены. С помощью данного алгоритма мы можем изучить механизм реконструкции с помощью аналогичных статических ячеек и непарных голограмм. Экспериментальные результаты доказывают, что предлагаемая сеть может хорошо реконструировать голограмму, даже когда количество установленных меток может составлять половину обучающего изображения. Это значительно снижает сложность получения набора данных. Когда происходит смещение, предлагаемый алгоритм обладает более высокой точностью, чем традиционный алгоритм. Кроме того, он обладает высокой устойчивостью к абберациям системы визуализации и астигматизму с расфокусировкой.

#### Библиографический список

1. V. Gurevich, The experience of pulse holography application for factory environment [Text] / V. Gurevich, M. Gusev, I. Begishev, V. Redkorechev // Proceedings of International Conference on Trends in Optical Non-Destructive Testing. – Lugano, Switzerland, 1999. – P. 214–221.
2. Ярославский, Л.П. Цифровая голография [Текст] / Л.П. Ярославский, Н.С. Мерзляков. – М.: Наука, 1982. – 219 с.
3. Liu, C. Elimination of zero-order diffraction in digital holography [Text] / C. Liu, Y. Li, X. Cheng, Z. Liu, F. Bo, J. Zhu // Optical Engineering. – 2002. – Vol. 41. – P. 2434–2437.
4. C. McElhinney, Removing the Twin Image in Digital Holography by Segmented Filtering of In-focus Twin Image [Electronic resource] / C. McElhinney, B. M. Hennelly, L. Ahrenberg and T. J. Naughton // Department of Computer Science, National University of Ireland, Maynooth, Ireland – 2008. – Режим доступа: [https://mural.maynoothuniversity.ie/2377/1/TN\\_Twin\\_Image.pdf](https://mural.maynoothuniversity.ie/2377/1/TN_Twin_Image.pdf).
5. Welch, G. An Introduction to the Kalman Filter [Electronic resource] / G. Welch, G. Bishop // University of North Carolina, Chapel Hill. – 2006. – Режим доступа: [http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman\\_intro.pdf](http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf)
6. Waller, L. Phase and amplitude imaging from noisy images by Kalman filtering [Text] / L. Waller, M. Tsang, S. Ponda, S. Y. Yang, G. Barbastathis // Optics Express. – 2011. – Vol. 19(3). – P. 2805–2814.
7. Da Yin, Digital Holographic Reconstruction Based on Deep Learning Framework with Unpaired Data [Electronic resource] / Da Yin; Zhongzheng Gu; Yanran Zhang // Key Laboratory for Opto-Electronic Technology of Jiangsu Province, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China. – 2020. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8937798>.
8. Keyvan Jaferzadeh, No-search focus prediction at the single cell level in digital holographic imaging with deep convolutional neural network [Electronic resource] / Keyvan Jaferzadeh, Seung-Hyeon Hwang, Inkyu Moon, and Bahram Javidi // Department of Robotics Engineering, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, Dalseong-gun, Daegu, 42988, South Korea. – 2019. – Режим доступа: [https://opg.optica.org/DirectPDFAccess/A7B1C147-558B-42FF-BD400CBDE417E2C1\\_416351/boe-10-8-4276.pdf?da=1&id=416351&seq=0&mobile=no](https://opg.optica.org/DirectPDFAccess/A7B1C147-558B-42FF-BD400CBDE417E2C1_416351/boe-10-8-4276.pdf?da=1&id=416351&seq=0&mobile=no).
9. Chen Bai, Dual-wavelength in-line digital holography with untrained deep neural networks [Electronic resource] / Chen Bai, Tong Peng, Junwei Min, Runze Li, Yuan Zhou, and Baoli Yao // State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China. – 2021. – Режим доступа: [https://opg.optica.org/DirectPDFAccess/2C1F4C78-CDC0-4A4E-9A7C6362FC89E09E\\_465552/prj-9-12-2501.pdf?da=1&id=465552&seq=0&mobile=no](https://opg.optica.org/DirectPDFAccess/2C1F4C78-CDC0-4A4E-9A7C6362FC89E09E_465552/prj-9-12-2501.pdf?da=1&id=465552&seq=0&mobile=no).

УДК 004.9, 656.02

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОТДЕЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

*А.А. Аксенов<sup>1</sup>, Е.Г. Молчанов<sup>1</sup>, О.А. Мишина<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

#### ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одним из основных способов транспортировки грузов в России являются дорожные грузоперевозки. Данный способ перевозки популярен в нашей стране в первую очередь по причине развитой дорожной системы, дешевизны перевозок, простоты обслуживания техники, возможности доставить груз в небольшие труднодоступные города, в которых отсутствуют железные дороги, возможность корректировать маршрут в ходе перевозки, а также по причине дешевого ремонта, который может совершить водитель самостоятельно, но, как правило, такой ремонт совершается на специально оборудованных ремонтных базах.

В таблице 1 приведена статистика грузоперевозок в России за 2018 - 2021 года [1].

Таблица 1 – Статистика грузоперевозок в России за 2018 - 2021 года

	Перевозка грузов по Российской Федерации, миллион тонн			
	2018	2019	2020	2021
<b>Трубопроводный</b>	1169	1159	1061	1141
<b>Железнодорожный</b>	1411	1399	1359	1404
<b>Автомобильный</b>	5 544	5 735	5 405	5 491
<b>Речной</b>	116	108	109	110
<b>Морской</b>	23	23	25	23

<b>Воздушный</b>	1,3	1,3	1,3	1,6
------------------	-----	-----	-----	-----

Из таблицы 1 видно, что объем автомобильных грузоперевозок остается достаточно большим по сравнению с остальными видами грузоперевозок. А это негативным образом сказывается на загруженности дорог. Это все чаще приводит к тому, что груз может задержаться в пути на неопределенный срок. Также, вследствие увеличения загруженности дорог, возникает угроза попадания в аварию, что может привести к травмам водителя и порче груза.

В связи с этим, возникает необходимость в разработке такого программного комплекса для информационной поддержки логистического отдела предприятия, который сможет обеспечивать генерацию наиболее оптимальных маршрутов в реальном времени, с учетом поступающей от водителей информации, защищенную связь между водителями и логистическим центром, сохранение в базу данных истории выполненного маршрута для последующего анализа.

### Описание проблемной области

В настоящее время на большинстве предприятий в логистических отделах используются внешние службы, которые имеют несколько существенных недостатков:

- большинство логистических служб не имеют инструментов для обработки и анализа уже выполненных маршрутов;
- отсутствует возможность обмена актуальной информацией между водителями в процессе выполнения заказа;
- отсутствие двустороннего канала связи между водителем и логистическим центром;
- методы генерации оптимальных маршрутов недостаточно эффективны;
- подобные службы не имеют продвинутых систем идентификации состояния груза;
- отсутствие возможности вести статистику по каждому водителю;
- отсутствие инструментов оценки и формирования рейтинга маршрутов для определенной точки доставки;
- недостаточная защищенность внутренних корпоративных данных, например, информации об активных маршрутах или личные данные сотрудников и заказчиков.

На рисунке 1 проиллюстрирована диаграмма вариантов использования подобной неэффективной службы.



Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

### Концепция предлагаемого решения

Для создания программного комплекса, лишённого этих недостатков, было принято решение использовать следующие современные технологии и алгоритмы:

- для генерации наиболее оптимального маршрута должны быть использованы нейронные сети и алгоритмы глубокого обучения;
- использование RFID-меток для быстрой идентификации груза и водителя;
- применение технологий компьютерного зрения;
- для обработки информации необходимо использовать Data Science.

Далее будут подробно рассмотрены перечисленные технологии и способы их применения в логистике для оптимизации работы и информационной поддержки. Следует отметить, что все рассматриваемые программные средства и инструменты соответствуют современным понятиям информационной безопасности и практически исключают утечки любой конфиденциальной информации, такой как информация о заказчике или получателе.

В основе большинства предложенных нововведений лежат технологии глубокого обучения и нейронные сети, которые позволяют добиваться наиболее оптимизированного маршрута для доставки товара получателю.

### Использование RFID-меток для груза и транспортных средств

При выполнении заказа водитель может быть остановлен для досмотра груза или автомобиля. Такие проверки отнимают много времени, за которое приходится расплачиваться. Чтобы сэкономить время как водителя, так и сотрудников органов контроля было решено снабжать грузовые автомобили и груз RFID-метками, которые будут содержать информацию о состоянии груза, а также водителе и его автомобиле [2].

RFID-метка представляет собой электронное устройство для получения, обработки и повторной отправки сигнала. Технология RFID позволяет распознать живые существа, неодушевленные предметы, в том числе контейнеры, транспортные средства, одежду. Метод радиочастотной идентификации обеспечивает неограниченные возможности для улучшения бизнес-процессов.

На рисунке 2 представлена RFID-метка.



Рисунок 2 – RFID-метка

После осмотра каждого груза к нему будет прикреплена на время транспортировки RFID-метка, которая будет хранить всю информацию об изделии, например, его вес и наименование.

В автомобильные метки будет закладываться информация о водителе и его предприятии.

### **Компьютерное зрение для выявления брака и повреждений**

Как правило, на складах загрузка грузовых автомобилей происходит быстро и не всегда аккуратно. Довольно часто происходят ситуации, когда хрупкий груз получает повреждения в ходе такой погрузки. Более прочные грузы также часто страдают от безответственных действий работников склада. Подобные инциденты могут негативно сказаться на репутации и доходах как работников склада, так и сотрудников логистического отдела. Но возможен и другой сценарий: груз был поврежден на этапе производства или на каком-то другом этапе самим отправителем. Здесь возникает необходимость вовремя обнаружить подобный брак, тем самым уберечь репутацию и уменьшить убытки логистического отдела. Это обнаружение возможно с помощью компьютерного зрения. Компьютерное зрение – это совокупность программных методов и средств для обработки изображений неподвижных или движущихся объектов [3]. На рисунке 3 показан процесс обнаружения повреждения с помощью компьютерного зрения.



Рисунок 3 – Поиск повреждений с помощью компьютерного зрения

Для обнаружения брака или повреждений на начальном этапе необходимо провести обработку изображения со всех сторон полученного груза путем сравнения с образцовым изображением груза, предоставленным заказчиком. Если был обнаружен брак, то необходимо составить отчет об обнаружении. После чего будет создано трехмерное изображение груза, по которому в конце поездки будет проводиться освидетельствование на предмет полученных в ходе грузоперевозки повреждений. Такой подход позволит сохранить средства, которые могли быть потеряны при возмещении ущерба как отправителю, так и получателю.

На рисунке 4 представлена трехмерная модель груза на примере геймпада.

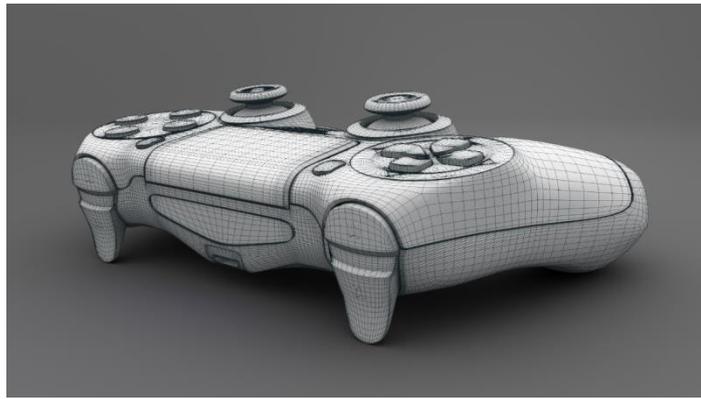


Рисунок 4 – Пример трехмерной модели груза на примере геймпада

### Data science и Big data. Решение проблемы «финального километра»

С каждой выполненной доставкой количество информации и данных в логистическом отделе растет. При обработке этих объемных данных стандартными методами и средствами – например, в Microsoft Excel – желаемый результат не будет достигнут в полной мере. Подобные данные называют большими данными или Big Data.

Big Data – это обобщающий термин для любых наборов данных, достаточно больших и сложных, чтобы их можно было обработать традиционными средствами работы с данными. Большие данные характеризуются «четырьмя V»: объемом, разнообразием, скоростью и достоверностью [4].

Для анализа таких данных существует Data Science. Data Science – это расширение статистики, способное справиться с огромными объемами данных [4]. Процесс Data Science обычно состоит из шести шагов, как видно из рисунка 5.

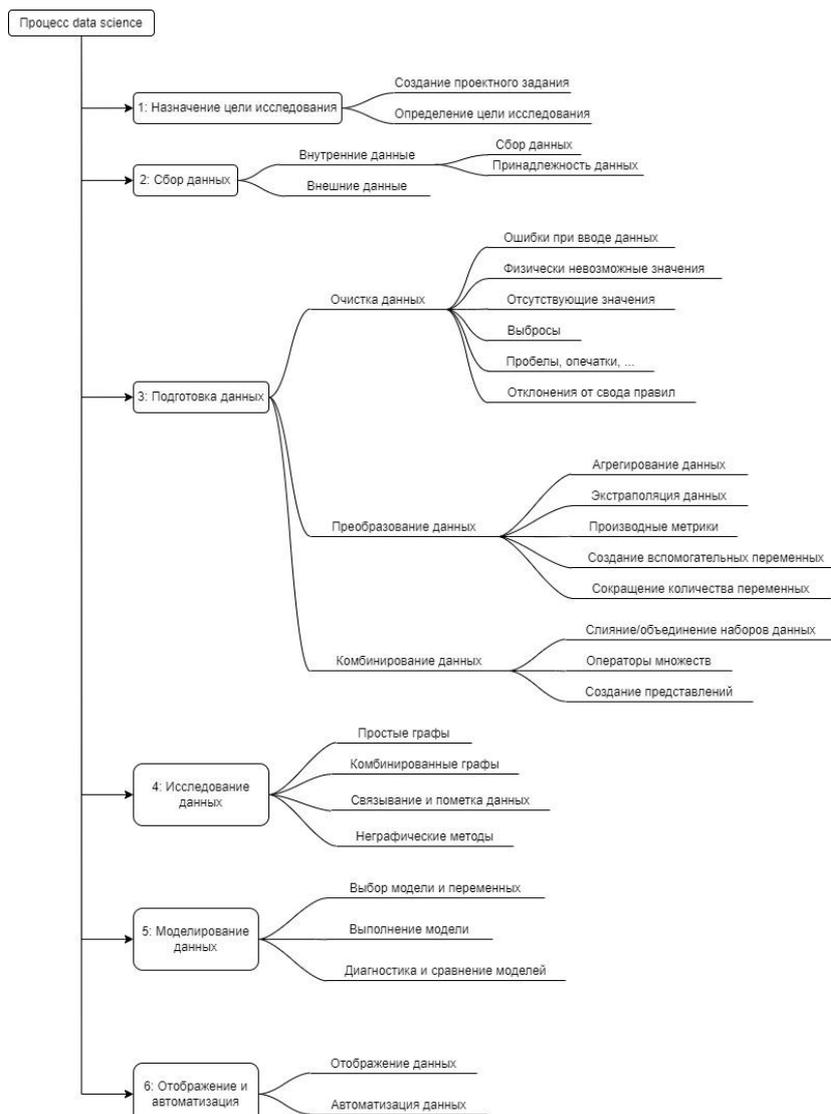


Рисунок 5 – Процессы Data Science [4]

Принципы Data Science помогут обрабатывать информацию, поступающую от большого числа водителей в реальном времени. Это позволит избегать пробок, которые тормозят доставку, а также понизит риски попасть в аварию.

Также такая аналитика сможет позволить формировать рейтинги маршрутов по истории уже выполненных заказов, с целью обнаружения самого лучшего из пройденных путей, тем самым оптимизируя дальнейшие доставки грузов получателям.

Данная технология позволит формировать и обслуживать статистику по каждому водителю. Появится возможность выбрать лучшего сотрудника, которому будут поручаться самые ответственные заказы.

В современной логистической сфере остро стоит проблема так называемого «финального километра». Данная проблема состоит в том, что на заключительном этапе при выполнении заказа водитель грузового автомобиля может испытывать трудности с подъездом к заказчику, так как необходимо найти удачное место парковки нередко в труднодоступных, загруженных транспортными средствами улицах или в узких дворах, к которым сложно найти оптимальный и аккуратный проезд. Данная проблема очень дорого обходится для доставщиков, которые могут потерять до 30% прибыли.

Для решения такой проблемы было принято решение использовать Data Science для анализа данных GPS и информации о дорожной обстановке за несколько километров от конечной точки доставки.

### Заключение

В ходе выполнения проектирования программного комплекса для логистического отдела предприятия было предложено использование современных технологий и средств обработки информации, были задействованы алгоритмы, которые ранее практически не применялись в подобной области. На рисунке 6 проиллюстрирована диаграмма вариантов использования разработанного программного комплекса.

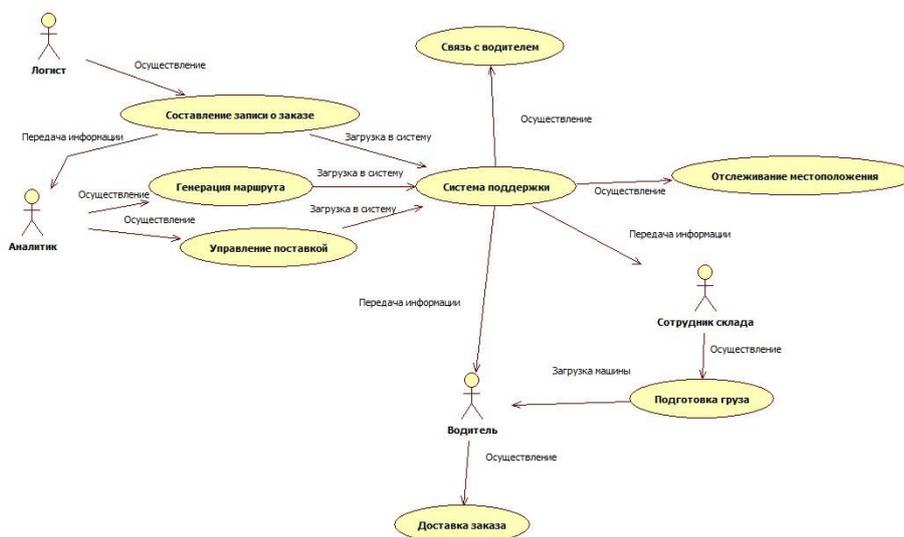


Рисунок 6 – Диаграмма вариантов использования разработанного комплекса

### Библиографический список

1. Росстат. Официальная статистика транспорта [Электронный ресурс]. - URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport/> (дата обращения 19.02.2023).
2. Прийма М. А., Панфилов А. Н., Абас В. М. Определение локального местоположения предметов на базе технологии радиочастотной идентификации // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. - 2020. — № 1. — С. 41-44.
3. Компьютерное зрение. Современные методы и перспективы развития / ред. Р. Дэвис, М. Терк; пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 690 с.
4. Силен Дэви, Мейсман Арно, Али Мохамед. Основы Data Science и Big Data. Python и наука о данных. — СПб.: Питер, 2019 — 336 с.

УДК 678.5-1

### УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА

*Е.П. Панина*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели.

3D-принтерами называют станки с программным управлением, выполняющие построение детали аддитивным способом.

3D-печатные технологии используются для прототипирования и распределенного производства в архитектуре, строительстве, промышленном дизайне, автомобильной, аэрокосмической, военно-промышленной, инженерной и медицинской отраслях, биоинженерии (для создания искусственных тканей), производстве модной одежды и обуви, ювелирных изделий, в образовании, географических информационных системах, пищевой промышленности и многих других сферах [1].

Аддитивное производство подразумевает постройку объектов за счет добавления необходимого материала, а не удаления лишнего, как в случае с субтрактивными методами.

Термин «аддитивное производство» подразумевает технологии по созданию объектов за счет нанесения последовательных слоев материала. Модели, изготовленные аддитивным методом, могут применяться на любом производственном этапе – как для изготовления опытных образцов (т.н. быстрое прототипирование), так и в качестве самих готовых изделий (т.н. быстрое производство).

Пластик, применяемый для 3D-печати, или, как его называют, филамент, выпускается в виде тонких нитей диаметром 1,75 мм и 3 мм. В базовой комплектации принято использовать нить диаметром 1,75 мм, но некоторые производители 3D-принтеров предлагают возможность установки трехмиллиметровой системы подачи нити.

Нити, используемые в 3D-печати, в основном состоят из термопластов. Наиболее популярными являются акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и полимолочная кислота (PLA). Оставшаяся группа материалов - это поликапролактон (PCL), поликарбонат (PC), полиэфиримид (PEI), полиэфирэфиркетон (PEEK) и различные типы полиэтилена (PE), включая LDPE (полиэтилен низкой плотности), LLDPE (линейный полиэтилен низкой плотности) и HDPE (полиэтилен высокой плотности). Эти типы материалов обычно используются для печати автомобильных компонентов, хирургических инструментов, прототипов, различных видов упаковки, небольшой садовой архитектуры, игрушек и многих других продуктов, которые используются в повседневной жизни [2].

Хранение филамента представляет большую проблему для 3D-печати. Неправильное хранение приводит к тому, что нити впитывают влагу из воздуха, и поэтому впоследствии – приходят в негодность. Все это может привести к возникновению дефектов печати непросушенным филаментом, что ведет к браку деталей и уменьшению ресурса при их эксплуатации.

#### **Хранение филамента**

Прежде чем перейти к рекомендациям по хранению нитей, необходимо объяснить, что происходит с плохо сохранными нитями.

Нити, используемые для целей 3D-печати, представляют собой полимеры. Таким образом, это означает, что в процессе хранения или неправильной эксплуатации они могут быть повреждены, например, за счет процесса известного как гидролиз. На рис. 1 показан процесс гидролиза – это химическая реакция взаимодействия вещества с водой, при которой происходит разложение этого вещества и воды с образованием новых соединений. Полимер может сломаться, в результате попадания на нить влаги из воздуха. Это происходит, когда он нагревается в точке экструзии, что тем самым ослабляет нить. Экструзия – это выдавливание расходного материала с последовательным формированием готового изделия.

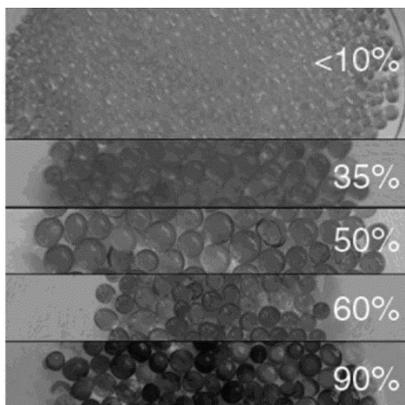


Рисунок 1 – Степень насыщенности филамента влагой

При печати этой «влажной» нитью, детали, полученные в время процесса, не будут обладать необходимыми качествами, такими как: форма, цвет, нужный функционал. Кроме того, «влажная» нить требует более высокой температуры для надлежащей экструзии. Подобные нейлоновые, поликарбонатные и сополиэфирные нити очень восприимчивы к возникновению гидролиза.

Одним из свойств филамента является способность притягивать молекулы воды, находящиеся в окружающем воздухе – она называется «гигроскопичностью». Поэтому проблемы с влажностью начинают возникать, когда деятельность по хранению филамента сведена к минимуму – например, в случае, если катушки и мотки 3D-печатного материала лежат на полу рядом с принтером. Таким образом, проблема с хранением сводится к тому, чтобы избежать контакта с влажным воздухом.

Некоторые типы филаментов больше подвержены влиянию влаги, некоторые меньше. Например, нейлон может начать впитывать влагу всего после 18 часов пребывания на открытом воздухе. С PVA дела еще хуже, потому что он используется для создания поддержек, а их потом растворяют водой. PLA и ABS также могут впитывать влагу (PLA больше, чем ABS). От влаги может пострадать не только филамент, но и 3D-принтер, потому что разбухший PLA-филамент может забить сопло принтера до такой степени, что сопло придется заменять.

Результаты печати повреждённым филаментом окажутся довольно печальными, поскольку под воздействием влаги с ним может произойти следующее:

- увеличится хрупкость;
- филамент станет разлагаться;
- возможно увеличение диаметра нити (из-за чего могут появиться проблемы с проталкиванием через боулден-тросик);
- филамент начнет пузыриться, из сопла начнет выходить пар;
- деградация филамента;
- при экструдировании может потребоваться более высокая температура;
- разрушение филамента;
- разрыв филамента.

И все это, очевидно, приводит к дополнительным трудностям в процессе печати. На рисунке 2 показан пример неправильного хранения нитей для печати.

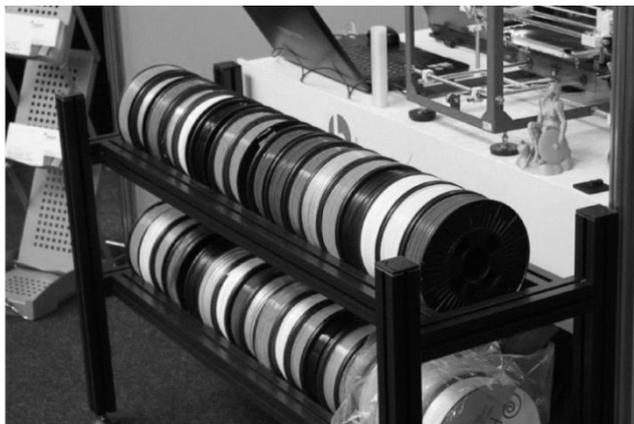


Рисунок 2 – Неправильный способ хранения нитей

Далее будет описано как необходимо хранить нити и какие действия необходимо совершить, чтобы избежать значительных проблем с качеством печати и финансовых проблем, связанных с заменой пластика и заменой печатного устройства в целом.

#### **Правильное хранение филамента для 3D-печати**

Для филамента существует множество решений для хранения, но значительная часть является либо дорогостоящей, либо непрактичной, либо слишком трудоемкой. Ниже будут описаны разные способы сохранения свойств нити для качественной печати.

Самый простой и при этом весьма эффективный способ — это хранение филамента в герметичных пакетах с силикагелем. После вскрытия упаковки с катушкой, её можно поместить в обычный или вакуумный Zip-пакет подходящего размера с пакетиком влагопоглотителя внутри, предварительно выжав или откачав из пакета воздух. Это самый практичный и менее затратный способ сохранить пластик для печати в надлежащем виде.

Также, можно использовать жесткие герметичные контейнеры или «боксы». Боксы бывают разными по вместительности и функциональности. Один из вариантов — это крепкие контейнеры с плотно закрывающейся крышкой, в некоторых случаях оснащаемые клапанами для откачки воздуха вакуумным насосом. Также внутрь необходимо положить пакетик силикагеля, но не забывать, что: впитываемая влага остается в пакетиках, и со временем силикагель начнет терять эффективность, так что перед повторным применением его тоже необходимо просушивать, либо использовать свежий сорбент.

Более функциональные версии боксов оснащаются датчиками влажности и отдельными отсеками для силикагеля. Самые же продвинутые варианты предназначены для хранения пластика для 3D-печати непосредственно во время работы: катушки устанавливаются на ролики внутри боксов, а филаменты выводятся наружу и в экструдер 3D-принтера через тефлоновые трубки. Обеспечить герметичность таких контейнеров непосредственно во время печати сложно, потому обычно они оснащаются нагревательными элементами и играют дополнительную роль сушилки, не позволяя филаментам набирать влагу во время длительной 3D-печати.

Данное приспособление можно приобрести или при желании сделать самостоятельно похожий прибор из подручных материалов, 3D-печатных деталей и недорогих покупных комплектующих. На рисунке 3 можно познакомиться с разными видами правильного хранения пластмасс для печати на 3D-принтере.

При необходимости, крупных производственных объемах и материальных возможностях, можно приобрести сухой шкаф с герметичными дверцами и осушителями с принудительной циркуляцией воздуха. Такие шкафы обычно используют для хранения электронных и оптических приборов и компонентов, прецизионных металлических деталей, фармацевтических образцов и других чувствительных к влаге вещей, так что они также могут подойти для необходимых целей.

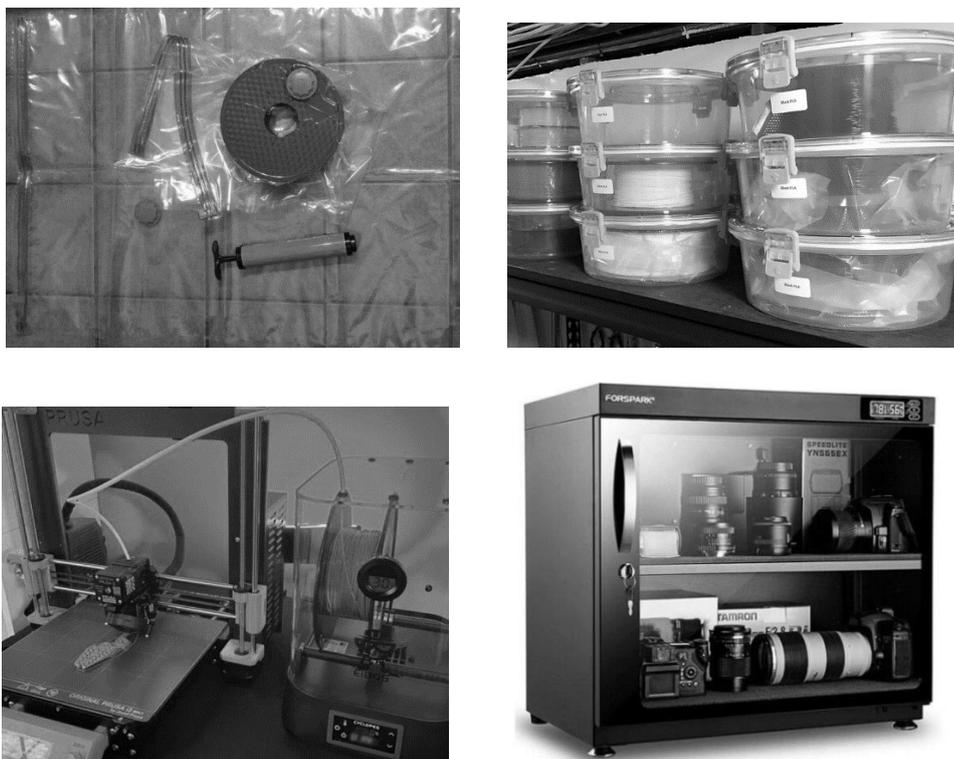


Рисунок 3 – Правильные способы хранения нитей

Также одним из важных факторов для правильного хранения пластика для 3D-печати является правильное соблюдение уровня освещенности места или помещения, где будет храниться филамент. Многие полимеры очень чувствительны к ультрафиолету (ABS и другие). Поэтому важно сделать так, чтобы упаковочные и конструкционные материалы (полиэтилен, поликарбонат, оргстекло и другие) также были защищены от прямого попадания на них света.

При случайном впитывании филаментом влаги существует технология сушки пластика, позволяющая его дальнейшее использование. Необходимо соблюдать следующий температурно-временной режим: температура нагрева не должна превышать 70-80 °С; нахождение в сушильной камере 4...6 часов (в зависимости от вида термопластика) [3, 4].

Если речь идет о сушке термопластиков с более низкой температурой стеклования, например, PLA, стоит соблюдать более низкие температуры и большую выдержку.

**Выводы.** Таким образом необходимо отметить, что для 3D-печати одним из важнейших критериев качества печати, свойств печатаемых моделей и сохранности комплектующих 3D-принтера является соблюдение условий хранения филамента. Все это можно обеспечить с помощью таких средств как упаковка, способная защитить пластик от влаги, а также технологий, которые позволят просушить филамент до пригодного состояния для дальнейшей печати.

#### Библиографический список

1. Шкуро, А.Е. Технологии и материалы 3D-печати [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017.
2. Мартынов, Р.С. 3D моделирование и 3D печать. Методы, технологии, инновации [Текст] / Р.С. Мартынов // Сборник научных статей V международной научнопрактической конференции молодых ученых, посвященной 54-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос. - Краснодар, 2015. – С. 190-193.
3. Мальха Е. Ф. Составляющие технического сервиса // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2009. № 8-1. С. 65-67.
4. Дорохов А. С., Катаев Ю. В., Скороходов Д. М. Теоретическое обоснование классификации входного контроля качества машиностроительной продукции // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 2. С. 49-54.

УДК 51-74

#### АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ НАПРАВЛЯЮЩИХ КОСИНУСОВ ИЗ ОРБИТАЛЬНОЙ В ГЕОЦЕНТРИЧЕСКУЮ ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ

*И.С. Рыжков<sup>1</sup>, Д.В. Черезов<sup>1</sup>, к.т.н. И.Е. Калмычков<sup>1</sup>, А.И. Худас<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>. АО «НИИ «Вектор»*

Использование космических аппаратов (КА) для решения задачи местоопределения наземных объектов путем реализации однопозиционного метода пеленгования, требует предварительного преобразования измеренных значений направляющих косинусов из орбитальной системы координат

$\dot{O}x_oy_oz_o$  в геоцентрическую пространственную систему координат  $Ox_2y_2z_2$ . Однако движение космического аппарата (КА) осуществляется под воздействием большого числа сил различной природы, что обуславливает постоянное изменение положения  $\dot{O}x_oy_oz_o$  относительно  $Ox_2y_2z_2$ .

При рассмотрении низкоорбитальных систем типа LEO в большинстве случаев моделирования орбитального движения целесообразно применение модели невозмущенного движения КА, предполагающей воздействие только одной силы – центральной гравитационной силы притяжения Земли (далее – гравитационной силы). Следует отметить, что выбор такой модели обусловлен рядом объективных факторов, а именно:

- для данного типа орбит влияние гравитационной силы на КА существенно превосходит влияние других сил (сопротивления атмосферы, силы солнечного давления, сил электромагнитного происхождения и пр.);
- малая вероятность непреднамеренного воздействия на КА существенных по величине сил возникающих, например, от столкновения с другими космическими объектами;
- наличие специальных систем КА, обеспечивающих поддержание параметров его орбиты при их изменении.

Принятое допущение о невозмущенном движении КА позволяет определить необходимые значения углов вращения осей системы  $\dot{O}x_oy_oz_o$  для их совмещения с системой  $Ox_2y_2z_2$ , на основе следующих параметров, характеризующих пространственное положение КА (рис. 1):

- наклона орбиты ( $i$ );
- долготы восходящего узла ( $\Omega$ );
- аргумента широты ( $u$ ).

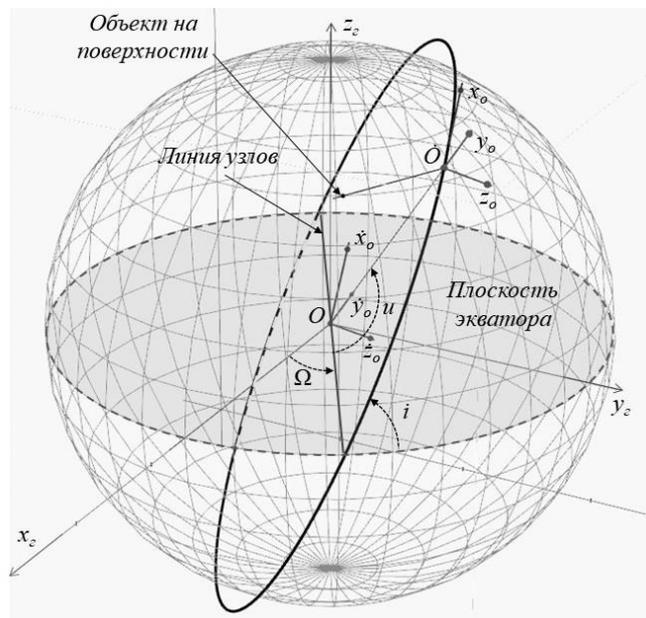


Рис. 1. Пример расположения орбитальной системы координат относительно геоцентрической, а также геометрический смысл параметров орбиты ( $i$ ,  $\Omega$ ,  $u$ ), позволяющих определить необходимую величину углы расхождения осей систем координат

В настоящее время известны работы, в которых рассмотрена задача вращения орбитальной системы координат относительно геоцентрической на основе использования матриц преобразования с известными значениями углов Эйлера [1 - 2]. Однако в этих работах отсутствуют сведения, позволяющие рассчитать требуемые значения углов вращения на основе параметров, определяющих пространственное положение КА.

Таким образом, целью статьи является разработка алгоритма преобразования значений направляющих косинусов из орбитальной в геоцентрическую пространственную систему координат, на основе параметров, определяющих положение КА на орбите.

При проведении исследования приняты следующие допущения о направлениях осей бортовой системы координат (рис. 1):

- направление оси  $\dot{O}x_o$  соответствует направлению азимутального вектора скорости КА;
- направление оси  $\dot{O}y_o$  продолжает вектор  $OO$ ;
- направление оси  $\dot{O}z_o$  перпендикулярно плоскости орбиты и дополняет систему  $\dot{O}x_oy_oz_o$  до правой.

На рис. 1 для наглядного отображения углов отклонения осей систем  $\dot{O}x_oy_oz_o$  и  $Ox_2y_2z_2$  введена дополнительная система координат  $Ox_oy_oz_o$ , начало которой совпадает с началом системы  $Ox_2y_2z_2$ , а оси параллельны и совпадают по направлению с осями системы  $\dot{O}x_oy_oz_o$ . Из этого следует, что величина углов вращения при совмещении осей системы координат  $\dot{O}x_oy_oz_o$  с осями  $Ox_2y_2z_2$  будет такой же, как при совмещении  $\dot{O}x_oy_oz_o$  с  $Ox_2y_2z_2$ .

Следует отметить, что процедура преобразования системы координат  $\dot{O}x_oy_oz_o$  в  $Ox_2y_2z_2$  является обратной по отношению к процедуре преобразования  $Ox_2y_2z_2$  в  $\dot{O}x_oy_oz_o$ . При этом визуальный анализ взаимного расположения систем координат (рис. 1) показывает, что совмещение осей можно описать

следующей последовательностью поворотов системы  $Ox_2y_2z_2$  вокруг исходного положения своих осей (рис. 2):

1. Вращение системы координат  $Ox_2y_2z_2$  вокруг оси  $Oy_2$  на угол  $\pi$ .
2. Вращение системы координат  $Ox_2y_2z_2$  вокруг оси  $Oz_2$  на угол  $\alpha$ , где

$$\alpha = -\left(\frac{\pi}{2} - i\right). \quad (1)$$

3. Вращение системы координат  $Ox_2y_2z_2$  вокруг оси  $Ox_2$  на угол  $i$ .
4. Вращение системы координат  $Ox_2y_2z_2$  вокруг оси  $Oz_2$  на угол  $\Omega$ .

Следовательно, математическое преобразование векторов направляющих косинусов базиса системы координат  $Ox_2y_2z_2$

$$V_{i2} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, V_{j2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, V_{k2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

в вектора направляющих косинусов базиса системы координат  $Ox_2y_2z_2$ , можно выполнить на основе следующих формул:

$$\begin{aligned} V_{i0} &= M_{z2} M_x M_{z1} M_y V_{i2}; \\ V_{j0} &= M_{z2} M_x M_{z1} M_y V_{j2}; \\ V_{k0} &= M_{z2} M_x M_{z1} M_y V_{k2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $M_{z2}$  и  $M_{z1}$  – матрицы преобразования по оси  $Oz_2$ ,  $M_x$  и  $M_y$  – матрицы преобразования соответственно по оси  $Ox_2$  и  $Oy_2$ .

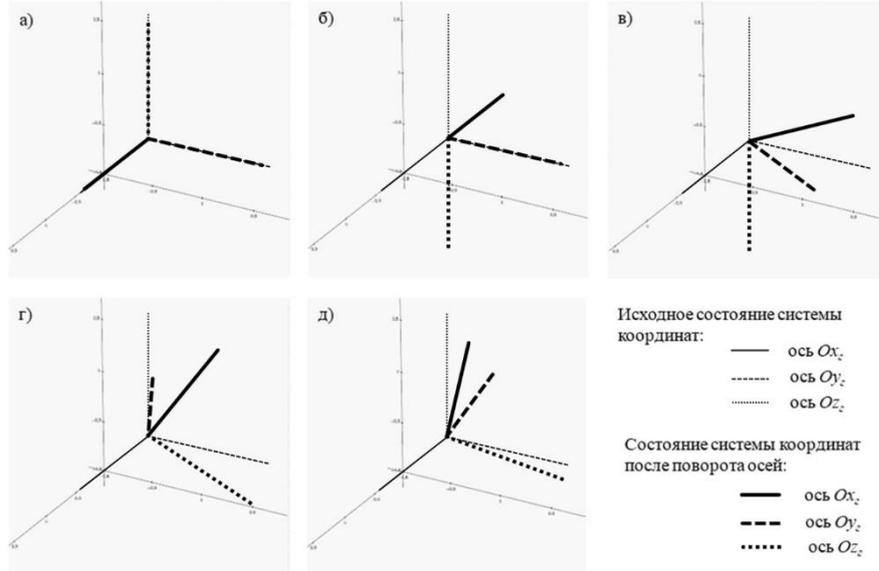


Рис. 2. Результаты моделирования в среде Mathcad поворота осей системы координата  $Ox_2y_2z_2$  при условии  $i = 67,5^\circ$ ,  $u = 57,4^\circ$ ,  $\Omega = 30^\circ$ : а) исходное состояние, б) вращение вокруг оси  $Oy_2$  на угол  $\pi$ , в) вращение вокруг оси  $Oz_2$  на угол  $\alpha$ , г) вращение вокруг оси  $Ox_2$  на угол  $i$ , д) вращение вокруг оси  $Oz_2$  на угол  $\Omega$

С учетом введенных в пунктах 1 - 4 углов вращения матрицы преобразования будут иметь следующий вид [3]

$$M_y = \begin{bmatrix} \cos \pi & 0 & \sin \pi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \pi & 0 & \cos \pi \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$M_{z1} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$M_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & -\sin i \\ 0 & \sin i & \cos i \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$M_{z2} = \begin{bmatrix} \cos \Omega & -\sin \Omega & 0 \\ \sin \Omega & \cos \Omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

На основе формул (3) можно определить функции преобразования векторов направляющих косинусов базиса орбитальной системы координат в вектора направляющих косинусов базиса геоцентрической системы, как результат обратного вращения  $Ox_oy_oz_o$  относительно  $Ox_zyz_z$ :

$$\begin{aligned} V_{i_2} &= M_y^T M_{z1}^T M_x^T M_{z2}^T V_{i_o}; \\ V_{j_2} &= M_y^T M_{z1}^T M_x^T M_{z2}^T V_{j_o}; \\ V_{z_2} &= M_y^T M_{z1}^T M_x^T M_{z2}^T V_{z_o}. \end{aligned} \quad (8)$$

Очевидно, что преобразование системы координат  $Ox_oy_oz_o$  на основе выражения (8) изменяет значения направляющих косинусов не только базисных векторов, но и любого другого вектора, определенного в этой системе координат.

Так, если через точку  $M$  и точку  $O$  проходит прямая (рис. 3а), то в системе координат  $Ox_zyz_z$  ее направление определяется вектором направляющих косинусов

$$V_{M_z} = \begin{bmatrix} \cos\_Mx_z \\ \cos\_My_z \\ \cos\_Mz_z \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где  $\cos\_Mx_z$ ,  $\cos\_My_z$  и  $\cos\_Mz_z$  – значения направляющих косинусов соответственно по осям  $Ox_z$ ,  $Oy_z$  и  $Oz_z$ . Если при вращении орбитальной системы координат считать, что прямая сохраняет направление относительно системы  $Ox_oy_oz_o$ , то относительно  $Ox_zyz_z$  прямая изменит направление, так как изменятся значения направляющих косинусов в системе координат  $Ox_zyz_z$  в соответствии с выражением (8) (рис. 3б).

Следовательно, выполнение преобразования (3) в отношении направляющих косинусов измеренных в системе координат  $Ox_oy_oz_o$ , как обратного к (8), позволит определить значения направляющих косинусов в системе координат  $Ox_zyz_z$  (рис. 3в)

$$V_{M_z} = M_{z2} M_x M_{z1} M_y \begin{bmatrix} \cos\_Mx_o \\ \cos\_My_o \\ \cos\_Mz_o \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где  $\cos\_Mx_o$ ,  $\cos\_My_o$  и  $\cos\_Mz_o$  – значения направляющих косинусов на т.  $M$  в системе координат  $Ox_oy_oz_o$ .

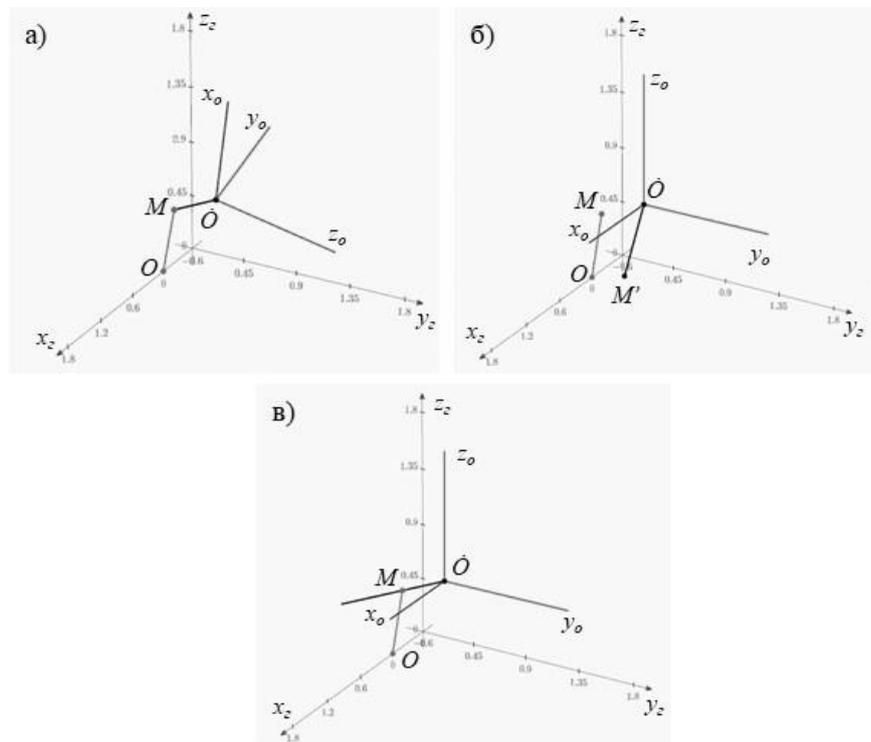


Рис. 3. Результат моделирования в среде Mathcad процедуры вращения системы координат и изменения направления прямой  $OM$ : а) исходное состояние системы координат  $Ox_oy_oz_o$ , б) поворот системы координат  $Ox_oy_oz_o$ , обеспечивающий совмещение ее осей с осями системы  $Ox_zyz_z$ , в) исходное положение прямой  $OM$ , полученное в результате преобразования направляющих косинусов на основе выражения (9)

При разработке алгоритма с целью сокращения вычислительных затрат произведение матриц в выражении (10) целесообразно заменить следующей матрицей преобразования:

$$M_{np} = M_{z_2} M_x M_{z_1} M_y = \begin{bmatrix} -s_u c_\Omega - c_i c_u s_\Omega & c_u c_\Omega - c_i s_u s_\Omega & -s_i s_\Omega \\ c_i c_u c_\Omega - s_i s_\Omega & c_u s_\Omega + c_i s_u c_\Omega & s_i c_\Omega \\ c_u s_i & s_i s_u & -c_i \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где  $s_u = \sin(u)$ ,  $c_u = \cos(u)$ ,  $s_i = \sin(i)$ ,  $c_i = \cos(i)$ ,  $s_\Omega = \sin(\Omega)$ ,  $c_\Omega = \cos(\Omega)$ .

Таким образом, алгоритм преобразования значений направляющих косинусов из орбитальной в геоцентрическую пространственную систему координат должен включать следующие процедуры:

1. Ввод исходных данных:
  - параметров, характеризующих положение КА на орбите –  $i$ ,  $u$ ,  $\Omega$ ;
  - значений направляющих косинусов, определяющих направление на объект в орбитальной системе координат –  $\cos_{Ix_0}$ ,  $\cos_{Iy_0}$  и  $\cos_{Iz_0}$ .
2. Расчет матрицы преобразования на основе выражения (11).
3. Преобразование значений  $\cos_{Ix_0}$ ,  $\cos_{Iy_0}$  и  $\cos_{Iz_0}$  в значения, соответствующие системе координат  $Ox_2y_2z_2$  ( $\cos_{Ix_2}$ ,  $\cos_{Iy_2}$ ,  $\cos_{Iz_2}$ ), на основе следующего выражения:

$$\begin{bmatrix} \cos_{Ix_2} \\ \cos_{Iy_2} \\ \cos_{Iz_2} \end{bmatrix} = M_{np} \begin{bmatrix} \cos_{Ix_0} \\ \cos_{Iy_0} \\ \cos_{Iz_0} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Практическая значимость разработанного алгоритма подтверждена имитационным моделированием прямой и обратной задачи местоопределения наземного объекта на основе однопозиционного метода пеленгования.

Вывод – при известных параметрах пространственного положения КА выполнить преобразование значений направляющих косинусов, определяющих направление на наземный объект в орбитальной системе координат, в значения, соответствующие геоцентрической пространственной системе координат, можно на основе выражения (12) при использовании матрицы преобразования, соответствующей выражению (11).

#### Библиографический список

1. Андронов, В.Г. Теоретические основы георбитального моделирования космических сканерных изображений высокого разрешения: монография / В.Г. Андронов. – Юго-Зап. гос. ун-т Курск, 2012. – 260 с. – ISBN 978-5-7681-0801-4.
2. Крылов, В.И. Координатно-временные преобразования в геодезии: учебное пособие / В.И. Крылов. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2014. – 90с., ил. – ISBN 978-5-91188-057-6.
3. Корн, Г.А. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М.: Наука, 1978. – 832 с.

УДК 004.056.57

ГРНТИ 81.93.29

#### АССИМИЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

*С.И. Штеренберг*

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича*

*Проектирование ассимиляционной модели — процесс, отличающийся масштабным количеством применения технических средств от машинного и глубокого обучения до прямого взаимодействия с нейронными сетями (далее — НС). В настоящей работе речь пойдет не только о прототипе системы управления с использованием структур и технологий Больших данных, но и о подключении в процесс управления НС и их развертывании в сети доставки и дистрибуции содержимого (далее - CDN).*

**Ключевые слова:** Большие данные, CDN, нейронные сети, машинное обучение, глубокое обучение

**Начальное проектирование** ассимиляционной модели системы обработки модели Больших данных начинается с определения понятий включаемых технологий. Для уменьшения количественных характеристик скорости загрузки данных, к примеру, в распределенных информационных системах (далее — РИС) и обработки их содержимого, необходимо разместить на нескольких рассредоточенных серверах. CDN сократит сетевой маршрут передачи данных и сделает погрузку любых данных быстрее с точки зрения оператора. Снижение количества транзитных участков, существенно увеличит скорость скачивания данных из и в РИС. Собственно технология CDN способна предотвратить задержки при передаче данных и возможные прерывания на узлах связи.

Для технологий Больших данных важно, чтобы размещение серверов в непосредственной близости от конечных пользователей влияло на исходящую пропускную способность в целях ее положительной динамики. Возрастающая пропускная способность умножится принципиально количество распределенных ресурсов. Также из-за мощности своей архитектуры CDN обеспечит устойчивость к различным DDoS-атакам. Все внутренние адреса РИС будут также закрыты от постороннего вмешательства.

При проектировании ассимиляционной модели полезными оказались сведения из работы [1, стр

82], где большое внимание уделено представлению Больших данных в среде NoSQL. В частности, если иметь источники сбора и обработки сведений, передаваемых по РИС, то следует обратить внимание, что формальный вид простой модели обработки Больших данных приобретет следующую формулировку:

$$M = \langle A, I \rangle \quad (1)$$

, где  $A$  – атрибуты для пользователей,  $I$  – воздействие и критерии на текущего пользователя. Разумеется, ассимиляционная модель будет дополнена критериями из свойств нейронной сети, например:

$$M = (\langle A, I \rangle) * (\langle D_l, R_l \rangle) \quad (2)$$

, где уже  $D_l$  – элементы глубокого обучения в РИС,  $R_l$  – элементы машинного обучения в РИС. Соответственно по атрибутам каждой концепции позднее устанавливается нужная взаимосвязь. В формальном виде это выглядит так:

$$M = U_{j=1}^m A_j I_j D_{lj} R_{lj} \quad (3)$$

где возможно добавить параметр  $j$  – как элемент количественных характеристик для всей системы обработки Больших данных –  $U$ .

Известно, что ассимиляция данных – это по большей части математическая статистика, где оптимально комбинируются теоретические концепции и реальные наблюдения. Для этого качества актуально использование сравнительной зависимости, как описано ранее в работе [2]. Отметим, что общая эффективность системы отражает степень соответствия системы своему назначению, то есть обоснованность механизмов защиты и экономическую целесообразность применения в РИС. Таким образом, выделим основные параметры, определяющие требования к модели, и представляющие из себя эффект от использования Больших данных, а также основные возможные категории затрат на реализацию с компонентами машинного и глубокого обучения (см. табл. 1).

Таблица 1 – Параметры эффекта от использования ассимиляционной модели  
Факторы, определяющие эффективность от использования CDN

Параметр показателя эффективности	Факторы, определяющие эффективность от использования CDN
$N_1$	Наличие компонентов машинного обучения
$N_2$	Наличие компонентов глубокого обучения
$N_3$	Реализация централизованного управления системой разграничения доступа
$N_4$	Реализация мандатной модели разграничения доступа
$N_5$	Реализация дискреционной модели разграничения доступа
$N_6$	Реализация защищенной аутентификации и идентификации пользователей
$N_7$	Обеспечение контроля целостности программно-аппаратной среды
$N_8$	Обеспечение контроля целостности объектов файловой системы
$N_9$	Реализация механизмов криптографической защиты информации
$N_{10}$	Аудит событий ассимиляционной модель средств обработки Больших данных
$N_{11}$	Очистка остаточной информации
$N_{12}$	Возможность организации изолированной безопасной среды
$N_{13}$	Доверенная загрузка ОС
$N_{14}$	Контроль средств обработки Больших данных
$N_{15}$	Совместимость с аппаратными средствами идентификации и аутентификации

$N_{16}$	Поддержка ОС семейства Windows
$N_{17}$	Поддержка ОС семейства Linux
$N_{18}$	Восстановление после сбоев
$N_{19}$	Возможность защиты АРМ, объединённых в сеть (сетевая версия продукта)
$N_{20}$	Реализация межсетевого экранирования (при необходимости данного модуля)
$N_{21}$	Встроенная система обнаружения и предотвращения вторжений (при необходимости данного модуля)
$N_{22}$	Контроль съёмных носителей

Средства ИС выявляют необходимые функциональные задачи, исходя из текущих условий функционирования информационной системы организации, и обследует вариант РИС на предмет выявления актуальных механизмов, оценивая каждый из параметров функционала на значимость, отраженную в виде коэффициента при параметре (см. табл. 2).

Таблица 2 – Параметры затрат на использование в РИС

Параметры показателя затрат	Факторы, определяющие затраты от использования CDN
При отсутствии средств централизованного управления	
$Z_1$	Оценка за стоимость комплекта на 1 рабочее место (автономный вариант)
$Z_2$	Оценка исходя из затрат трудовых ресурсов на обслуживание 1 рабочего места
$Z_3$	Оценка исходя из затрат технических ресурсов системы (производительность, память и т.д.) на обслуживание 1 рабочего места
При наличии средств централизованного управления	
$Z_1$	Оценка стоимости комплекта с централизованным управлением
$Z_2$	Оценка затрат трудовых ресурсов на обслуживание CDN
$Z_3$	Оценка затрат технических ресурсов системы на обслуживание сетевого варианта развертывания CDN

В общем виде показатель эффективности можно представить в виде:

$$W = \frac{k_1 \times N_1 + k_2 \times N_2 + k_3 \times N_3 + \dots}{m \times (k_{1z} \times Z_1 + k_{2z} \times Z_2 + \dots)} \quad (4)$$

где  $W$  – показатель эффективности модели;  $N_n$  – множество параметров соответствующих показателей, определяющих эффект от использования модели;  $k_n$  – коэффициент, определяющий значимость показателя эффективности модели, применительно к конкретной системе;  $Z_n$  – множество параметров соответствующих показателей, определяющих затраты от внедрения и затраты на эксплуатацию модели;  $k_{nz}$  – коэффициент, определяющий значимость показателя, отражающего затраты;  $m$  – количество АРМ, учитывается при условии отсутствия средств централизованного управления, в противном случае приравнивается к 1. Подобное представление дает возможность представить фрагмент (см. рис. 1) ассимиляционной модели средств обработки Больших данных, которое работает с РИС напрямую.



Рис.1. Фрагмент модели перспективной интеллектуальной СОВ на основе компонентов машинного и глубокого обучения.

Для фрагментарной модели характерны следующие стратегемы, поскольку общая концепция встраивается в свойства систем обнаружения вторжений [3]:

- 1) Мониторинг групповых массовых атак по принципу использования Больших данных;
- 2) Накопление данных об иммунитете программного обучения в РИС;
- 3) Представление пользователей в типах воздействий;
- 4) Представление динамики возмущения и сценариев возврата поведения интеллектуальной СОВ [6,7,8];
- 5) Разработка схемы макро-восстановления ИС в условиях постоянных кибератак;
- 6) Применение средств денотационной, аксиоматической и операционной семантики для всей ИС [8];
- 7) Самовосстановление возмущенного поведения киберсистемы с ИС при решении целевых задач по обеспечению кибербезопасности.

Одним из ключевых элементов в построении данной интеллектуальной СОВ, является представление самого ИИ как механизма. Имеется ввиду что понимается под ИИ и из чего будет состоять данное ПО для СЗИ. На рис. 3 представлена детализирующая концепция предлагаемых механизмов для ИИ [4, стр.104]. Предлагаемое определение объектов РИС, может быть механически конструктивным для накопления данных в результате работы ассоциативной памяти для всего процесса ИИ в РИС.

**Заключение.** Алгоритмы машинного и глубокого обучения будут принимать на входе специальные наборы обучающих параметров, в том числе и для интеллектуальной СОВ. Ориентироваться нужно будет на основе того, чтобы модель работала лучше, чем простой эвристический анализ для прочих СЗИ [1,3,5]. Практически, механизмы ИИ (в виде машинного и глубокого обучения) будут реализованы в виде конвейеров, которые будут содержать последовательные этапы преобразования данных (в том числе и технологии Больших данных).

#### Библиографический список

1. Обнаружение инсайдеров в компьютерных сетях на основе комбинирования экспертных правил, методов машинного обучения и обработки больших данных: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.19 / Ушаков Игорь Александрович; [Место защиты: ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук]. - Санкт-Петербург, 2020. - 215 с.: ил.
  2. Штеренберг С.И., Щеголева Д.И., Виноградова О.М., Синхронизированное использование систем защиты информации для контроля учёта рабочего времени // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2019. № 4. С. 3-8.
  3. Штеренберг С.И., Обнаружение вторжений в распределенных информационных системах на основе методов скрытого мониторинга и анализа больших данных: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.19 / Штеренберг Станислав Игоревич; [Место защиты: Петерб. гос. ун-т путей сообщ.]. - Санкт-Петербург, 2018. - 182 с.: ил.
  4. Рапопорт Г.Н., Герц А.Г., Биологический и искусственный разум. Ч.1. Сознание, мышление и эмоции. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011 – 182 с
  5. Сахаров Д.В., Гельфанд А.М., Казанцев А.А., Пестов И.Е., Использование математических методов прогнозирования для оценки нагрузки на вычислительную мощность iot-сети // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 2. С. 86-94.
  6. Сахаров Д.В., Ковцур М.М., Бахтин Д.В., Модель защиты от эксплойтов и руткитов с последующим анализом и оценкой инцидентов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 5. С. 22-31.
  7. Красов А.В., Метод обнаружения сетевой стеганографии на основе статистического распределения полей сетевых пакетов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. № 4. 2022. С.84-91
  8. Браницкий А.А., Шарма Я.Д., Котенко И.В., Федорченко Е.В., Красов А.В., Ушаков И.А., Определение психического состояния пользователей социальной сети reddit на основе методов машинного обучения // Информационно-управляющие системы. № 1 (116). С. 8-18
- Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Минцифры России (грант ИБ) в рамках научного проекта, Соглашение №. 40469-05/2022*

# СЕКЦИЯ 5 РАДИОТЕХНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

УДК 543.421/.422

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСХОДА ЙОДА ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО КИСЛОРОДНО-ЙОДНОГО ЛАЗЕРА

Д.А. Рычкова

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

**Введение.** Химический кислородно-йодный лазер (ХКИЛ) является одним из наиболее перспективных источников мощного лазерного излучения. Преимущества ХКИЛ заключаются в малой длине волны ( $\lambda = 1315$  нм), высокой энергетической эффективности и высокой оптической однородности активной среды [1].

Для обеспечения работы ХКИЛ необходимо знать временные изменения концентрации йода. Как недостаток, так и избыток йода негативно сказывается на его работе. В первом случае это отсутствие генерирующих частиц, а во втором – тушение возбужденного йода молекулами йода из-за их повышенной локальной концентрации.

Кроме этого, каждая отдельная система уникальна с точки зрения геометрии сопла, конфигурации оптического резонатора, параметров введения йода и т.д., что приводит к различным значениям оптимального расхода йода. Поэтому с точки зрения эксплуатации ХКИЛ, точное измерение расхода йода в реальном времени является необходимым требованием. Функциональная схема ХКИЛ представлена на рисунке 1.

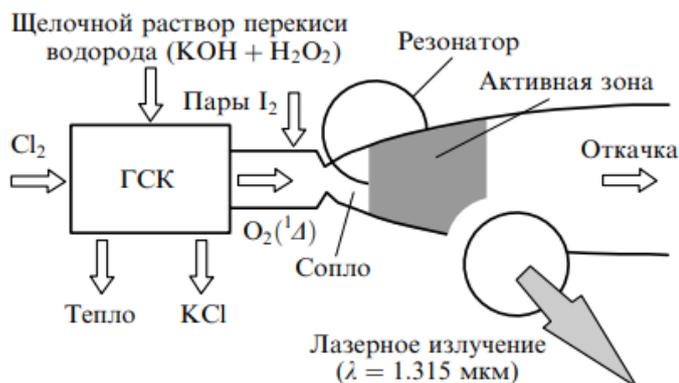


Рисунок 8 – Функциональная схема химического КИЛ со струйным генератором синглетного кислорода [2]

Химический кислород-йодный лазер является химическим лазером с электронным переходом, который накачивается химической реакцией, не требующей внешнего источника энергии.

Источник накачки – синглетный кислород ( $O_2(^1\Delta)$ ), представляет собой возбужденную форму молекулы кислорода с уровнем энергии, очень близким к уровню энергии атомарного йода, и, следовательно, может быть достигнута почти резонансная передача энергии. Молекулы синглетного кислорода (СК) образуются в результате химической реакции между щелочным раствором перекиси водорода и газообразным хлором в генераторе синглетного кислорода. СК действует не только как источник накачки, но способствует диссоциации молекул йода на атомарный йод [3].

Система измерения концентрации йода предназначена для измерения концентрации йода и контроля расхода йода. Наиболее подходящим методом измерения концентрации йода является метод абсорбционной спектроскопии. Схема системы измерения расхода йода представлена на рисунке 2.

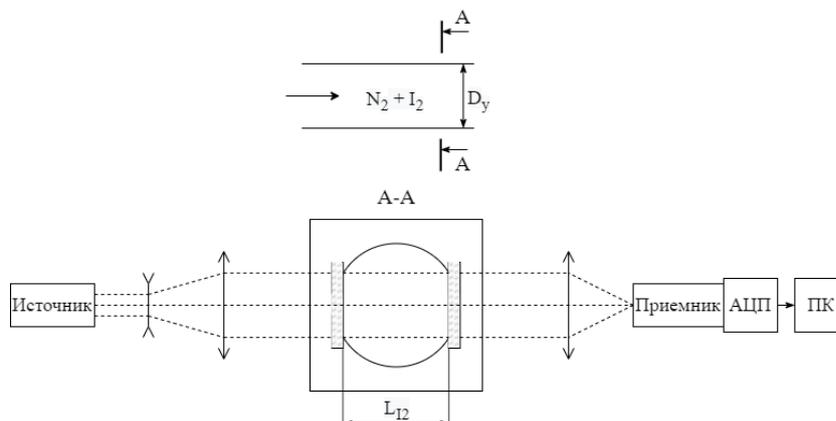


Рисунок 9 – Схема системы измерения расхода йода

Параллельный световой пучок распространяется через объем образца. Йод переносится к лазерной камере из испарителя по трубопроводу с помощью азота, выступающего в качестве газ-носителя. Детектируя интенсивность падающего света в отсутствии смеси газов (йода и азота) и проходящую интенсивность света через смесь газов (йода и азота), определяется поглощение, вызванное молекулами йода.

Интенсивность поглощения излучения определяется по закону Бугера-Ламберта. Откуда давление йода ( $P_{I_2}$ ) может быть определено по формуле (1):

$$P_{I_2} = C_{I_2} kT = -\frac{kT}{L\sigma_{I_2}} \ln \frac{I_{I_2}}{I_0}, \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура газа;

$C_{I_2}$  – концентрация йода;

$\sigma_{I_2}$  – сечение поглощения йода;

$L$  – длина оптического пути;

$I_0$  – интенсивность падающего излучения без йода;

$I_{I_2}$  – интенсивность падающего излучения с йодом.

Отсюда концентрация йода ( $C_{I_2}$ ) вычисляется по формуле (2):

$$C_{I_2} = -\frac{\ln I_{I_2}/I_0}{L\sigma_{I_2}} \quad (2)$$

Давление, измеренное в трубопроводе, является общим давлением йода и газа-носителя. Таким образом молярный расход йода ( $M_{I_2}$ ) можно вычислить с помощью закона Дальтона, представленного в выражении (3):

$$M_{I_2} = \frac{P_{I_2} M_{см}}{P_0 - P_{I_2}}, \quad (3)$$

где  $M_{см}$  – молярный расход смеси газов.

Вычислим мольную долю йода ( $\xi_{I_2}$ ) в смеси по формуле (4):

$$\xi_{I_2} = \frac{M_{I_2}}{M_{см}} \quad (4)$$

Давление йода ( $P_{I_2}$ ) определим из выражения (5):

$$P_{I_2} = P_0 \xi_{I_2}, \quad (5)$$

где  $P_0$  – давление в трубопроводе.

Из выражения (1) вычислим показатель поглощения ( $\frac{I_0}{I_{I_2}}$ ) представленный формулой (6):

$$\frac{I_0}{I_{I_2}} = \exp\left(\frac{P_{I_2} \sigma_{I_2} L}{kT}\right) \quad (6)$$

Для вычисления диаметра трубы ( $D_y$ ) необходимо знать массовый расход смеси газов ( $G_{см}$ ) представленный выражением (7):

$$G_{см} = \mu_{см} M_{см}, \quad (7)$$

где  $\mu_{см}$  – молярная масса смеси.

Отсюда найдем площадь сечения трубы ( $F$ ) по формуле (8):

$$F = \frac{G_{см}}{\rho_{см} v}, \quad (8)$$

где  $\rho_{см}$  – плотность смеси газов;

$v$  – скорость газового потока в трубе.

Тогда диаметр трубы ( $D_y$ ) находится по формуле (9):

$$D_y = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (9)$$

При подборе источника излучения измерительной системы главными параметрами являются мощность и длина волны излучения, которая должна соответствовать спектру поглощения (коэффициент молярной экстинкции в зависимости от длины волны) молекулы йода, представленном на рисунке 3.

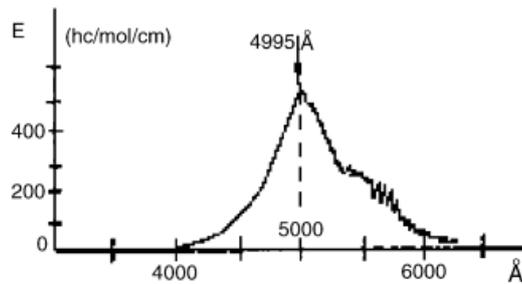


Рисунок 10 – Спектр поглощения молекулы йода [4]

Из спектра видно, что в диапазоне  $500 \pm 40$  нм поглощение существенно не уменьшается, следовательно длину волны излучения источника следует выбирать в данном диапазоне. Следует учитывать, что мощность источника излучения при максимальном коэффициенте поглощения ( $W_{min}$ ) должна быть больше пороговой чувствительности приемника ( $\Phi_n$ ). Вычислим минимальную мощность источника по формуле (10):

$$W_{min} = \frac{W_n \left( \frac{I_0}{I_2} \right)_{max}}{SNR}, \quad (10)$$

где SNR – отношение сигнал/шум;

$W_n$  – выходная мощность источника излучения.

Для выбора приемника излучения необходимо учитывать высокую спектральную чувствительность соответствующую длине волны излучения источника, а также пороговую чувствительность ( $\Phi_n \leq W_{min}$ ).

Пороговая чувствительность вычисляется по формуле (11):

$$\Phi_n = \frac{\sqrt{\Delta f F}}{D^*} \quad (11)$$

где  $F$  – площадь светочувствительной площадки;

$D^*$  – удельная обнаружительная способность;

$\Delta f$  – полоса частот приемника.

**Заключение.** В данной работе была рассмотрена методика, основанная на методе абсорбционной спектроскопии, с помощью которой можно рассчитать основные параметры лазерной измерительной системы расхода йода для химического кислородно-йодного лазера. Также данная методика может использоваться для расчёта концентрации различных веществ.

#### Библиографический список

- 1 Савин А.В. Моделирование рабочих процессов химического кислородно-йодного лазера / А.В. Савин, И.А. Киселев // Балт. гос. техн. ун-т. – СПб. – 2013. – 72 с.
- 2 Борейшо А.С. Мощные мобильные химические лазеры / А.С. Борейшо // Квантовая электроника. – 2005. – №35 – с. 393-406
- 3 Mainuddin. Optical spectroscopic based in-line iodine flow measurement system: an application to COIL / Mainuddin, M.T. Beg, Moinuddin, R.K. Tyagi // Sensors and Actuators B-chemical. – 2005. – Volume 109, Issue 2. – с. 375-380
- 4 Sulzer P. Calculation of the intensity distribution of a continuous iodine absorption spectrum and its dependence on wave number and temperature / P. Sulzer, K. Wieland // Helv. Phys. – 1952. – Acta 25 – 653 с

УДК 004.94, 621.3.09

#### ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА

*В.С. Споданейко<sup>1</sup>, М.А. Крылова<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова*

Для описания отражательной способности цели используют такую характеристику, как эффективная площадь рассеяния (ЭПР) энергии зондирующего сигнала. ЭПР представляет собой фиктивную поверхность, являющуюся изотропным и не поглощающим энергию переизлучателем, и, будучи помещенной в точку цели, создает у антенны РЛС такую же плотность потока мощности отраженного сигнала, как и реальная цель [1].

Определение ЭПР происходит двумя основными способами. Экспериментальное определение – испытуемый объект помещается в безэховую камеру, либо на специализированный полигон, где с помощью оборудования производятся измерения в данных условиях. К недостаткам данного метода относятся: высокая стоимость испытуемого объекта и измерительного оборудования, а также временные затраты на испытания.

Альтернативным методом является моделирование. В качестве инструмента моделирования используется система электромагнитного анализа, которая поддерживает ряд численных методов определения ЭПР. К достоинствам данного способа относятся: возможность внесения изменения в размеры изделия, изменение параметров используемого материала, быстрое определение ЭПР без высоких экономических и временных затрат.

Целью данной работы является сравнение ЭПР, определенной посредством системы электромагнитного анализа и результатов, подтвержденных экспериментально.

При решении разнообразных задач электродинамики используется метод геометрической дифракции и физической оптики, который подходит и для рассматриваемого исследования. Источник излучения заменяется трассируемыми на основе объектов лучами, и производится построение изображения поверхностей, появляющихся на пути распространения лучей и вызывающих соответственные отражения. В основу положены модели, описывающиеся методами Монте-Карло, по которым находящийся на пути распространения лучей объект формируется в виде полудетерминированной модели поверхности. По теории Брэгга вклад в рассеяние волн от объекта, с которым встречается исходящий от источника луч, внесет только движущаяся вдоль сканера поля волна.

Для повышения точности расчетов в исследовании по определению ЭПР объектов применяется методика гибридного моделирования на основе геометрической и физической оптики. Для этого при подготовке моделирования излучаемая волна заменяется сеткой из тонких трубок и лучей, и по законам геометрической оптики производится отслеживание распространения между гранями. Согласно характеристикам распространения электромагнитных волн каждая облучаемая поверхность выступит источником повторного излучения (как небольшая антенна), что позволит рассчитать поле дальнего действия. Пока не будет достигнута максимальная длина или же пока луч не перестанет пересекаться с какими-либо гранями, трассировка не прекратится [2].

Для того, чтобы проверить эффективность метода расчета (провести валидацию предложенного метода по определению ЭПР), было принято решение провести анализ определенного объекта, для которого ранее была найдена диаграмма обратного рассеяния (ЭПР) экспериментальным методом. В качестве примера был выбран усеченный конус из справочника по радиолокации М. Сколникова, в котором для него приведены измеренные диаграммы ЭПР для различной поляризации (рис. 1).

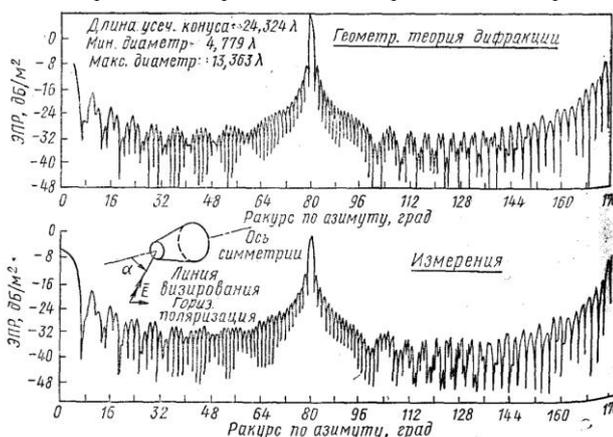


Рисунок 1 – ЭПР усеченного конуса при горизонтальной поляризации [3]

Для проведения моделирования в системе электромагнитного анализа был создан усеченный конус в соответствии с размерами, указанными в справочнике. Для создания возбуждения задается плоская падающая волна. В параметрах для проведения анализа указываются сечения, с которых снимается диаграмма обратного рассеивания, и выбирается поляризация по  $\phi$  или по  $\theta$  (рис. 2). Для того, чтобы элементы, из которых состоит усеченный конус, лучше аппроксимировали криволинейную поверхность, указываются параметры исходной начальной сетки с помощью специального оператора.

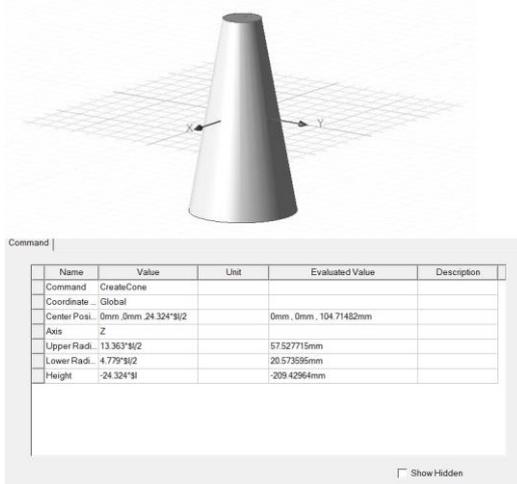


Рисунок 2 – Геометрическая модель и параметры усеченного конуса

Центральная частота анализа составляет 34,803 ГГц. Во время проведения моделирования производится расчет и в результате формируется график ЭПР (сплошной график на рис. 3 и 4).

С помощью функции сканирования была проведена оцифровка диаграммы обратного рассеяния усеченного конуса из справочника (пунктирный график на рис. 3 и 4) для её последующего сравнения с результатами, полученными в системе электромагнитного анализа.

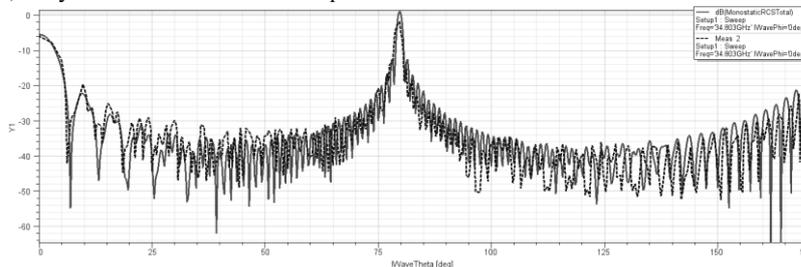


Рисунок 3 – ЭПР усеченного конуса при поляризации по phi в дБ/м<sup>2</sup> (сплошной график – результаты моделирования, пунктирный график – данные из справочника)

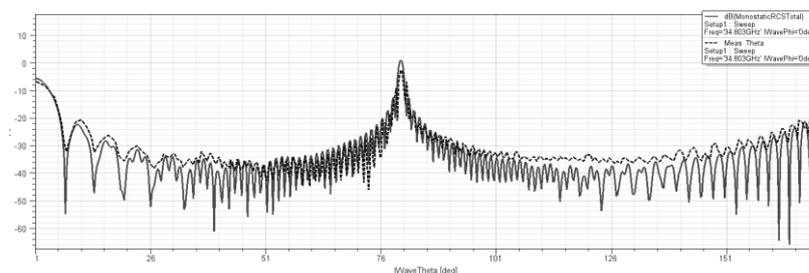


Рисунок 4 – ЭПР усеченного конуса при поляризации по theta в дБ/м<sup>2</sup> (сплошной график – результаты моделирования, пунктирный график – данные из справочника)

Как видно из графиков на рис. 4 и 5 система электромагнитного анализа дает результаты близкие к реальным, расхождения есть, но они весьма не критичны. В главных точках (вершинах) ЭПР либо совпадает, либо имеет незначительное отклонение в несколько дБ/м<sup>2</sup>.

На рисунке 5 представлена диаграмма ЭПР, совмещенная с геометрической моделью исследуемого объекта. При рассмотрении рисунка видно, что максимумы отражения находятся с торцов усеченного конуса и по нормали к его боковой поверхности.

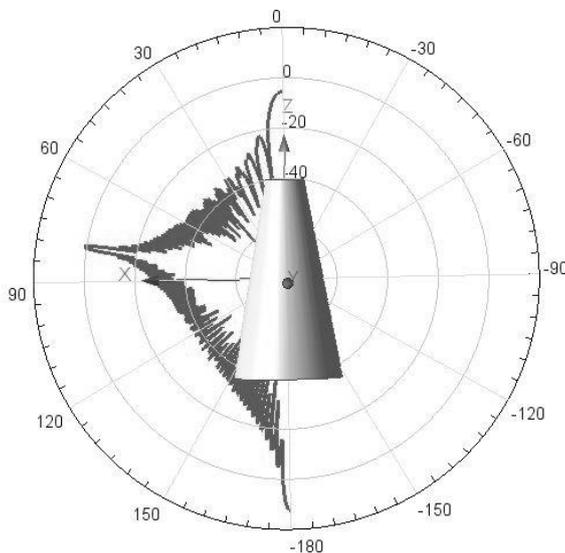


Рисунок 5 – Диаграмма обратного рассеяния усеченного конуса, совмещенная с его геометрической моделью

ЭПР объектов с простой геометрией можно определять в соответствии с известными формулами, но в реальной жизни объекты обладают не только сложной формой, но и имеют в своём составе множество различных неоднородных рассеивателей (из-за сложности их поверхностных профилей и различий в диэлектрической постоянной). Построение и исследование объектов с такой сложной структурой в системе электромагнитного анализа существенно снизит временные, трудовые и денежные затраты.

По результатам проведенного исследования определено, что представленная методика определения ЭПР с применением гибридного анализа на основе физической и геометрической оптики дает достаточно точные результаты. Применение описанного метода по определению обратного

излучения в системе электромагнитного анализа позволит решать различные задачи, которые могут появляться в ходе выполнения научно-исследовательских работ и написания магистерских диссертаций на кафедре И4 «Радиоэлектронные системы управления».

#### Библиографический список

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ., под общей ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. Книга 1. Москва: Техносфера, 2014. - 672 с., ISBN 978-5-94836-381-3
2. И.А. Баранников, К.А. Бердников, Е.А. Ищенко, С.М. Фёдоров. Асимптотические методы анализа в электродинамике // Вестник Воронежского государственного университета. Т. 17 №5. 2021. – 84 с.
3. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Сколника. НьюЙорк, 1970. Пер. с англ. (в четырех томах) под общей ред. К.Н. Трофимова. Том 1. Основы радиолокации. Под ред. Я.С. Иццоки. М.: «Сов.радио», 1976. – 456 с.
4. Моделирование в радиолокации и радиоэлектронной борьбе: учебное пособие / В.В. Смирнов [и др.]; под ред. В.В. Смирнова; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2020. – 83 с.

УДК 621.396.13: 519.233.22

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СУЖЕНИЯ ПОЛОСЫ ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ

*Л.Н. Лясковская*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова*

*E-mail: alyaska\_yaaa@list.ru*

При передаче информации по радиоканалу возникают некоторые сложности, которые могут воспрепятствовать успешной радиосвязи. Одним из таких осложняющих передачу информации факторов являются помехи. Помехи подразделяются на естественные, которые присущи окружающей среде, в которой осуществляется радиопередача и специально организованные, преднамеренные помехи, которые оказывают существенное влияние не только на качество и дальность радиосвязи, но иногда и на возможность ее осуществления.

Искусственные помехи могут быть активными, создаваемыми специальными помеховыми передатчиками, и пассивными, получаемыми в результате отражения радиосигнала от подстилающей поверхности или преднамеренно установленных отражателей, например, угольковых. Очевидна важность борьбы с мешающим действием помех, и, как следствие, исследования способов повышения отношения сигнал/шум, которое определяется согласно формуле 1.1 и зависит прямо пропорционально от мощности полезного радиосигнала и обратно пропорционально от мощности шума.

$$SNR(\text{дБ}) = 10 \lg \left( \frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}} \right) \quad 1.1$$

При обнаружении или измерении любых параметров сигнала, соотношение сигнал/шум является одним из важнейших параметров, оказывающих непосредственное влияние на вероятность принятия и достоверности сообщения, к тому же при работе с радиоканалами связи зачастую требуется произвести операции над принятым сигналом, такие как усиление, декодирование и демодуляцию, во всех перечисленных операциях требуется иметь достаточный уровень соотношения сигнал/шум.

Существенное влияние на отношение сигнал/шум оказывает полоса пропускания радиоканала. Полоса пропускания есть ни что иное как полоса частот, в пределах которой амплитудно-частотная характеристика достаточно равномерна для обеспечения передачи сигнала без искажения [1]. При решении практических задач, как правило, имеет место ограниченность полосы частот и определенность временного интервала исследования сигнала. Исходя из этого, получим формулу 1.2, показывающую, что интегральная характеристика шума, есть ни что иное как реальная дисперсия [2].

$$D(x) = \int_{f_1}^{f_2} S^2(f) df \quad 1.2$$

В формуле 1.2  $f_2$  – верхняя граничная частота,  $f_1$  – нижняя граничная частота,  $S^2(f)$  – спектральная плотность шума. Воспользовавшись интегральной теоремой о среднем, выведем формулу 1.3, наглядно отображающую зависимость спектральной плотности шума от ширины полосы пропускания сигнала

$$D(x) = S^2 \Delta f, \quad 1.3$$

где  $\Delta f$  - полоса пропускания, и, следовательно, чем меньше разница между верхней и нижней границами полосы пропускания (ширина полосы пропускания), тем меньше уровень принимаемого шума, поэтому решение задачи повышения соотношения сигнал/шум, сводится к сужению полосы пропускания.

Существует несколько методов сужения полосы пропускания, среди которых: использование низкочастотных фильтров, усреднение сигнала, переходное усреднение, многоканальное уплотнение, амплитудный анализ импульсов и детектирование захватом.

Метод, основанный на применении низкочастотного фильтра (НЧ) на входе приёмного устройства, не получил широкого распространения при решении практических задач, поскольку

может оказать негативное влияние на принятый сигнал, обрезав его полезные высокочастотные составляющие, что в конечном итоге может привести к потере информации или её искажению [3].

В отличие от метода применения НЧ фильтра, остальные вышеперечисленные методы активно применяются в реальных устройствах радиосвязи, однако предъявляют требование периодичности к радиосигналу, которое нетрудно реализовать в системах связи. Рассмотрим некоторые из методов, их достоинства и недостатки.

Многоканальное усреднение сигнала, позволяет в значительной степени увеличить требуемое соотношение, его принцип заключается в суммировании периодического сигнала. Накопление принятых сигналов происходит в специальном устройстве, именуемом многоканальным счетчиком (уплотнителем) [3]. Если накопленный сигнал имеет значительную шумовую составляющую, данный метод позволяет, получить картину принятого сигнала, т.е. уменьшить шумовое наложение, используя длительное накопление сигнала более 10000 импульсов, механизм преобразования зашумленного сигнала приведен на рисунке 1.

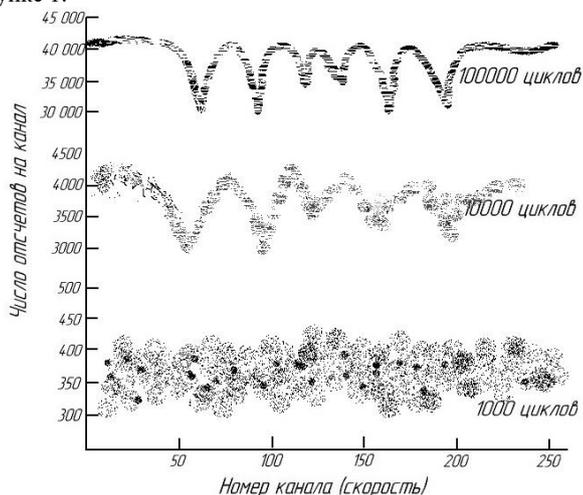


Рисунок 1 – Демонстрация работы метода усреднения сигнала путем накопления

Данный метод позволяет за время  $t$  накопить мощность полезного сигнала и исключить негативное влияние шума на полезный сигнал, а также уменьшить полосу частот измеряемого сигнала на величину согласно формуле 1.3

$$\Delta f = \frac{1}{t} \quad 1.3$$

Накопление сигнала позволяет произвести фильтрацию сигнала и увеличить отношение сигнал/шум при условии, что в течении времени измерения  $t$  остается неизменной мощность сигнала в пределах полосы частот. Если соблюдено условие, описанное выше, то итоговое соотношение сигнал/шум станет равным

$$SNR(\text{дБ}) = 10 \lg \left( \frac{P_{\text{сигнал}} * t}{P_{\text{шум}}} \right) \quad 1.4$$

Метод амплитудного анализа импульсов получил широкое распространение, поскольку относительно прост и основан на принципе линейной связи энергии регистрируемого параметра и амплитуды выходного сигнала детектора [3]. В состав измерительного комплекса также включают многоканальный уплотнитель, который позволяет получить гистограмму амплитуды импульсов входного сигнала, изображение которой приведено на рисунке 2.

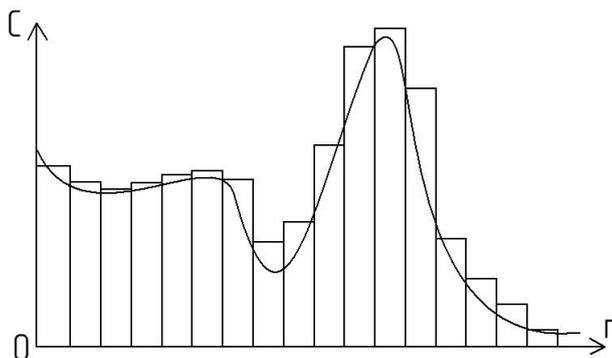


Рисунок 2 – Гистограмма распределения амплитуды

Для разделения полезного сигнала и фонового шума применяются специальные интегральные дискриминаторы, которые отфильтровывают любые сторонние импульсы, которые не превышают некоторый заданный порог.

Пороговое значение не является постоянным, а многократно изменяется для оценки зависимости скорости счета импульсов от величины порога, при помощи данной зависимости строится интегральный энергетический спектр сигнала, по которому можно получить информацию о спектральном составе принятого колебания. Для получения достоверной информации о количестве импульсов, для решения этой задачи в состав измерителя включают дифференциатор.

Противодействие помехам является актуальной задачей, которую вынуждены решать разработчики систем связи со времени изобретения способов радиопередачи информации, необходимо совершенствовать существующие методы фильтрации помех. На данный момент системы радиосвязи и управления нашли широкое применение при использовании систем БПЛА.

#### Библиографический список

1. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов по направлению "Радиотехника" / И.С. Гоноровский, М.П. Демин. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1994. - 418 с.
2. Лекции БНТУ. Метод уменьшения ширины полосы пропускания [Электронный ресурс] / URL: <https://support17.com/foi-lecture-9/> Дата обращения: 02.02.2023
3. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. Пер. с англ. И.И. Короткевич, К.Г. Финюгенов и др. Том 3. Москва: «Мир», 1993. – 502 с.

УДК 53.083.91

### РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ ПЕЩЕР

*Ф.Д. Данилевич<sup>1</sup>, В.М. Субботин<sup>1</sup>, В.С. Ельчинский<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

**Аннотация:** В данной статье представлена разработка измерительного комплекса, оборудованного системой инерционной навигации и лазерными дальномерами, с помощью которого будет осуществляться топографическая съёмка пещер.

**Ключевые слова:** измерительный комплекс, спелеология, топографическая съёмка, лидар, модуль инерционной навигации.

**Введение.** Важность картографирования подземных объектов часто недооценивается, а потому спелеологи и спелестологи редко получают достаточное финансирование и передовое оборудование. На самом деле наличие актуальных топографических карт полостей оказывает большое влияние на самые разные отрасли начиная с градостроения и заканчивая такими научными дисциплинами как антропология, археология и палеонтология. Карты, наложенные на план местности, помогут предотвратить возможные провалы зданий в подземные полости еще на этапе подготовки плана застройки. Такие провалы достаточно часто происходят, например, в Нижегородской области-там под землю уходят целые заводы. А в южном Подмосковье (г. о. Подольск, Ленинский и Домодедовский районы), такие населенные пункты как д. Новосьяново, д. Старосьяново, Девятское ОСНТ и многие другие стоят прямо над бывшими каменоломнями (рис. 1).



Рис. 1. Расположение каменоломен в деревне Старосьяново

Рассмотрим актуальные методы топосъемки пещер:

1. Фотограмметрия – Составление карты на основе множества фотографий подземного объекта. Для достаточной точности необходим большой набор фотографий, сделанных при хорошем освещении, т.е. в съемке должны участвовать как минимум два человека (один настраивает освещение, второй фотографирует), кроме того, такой способ малоэффективен при слишком мелких

размерах объекта. Этот способ, на данный момент, считается самым эффективным и наиболее популярен среди спелеологов [1].

2. Теодолитная съемка – горизонтальная съемка местности, выполняемая с помощью угломерного прибора (теодолита и стальной мерной ленты или оптического дальномера). При выполнении этой съемки измеряются горизонтальные углы и расстояния. Составление карты даже сравнительно небольших подземных систем может занять длительное время, а также потребовать участия большой команды спелеологов, что в свою очередь вредит как скорости работы, так и безопасности ее проведения [2].

3. Лазерное сканирование и применение SLAM алгоритмов – наиболее современный и дорогой метод, подразумевает трехмерное сканирование пещеры при помощи лазерных дальномеров. Такой метод топосъемки хорошо поддается автоматизации, но ввиду отсутствия должного финансирования, а также поставок таких систем в Российскую Федерацию, практически не используется [3].

Все актуальные методы создания топографических карт очень трудоёмкие и дорогие, вследствие чего топосъемка пещер продвигается очень медленно, большинство объектов не отсняты полностью, а многие пещеры не отсняты вовсе.

Для решения вышеуказанных проблем будет создан измерительный комплекс, который существенно упростит картографирование пещер.

**Методика построения топографической карты.** Картографирование будет проводиться с помощью устройства, оборудованного лазерными дальномерами и модулем инерционной навигации. Лидары, установленные по бокам, будут собирать информацию о расстоянии до стен пещеры с большой частотой (до 60 герц). Модуль инерционной навигации будет определять местоположение измерительного комплекса. Данные с лазерных дальномеров и модуля инерционной навигации записываются на SD-карту или флеш-накопитель. После проведения измерений полученные данные обрабатываются на компьютере, с помощью специальной программы координаты двух точек соединяются с ближайшими двумя точками, поставленными ранее, и таким образом формируется двумерная карта пещеры [4].

На рис. 2 представлен пример работы программы.

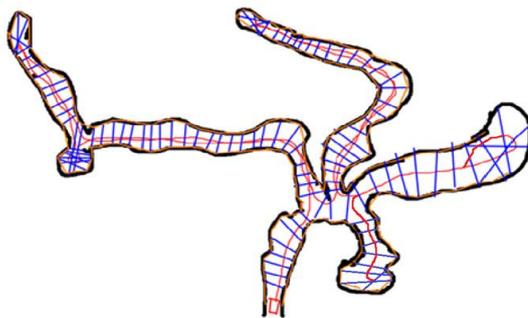


Рис. 2. Пример работы программы картографирования на основе показаний лидаров и системы инерционной навигации

Черные линии – реальное положение стен пещеры.

Красная линия – траектория движения измерительного устройства.

Синие линии – измерения расстояния до стен.

Оранжевые линии – стенки пещеры, отображающиеся в программе.

Частота измерений специально преуменьшена для наглядности работы программы.

#### **Качественная характеристика**

Размеры корпуса устройства: 84\*54\*32 мм.

Время работы: зависит от ёмкости аккумулятора, однако его можно заряжать на ходу.

Дальность измерений: 12 м вправо; 12 м влево.

Память: ограничена объёмом памяти SD-карты или USB накопителем.

Корпус измерительного устройства представлен в виде прямоугольного параллелепипеда с отверстиями под лидары, зарядку аккумулятора и крепления комплектующих.

Питание осуществляется за счёт девятивольтовой аккумуляторной батареи, которая интегрирована в корпус. В корпусе находится специальное отверстие для зарядки аккумулятора, следовательно, устройство можно заряжать прямо во время работы. Также на аккумуляторе имеются индикаторы зарядки (красный – устройство нуждается в зарядке; зелёный – устройство заряжается), позволяющие следить за уровнем заряда батареи.

На рис. 3 представлена 3D-модель измерительного устройства.

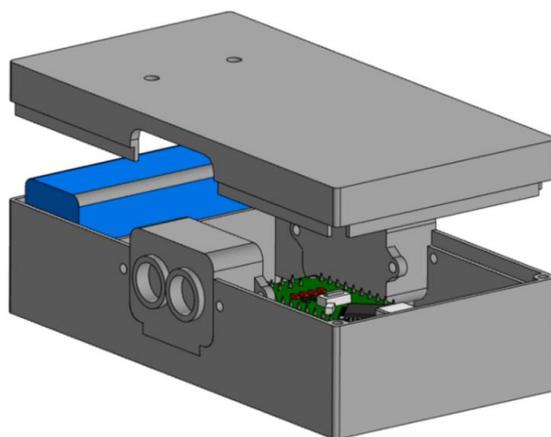


Рис. 3. 3D-модель измерительного устройства

**Выводы.** Результатом работы должно стать сравнительно недорогое и простое в использовании устройство, которое значительно упростит и ускорит процесс картографирования пещер.

В итоге карта появится на компьютере пользователя, после обработки полученных с устройства данных с помощью специальной программы.

Также в будущем мы планируем установить в измерительное устройство Bluetooth-модуль, который позволит отправлять полученные данные сразу в телефон пользователя, и написать приложение для телефона, которое будет строить топографическую карту на основе полученных данных. Это упростит использование устройства и ускорит получение топографической карты.

На сегодняшний день в рамках реализации проекта происходит создание прототипа измерительного комплекса, который поможет протестировать работу всех компонентов устройства и программу картографирования. Также проводятся консультации с научно-исследовательскими лабораториями ВОЕНМЕХа.

#### Библиографический список

1. Сингатулин Р.А. Фотограмметрические технологии в археологии // Ист., филос., полит. и юрид. науки, культурология и искусствоведение. Вопр. теории и практики. – 2013. – Т. 1, № 3. – С. 148–152.
2. Интернет-форум “ Теодолитная съемка. Понятие о теодолитной съемке” [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studopedia.ru/3\\_178866\\_teodolitnaya-s-emka.html](https://studopedia.ru/3_178866_teodolitnaya-s-emka.html) (дата обращения: 20.11.2022).
3. Гаршин Д. И. Прибор DISTOX и современная методика топографической съёмки подземных полостей // Оки связующая нить: сб. материалов научно-практической конференции. – 2018. – С. 141.
4. Горохов К. Г. Ошибки, возникающие в ходе выполнения топографических съемок пещер, и их устранение // Пещеры: сборник научных трудов. – 2016. – С. 81–99.

УДК 681.586.57

#### КОНСТРУКЦИЯ ПЕРЕХОДНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ СЕНСОРА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

*Е.А. Миронова<sup>1,2</sup>, М.Ю. Ряхина<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>. АО «НПП «Дельта»

<sup>2</sup>. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

В данной работе рассматривается возможность импортозамещения и улучшения технических характеристик сенсора для газоанализатора и создание переходного модуля для опытного образца чувствительного элемента отечественного производства IoffeGAS42 [1]. Проведённые исследования показывают хорошие перспективы использования отечественной элементной базы для проектирования малогабаритных анализаторов газов. Практически полученная передаточная функция оптического датчика газа учитывает температурный дрейф. Анализ данных, полученных в результате испытаний, позволяет оценить ожидаемую точность измерений, которую могут обеспечить недисперсионные инфракрасные газовые датчики различной конфигурации при измерении температуры окружающей среды. Приведены результаты разработки опытного образца переходного модуля в составе габаритного макета изделия и анализ результатов испытаний.

К сожалению, невозможно создать один универсальный газоанализатор, с помощью которого можно бы было решать все задачи газового анализа, по той причине, что ни один из известных методов не позволяет с одинаковой точностью производить измерения в максимально широком диапазоне концентраций. Газоанализаторы – это незаменимые устройства, которые используются как на производстве, так и в быту и позволяют определять качественный и количественный состав загрязняющих веществ в рабочей зоне или любом другом помещении, где есть опасные факторы утечки вредных или опасных веществ и газов [2]. Существует множество работ по разработке газовых датчиков. Например, авторы сделали обзор современных тенденций в технологиях изготовления сенсоров в [3]. Некоторые статьи сосредоточены на разработке самих датчиков, например [4]. Однако становится непозволительно задачей найти источники информации, описывающие конструкцию модуля и зависимость устройства, включенного в датчик, от нескольких факторов. Научно-производственная компания «Инкарам» провела исследование влияния изменения относительной влажности на показания газового детектора в [5].

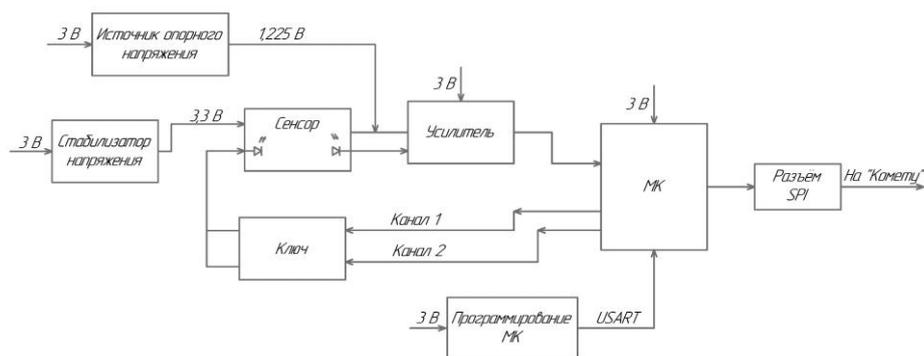


Рис. 1. Функциональная схема переходного модуля

Данная работа рассматривает возможность замены импортного оптического датчика газа на отечественный аналог с улучшенными характеристиками. Помимо прямой замены чувствительного элемента требуется разработка специализированного модуля для считывания показателя концентрации газа в атмосфере, обработки полученных значений и передачи полученной информации непосредственно в газоанализатор.

Исходя из условий эксплуатации переходного модуля к нему предъявляются следующие технические требования:

- Точность измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в 100 ppm в диапазоне измерения до 50 000 ppm;
- Напряжение питания – 3В;
- Рабочий диапазон температур от минус 30 до +50°C;
- Время установки рабочего режима не более 45 секунд. Под рабочим режимом понимается готовность модуля выдавать стабильное значение концентрации газа  $\text{CO}_2$  в стабильной среде;
- Относительная влажность при эксплуатации – 30 ... 95%;
- Атмосферное давление при эксплуатации – 84... 120 кПа;
- Не допускается падения модуля с высоты более 10 см;
- Предельные размеры модуля не должны превышать 22×40 мм.

На датчик подается импульс с источника тока:

- Период  $T = 2000$  мкс;
- Длительность импульса 666 мкс;
- Скважность 3;
- Импульсный ток до 500 мА.

Общие положения и принцип функционирования переходного модуля можно сформулировать следующим образом. Напряжение питания 3 В подаётся через разъём для подключения к газоанализатору. Разъём USART предназначен для программирования микроконтроллера (МК). Индикатором наличия питания в схеме является светодиод, подключённый к одному из выводов МК. Контроллер также переводит сенсор в рабочее состояние через один или оба канала. Подачей высокого уровня на затвор открывается транзистор, ИК светодиод включается в цепь между землей и питанием, таким образом инициализируя работу сенсора (рисунок 1).

Поскольку сигнал сенсора сильно зависит от температуры окружающей среды, сенсор калибруется с помощью терморезистора, подключенного к АЦП микроконтроллера. Для контроля температуры сенсора используется резистивный делитель с терморезистором, подключенный к шине питания. При включении сенсора за пределами момента измерения температуры на делитель подается высокий уровень для уменьшения саморазогрева и увеличения точности контроля температуры. Непосредственно перед считыванием температуры контроллер переводит сигнал в низкий уровень, при этом через другой вывод считывает значение в аналого-цифровой блок МК.

Источник опорного напряжения определяет уровень для виртуального нуля ОУ. Этот же уровень используется для определения коэффициента перевода значения с датчика в реальные величины.

Выходом для сенсора является сигнал на ИК фотодиоде. Его выходной ток преобразуется в напряжение и усиливается при помощи стандартного усилителя сигнала на ОУ. На ОУ добавлен фильтр для корректировки АЧХ и снижения уровня шума.

Также были внесены аппаратные изменения по сравнению с предыдущими модулями, разрабатываемыми на предприятии. Терморезистор был перемещен ближе к элементам с максимальной температурной чувствительностью. Были добавлены независимый преобразователь и накопитель энергии, чтобы исключить протекание значительных импульсных токов по слаботочным цепям. Было использовано схемотехническое решение в виде преобразователя тока в напряжение вместо усилителя напряжения.

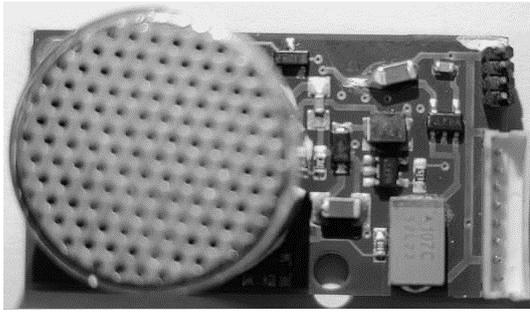


Рис. 2. Печатная плата модуля вид снизу

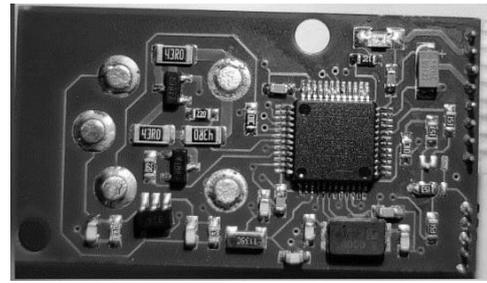


Рис. 3. Печатная плата модуля вид сверху

Плата: четырёхслойная, изготавливается комбинированным методом, крепежные отверстия предусмотрены, диаметр крепежных отверстий 3 мм. В качестве материала платы используется стеклотекстолит марки СФ-4-18Г-1,0. Поскольку класс точности изготавливаемой платы четвертый, так как требуется достаточно высокая плотность трассировки и монтажа, и относительно низкие требования к оборудованию для производства, то толщину сигнального проводника берем равную  $t_c = 0,2$  мм (Согласно ГОСТ 23751-86) [6]. Ширина цепи земли и питания берется из диапазона 0,5...1 мм, что соответствует увеличению ширины сигнального проводника в 2-5 раза.

Поскольку габариты платы должны удовлетворять ТЗ было принято решение расположить ЭРЭ на верхнем и нижнем слое, а на внутренних слоях - цепи земли и питания. Наличие отдельных слоев для цепей питания обусловлено большим количеством сигнальных соединений и контактов у некоторых ЭРЭ.

На рисунках 2 и 3 представлен собранный макет переходного модуля.

В работе приведены результаты исследования оптического сенсора углекислого газа, подтверждающие перспективы использования иммерсионных диодных оптопар в малогабаритных анализаторах газов.

Обработка считываемых данных на МК производится при использовании следующего математического аппарата. Кусочно-линейная аппроксимация пересекающихся сегментов полученных данных с дальнейшим взвешенным суммированием линейных отрезков позволяет экономить ресурсы микроконтроллера.

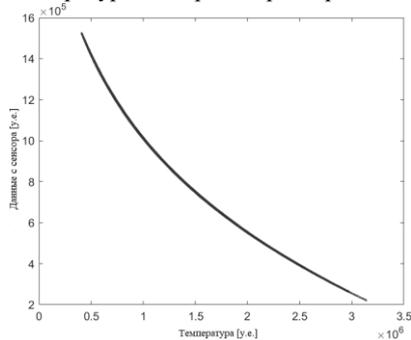


Рис. 4. Интерполированные данные - запись 120 минут, концентрация газа 0 ppm

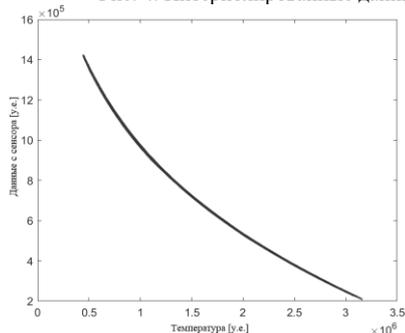
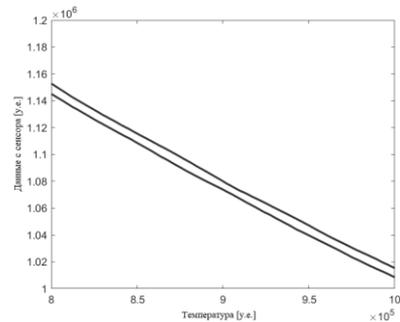
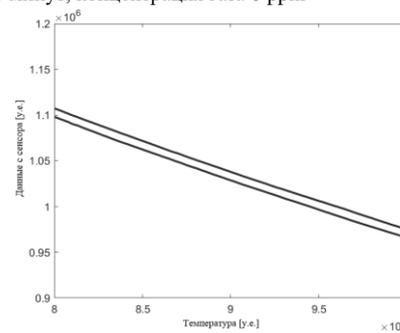


Рис. 5. Интерполированные данные - запись 120 минут, концентрация газа 1,85 ppm



На рисунках 4 и 5 при нулевой концентрации газа видно, что при увеличении скорости изменения температуры увеличивается зазор, что позволяет нам скорректировать данные измерений в условиях изменяющейся температуры по показаниям чувствительного элемента.

Разработанная модель является важным инструментом для начального этапа проектирования оптических газовых сенсоров различного назначения. Уникальность сенсоров связана с использованием в них в качестве источника и приемника инфракрасного излучения – свето- и фотодиодов на основе наногетероструктур из материалов  $A_3B_5$ , обладающих наиболее высокими значениями КПД, чувствительности, быстродействия и срока службы среди существующих аналогов.

#### Библиографический список

1. ООО «ИюффелеД» Сиять и видеть в темно-красном цвете. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ioffeled.com>, (дата обращения: 20.05.2022).

2. S.E. Alexandrov, G.A. Gavrilov, A.A. Kapralov, B.A. Matveev, G.Y. Sotnikova, M.A. Remenny. Modeling of characteristics of optical gas sensors based on diode optocouplers of the mid-IR range of the spectrum Journal of Technical Physics, 2009, volume 79, issue 6, 112 p.
3. A.M. Baranov, T.V. Osipova. Recent trends in the development of sensors for pre-explosive concentrations of flammable gases and vapors of flammable liquids (review). Nauchnoe Priborostroenie. – 2021. – Vol. 31, No. 4. – PP. 3-29.
4. Chegereva K.L., Shaposhnik A.V., Moskalev P.V., Zvyagin A.A. Selective determination of carbon monoxide by single metal oxide sensor. –2019. – Vol. 62.–No. 4. – PP. 76-81.
5. D.V. Filipchuk, A.V. Litvinov, A.A. Mikhailov, M.O. Etrekova Investigation of the influence of changing the relative humidity on readings of the gas detector based on mis-sensor. – 2019. – pp. 180-181
6. ГОСТ 23751-86. Печатные платы. Основные параметры конструкции. Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 19 марта 1986 года.

УДК 681.586.57

**СИНТЕЗ И СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСШИРЕННОГО И АНЦЕНТНОГО ФИЛЬТРОВ КАЛМАНА ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СНАРЯДА В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ТРАЕКТОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ В СФЕРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ**

*Н.И. Петухов<sup>1</sup>, С.В. Оробченко<sup>1</sup>, А.Д. Евсеев<sup>1</sup>, К.В. Кочка<sup>1</sup>*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ"*

За все время существования человечества война являлась неотъемлемой частью истории. В мирное время между военными блоками происходит гонка вооружений, когда державы стараются занять господствующее положение в сфере вооруженных сил. В связи с этим происходит глобальная модернизация оружия и боеприпасов во всем мире. Для новых типов снарядов требуется составление таблиц стрельбы, а вследствие совершенствования боеприпасов появляется сложность в проведении стрельбовых испытаний и повышается их стоимость, что ставит вопрос о разработке иных методов определения траектории снаряда. Возможным решением этой задачи является отслеживание снаряда в полете при помощи различных методов радиолокации и последующая обработка этих измерений. Одним из инструментов, которые могут быть использованы при такой обработке является фильтр Калмана. В настоящей работе представлено сравнение расширенного фильтра Калмана (РФК) и анцентного фильтра Калмана (АФК) при оценке траекторных параметров снаряда, полученных с радиолокационной станции (РЛС).

**Постановка задачи**

Пусть имеется орудие и РЛС с известными координатами в трехмерной декартовой системе координат [3][4]. Локатор производит измерения радиальной дальности от локатора до снаряда ( $R$ ), угла места снаряда ( $\theta$ ) и азимута снаряда ( $\beta$ ).

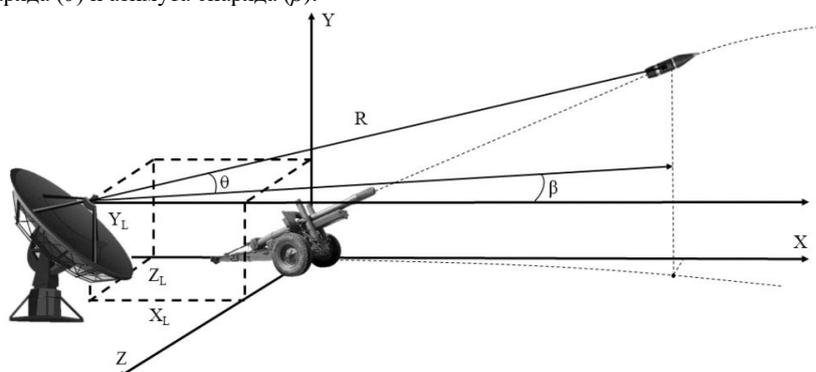


Рис. 1. Иллюстрация к постановке задачи оценки траекторных параметров снаряда.

Принимаем, что локатор наблюдает описанные траекторные параметры на фоне аддитивных белых гауссовских шумов с нулевым матожиданием и дисперсиями, показанными в выражении (2). Функциональные зависимости траекторных параметров описаны в [1][2]. Таким образом, модель измерений следующая:

$$\tilde{\mathbf{y}}_k = [R_k \quad \theta_k \quad \beta_k]^T + \mathbf{n}_k, \tag{1}$$

где  $\mathbf{n}_k$  – вектор аддитивных белых гауссовских шумов с нулевым матожиданием и дисперсиями, входящими в состав матрицы дисперсий шумов наблюдений, которая записывается следующим образом:

$$\mathbf{D}_n = \begin{bmatrix} \sigma_R^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_\theta^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\beta^2 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Требуется оценить ошибки радиальной дальности, угла места и азимута снаряда.

**Синтез фильтров**

Вектор состояния АФК и РФК выглядит следующим образом:

$$x_k = \begin{bmatrix} x_k & V_{x_k} & A_{x_k} & y_k & V_{y_k} & A_{y_k} & z_k & V_{z_k} & A_{z_k} \end{bmatrix}^T. \quad (3)$$

Каждая итерация алгоритма расширенного фильтра Калмана [5] состоит из двух этапов: этап прогнозирования (экстраполяция) и этап коррекции прогноза (оценка). Первый этап включает в себя нахождение экстраполированных оценок вектора состояния и матрицы дисперсий шумов фильтрации, которые могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{x}}_k &= \mathbf{F} \hat{\mathbf{x}}_{k-1} \\ \tilde{\mathbf{D}}_k &= \mathbf{F} \hat{\mathbf{D}}_{k-1} \mathbf{F}^T + \mathbf{G} \mathbf{D}_\xi \mathbf{G}^T, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\mathbf{D}_\xi$  – матрица дисперсий формирующих шумов, которая определяется как показано ниже:

$$\mathbf{D}_\xi = \begin{bmatrix} \sigma_{\xi_x}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\xi_y}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\xi_z}^2 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Во второй части итерации расширенного алгоритма фильтрации Калмана экстраполированные оценки вектора состояния и ковариационной матрицы фильтрующих шумов корректируются с учетом измерений, проведенных в это время, которые можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_k &= \tilde{\mathbf{D}}_k \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \tilde{\mathbf{D}}_k \mathbf{H}_k^T + \mathbf{D}_n)^{-1} \\ \hat{\mathbf{D}}_k &= \tilde{\mathbf{D}}_k - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k \tilde{\mathbf{D}}_k, \\ \hat{\mathbf{x}}_k &= \tilde{\mathbf{x}}_k + \mathbf{K}_k (\tilde{\mathbf{y}}_k - \tilde{\mathbf{y}}_k) \end{aligned}, \quad (6)$$

где  $\mathbf{K}_k$  – матрица весовых коэффициентов фильтра,  $(\tilde{\mathbf{y}}_k - \tilde{\mathbf{y}}_k)$  – вектор невязок между наблюдениями и экстраполированным вектором измерения,  $\mathbf{D}_n$  – матрица шума наблюдения и  $\mathbf{H}_k$  – матрица, которая записывается в виде:

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \frac{dR}{dx} & 0 & 0 & \frac{dR}{dy} & 0 & 0 & \frac{dR}{dz} & 0 & 0 \\ \frac{d\theta}{dx} & 0 & 0 & \frac{d\theta}{dy} & 0 & 0 & \frac{d\theta}{dz} & 0 & 0 \\ \frac{d\beta}{dx} & 0 & 0 & \frac{d\beta}{dy} & 0 & 0 & \frac{d\beta}{dz} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

В связи с тем, что подход линеаризации, используемый в РФК, не всегда корректен и может привести к значительным ошибкам в аппроксимации. Известен ряд альтернатив этому методу, одной из которых является ансцентное преобразование (АП). В основе АП лежит численный алгоритм определения нескольких начальных моментов многомерной функции плотности вероятности (МФПВ) случайной величины после ее нелинейного преобразования. Для этого МФПВ до преобразования описывается детерминированным набором сигма-точек, что позволяет однозначно восстановить необходимые моменты МФПВ. Основным требованием к преобразованному МФПВ является его симметричность и унимодальность. Таким образом, АФК [6] основан на алгоритме фильтрации при помощи АП.

АФК, как и РФК, состоит из двух основных этапов: этапа экстраполяции (прогнозирования) и этапа оценки (коррекции). Единственным отличием алгоритма РФК от АФК является то, что указанным этапам теперь предшествует процедура выбора сигма-точек.

Чтобы гарантировать положительную полуопределенность матрицы дисперсий, целесообразно реализовать вариацию ансцентного фильтра Калмана с квадратным корнем из матрицы дисперсий шумов фильтрации (КК-АФК) [7]. В начале каждой итерации мы выбираем набор из  $(2L+1)$  сигма-точек (где  $L$  – число элементов в векторе состояния) в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \chi_{k-1}^0 &= \hat{\mathbf{x}}_{k-1} \\ \chi_{k-1}^i &= \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \left( \sqrt{(L+\kappa) \hat{\mathbf{S}}_{k-1}} \right)_i, i = 1 \dots L, \\ \chi_{k-1}^{i+n} &= \hat{\mathbf{x}}_{k-1} - \left( \sqrt{(L+\kappa) \hat{\mathbf{S}}_{k-1}} \right)_i, i = 1 \dots L \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\left( \sqrt{(L+\kappa) \hat{\mathbf{S}}_{k-1}} \right)_i$  –  $i$ -я строкой или столбцом квадратного корня из взвешенной ковариационной матрицы  $\sqrt{(L+\kappa) \hat{\mathbf{S}}_{k-1}}$  и  $\kappa$  является параметром масштабирования, который предлагается выбрать равным  $(3 - L)$ . Веса сигма-точек для оценки среднего значения и дисперсии их распределения определяются как показано ниже:

$$\begin{aligned}
W_0^{(m)} &= \frac{\lambda}{L + \lambda} \\
W_0^{(m)} &= \frac{\lambda}{L + \lambda} + (1 - \alpha^2 + \beta) \quad , \\
W_i^{(m)} &= W_i^{(c)} = \frac{1}{2(L + \lambda)}, i = 1 \dots 2L
\end{aligned} \tag{9}$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  коэффициенты, управляющие распределением сигма-точек, и обычно определяются как:

$$\lambda = \alpha^2 (L + \kappa) - L, \tag{10}$$

Затем все выбранные сигма-точки  $\boldsymbol{\chi}_{k-1}^i$  распространяются в соответствии с моделью динамики системы, и по ним вычисляются экстраполированный вектор состояния  $\tilde{\mathbf{X}}_k$  и квадратный корень из матрицы дисперсий  $\tilde{\mathbf{S}}_k$ :

$$\begin{aligned}
\tilde{\boldsymbol{\chi}}_k^i &= \mathbf{F} \boldsymbol{\chi}_{k-1}^i \\
\tilde{\mathbf{x}}_k &= \sum_{j=0}^{2n} W_j^{(m)} \tilde{\boldsymbol{\chi}}_k^j \\
\tilde{\mathbf{S}}_k &= qr \left( \left[ \sqrt{W_j^{(c)}} (\tilde{\boldsymbol{\chi}}_k^j - \tilde{\mathbf{x}}_k) \quad \sqrt{\mathbf{Q}} \right], j = 1 \dots 2n \right) \\
\tilde{\mathbf{S}}_k &= cholupdate \left( \tilde{\mathbf{S}}_k, (\tilde{\boldsymbol{\chi}}_k^0 - \tilde{\mathbf{x}}_k), \text{sign} \{ W_j^{(c)} \} \sqrt{W_j^{(c)}} \right),
\end{aligned} \tag{11}$$

где  $qr(*)$  – QR-разложение матрицы,  $cholupdate(*)$  – малоранговая модификация квадратного корня из матрицы,  $\sqrt{\mathbf{Q}}$  – квадратный корень из матрицы дисперсий формирующих шумов, которая определяется с помощью разложения Холецкого:

$$\sqrt{\mathbf{Q}} = chol(\mathbf{G} \mathbf{D}_\xi \mathbf{G}^T), \tag{12}$$

На следующем этапе экстраполированные сигма-точки преобразуются в соответствии с моделью наблюдений, как показано ниже:

$$\begin{aligned}
\tilde{\boldsymbol{y}}_k^j &= \mathbf{h}(\tilde{\boldsymbol{\chi}}_k^j) \\
\tilde{\mathbf{y}}_k &= \sum_{j=0}^{2n} W_j^{(m)} \tilde{\boldsymbol{y}}_k^j \\
\tilde{\mathbf{S}}_{\tilde{\mathbf{y}}_k} &= qr \left( \left[ \sqrt{W_j^{(c)}} (\tilde{\boldsymbol{y}}_k^j - \tilde{\mathbf{y}}_k) \quad \sqrt{\mathbf{D}_n} \right], j = 1 \dots 2n \right) \\
\tilde{\mathbf{S}}_{\tilde{\mathbf{y}}_k} &= cholupdate \left( \tilde{\mathbf{S}}_{\tilde{\mathbf{y}}_k}, (\tilde{\boldsymbol{y}}_k^0 - \tilde{\mathbf{y}}_k), \text{sign} \{ W_j^{(c)} \} \sqrt{W_j^{(c)}} \right)
\end{aligned} \tag{13}$$

Следующий шаг КК-АФК заключается в определении матрицы кросс-ковариаций  $\mathbf{D}_{\tilde{\mathbf{x}}_k \tilde{\mathbf{y}}_k}$  и матрицы весовых коэффициентов фильтра  $\mathbf{K}_k$ :

$$\begin{aligned}
\mathbf{D}_{\tilde{\mathbf{x}}_k \tilde{\mathbf{y}}_k} &= \sum_{j=0}^{2n} W_j^{(c)} (\tilde{\boldsymbol{\chi}}_k^j - \tilde{\mathbf{x}}_k) (\tilde{\boldsymbol{y}}_k^j - \tilde{\mathbf{y}}_k)^T \\
\mathbf{K}_k &= \left( \frac{\mathbf{D}_{\tilde{\mathbf{x}}_k \tilde{\mathbf{y}}_k}}{\tilde{\mathbf{S}}_{\tilde{\mathbf{y}}_k}^T} \right) / \tilde{\mathbf{S}}_{\tilde{\mathbf{y}}_k}
\end{aligned} \tag{14}$$

В конце итерации алгоритма находятся оценки вектора состояния  $\hat{\mathbf{X}}_k$  и квадратного корня из матрицы дисперсий шумов фильтрации  $\hat{\mathbf{S}}_k$ :

$$\begin{aligned}
\hat{\mathbf{x}}_k &= \tilde{\mathbf{x}}_k + \mathbf{K}_k (\tilde{\mathbf{y}}_k - \tilde{\mathbf{y}}_k) \\
\hat{\mathbf{S}}_k &= cholupdate(\tilde{\mathbf{S}}_k, \mathbf{K}_k \mathbf{D}_{\tilde{\mathbf{x}}_k \tilde{\mathbf{y}}_k}, -1),
\end{aligned} \tag{15}$$

#### Результаты моделирования

Для апробации синтезированных фильтров и оценки ошибки траекторных параметров была смоделирована траектория полета снаряда, полученная путем интегрирования во временной области известных соотношений [1]. В результате, на выходе с РФК и АФК оценки ошибок измерений выглядят следующим образом, кривые ошибок практически наложились друг на друга:

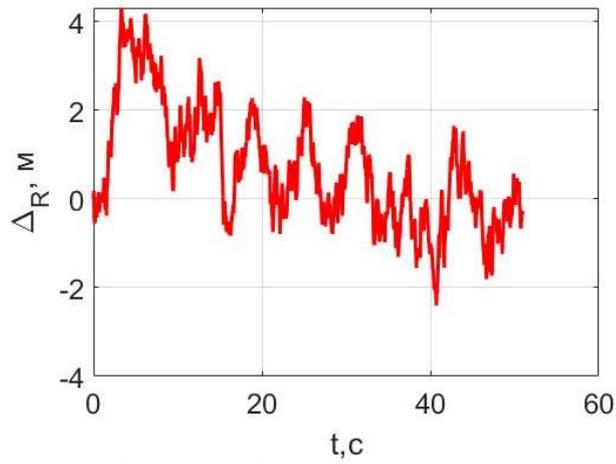


Рис. 2. Оценка ошибок радиальной дальности

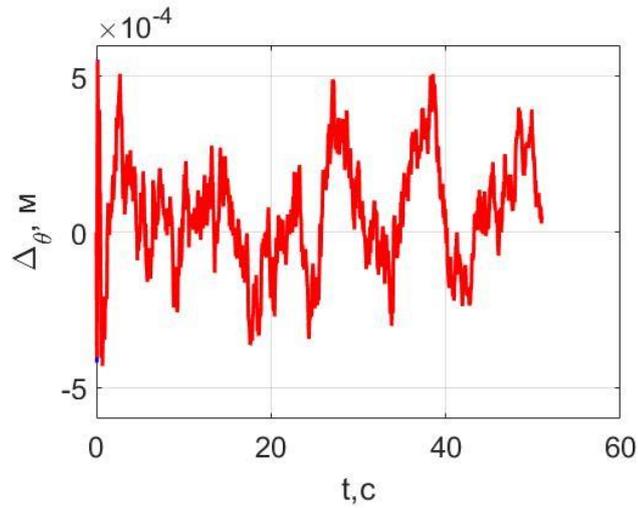


Рис. 3. Оценка ошибок угла места

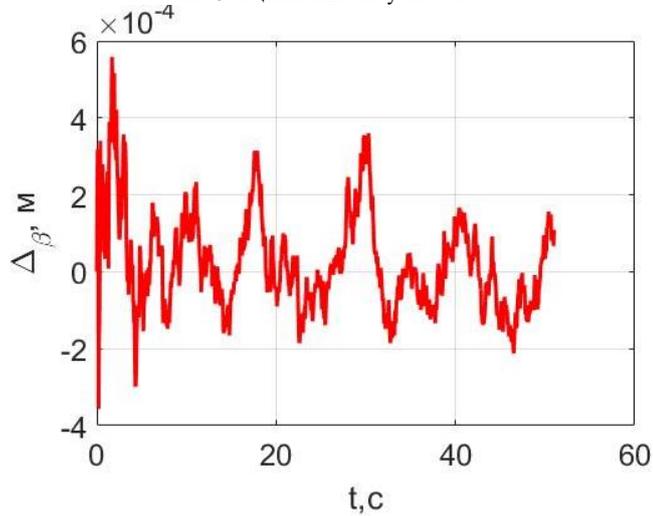


Рис. 4. Оценка ошибок азимута на цель

Количественные оценки статистических характеристик ошибок сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Среднеквадратичное отклонение ошибок оценок двух фильтров относительно моделированных траекторий.

	Систематическая ошибка по R, м	Среднеквадратическое отклонение ошибок по R, м	Систематическая ошибка по $\theta$ , рад.	Среднеквадратическое отклонение ошибок по $\theta$ , рад.	Систематическая ошибка по $\beta$ , рад.	Среднеквадратическое отклонение ошибок по $\beta$ , рад.
РФК	0.7086	1.3269	$5.7843 \cdot 10^{-5}$	$1.765 \cdot 10^{-4}$	$2.394 \cdot 10^{-5}$	$1.26921 \cdot 10^{-4}$
АФК	0.7089	1.3268	$5.7828 \cdot 10^{-5}$	$1.764 \cdot 10^{-4}$	$2.392 \cdot 10^{-5}$	$1.26918 \cdot 10^{-4}$

### Заключение

По результатам моделирования среднеквадратичное отклонение ошибок оценок РФК и АФК относительно моделированных траекторий оказываются одного порядка. Таким образом, можно заключить, что при данной степени нелинейности исследуемой функциональной зависимости измеряемых траекторных параметров от координат подход к линеаризации, используемый в РФК обеспечивает соизмеримую с АФК точность оценок траекторных параметров.

### Библиографический список

1. Королев, С. А. К вопросу о точности решения прямой задачи внешней баллистики / С. А. Королев, А. М. Липанов, И. Г. Русяк // Вестник Томского гос. ун-та. Математика и механика. 2017. № 47.
2. Королев, С. А. Решение задач внешнебаллистического проектирования на основе математического и компьютерного моделирования / С. А. Королев, В. Г. Суфиянов // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т.17. №3. С. 80–83.
3. Балаганский, И.А. Основы Баллистики и аэродинамики: учебное пособие // Изд-во НГТУ, 2017. С. 147 – 154
4. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика: Учебник для студентов вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 2005. С. 17 – 31
5. Перов, А.И. Статистическая теория радиотехнических систем // .-М.: Радиотехника, 2003
6. S. J. Julier and J. K. Uhlmann, "Unscented filtering and nonlinear estimation," in Proceedings of the IEEE, vol. 92, no. 3, pp. 401-422, March 2004, doi: 10.1109/JPROC.2003.823141.
7. R. Van der Merwe and E. A. Wan, "The square-root unscented Kalman filter for state and parameter-estimation," 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No.01CH37221), Salt Lake City, UT, USA, 2001, pp. 3461-3464 vol.6, doi: 10.1109/ICASSP.2001.940586.

УДК 621.396, 53.087

### СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ МИКРОКЛИМАТА С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ПО РАДИОКАНАЛУ

*Н.В. Омелехин<sup>1</sup>, М.А. Крылова<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

#### Аннотация.

В статье дано описание запрограммированного устройства, позволяющего измерять параметры микроклимата (температура, влажность, давление); приведён состав системы, представлены преимущества разработанного устройства при его сравнении с коммерческим прибором на рынке.

Благодаря развитию бытовой техники была утрачена необходимость в покупке множества простых датчиков для измерения параметров микроклимата (например, температуры и влажности почвы и/или окружающей атмосферы), так как появилась возможность получить одно комплексное устройство, позволяющее определять все параметры сразу. Несмотря на это, существует проблема, с которой могут столкнуться желающие приобрести подобную систему на рынке. Она заключается в высокой цене такого прибора. Разработанное устройство «Догода» устраняет этот недостаток, так как все комплектующие для её создания приобретаются отдельно.

Представленная система определения состояния микроклимата «Догода» имеет ряд достоинств. К ним относятся: передача данных по радиоканалу, обслуживаемость, модернизация и обновление программного обеспечения устройства под конкретные нужды пользователя.

Устройство позволяет измерять температуру, относительную влажность и давление как в окружающем воздухе, так и в других средах – в воде, земле, и т.д. Данные о состоянии микроклимата выводятся на LCD-дисплей, оповещение о критических значениях параметров среды производится с помощью звуковой и световой индикации.

Система состоит из двух блоков. Первый блок (рис. 1) – передающий, он измеряет состояние микроклимата и с помощью радиомодуля отправляет данные на другой блок. Второй блок (рис. 2) выполняет функцию приемника и индикатора (визуализирует данные о параметрах окружающей среды).

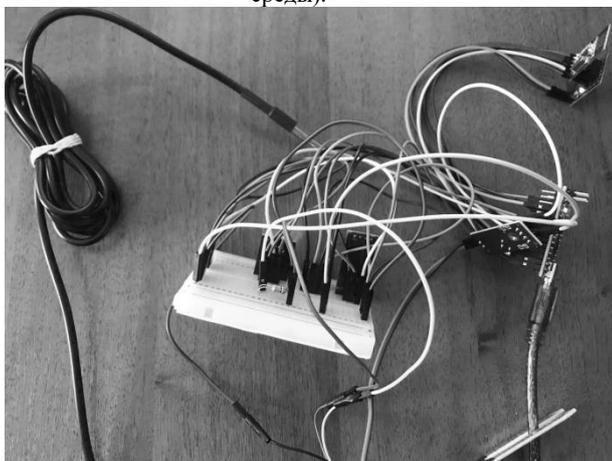


Рисунок 11– Внешний вид передающего блока (блок 1)

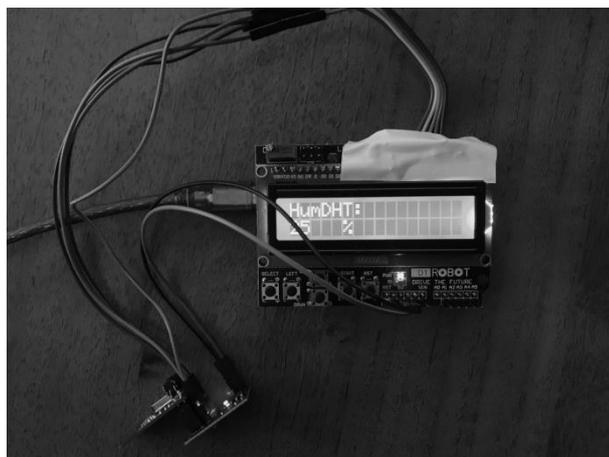


Рисунок 2 – Внешний вид принимающего блока с LCD-дисплеем для отображения данных (блок 2)

В состав первого блока (рис. 3) входят: контроллер Arduino Nano, источник питания – батарейный отсек, радиомодуль NRF24L01, датчик измерения влажности почвы YL-69 (FC-28), герметичный датчик температуры DS12B20, датчик температуры и влажности DHT-11 [1], датчик атмосферного давления и температуры BMP180 GY-68 [2]. Для визуализации работы системы (наличие/отсутствие программных сбоев, передачи данных, отказа датчиков и т.д.) в блок входит RGB-светодиод.

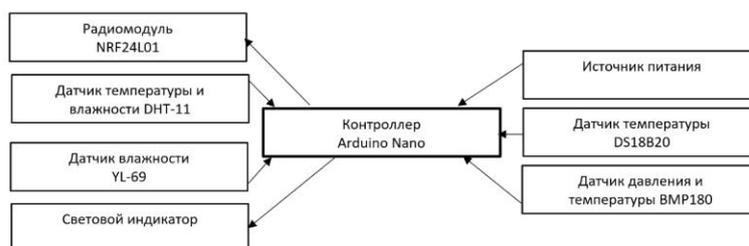


Рисунок 3 – Структура передающего блока

В состав второго блока (рис. 4) входят: контроллер Arduino Uno, источник питания – батарейка крона, радиомодуль NRF24L01, модуль активного зуммера TMB12, LCD-дисплей и RGB-светодиод.



Рисунок 12 – Структура принимающего блока

На текущий момент на рынке доступен к приобретению прибор термогигрометр-барометр Ива-6Н-Д [3]. В таблице 1 представлено сравнение характеристик разработанного устройства «Догода» и коммерческого прибора.

Таблица 1 – Сравнение характеристик устройства «Догода» и прибора Ива-6Н-Д

Критерий сравнения	Устройство «Догода»	Ива-6Н-Д
Цена	~2800 руб.	23400 руб.
Возможность измерения давления	Да	Да
Возможность измерения температуры	Да	Да
Возможность измерения влажности	Да	Да
Возможность отображения результатов измерения	Да	Да
Возможность добавления датчиков	Да	Нет
Возможность обновления ПО под нужды пользователя	Да	Нет
Диапазон измерения температур, °С	-55.. 120	-20.. 50
Абсолютная погрешность измерения температур, °С	0,5 (в диапазоне -10.. 85°С)	0,2

Диапазон измерения относительной влажности, %	20.. 80	0.. 98
Относительная погрешность измерения относительной влажности, %	5	2
Диапазон измерения атмосферного давления, гПа	300.. 1100	700.. 1100
Абсолютная погрешность измерения атмосферного давления, гПа	0,1	2

Проанализировав значения из таблицы 1 можно прийти к выводу, что самостоятельная сборка устройства «Догода» выйдет в разы дешевле, а характеристики «Догода» сопоставимы или превосходят параметры коммерческого продукта. Также следует отметить, что в своем составе система может иметь несколько передающих блоков, что позволит производить мониторинг состояния среды в нескольких разнесенных точках с сбором данных на одном принимающем блоке.

Внутренне программное обеспечение для микроконтроллеров разрабатывается на популярной в настоящее время открытой платформе Arduino IDE (язык C/C++) [4], что позволит пользователю при необходимости модернизировать прошивку устройства самостоятельно.

Дальнейшая доработка системы будет направлена на создание герметичных и удобных в эксплуатации корпусов для передающего и принимающего блоков системы. Предполагается, что исполнение корпусов будет представлено в двух вариантах: базовое (устройство «Догода-Б»), с применением стандартных покупных изделий (корпуса для радиоэлектронного оборудования); модернизированное (устройство «Догода-М»), собственная разработка и изготовление пластиковых корпусов с применением аддитивных технологий (печать на 3D-принтере).

Представленное устройство станет оптимальным вариантом для достижения цели определения параметров микроклимата как в бытовых условиях (наблюдение за показателями состояния почвы и окружающей среды растений), так и в нестандартных (мониторинг параметров среды в условиях низких температур).

Система определения состояния микроклимата с передачей данных по радиоканалу «Догода» была разработана на кафедре И4 «Радиоэлектронные системы управления» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и будет использована Н.В. Омелехиным при защите выпускной квалификационной работы.

#### Библиографический список

1. Датчик влажности и температуры DHT11 // 3DiY - комплектующие для Arduino URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-vlazhnosti-i-temperatury-dht11/> (дата обращения: 7.02.2023).
2. Обзор датчика давления BMP180 // RobotChip - комплектующие для Arduino URL: <https://robotchip.ru/obzor-datchika-davleniya-bmp180/> (дата обращения: 7.02.2023).
3. ИВА-6 // ЭкоСфера - Комплексные решения URL: <https://ekosf.ru/product/iva-6> (дата обращения: 7.02.2023).
4. Блум Джереми Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства [Текст] / Блум Джереми; Пер. с англ — СПб: БХВ-Петербург, 2015 — 336 с.

#### УДК 528.8.044.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ БПЛА НА КАЧЕСТВО РЛИ

*И.А. Макеев<sup>1</sup>, Ю.В. Петров<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

В военной и гражданских сферах наличие информации играет важную роль. В современном мире для сохранения жизни пилотов самолетов для разведки поля боя используют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) разных размеров и массы.

Наиболее эффективным, на данный момент, способом сбора информации для БПЛА являются радиолокационные датчики, которые позволяют решать следующие задачи всепогодного мониторинга:

- картографирование местности;
- ведение инженерной и геологической разведки;
- определение ледовой обстановки;
- составление карт растительности и снежного покрова;
- определение состояния волнения моря;
- обнаружение нефтяных пятен, загрязнений и следов кораблей на водной поверхности;
- оперативного контроля чрезвычайных ситуаций (катастроф транспортных средств, землетрясений, наводнений, пожаров) и т.д. [1].

Хоть использование БПЛА и позволяет решать такой большой список задач, но использование больших БПЛА увеличивает шанс их обнаружения и уничтожения. Поэтому в настоящее время используют малые БПЛА, однако проблемой малых БПЛА является то, что они не могут поддерживать прямолинейную траекторию необходимую для синтеза апертуры антенны, из-за случайных порывов ветра в горизонтальной плоскости и случайных нестабильностей атмосферы в вертикальной плоскости. [2].

Поэтому целью работы является исследование влияния случайных параметров движения БПЛА на качество радиолокационного изображения (РЛИ). К случайным параметрам движения БПЛА,

влияющим на качество РЛИ относятся: случайные порывы ветра по (ось  $OX$ ) и поперек (ось  $OZ$ ) направления движения БПЛА и случайные неоднородности атмосферы (ось  $OY$ ).

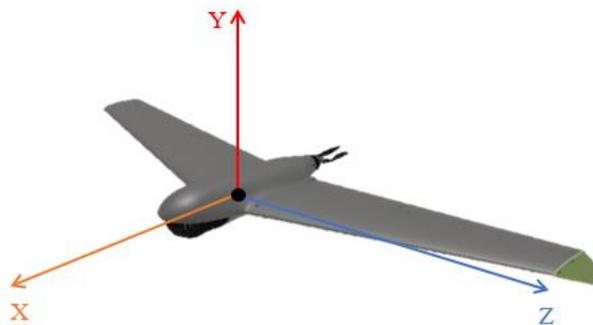


Рис. 1. Малогабаритный БПЛА разведки

Для достижения поставленной цели была разработана математическая модель, структура которой представлена на рис.2.

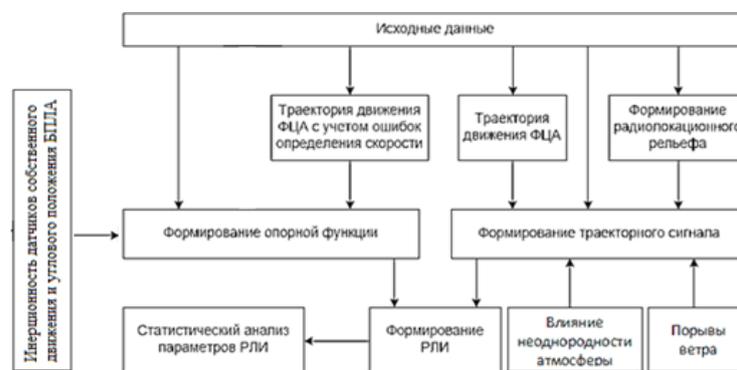


Рис. 2. Структура модели работы РСА

В качестве исходных данных используется (рисунок 3):

- параметры полета ЛА (скорость  $V_n$  и высота  $h_0$ );
- параметры РЛС (длина волны  $\lambda$ , частота повторения  $f_z$  импульсов зондирования и ширина диаграммы направленности бортовой антенны на уровне 3 дБ в горизонтальной плоскости);
- линейная разрешающая способность вдоль линии пути  $r_x$ , которая определяет протяженность интервала синтезирования  $L$ ;
- количество и координаты целей, находящихся в зоне обзора, а также шаг (минимальное расстояние между двумя соседними точками) рельефа  $D$ ;
- углы наблюдения в горизонтальной  $\beta_0$  и вертикальной  $\gamma_0$  плоскостях,
- размеры РЛИ необходимого участка рельефа. Протяженность РЛИ по азимуту при известном  $L$  определяет протяженность моделируемого участка полета  $L_p$ .

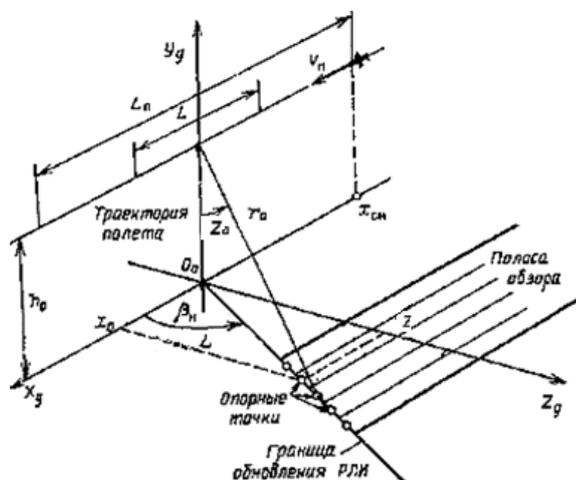


Рис. 3. Геометрия РСА, используемая при создании математической модели

В горизонтальной плоскости  $XZ$  на БПЛА влияют случайные порывы ветра, а в вертикальной плоскости  $XU$  влияет атмосферная нестабильность.

Опорная функция вычисляется на основе информации от бортовых измерителей скорости, на которые всегда оказывают влияние внешние факторы. Указанные параметры являются случайными на всей траектории полета и задаются в качестве случайных процессов  $S_V(i)$  и  $S_A(i)$  по формулам (1) и (2) [3].

$$S_V(i) = \rho \cdot S_V(i-1) + \sigma \cdot \sqrt{1-\rho^2} \cdot F_V(i); \quad (1)$$

$$S_A(i) = \rho \cdot S_A(i-1) + \sigma \cdot \sqrt{1-\rho^2} \cdot F_A(i); \quad (2)$$

где  $\rho = \exp(x_{SD} \cdot \ln(0,1)/\tau_{кор})$  – коэффициент корреляции,  $\tau_{кор}$  – интервал корреляции,  $F_V(i)$  и  $F_A(i)$  – случайные величины с нормальным законом распределения, рассчитываемые по формулам (3) и (4) [4].

$$F_V(i) = \sqrt{-2 \cdot \ln m_{V1}} \cdot \sin(2\pi \cdot m_{V2}); \quad (3)$$

$$F_A(i) = \sqrt{-2 \cdot \ln m_{A1}} \cdot \sin(2\pi \cdot m_{A2}); \quad (4)$$

где  $m_{V1}$ ,  $m_{V2}$ ,  $m_{A1}$  и  $m_{A2}$  – независимые равномерное распределенные от 0 до 1 случайные числа. С учетом влияния, оказываемого случайными процессами, траектория полета представляется в виде:

$$x_{SO}(i) = x_{SO}(i-1) + \frac{V_n + S_V}{f_s}; \quad (5)$$

$$y_{SO}(i) = y_{SO}(i-1) + S_A; \quad (6)$$

$$z_{SO}(i) = z_{SO}(i-1) + \frac{S_V}{f_s}; \quad (7)$$

$$i = -\frac{K_2}{2}, -\frac{K_2}{2} + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, \frac{K_2}{2} - 1, \frac{K_2}{2}; \quad (8)$$

$$x_{SO\_нач} = x_{SO}\left(-\frac{K_2}{2} - 1\right) = x_{SD} \cdot \left(-\frac{K_2}{2} - 1\right); \quad (9)$$

$$y_{SO\_нач} = y_{SO}\left(-\frac{K_2}{2} - 1\right) = h_0; \quad (10)$$

$$z_{SO\_нач} = z_{SO}\left(-\frac{K_2}{2} - 1\right) = 0; \quad (11)$$

где  $x_{SD} = V_n/f_s$  – изменение координаты  $x$  ЛА за один период зондирования,  $K_2 = L_n/x_{SD}$  – число отсчетов на моделируемом интервале полета.

Представленная выше математическая модель реализована в программной среде Delphi 7.0.

Проверка адекватности работоспособности программы представлена на рис. 4 на примере одиночной точечной цели и нескольких одиночных точечных целей.

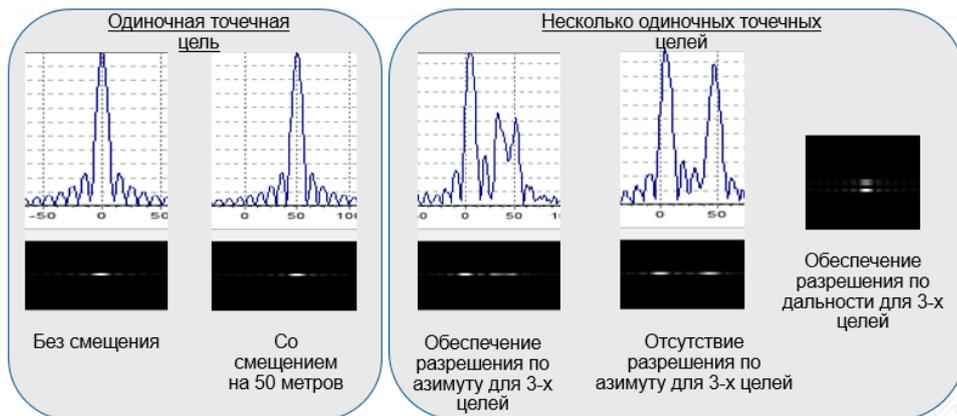


Рис. 4. Результаты проверки работоспособности программы

В качестве исследуемых параметров РЛИ выступают:

- уровень главного лепестка диаграммы направленности (ДН), дБ;
- уровень первого бокового лепестка синтезированной ДН, дБ;
- ширина главного лепестка на уровне половинной мощности, м;
- сдвиг изображения относительно цели, м.

Для анализа результатов моделирования использовался метод статистического анализа.

Некоторые результаты исследования влияния случайных порывов ветра по направлению движения БПЛА (ось *OX*) представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Исследуемые параметры РЛИ при случайных порывах ветра по направлению движения БПЛА

Интервал корреляции случайных порывов ветра, м	№	СКО случайных порывов ветра, м/с	Уровень главного лепестка, дБ	Уровень первого бокового лепестка ДНА, дБ	Ширина главного лепестка на уровне половины мощности, м	Сдвиг изображения относительно цели, м
10	1	1	55	-13	9,8	0
	2		55	-14	9,8	0
	3		55	-13	9,8	0
	Среднее значение:		55	-13	9,8	0
30	1	3	55	-13	9,8	0
	2		55	-13	9,8	0
	3		55	-12	9,1	0
	Среднее значение:		55	-13	9,8	0
50	1	5	55	-12	9,8	0
	2		55	-14	8,4	0
	3		55	-13	10,5	0
	Среднее значение:		55	-13	9,8	0

В таблице 2 представлены некоторые результаты моделирования влияния случайных порывов ветра поперек направления движения БПЛА.

Таблица 2 - Исследуемые параметры РЛИ при случайных порывах ветра поперек движения БПЛА

Интервал корреляции случайных порывов ветра, м	СКО случайных порывов ветра, м/с	№	Уровень главного лепестка, дБ	Уровень первого бокового лепестка ДНА, дБ	Ширина главного лепестка на уровне половины мощности, м	Сдвиг изображения относительно цели, м	
10	0,01	1	55	-13	9,8	0	
		2	55	-13	9,8	0	
		3	55	-14	9,1	0	
	Среднее значение:			55	-13	9,4	0
	0,15	1	38	-3	16,1	-2,1	
		2	54	-11	9,1	-1,4	
		3	38	-3	18,2	-6,3	
	Среднее значение:			47	-8	9,6	-2
	0,4	1	30	-1	8,4	-18,2	
		2	40	-2	8,4	7,7	
3		42	-26	11,2	0,7		
Среднее значение:			35	-3	9,8	-0,3	
50	0,01	1	55	-13	9,1	-1,4	
		2	55	-13	9,8	0,7	
		3	55	-14	9,1	0,7	
	Среднее значение:			55	-13	9,4	0
	0,15	1	53	-13	9,8	1,4	
		2	54	-13	9,1	1,4	
		3	53	-10	9,8	-0,7	
	Среднее значение:			52	-10	9,6	0,6
	0,4	1	36	-9	14	22,4	
		2	35	-3	7,7	18,2	
3		52	-15	9,1	10,5		
Среднее значение:			34	-3	9,8	7,3	

Далее в таблице 3 представлены некоторые результаты моделирования влияния случайных неоднородностей атмосферы на параметры РЛИ.

Таблица 3 - Исследуемые параметры РЛИ при случайных неоднородностях атмосферы

Интервал	СКО	Уров	Уро	Шири	Сдвиг
----------	-----	------	-----	------	-------

корреляции случайных нестабильностей атмосферы, м		случайных нестабильностей атмосферы, м	ень главного лепестка, дБ	вень первого бокового лепестка ДНА, дБ	на главного лепестка на уровне половины мощности, м	изображения относительно цели, м
50		1	55	-13	9,8	0
			55	-13	9,8	0
			55	-13	9,8	0
		Среднее значение:	55	-13	9,8	0
300		6	55	-13	9,1	0
			55	-13	9,8	0
			55	-14	8,4	0
		Среднее значение:	55	-13	9,8	0
500		10	55	-12	9,1	0
			55	-10	11,2	0
			55	-16	8,4	0
		Среднее значение:	55	-13	9,8	0

По представленным выше результатам можно сделать выводы о влиянии каждого случайного параметра:

1. Из таблицы 1 – случайные порывы ветра по направлению движения БПЛА не оказывают существенного влияния на качество РЛИ;

2. Из таблицы 2 – случайные порывы ветра поперек направления движения БПЛА оказывают существенное влияние на каждый из исследуемых параметров РЛИ:

- Как видно, с ростом СКО уровень главного лепестка постепенно уменьшается на 3-9 дБ начиная со значения СКО, равного 0,15 м/с. При этом значение, на которое уменьшится уровень главного лепестка, практически не зависит от выбранного корреляционного интервала;

- Также следует заметить, что с ростом СКО уровень первого бокового лепестка начинает увеличиваться, до значения -3 дБ, начиная с СКО равного 0,15 м/с. С этого же значения СКО начинается постепенное “разрушение” РЛИ;

- Далее можно заметить, что при малых значениях СКО ширина главного лепестка не изменяется. Но со значения СКО равного 0,15 м/с ширина начинает немного увеличиваться, однако значение прироста не превышает 20%;

- Следует также отметить, что сдвиг изображения относительно истинного положения цели начинает сказываться также при значениях СКО больших или равных 0,15 м/с.

3. Из таблицы 3 – случайные неоднородности атмосферы также, как и случайные порывы ветра по направлению движения БПЛА не оказывают существенного влияния на качество РЛИ.

На будущее поставлена задача унифицировать математическую модель и максимально приблизить ее работу к реальным условиям.

#### Библиографический список

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Авиационные\\_РЛС](https://ru.wikipedia.org/wiki/Авиационные_РЛС), свободный (дата обращения 28.03.2022).
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://militaryarticle.ru/viniti-ran/2006-viniti/11435-gazveduyatel'naja-apparatnaja-bespihotnyh-letatelnyh>, свободный (дата обращения 10.04.2022)
3. Методы математического моделирования радиотехнических систем: Учебное пособие / Под ред. Ю.В. Петрова; Балт. Го. Техн. ун-т. – СПб., 2005. – 120 с.
4. Цифровое моделирование систем стационарных случайных процессов / Е.Г. Гридина и др. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1991.

УДК 53.083.91

#### МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ И МОДУЛЯ ИНЕРЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ

*Ф.Д. Данилевич<sup>1</sup>, В.М. Субботин<sup>1</sup>, В.С. Ельчинский<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

*Аннотация: В данной статье представлена методика построения топографических карт, основанная на показаниях лазерных дальнометров, в связке с модулем инерционной навигации.*

*Ключевые слова: измерительный комплекс, спелеология, топографическая съёмка, лидар, модуль инерционной навигации.*

#### Введение

Существуют различные закрытые объекты, например, пещеры, катакомбы, шахты или иные объекты, топосъёмку которых необходимо проводить. Наличие актуальных топографических карт

полостей необходимо для таких отраслей как градостроение и таких научных дисциплин как антропология, археология и палеонтология.

Актуальные на данный момент методы топографической съёмки пещер очень трудоёмкие, зачастую требуют присутствия большого количества спелеологов и тяжело поддаются или вовсе не поддаются автоматизации [1].

Представленный в данной статье метод топосъёмки лишён вышеуказанных недостатков. Он должен заменить долгий и малоэффективный ручной труд на простой и сбалансированный машинный труд.

#### Методика

Картографирование будет проводиться с помощью устройства, оборудованного лазерными дальномерами и модулем инерционной навигации. Лидары, установленные по бокам, будут собирать информацию о расстоянии до стен пещеры с большой частотой (до 60 герц). Модуль инерционной навигации будет определять местоположение устройства. Полученные данные обрабатываются на микропроцессоре, что приводит к получению координат двух точек, которые соединяются с ближайшими двумя точками, поставленными ранее, и таким образом формируется двумерная карта пещеры [2].

Началом координат будет считаться начальная точка маршрута, после старта лидары будут производить измерения расстояний с частотой до 60 Герц. Каждое такое измерение будет описано в виде строки вида

$t, aX, aY, aZ, gX, gY, gZ, dist1, dist2$

где

$t$  - время с начала измерения;

$aX, aY, aZ$  – показания акселерометров по трём осям;

$gX, gY, gZ$  – показания гироскопов по трём осям;

$dist1, dist2$  – показания лидаров.

Строки записываются на SD-карту.

После этого, по специальному алгоритму на компьютере определяются точки маршрута и ориентация прибора на них. Каждая точка описывается координатами  $(X, Y, Z)$ .

Далее, от каждой точки трека откладываются отрезки длиной  $dist1$  и  $dist2$  перпендикулярно вектору ориентации устройства. Таким образом, с каждой точки маршрута получаются две точки  $(X1, Y1, Z1)$ ,  $(X2, Y2, Z2)$ . По этим точкам в дальнейшем будет строиться карта.

Имея множество точек, полученных с первого и второго лидара, соединяем их (рис. 1).

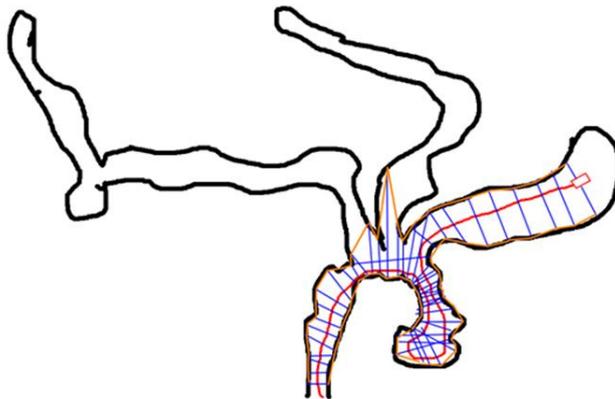


Рис. 1. Пример работы программы картографирования на основе показаний лидаров и модуля инерционной навигации

Черные линии – реальное положение стен пещеры.

Красная линия – траектория движения робота.

Синие линии – измерения расстояния до стен.

Оранжевые линии – стенки пещеры, отображающиеся в программе.

Частота измерений специально преуменьшена для наглядности работы программы.

#### Проблема пересекающихся линий

В пещерах очень часто встречаются так называемые перекрестки, когда несколько тоннелей пересекаются в одном месте, и для того, чтобы составить полную карту подземного объекта придется пройти один и тот же перекрёсток несколько раз. Тут и возникает проблема пересекающихся линий – все тоннели, мимо которых мы прошли на карте отображаются как продолжение стены, и когда мы проходим в данные тоннели появляются пересекающиеся линии (рис. 2) [3].

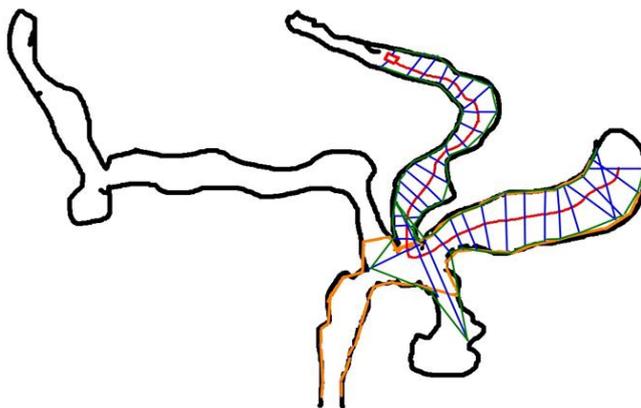


Рис. 2. Пример работы программы, когда точки соединяются последовательно  
Зелёные линии – стенки пещеры, отображающиеся в программе при повторном прохождении перекрёстка.

Данная проблема решилась после изменения метода соединения точек. Изначально планировалось соединять токи последовательно, что и приводило к возникновению пересекающихся линий. Однако если соединять ближайшие друг к другу точки, то эта проблема исчезает (Рис. 3).

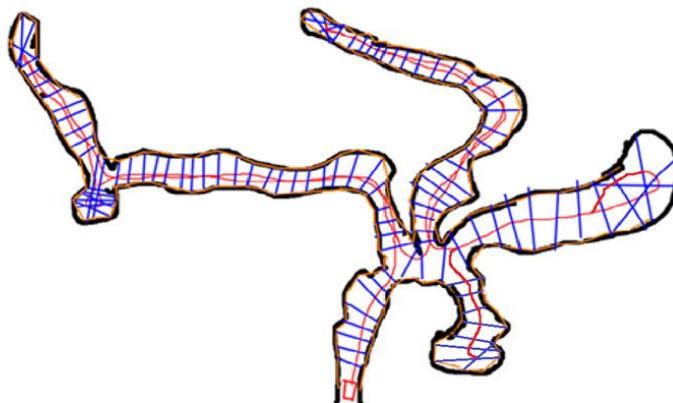


Рис. 3. Пример работы программы, когда соединяются ближайшие точки

### Калибровка

К сожалению, пока не существует идеально точного модуля инерционной навигации. Он имеет небольшую погрешность, которая со временем будет накапливаться и на большой дистанции может перерасти в заметную ошибку [4].

Дабы свести к минимуму накопление ошибки, помимо усреднения показаний с модуля инерционной навигации, используется регулярная калибровка, которая проводится как в ручном, так и автоматическом режиме [5].

Ручная калибровка применяется в начале картографирования, а также после серии резких движений.

Автоматическая калибровка будет запускаться через определённый промежуток времени. Этому предшествует специальный звуковой сигнал, по которому спелеолог должен остановиться и ждать следующего сигнала, сообщающего об окончании калибровки.

### Выводы

Итогом работы программы, основанной на показаниях лазерных дальномеров и модуля инерционной навигации, должен стать набор точек, каждая из которых имеет свои координаты. Ближайшие друг к другу точки соединяются отрезками, в результате чего получается двумерная карта подземного объекта.

На данный момент уже создан прототип измерительного устройства, выведены показания с лидаров и модуля инерционной навигации и отлажена ручная калибровка. Также проводятся консультации со спелеологическими клубами и научно-исследовательскими лабораториями ВОЕНМЕХа.

### Библиографический список

1. Гаршин Д. И. Прибор DISTOX и современная методика топографической съёмки подземных полостей // Оки связующая нить: сб. материалов научно-практической конференции. – 2018. – С. 141.
2. Интернет-форум “ Применение лазерных дальномеров” [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikibrief.org/wiki/Laser\\_rangefinder](https://ru.wikibrief.org/wiki/Laser_rangefinder) (дата обращения: 20.01.2023)

3. Горохов К. Г. Ошибки, возникающие в ходе выполнения топографических съемок пещер, и их устранение // Пещеры: сборник научных трудов. – 2016. – С. 81–99.
4. Шестов С. А. Гироскоп на земле, в небесах и на море. — М.: Знание, 1989. — 192 с.
5. Кузовков Н. Т., Салычев О. С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982. – 145с.

УДК 681.2.084

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ В ЧАСТИ ЗАМЕРА НАПРЯЖЕНИЙ ЯЧЕЕК И ИХ БАЛАНСИРОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭРИ

*В.В. Сертаков*

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)*

В нашем современном мире роль устройств хранения электрической энергии – аккумуляторных батарей, чрезвычайно важна. Применяются они практически везде. В смартфонах, фонарях, гаджетах, источниках питания, транспорте – буквально во всех сферах жизни мирового общества. При этом, если говорить несколько иными терминами, например в смартфонах используется один аккумулятор или, другими словами, одна аккумуляторная ячейка. В качестве аккумуляторной батареи в мощных потребителях, например в электробусе, уже используется аккумуляторная сборка – большое количество соединенных последовательно и параллельно аккумуляторных ячеек.

Одной из важных частей, обеспечивающей долгую исправную работу и эффективную эксплуатацию аккумуляторных сборок является BMS, Battery Management System (система управления батареями). Данные системы позволяют безопасно производить разряд и заряд аккумуляторных сборок, производить оценку их состояния, выполнять балансировку и прочее. Эксплуатация аккумуляторных сборок без системы управления батареями невозможна и опасна, ведь, например при отсутствии контроля во время заряда одна из ячеек может зарядиться быстрее остальных и произойдет перезаряд, что может привести даже к возгоранию. Основные функции BMS показаны на рисунке 1. [1-3]

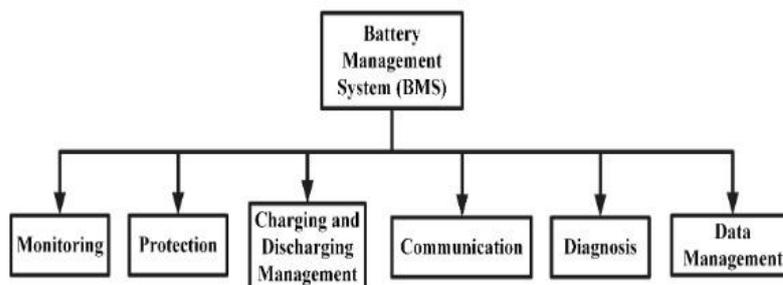


Рис. 1. Основные функции BMS

Для того, чтобы BMS могла оценивать состояния ячеек (на рисунке 1 – пункт monitoring), необходимо считывать напряжение каждой из них. Данная операция является самым ответственным и важным действием, ведь по ней BMS выполняет все свои оставшиеся функции управлением батареями [4]. Это достаточно трудоёмкое действие, требующее большое количество различных алгоритмов и схемотехнических решений, позволяющих выполнить такую задачу.

Для того, чтобы аккумуляторная батарея, управляемая BMS, смогла полностью и безопасно зарядиться (на рисунке 1 – пункт charging and discharging management), любая BMS считывает напряжения ячеек в аккумуляторной сборке и не допускает превышения этих значений выше напряжения полной зарядки ячейки. Для этого BMS может отключать от батареи зарядное устройство, либо, если из всей аккумуляторной сборки какая-либо часть ячеек заряжена, а другая нет – произвести балансировку батареи то есть выравнивание напряжений всех ячеек аккумуляторной сборки и после произвести зарядку до конца.

В рамках данной работы будут разработаны и проверены на практике как раз эти две важные составляющие любой BMS – подсистемы мониторинга напряжений ячеек и их балансировки.

Таким образом в результате обзора показано, что аккумуляторные сборки являются очень важной частью различных проектов. Их повсеместное использование обусловлено удобностью и гибкостью создания самых различных конфигураций с необходимыми для заказчика емкостью, токоотдачей и прочим. Учитывая, что BMS в аккумуляторных сборках применяются повсеместно (один из примеров в России – масштабный проект Московского электробуса), необходимо постоянно улучшать качество работы и повышать безопасность BMS. Разработка же таких систем на отечественных ЭРИ может стать отправной точкой для производства импортзамещённых BMS, позволяя тем самым повысить безопасность и независимость РФ от продукции третьих стран.

Произведем обзор методов замеров напряжений ячеек аккумуляторных сборок.

В связи с бурным развитием электроники и как следствие широким применением аккумуляторных батарей появилось очень большое число различных схемотехнических решений как измерений напряжений ячеек, так и в целом технологий построения BMS. В рамках данного пункта рассмотрим наиболее часто применяющиеся на практике схемотехнические решения измерения напряжения аккумуляторных ячеек, применяющихся в различных видах, выпускаемых на данный момент времени BMS.

Разделить их можно условно на две большие группы.

Первой группой можно выделить те схемотехнические решения, где нет необходимости получать напряжения всех ячеек аккумуляторной сборки централизованно, то есть для каждой ячейки реализована собственная независимая схема балансировки, определения уровня перезаряда или переразряда ячейки. Такие схемы в общем случае должны выдавать только логический уровень о перезаряде ячейки для отключения зарядного устройства от батареи в целом, либо об переразряде для отключения от батареи нагрузки. Вот пример такой схемы из реальной серийно выпускаемой BMS[5]:

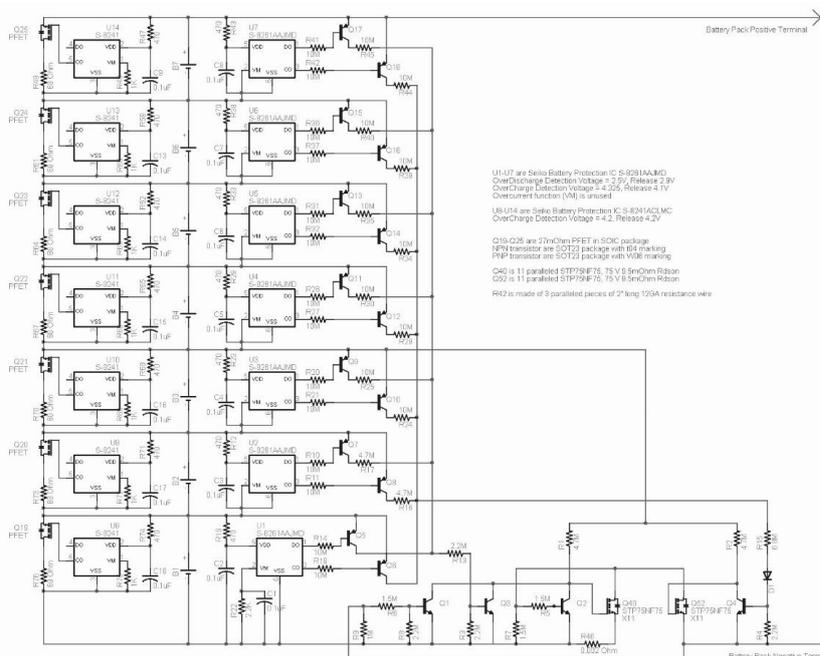


Рис. 2. Схема серийно выпускаемой BMS

Принцип действия простой. К каждой ячейке B0-B7 подключена микросхема S8241 (U8-U14), реализующая функцию балансировки при измерении ею напряжения верхнего предела зарядки своей ячейки. Точно так же к каждой ячейке B0-B7 подключена микросхема S8261 (U1-U7), она реализует функцию выдачи логического сигнала о достижении ячейкой измеренного уровня напряжения полной зарядки (вывод CO), либо уровня полной разрядки (вывод DO), которые целиком в случае достижения хотя бы из одной из ячеек аккумуляторной сборки порогов отключат батарею от нагрузки или зарядки. Такой принцип работы может быть реализован и на дискретных элементах без таких специализированных микросхем.

Второй группой является централизованный замер напряжений всех ячеек в цифровом виде, аккумуляция этих данных в микроконтроллере, где в дальнейшем в зависимости от заданных в его программе порогов он включает для каждой ячейки либо балансировку, либо производит отключение аккумуляторной сборки от нагрузки или зарядки. Можно выделить следующие некоторые варианты централизованного замера напряжений ячеек:

- применение специализированных интегральных микросхем (например LTC6803 фирмы Linear Technology позволяет измерять разом 12 ячеек и выдавать данные по UART);
- управляемый делитель напряжения на полевых транзисторах (включение определенного транзистора активирует делить напряжения, по выходу которого относительно минуса аккумуляторной сборки можно определить напряжение ячейки);
- метод на дифференциальных прецизионных усилителях, например ina149 (на его выходе будет напряжение уровня подключенной ячейки, но относительно минуса батареи);
- метод на мультиплексорах, то есть мультиплексировании напряжений подключенных ячеек.

Методы на специализированных микросхемах и мультиплексорах в силу своей схемотехники не приводят к разбалансировки батареи, то есть они наиболее предпочтительны. При этом специализированных микросхем для систем управления батареями в России не производится. Учитывая, что предпочтительней всего использовать в разработках отечественные ЭРИ, метод на мультиплексорах во второй группе более предпочтительный так как они производятся в России.

Установим требований для разрабатываемого устройства замера напряжений ячеек.

Устройство будет разрабатываться для литийжелезодифосфатных LiFePo<sub>4</sub> батарей, так как данные аккумуляторы имеют высокие токовые характеристики и большой ресурс циклов заряда разряда, они широко распространены. Такой тип батарей чаще всего используют в электротранспорте. Для опытного образца ограничимся количеством последовательно соединенных ячеек в аккумуляторной сборке до 16 штук. Аккумуляторные сборки из 16 последовательно соединенных литий железодифосфатных ячеек популярны в различном легком электротранспорте. Для возможности полноценного мониторинга напряжений батареи будет использоваться вторая группа методов из пункта выше, чтобы иметь напряжения всех ячеек аккумуляторной сборки в цифровом виде. Выберем метод на мультиплексорах.

Раз в основе устройства лежат мультиплексоры, произведем их обзор с хорошими характеристиками и доступными для покупки за нормальную стоимость. В общем случае необходимо, чтобы сопротивление открытого канала было наименьшим, диапазон питающих напряжений подходил для батареи, ток потребления был бы предельно небольшим для недопущения разрядки аккумулятора. В результате были найдены следующие мультиплексоры в конфигурации 2x4:1 и 1x8:1, перечисленные в таблице 1 [6-8].

Имя	Производитель	Упит	R канала	Диапазон коммут. напр	Ток потребления	Цена
KP590KH3	ООО «Микро-М»	$\pm 15V$ $\pm 10\%$	300 ом	-Упит...+Упит В	До 0,2 мА	85 р
K561КП1	ОАО "ИНТЕГРАЛ"	$\pm 3...$ $\pm 15V$	< 2,5 кОм	-Упит...+Упит	До 0,2 мА	57 р
5400TP054-003	АО «Дизайн Центр «Союз»	$\pm 9... \pm 15V$	145 ом	-Упит+1,5 В до +Упит – 1,5 В	При однополярном питании до 2 мА	Цена не указана

Табл. 1. Обзор ряда отечественных мультиплексоров

Как видно из таблицы 1, по диапазону коммутируемых напряжений подходят все, кроме 5400TP054-003, так как его интервал меньше напряжения питания. Из оставшихся KP590KH3 и K561КП1 подходят оба. К ним можно подключить одновременно до 4 аккумуляторных ячеек. Причем K561КП1 предпочтительней так как у него широкий диапазон напряжений питания. Пусть у него возможно высокое сопротивление канала, но это не критично. Ведь к выходам мультиплексоров должна подключаться нагрузка в виде АЦП, у которого самого высокого входное сопротивление, а значит искажение исходного сигнала будет минимальным. В случае применения KP590KH3 пришлось бы использовать стабилизатор напряжения, чтобы загасить перепады напряжения питающей батареи. Но такой вариант не рассматривается, так как увеличится энергопотребление и стоимость.

Для того, чтобы можно было использовать аккумуляторные сборки, состоящие из 16 ячеек, необходимо использовать 4 мультиплексора K561КП1 и при этом еще переключать показания между ними. Для этого можно использовать еще один мультиплексор, но уже высоковольтный. Ведь напряжение полностью заряженной батареи может достигать  $3,6 \cdot 16 = 57,6$  вольт. Для этих целей будет применяться мультиплексор зарубежный MAX14753 производителя Analog Devices. Он поддерживает входное напряжение питания до 72 вольт [9]. Российских аналогов высоковольтных мультиплексоров нет.

Произведем обзор схемы включения K561КП1, рисунок 3. На схеме он обозначен DA1.

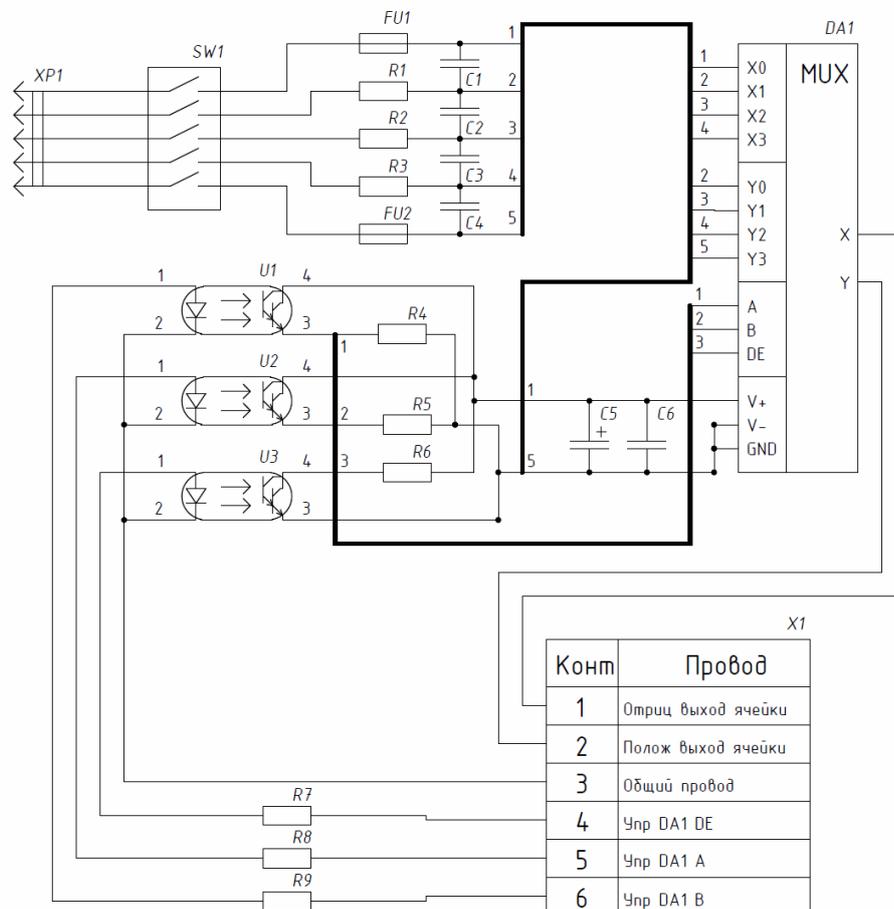


Рис. 3. Схема подключения K561КП1.

Принцип действия схемы следующий. В данной схеме будет производиться мониторинг напряжений ячеек 1-4, подключенных к контактам 1-5 разъёма XP1. Переключатель SW1 служит для отключения питания и линий аккумуляторных ячеек батареи от мультиплексора. При включенном состоянии он соответственно пропускает ток дальше.

Все выходы ячеек подключены к мультиплексору через резисторы R1-R3 и FU1, FU2 в целях безопасности, чтобы в случае короткого замыкания уменьшить ток. Предохранители вместо R1-R3 не используются ввиду того, что во время испытаний при искусственном замыкании в K561КП1 более безопасное поведение он показал при схеме с двумя предохранителями по питанию и тремя резисторами по каналам, чем с предохранителями по всем каналам. Это очевидно, ведь во втором случае протекаемая через мультиплексор мощность мгновенная больше, чем в первом случае.

Конденсаторы C1-C4 установлены по входным каналам мультиплексора для гашения высокочастотных шумов, которые возникают особенно при зарядке или разрядке аккумуляторной сборки.

Подключение входных каналов к мультиплексору K561КП1 следующее. К входам X0-X3 подключены каналы 1-4, это минусы ячеек. К входам U0-U3 подключены каналы 2-5, плюсы ячеек. Соответственно, при включенном мультиплексоре на выходе X и Y будет пара, образующая напряжение одной из ячеек. Таким образом на выходе можно будет получить последовательно любую из всех 4 подключенных ячеек.

Питание мультиплексора K561КП1 производится с включением конденсаторов C5, C6, фильтрующих питание.

Управление мультиплексором производится через гальваническую развязку при помощи оптопар U1-U3. Они выбраны отечественными, марки АОТ165А1 производства АО ПРОТОН. У них высокий коэффициент передачи по току, 20, что позволяет сделать небольшим ток через светодиод оптопары (в схеме 1,2 мА) и при этом транзистор на выходе оптопары смог бы полностью открыться. [10] Резисторы R4-R6 являются подтягивающими для обеспечения логического уровня на управляющих входах мультиплексора при выключенных оптопарах. Причем R4 и R5 подтягивают управляющие выводы мультиплексора А и В к нулю вольт, а R6, вывод DE, к плюсу питания. Это связано с заложенной разработчиками мультиплексора логикой его управления. Мультиплексор будет включенным, когда на разрешающим работу входе DE будет логический ноль то есть включена оптопара U3.

Таким образом, подавая управляющие сигналы на вход клеммы X1, контакты 4-6, можно управлять оптопарами U1-U3, которые в свою очередь будут управлять мультиплексором DA1. В итоге на выходных контактах 1-2 будет получено напряжение ячеек 1-4.

Теперь рассмотрим схему включения высоковольтного мультиплексора max14753, объединяющего показания с четырех K561КП. Схема приведена рисунке 4. На схеме DA1-max14753.

Входные напряжения ячеек с четырех K561КП подключаются к разъёму X2, контакты 1-8 и идут сразу на вход DA1. Для управления DA1 используются контакты 1-3 на разъёме X1, также используются оптопары АОТ165А1, при этом схема управления мультиплексором аналогична как у K561КП. Единственное отличие в том, что управляющие входы MAX14753 имеют максимальное входное напряжение 12 вольт. Поэтому на резисторах R1, R4, R6 и стабилизаторах VD1-VD3 был построен параметрический стабилизатор напряжения на 5,2 вольт. Резисторы R7-R9 являются подтягивающими и обеспечивают на входах DA1 логический ноль.

Таким образом, управляя четырьмя K561КП и одновременно MAX14753, на контактах 9-10 разъёма X2 будет одна из 16 ячеек аккумуляторной сборки. К этим контактам необходим подключать АЦП с обязательной гальванической развязкой по питанию от аккумуляторной сборки. Таким образом цель достигнута и устройство замера напряжения ячеек будет работать.

Для проверки работы данных схем был создан прототип устройства замера напряжений для 4 ячеек - подключен по схеме рисунка 3 один K561КП1 и MAX14753 по схеме рисунка 4. К обоим схемам был подключен микроконтроллер для управления мультиплексорами, при этом контакт 9 разъёма X2 схемы рисунка 4 был подключен к общему проводу, а контакт 8 к АЦП с разрешением 12 бит. Микроконтроллер обязательно включается через гальваническую развязку с батареей. Результат работы устройства, при зарядке аккумуляторной батареи, приведен на рисунке 5. Как видно, напряжение на всех ячейках растёт одинаково, тестовая батарея сбалансирована. Устройство успешно функционирует.

Управляется он при помощи отечественной оптопары U1 АОТ165А1. Балансировка начинается при подаче питания на оптопару U1, она открывает транзистор VT1. Таким образом получается, что аккумуляторная батарея будет подключена к резистору R2. В схеме его сопротивление равно 3,9 Ом с рассеиваемой мощностью 5 ватт. При таких параметрах при напряжении полностью заряженной LiFe ячейки 3,6 вольт ток балансировки будет составлять до 900 мА. Если сделать таких устройств 16 штук, можно будет получить балансировку всей аккумуляторной сборки.

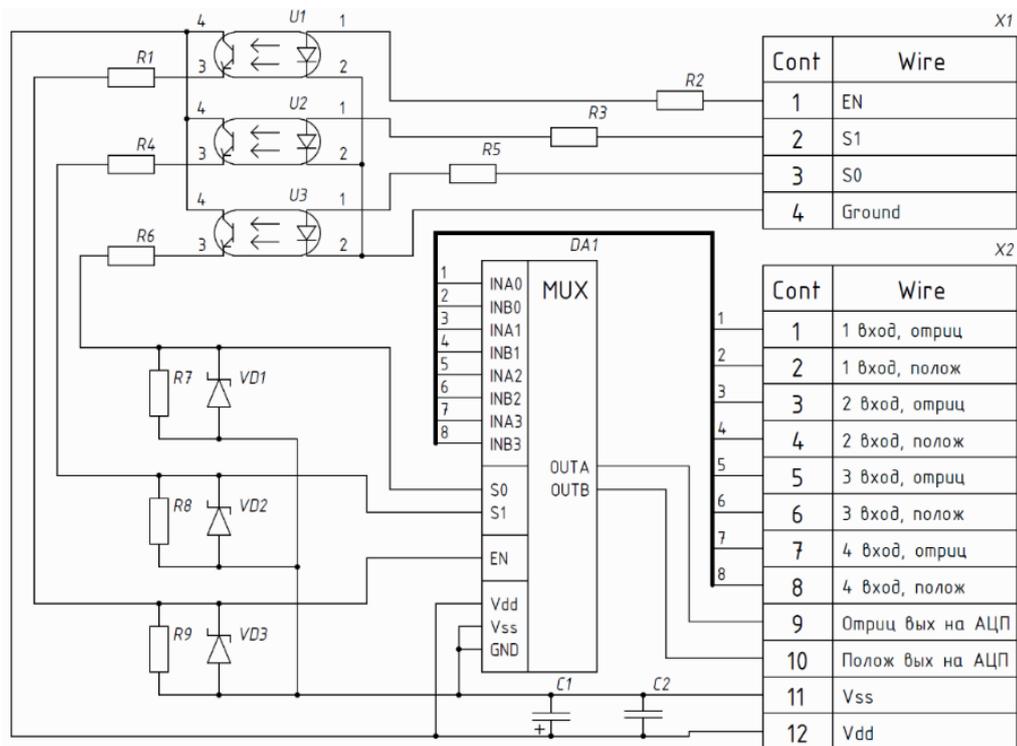


Рис. 4. Подключение подключения MAX14753

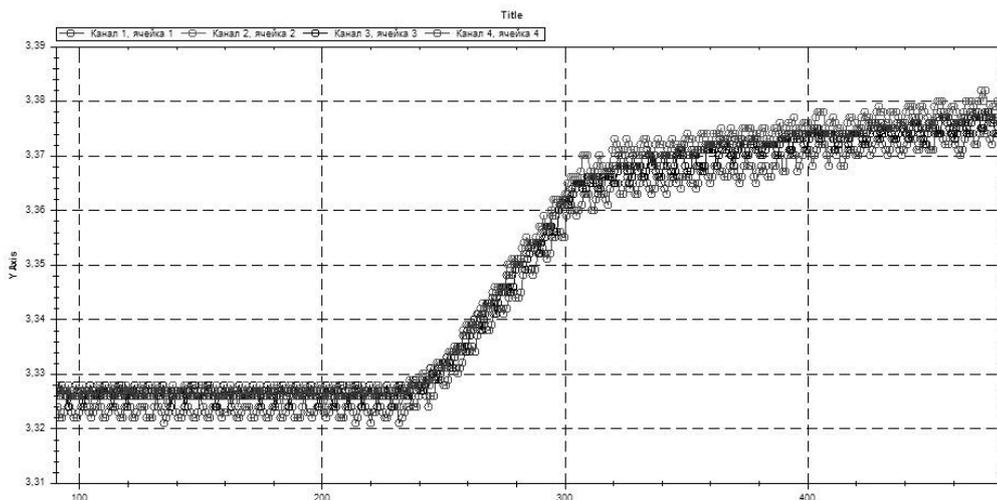


Рис. 5. График напряжений четырех ячеек, измеренных устройством, при зарядке

Так же в рамках проекта разработано устройство для пассивной балансировки ячеек. Схема для одной ячейки приведена на рисунке 6.

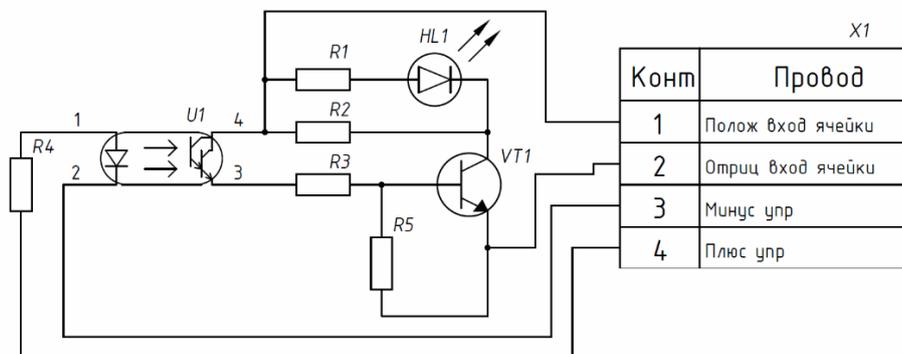


Рис. 6. Схема балансировки одной ячейки

В основе лежит отечественный транзистор VT1 KT961B, работающий в ключевом режиме. Таким образом в результате проделанной работы были рассмотрены существующие системы управления батареями и их задачи. Показано, что их основными функциями являются замер напряжений ячеек аккумуляторной сборки и их балансировка. Произведен обзор возможных методов измерения напряжений ячеек в аккумуляторной сборке. Для реализации был выбран способ на мультиплексорах.

Была разработана электрическая схема с использованием отечественных ЭРИ, её сборка и тестовое включение. Для проверки была произведена зарядка аккумулятора, устройство отработало штатно и выдало показание. Так же было разработано устройство балансировки аккумуляторных ячеек. В дальнейшем планируется собрать 16 таких устройств балансировки, подключить к устройству замера напряжений ячеек уже все 16 ячеек батареи. Выполнить все эти схемы на одной печатной плате, включая установку управляющего микроконтроллера, и получить в итоге собственную, с использованием отечественных комплектующих, систему управления батареями.

#### Библиографический список

1. Stephan Leuthner Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications // J Electroanal Chem, 2018. ISBN: 978-3-662-53071-9 Pages 13-19
2. Лепчиков А. А. Обзор применения накопителей энергии в транспортной инфраструктуре // Сборник трудов конференции “Состояние и перспективы развития современной науки”, -М: Издательство: Федеральное государственное автономное учреждение “Военный инновационный технополис “ЭРА”, 2020 год. Стр 286-295
3. Евarestов В. М. Разработка рекомендаций по эксплуатации тяговых аккумуляторных батарей московских электробусов // Сборник трудов конференции “Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта”, -М: Издательство: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021 год. Стр 33-41
4. Hossam A. Gabbar Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards // Journals MDPI Technologies Volume 9 Issue 2, 2022
5. Форум электротранспорт.ру [Электронный ресурс] // electrotransport.ru; URL: <https://electrotransport.ru/ussr/index.php?topic=5439.18> (дата обращения: 02.02.2023).
6. Микросхемы K561КП1 [Электронный ресурс] // microshemca.ru; URL: <https://www.microshemca.ru/M.K561KP1/> (дата обращения: 05.02.2023).
7. Этикетка на мультиплексор KP590KH3, ООО МИКРО-М
8. Спецификация на мультиплексор 5400TP054-003, версия 2.0, АО «Дизайн Центр «Союз», 2022 год
9. Техническая документация на мультиплексор MAX14753 19-4255; Rev 0; 8/08, 2008 год, Maxim Integrated
10. Документация на оптопару АОТ165А1 АДБК.432220.725 ТУ, ОАО «Протон»

УДК 621.396.674.3

### МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ УКВ-2 ДИАПАЗОНА

Г.С. Аникин<sup>1</sup>, В.В. Егоров<sup>1</sup>

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)*

В настоящее время в задачах обеспечения безопасности садоводческих товариществ применяются системы удалённого мониторинга показателей температуры, датчиков огня, дыма, угарного и бытового газов и т.п., которые предполагают передачу этой информации на сторожевой пункт для оперативного контроля. Одним из вариантов решения данной задачи является автономная система, предполагающая непосредственную передачу кодовых посылок на расстояние до 2 км в диапазоне УКВ-2, при этом передача информации осуществляется на частотах между станциями гражданского FM-радиовещания.

Данный диапазон был выбран разработчиками системы неслучайно. Очевидно, что в большинстве случаев она будет эксплуатироваться в лесной местности. На рис.1 представлен график зависимости поглощения радиоволн в густом влажном лесу на протяжении 1 м пути (дБ/м) в зависимости от частоты. Видно, что именно на частотах в районе 100 МГц вкпе со сравнительно небольшой длиной волны (в сравнении с коротковолновым диапазоном) затухание в лесополосе составляет менее 0,1 дБ/м. Это позволяет на достаточно низкой мощности (до 100 мВт) обеспечить передачу данных на большое расстояние.

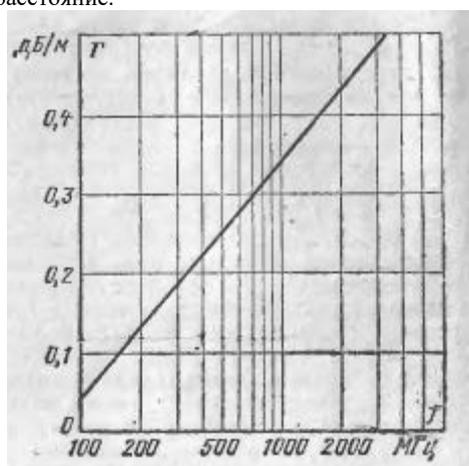


Рис. 1. График зависимости поглощения радиоволн в лесу от частоты

Однако длина волны диапазона 100 МГц, как известно, составляет 3 м, следовательно даже простой полноразмерный симметричный вибратор имеет длину 1,5 м, что зачастую является проблемой для тех, кто предполагает устанавливать в своих загородных домах подобную систему.

Предпринимаемые ранее разработчиками этой системы попытки уменьшить габаритные размеры антенны приводили к значительному уменьшению дальности связи, следовательно система становилась ненадёжной и не обеспечивала решение поставленных для неё задач.

Задача состояла в разработке антенны на диапазон УКВ-2 (частота в районе 100 МГц), габаритные размеры которой были бы минимальны без серьёзных потерь в эффективности.

Рассмотрим более подробно трудности, возникающие при разработке укороченных вибраторных антенн. В первую очередь, это падение сопротивления излучения такой антенны. Как известно, сопротивление излучения это сугубо математический коэффициент пропорциональности, связывающий мощность излучения с квадратом действующего значения тока в антенне [3]:

$$R_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{I_a^2}$$

Однако, несмотря на исключительно математическое значение этой величины, именно она является определяющей при расчёте коэффициента полезного действия антенны:

$$\eta_a = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_{\text{пот}}}$$

В данной формуле  $R_{\text{пот}}$  – сопротивление потерь. Оно в свою очередь состоит из нескольких компонент:  $R_S$  – омических потерь в проводах и элементах антенны;  $R_i$  – потерь в изоляции;  $R_3$  – потерь в земле;  $R_0$ , характеризующего тепловые потери в окружающих предметах, находящихся в ближней зоне антенны [1]. Очевидно, что это сопротивление описывает ту часть мощности, подведённой к антенне, которая не излучается в пространство, а рассеивается в виде тепла в самой антенне и окружающих её предметах.

Обратимся теперь к графику зависимости сопротивления излучения симметричного вибратора (отнесённого к пучности тока) от его относительной длины  $l/\lambda$  [3].

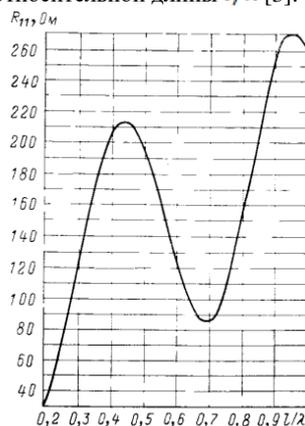


Рис. 2. Зависимость сопротивления излучения симметричного вибратора отнесённого к пучности тока от его относительной длины

Здесь под относительной длиной понимается отношение длины одного плеча симметричного вибратора к рабочей длине волны. К примеру, значение 0,25 по оси абсцисс означает рассмотрение полуволнового вибратора, 0,5 – волнового.

Из рассмотрения представленной графической зависимости становится понятно, что при уменьшении относительной длины антенны довольно резко падает сопротивление излучения и, соответственно, коэффициент полезного действия, что оказывает негативное влияние на работу описанной выше системы передачи аварийной информации в целом.

Для получения приемлемого коэффициента полезного действия необходимо, чтобы сопротивление излучения было в несколько раз больше сопротивления потерь. Однако, исходя из рис.2, становится ясно, что  $R_{\Sigma}$  для укороченных антенн падает до десятков, а то и до единиц Ом, следовательно, остаётся один путь сохранить приемлемый КПД – уменьшать  $R_{\text{пот}}$ . Это достигается, к примеру, использованием проводящих элементов антенны с большим периметром сечения. Несмотря на это, практика показывает, что даже в этом случае добиться приемлемого КПД не удастся. Также растёт стоимость изготовления такого антенного устройства.

Второй важной проблемой при применении укороченных антенн является сложность её согласования с фидерным трактом и выходным каскадом передатчика (который, напомним, имеет и без того малую выходную мощность – десятки доли Ватта) в рабочей полосе частот.

И, наконец, третья проблема – расширение рабочей полосы антенны, ведь необходимо провести целый комплекс мер для согласования на рабочей (центральной) частоте, не говоря уже о получении антенны с широкой полосой.

Необходимость построения широкополосных антенн связана в рассматриваемом случае, прежде всего, с тем, что, в частности, на параметры вибраторных антенн (тем более укороченные) заметное влияние оказывают и внешние факторы: металлические предметы, находящиеся неподалёку, атмосферные осадки и так далее. Исходя из этого, можно утверждать, что необходимо обеспечить

согласование антенны в достаточно широкой полосе частот, чтобы при воздействии вышеупомянутых факторов работа передающей части в частности и системы мониторинга в целом была устойчивой. Под параметрами понимается, в первую очередь, входное комплексное сопротивление:

$$Z_A = R_A + jX_A$$

Оно непосредственно влияет на согласование антенны с фидерным трактом и выходным каскадом передающего устройства.

По результатам рассмотрения вышеописанных трудностей была сформулирована и обоснована задача построения широкополосной укороченной антенны на диапазон 100 МГц. Разработка подразделяется на два основных этапа: анализ и применение той или иной схемы укорочения вибратора, а также проведение мероприятий по расширению рабочей полосы частот антенны.

Рассмотрим первую задачу. Напомним, что длина полноразмерного полуволнового вибратора на 100 МГц составляет около 1,5 м. Зададимся целью спроектировать антенну длиной в пределах 0,8-0,9 м. Существует две методики укорочения: путём загибания концов вибратора и путём применения удлиняющих катушек и/или ёмкостных нагрузок. Обе эти схемы показаны на рис. 3 и рис.4 соответственно.

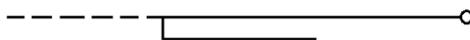


Рис. 3. Загибание концов вибратора

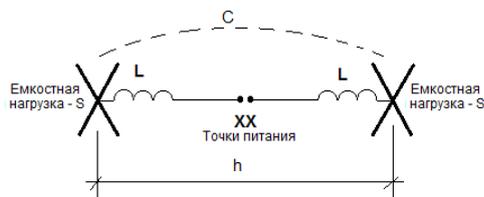


Рис. 4. Внедрение удлиняющих катушек индуктивности и/или ёмкостных нагрузок

Недостатком схемы, представленной на рис.4, является в первую очередь увеличение габаритов антенны, повышение сложности изготовления и настройки, а также увеличение добротности вибратора ввиду роста реактивной составляющей импеданса антенны. Поэтому более целесообразно применить схему, приведённую на рис.3, так как именно она позволяет при сохранении электрической длины вибратора уменьшить его физические размеры. Несмотря на то, что такая концепция предполагает появление участков вдоль антенны с противофазными токами, это нивелируется тем, что, согласно распределению токов в симметричном вибраторе, токи в концевых частях много меньше токов в пучности (в середине диполя), следовательно, значительного влияния противофазные компоненты не оказывают.

Следующим этапом является расширение полосы проектируемой антенны. Сложные согласующие устройства (СУ), построенные на LC-звеньях, мы не рассматривали по причине сложности согласования большого раствора значений импеданса антенны в полосе частот. Для решения данной задачи была применена схема с сильно связанными вибраторами. Рассмотрим сначала эквивалентную схему, показанную на рис.5.

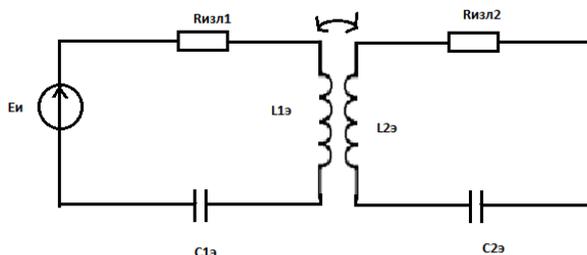


Рис. 5. Схема с сильно связанными вибраторами

Имеют место следующие соотношения:

$$\begin{cases} E = I_{1П}Z_{11} + I_{2П}Z_{12} \\ I_{2П}Z_{22} + I_{1П}Z_{21} = 0 \end{cases}$$

Видно, что они аналогичны известным из теории связанных контуров уравнениям Кирхгофа. Здесь  $I_{1п}$  и  $I_{2п}$  – токи в пучностях первого и второго вибраторов соответственно,  $Z_{11} \dots Z_{22}$  – комплексные сопротивления из матрицы Z-параметров контуров. В правой части второго уравнения системы 0, так как второй вибратор пассивный, в центре короткозамкнут, соответственно, напряжение на коротком замыкании равно нулю.

Данная схема позволяет получить зависимость комплексного сопротивления от частоты (далее – импедансная характеристика), имеющую экстремум. Здесь имеет место аналогия с полиномами Чебышёва. Полином Чебышёва 1 рода – функция, которая меньше всего отклоняется от нуля на отрезке [-1,1]. Для решения поставленной задачи требовалось получить функцию, напоминающую указанный полином, но в роли отрезка [-1,1] здесь выступает необходимая частотная полоса, а в роли значения, от которого меньше всего отклоняется функция, целевые параметры по  $R_A$  и  $jX_A$  соответственно. По  $R_A$  это 50 Ом (классическое волновое сопротивление линий передачи), а по  $jX_A$  – 0 Ом, то есть отсутствие реактивной составляющей импеданса.

Таким образом, решение исходной задачи свелось к моделированию и построению антенны, состоящей из двух близкорасположенных вибраторов с загнутыми концами.

Моделирование и параметрическая оптимизация производились в среде электродинамического моделирования Mininec 3 – Mini Numerical Electromagnetic Code (интерфейс MMANA). Ниже приведены скриншоты окон программы на разных этапах моделирования (рис.7,8).

Имя	F 100.000 MHz									
Wire 18	Autosegmentation									
No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg		
1	-0.02	0.425	0.0	-0.02	0.01	0.0	3.125	-1		
2	-0.02	0.425	0.0	-0.09	0.425	0.0	3.125	-1		
3	-0.09	0.425	0.0	-0.09	0.165	0.0	3.125	-1		
4	-0.02	-0.425	0.0	-0.02	-0.01	0.0	3.125	-1		
5	-0.02	-0.425	0.0	-0.09	-0.425	0.0	3.125	-1		
6	-0.09	-0.425	0.0	-0.09	-0.165	0.0	3.125	-1		
7	-0.02	0.01	0.0	-0.02	-0.01	0.0	3.125	-1		
8	0.02	0.425	0.0	0.02	0.01	0.0	3.125	-1		
9	0.02	0.425	0.0	0.09	0.425	0.0	3.125	-1		
10	0.09	0.425	0.0	0.09	0.165	0.0	3.125	-1		
11	0.02	-0.425	0.0	0.02	-0.01	0.0	3.125	-1		

Рис. 6. Задание геометрии антенны

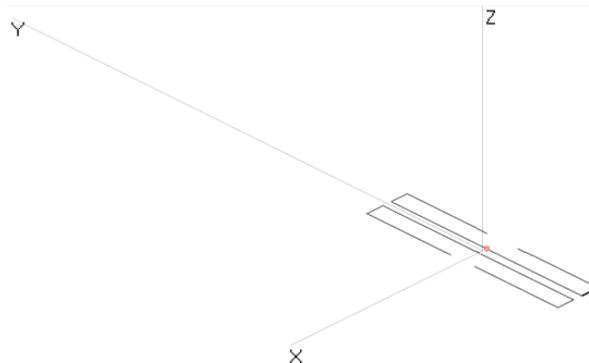


Рис. 7. Вид антенны в интерфейсе программы

На рис.8 приведена импедансная характеристика, полученная в результате моделирования.

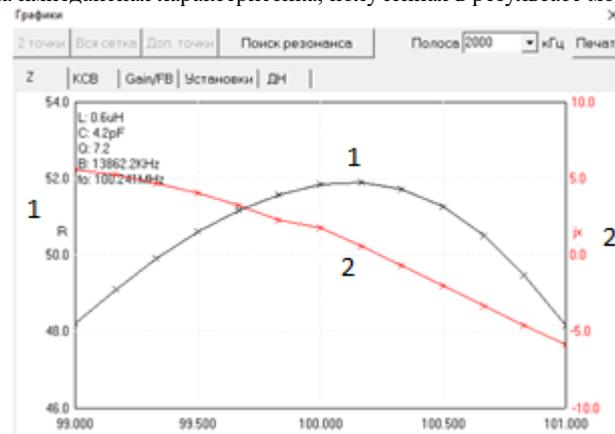


Рис. 8. Зависимость R и jX от частоты f

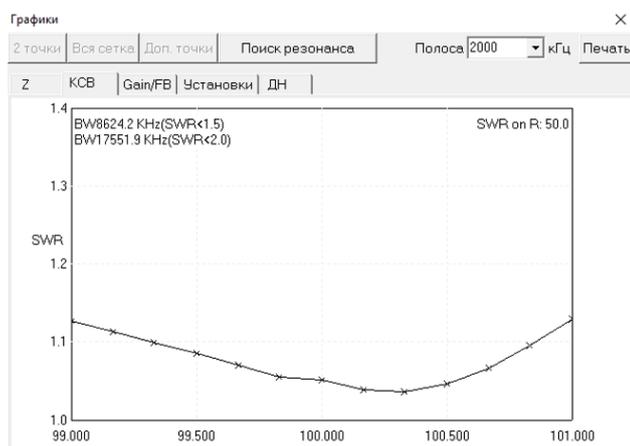


Рис. 9. Зависимость КСВ от частоты

График зависимости КСВ от частоты представлен на рис.9.

По графику на рис.8 видно, что, действительно, зависимость  $R(f)$  (чёрная кривая) имеет экстремум на центральной частоте, а по краям минимально отклоняется от целевого параметра 50 Ом. Зависимость  $jX(f)$  (кривая красного цвета) в центре имеет 0, а по краям частотного диапазона – значения  $\pm 5$  Ом.

КСВ в полосе 2 МГц не превышает 1,15. Полоса по уровню КСВ 1,5 составила 8,6 МГц.

Конструктивно антенна была выполнена из медных трубок диаметром 6,25 мм и запитана коаксиальной линией передачи с волновым сопротивлением 50 Ом. Подробно останавливаться на тонкостях изготовления не стоит.

Важно лишь отметить, что в процессе настройки выполненной антенны производилось удлинение и укорочение вибраторов при помощи напаянных на концах отрезках медной проволоки, которые также были учтены в электродинамической модели. Было произведено симметрирование фидерной линии. График КСВ физической антенны представлен на рис.10.

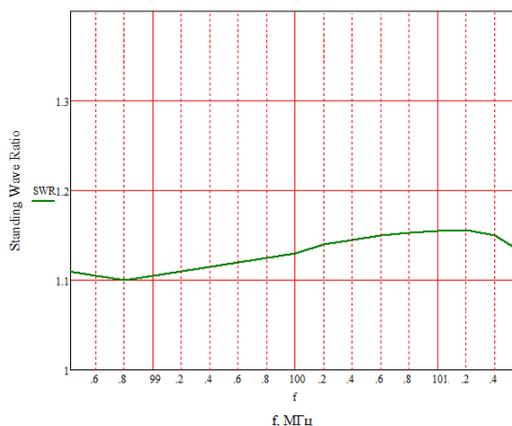


Рис. 10. Зависимость КСВ от частоты для реальной антенны

В заключение стоит отметить, что на базе таких излучателей возможно построение многоэлементных антенн и антенных решёток на их базе. Также данная работа подводит к исследованию антенн, чьи импедансные характеристики аппроксимируются полиномами Чебышёва 1 рода N-ого порядка.

#### Библиографический список

1. Гончаренко И. Антенны КВ и УКВ, 2010
2. Кочержевский Г.Н., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д. / Антенно-фидерные устройства. М: Радио и Связь, 1989. – 261 с.
3. Айзенберг Г.З. / Коротковолновые антенны. М: Радио и Связь, 1985. – 536 с.
4. Айзенберг Г.З. / Антенны УКВ. М: Радио и Связь, 1977. – 520 с.
5. Григоров И.Н. / Антенны. Настройка и согласование. М: Радиософт, 2002. – 269 с.

#### УДК 621.396.99

#### СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ НИЗКОЛЕТАЮЩЕЙ ЦЕЛИ, ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ

*Т.И. Тагаев<sup>1</sup>, Г.А. Бабанин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Важной задачей радиотехники является определение угловых координат низколетящей цели. Эта задача очень сложна из-за наличия двух высококогерентных сигналов, один из которых приходит от цели, а другой - от подстилающей поверхности. Это не только приводит к появлению второй мнимой

цели под горизонтом, но и смещает определяемые координаты самой цели, увеличивая ошибку. Существуют различные методы борьбы с ложными сигналами. Однако разработанные методы дорого тестировать в реальных условиях, поэтому зачастую гораздо выгоднее иметь достаточно точную математическую модель сигнала, рассеянного подстилающей поверхностью. Модель должна быть достаточно точной, чтобы передать реальную ситуацию, но в то же время не слишком ресурсоемкой с точки зрения объема вычислений. Она должна иметь характеристики сигнала, отраженного от реальной шероховатой поверхности, например, морской поверхности.

Для создания модели сигнала, отраженного от шероховатой подстилающей поверхности, необходимо смоделировать эту поверхность. Одним из возможных вариантов подстилающей поверхности является взволнованная морская поверхность. Основным методом описания морской поверхности является спектральный метод. Он предполагает построение пространственного спектра волнения моря. Существуют различные эмпирические спектры морских волн, основными из которых являются спектр Пирсона-Московица и JONSWAP (Joint North Sea Wave Project). Спектр Пирсона-Московица использовался в СССР вместе с 9-балльной шкалой оценки интенсивности морских волн. Входным параметром этого спектра является высота трехпроцентной обеспеченности - такая высота волны, вероятность превышения которой составляет 3%. Спектральная плотность энергии Пирсона-Московица определяется выражением (1) [1]:

$$S(\omega) = 7.06\pi \frac{D_r}{\bar{\omega}} \left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^5 \exp\left(-1.25\left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^4\right), \quad (1)$$

где  $\bar{\omega} = \frac{2\pi}{\bar{T}}$  - средняя частота волнения;

$\bar{T} = 3.1\sqrt{h_{3\%}}$  - средний период волнения;

$\omega_m = 0.7\bar{\omega}$  - частота максимума спектра;

$D_r = \sqrt{\frac{h_{3\%}}{5.29}}$  - дисперсия высот волн;

$h_{3\%}$  - высота трехпроцентной обеспеченности.

За рубежом чаще используется спектр JONSWAP; он отличается от спектра Пирсона-Московица наличием дополнительного искусственного множителя, который улучшает соответствие измерениям. Этот множитель определяет форму горба спектра морской поверхности. Спектр JONSWAP определяется выражением (2) [2]:

$$S(\omega) = \frac{ag^2}{\omega^5} \exp\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^4\right) \cdot \gamma \exp\left(-\frac{(\omega-\omega_m)^2}{2\sigma^2\omega_m^2}\right), \quad (2)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения;

$a = 0,076\bar{X}^{-0,22}$  - интенсивность спектра, которая определяется скоростью ветра и длиной волны;

$\bar{X} = \frac{gx}{U^2}$  -  $U$  скорость ветра на высоте 10 м над уровнем моря,  $x$  - длина выборки;

$\gamma$  - множитель, задающий форму горба волны; определяется в диапазоне от 1,5 до 6, обычно используется значение 3,3;

$\sigma$  - коэффициент формы пика, его значения определяются выражением:

$$\sigma \begin{cases} 0.07, \omega \leq \omega_m \\ 0.09, \omega > \omega_m \end{cases}$$

$\omega_m$  - пиковая частота волны, которая является максимальным значением, появившимся в частотном спектре,

$$\omega_m = 22\left(\frac{g}{U}\right) \cdot \bar{X}^{-0,33}$$

Скорость может быть определена в соответствии с 12-балльной шкалой Бофорта, принятой Всемирной метеорологической организацией. Таким образом, входными параметрами модели спектра морских волн JONSWAP являются скорость ветра над морем и коэффициент формы пика.

Двумерная поверхность получается из спектра JONSWAP путем его домножения функцией направленного распространения [3], которая определяется как:

$$D_{ПТС}(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta, \quad (3)$$

где  $\theta$  определяется выражением  $(|\theta| \leq \frac{\pi}{2})$

Окончательный спектр определяется выражением:

$$S(\omega, \theta) = \frac{ag^2}{\omega^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^4\right] \cdot \gamma \exp\left(-\frac{(\omega-\omega_m)^2}{2\sigma^2\omega_m^2}\right) \cdot \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta \quad (4)$$

Случайная поверхность, полученная с помощью выражения (4), показана на рисунке 1. Эта поверхность является случайной и подходит для моделирования нескольких реализаций сигнала, отраженного от шероховатой подстилающей поверхности.

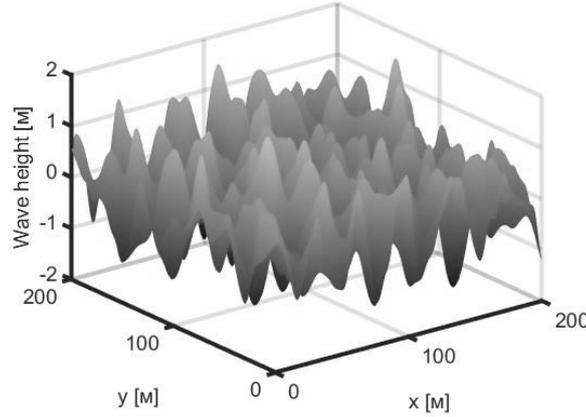
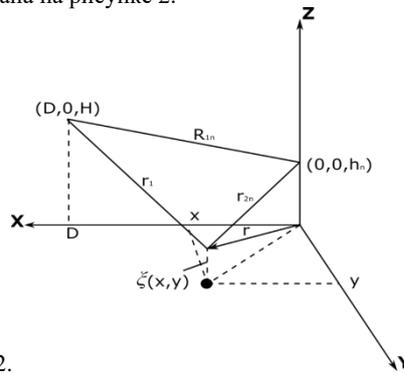


Рис. 1. Реализация морской поверхности при скорости ветра 10 м/с

Для формирования сигнала в элементах антенной решетки воспользуемся методом Кирхгофа. Схема распространения сигнала от цели до элемента антенной решетки с отражением от одной точки подстилающей поверхности показана на рисунке 2.



2.

Рис. 2. Компоненты модели принимаемого сигнала.  $H$  – высота цели,  $h_n$  – высота  $n$ -го элемента антенной решетки,  $D$  – проекция расстояния между целью и антенной на плоскость земли

Сигнал на прямом пути определяется выражением:

$$E_1 = \frac{\dot{E}_{0n}}{\sqrt{4\pi R_1}} F_n(\theta, \varphi) e^{-ikR_1} \quad (5)$$

Сигнал, отраженный от подстилающей поверхности, определяется выражением [4]:

$$E_{sn} = \frac{\dot{E}_{0n} A(x)}{4\pi} \int_S \rho F_n(\theta, \varphi) \frac{\exp\{-ik(r_1 + r_{2n})\}}{r_1 r_{2n}} dS \quad (6)$$

где  $A(x)$  – коэффициент, зависящий от свойств поверхности;

$F_n(\theta, \varphi)$  – диаграмма направленности  $n$ -го элемента антенной решетки;

$\rho$  – коэффициент отражения.

$r_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + (H - \xi)^2}$  – расстояние от цели до точки на поверхности;

$r_{2n} = \sqrt{(D - x)^2 + y^2 + (h_n - \xi)^2}$  – расстояние от точки на поверхности до элемента антенной решетки;

$\xi = \xi(x, y)$  – шероховатость поверхности.

В этом случае предполагается, что диаграммы направленности для приема и передачи одинаковы. В суперпозиции (6) наибольший вклад вносит точка стационарной фазы – точка, вблизи которой скорость изменения функции минимальна. Поэтому коэффициент  $A(x)$  может быть вычислен только для точки стационарной фазы, для остальных точек предполагается, что характер случайной поверхности одинаков, поэтому он используется для вычисления сигнала от всех точек поверхности. В этом случае коэффициент  $A(x)$  будет определяться выражением:

$$A(x_0) = \frac{\sqrt{2r_1(x_0)r_2(x_0)}}{R_2} \sqrt{-|\varphi''(x_0)| ik \cdot \text{sgn}(|\varphi''(x_0)|)} e^{ik(\varphi(x_0) - R_2)} \quad (7)$$

где  $\varphi''$  – вторая производная  $\varphi = r_1(x_0) + r_2(x_0) = \sqrt{H^2 + (D - x_0)^2} + \sqrt{h_0^2 + x_0^2}$

Полный сигнал, полученный от низколетящей цели, определяется выражением 8:

$$E_n = \frac{\dot{E}_{0n}}{\sqrt{4\pi R_1}} F_n(\theta, \varphi) e^{-ikR_1} + \frac{\dot{E}_{0n} A(x)}{4\pi} \int_S \rho F_n(\theta, \varphi) \frac{\exp\{-ik(r_1 + r_{2n})\}}{r_1 r_{2n}} dS \quad (8)$$

Для определения коэффициента отражения необходимо построить нормали в каждой светящейся точке поверхности. Затем, определив углы между направлениями на цель и нормалью в каждой точке, рассчитать требуемый коэффициент по формуле Френеля, учитывая, что используется ортогонально поляризованная волна:

$$\rho = \frac{n_1 \cos \theta - n_2 \cos \phi}{n_1 \cos \theta + n_2 \cos \phi} \quad (9)$$

где  $n_i$  - коэффициент отражения  $i$ -той поверхности;

$\theta$  - угол падения;

$\phi$  - угол отражения.

Описанный выше метод часто требует больших вычислительных мощностей, особенно при моделировании двумерных подстилающих поверхностей. Существуют различные методы ускорения вычислений, один из которых заключается в определении точек стационарной фазы и рассмотрении только их малых окрестностей.

Сигнал, определяемый выражением (6), является случайным гауссовским процессом, поэтому он может быть полностью описан ожиданием, стандартным отклонением и корреляционной функцией. Поскольку расстояния  $r_1$  и  $r_{2n}$  - велики по сравнению с размером освещенной области, выражение для рассеянного сигнала может быть получено путем разложения  $r_1$  и  $r_{2n}$  в ряд Маклорена в окрестностях точки  $\xi = 0$  сохраняя первые два члена [5]:

$$E_{sm} = -\frac{\dot{E}_{0n} A(x)}{4\pi} \int_S F_n(\theta, \varphi) \frac{\exp\{-ik(r_{10} + r_{20n} - Q_n \xi)\}}{r_{10} r_{20n}} dS \quad (10)$$

$$\text{где } Q_n = \frac{H}{r_{10}} + \frac{h_n}{r_{20n}}$$

В данном случае коэффициент отражения был принят равным -1.

Если предположить, что поверхность, отражающая сигнал, имеет гауссовское распределение с нулевым математическим ожиданием и СКО  $\sigma$ , тогда среднее значение принятого сигнала будет описываться как:

$$\langle E_{sm} \rangle = -\frac{\dot{E}_{0n} A(x)}{4\pi} \int_S F_n(\theta, \varphi) \frac{\exp\{-ik(r_{10} + r_{20n})\}}{r_{10} r_{20n}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(k\sigma Q_n)^2\right\} dS \quad (11)$$

где  $\exp\left\{-\frac{1}{2}(k\sigma Q_n)^2\right\}$  - характеристическая функция гауссовского процесса.

Основной вклад в интеграл вносит площадь поверхности в окрестности точки зеркального отражения. В пределах этой области мы можем рассматривать  $Q_n = 2 \sin \varepsilon_0$ . В этом случае характеристическую функцию можно взять за знак интеграла. Используя метод стационарной фазы, получаем когерентную составляющую сигнала:

$$E_{cn} = E \exp\left\{-\frac{1}{2} p^2\right\} \quad (12)$$

где  $p = 2k\sigma \sin \varepsilon_0$  - коэффициент шероховатости;

$$E = -\frac{\dot{E}_{0n} A(x)}{\sqrt{4\pi R_2}} e^{-ikR_2};$$

$$R_2 = \sqrt{D^2 + (H + h_n)^2}.$$

Диффузная составляющая определяется корреляционной функцией [6]:

$$r_{sm} = \langle (E_{sm} - \langle E_{sm} \rangle)(E_{sm} - \langle E_{sm} \rangle)^* \rangle = \left(\frac{\dot{E}_0 A(x)}{4\pi}\right)^2 \iint_S \frac{e^{-ik(r_1 + r_{2n} - r_1' - r_{2n}')}}{r_1 r_{2n} r_1' r_{2n}'} g dS dS' \quad (13)$$

где  $g = e^{-p^2} (e^{p^2 k} - 1)$  - двумерная характеристическая функция гауссовского процесса;

$k$  - коэффициент корреляции поверхности.

Коэффициент корреляции может быть аппроксимирован функцией [6]:

$$k = \frac{\chi}{\sin \varepsilon} \quad (14)$$

где  $\chi = h_2 - h_1$

Наконец, применяя метод стационарной фазы, получаем:

$$R = EE^* e^{-p^2} (e^{p^2 k} - 1) \quad (15)$$

Сигнал в элементах антенной решетки состоит из трех составляющих: сигнал по прямому пути, когерентная и некогерентная составляющие сигнала от шероховатой поверхности [5].

$$E_{теор} = E_1 + E_{зер} + K \cdot Z, \quad (16)$$

где  $Z$  -  $M \times 1$  вектор, компоненты которого являются комплексными числами с гауссовым распределением, нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией;

$K$  - матрица, полученная разложением Холецкого матрицы  $R$ .

Таким образом, рассмотренный метод позволяет существенно сократить время расчета сигнала, отраженного от подстилающей поверхности, за счет отсутствия расчета подстилающей поверхности и интегрирования по ней. Для решения задачи анализа эффективности алгоритмов обработки таких сигналов метод значительно лучше метода Кирхгоффа, так как требует меньшего времени расчета и

меньшей вычислительной мощности для сохранения статистических характеристик случайного сигнала, рассеянного подстилающей поверхностью.

Для проверки модели мы будем использовать алгоритм суперразрешения, поскольку этот класс алгоритмов имеет самое высокое угловое разрешение. Алгоритм MUSIC является одним из самых эффективных алгоритмов, но он не очень быстрый. Его использование в данных условиях обусловлено наглядностью создаваемого им псевдоспектра. Входными параметрами этого алгоритма является набор шумовых собственных векторов корреляционной матрицы, полученных путем ее спектрального разложения. Также необходимы векторы-гипотезы направлений прихода, описываемые выражением (17):

$$a(\varphi, \theta) = \exp\{2i\pi(d_1 m \sin(\theta) \cos(\varphi) + d_2 n \sin(\varphi))\} \quad (17)$$

где  $\varphi, \theta$  - углы азимута и элевации;

$m, n$  - количество элементов в матрице антенной решетки;

$d_1, d_2$  - горизонтальное и вертикальное расстояние между элементами антенной решетки в длинах волн.

Псевдоспектр алгоритма MUSIC, определяемый по формуле (18), в этом случае будет представлять собой двумерную поверхность с несколькими выбросами, число которых равно числу предполагаемых целей (рис. 3).

$$P(\theta) = \frac{1}{|a^H(\theta) U_n U_n^H a(\theta)|} \quad (18)$$

где  $U_n$  матрица собственных чисел шумового компонента, полученная из спектрального разложения корреляционной матрицы:  $R = U \cdot \Lambda \cdot U^H = U_s \Lambda_s U_s^H + U_n \Lambda_n U_n^H$

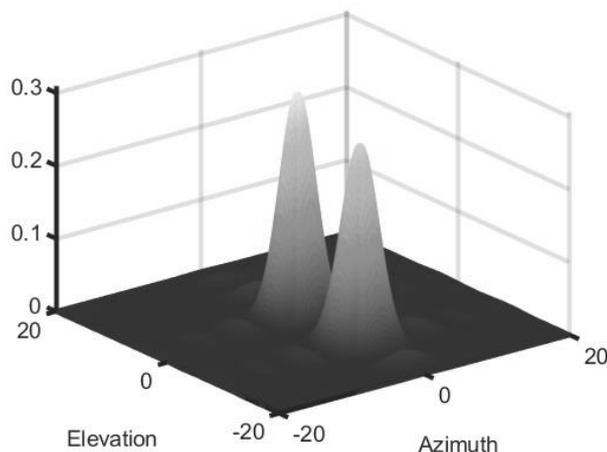


Рис. 3. Псевдоспектр сигнала низковысотной цели

Таким образом, приведенная выше модель имеет статистические характеристики сигнала, отраженного от взволнованной морской поверхности, и является случайным гауссовским процессом. Она также не требует больших вычислительных мощностей и в отличие от метода Кирхгофа, который требует вычисления сигнала от каждой блестящей точки на поверхности.

#### Библиографический список

1. Trukh Tverskoy G.N. Simulators of ship radar echoes. / G.N. Tverskoy, G.K. Terentyev, and I.P. Kharchenko. L.: Shipbuilding, 1973. 224 с.
2. Zunyi Xu. Three-dimensional Ocean Wave Simulation Based on Directional Spectrum/ Zunyi Xu., Qiuying Guo, , Ying Oun Sun. : Applied Mechanics and Materials, 2011 94-96 с.
3. Qiuying Guo, Simulation of deep-water waves based on JONSWAP spectrum and realization by MATLAB / Qiuying Guo, Zunyi xu: International Conference on Geoinformatics, 2011
4. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн М.: Сов.радио, 1972. р. 464
5. Monakov A. A., Khranchenko G. N., Low altitude target model for radar simulation / Monakov A. A., Khranchenko G. N. // IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems. 2002. V. AES 38. № 2. P. 668-675.
6. Sherman S. M., Barton D. K. Monopulse Principles and Techniques. Dedham, MA, Artech House, 2011.

УДК 621.396.99

#### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОМЕХ ПО ЧАСТОТАМ В СЕТЯХ БЫТОВОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

*А.Н. Шматок<sup>1</sup>, В.В. Егоров<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>. *Московский Авиационный Институт (Национальный Исследовательский Университет)*

В настоящее время ввиду активного развития беспроводных технологий достаточно актуальной стала проблема зашумления частотного диапазона и, как следствие, ухудшение условий работы беспроводных линий связи. В частности, в случае применения в системах «умный дом»

приёмопередающих радиомодулей, увеличение их числа неизбежно приведет к заполнению каналов и нарушениям в связи. С данной проблемой уже сталкивается протокол Wi-Fi. В его новых версиях используются другие диапазоны частот из-за заполнения предыдущих.

Возможным решением становится использование проводной передачи информации с использованием существующих сетей электропитания, так как большинство бытовых устройств имеет постоянное подключение к сети. Существуют различные варианты реализации подобных систем передачи данных, к примеру, открытый стандарт X10. Однако природа помех в сети электропитания изменилась и значительный рост числа импульсных преобразователей питания в бытовой электронике привел к появлению в сетях электропитания помех, спектр которых перекрывает области спектра, используемые подобными системами, что усложняет или полностью делает невозможным работу протокола передачи данных по сети электропитания. Помехи имеют различное происхождение. Их появление может быть связано с нарушениями работы сети электропитания из-за неоднородного спроса на электроэнергию в различное время суток. Также любой бытовой прибор вносит свои помехи в сеть электропитания при эксплуатации. Помимо этих источников помехи вносят наводки радиосигналов различных частот, в том числе и низких, а также тепловые шумы электротехнической инфраструктуры. Все эти факторы влияют на передачу информационных сигналов по сети питания на различных частотах.

В рамках работы над подобной системой возникла необходимость формирования требований касательно областей спектра, в которых будут приниматься и отправляться информационные сигналы по сети электропитания.

Для решения этой задачи был изготовлен прибор, способный записывать восьмисекундные выборки сигнала с частотой дискретизации 300 кГц с помощью запоминающего устройства (ОЗУ). Структурная схема разработанного прибора приведена на рис. 2. На входе АЦП в данном устройстве был установлен фильтр, принципиальная схема которого и АЧХ приведены на рис. 1. В приборе предусмотрен настраиваемый усилитель, который предназначен для нормирования сигнала относительно уровней квантования АЦП. Это позволяет снимать выборки сигналов в сетях питания с различным напряжением и уровнем шумов. После обработки данных в микроконтроллере их возможно вывести на носитель информации и производить вычисления уже на компьютере.

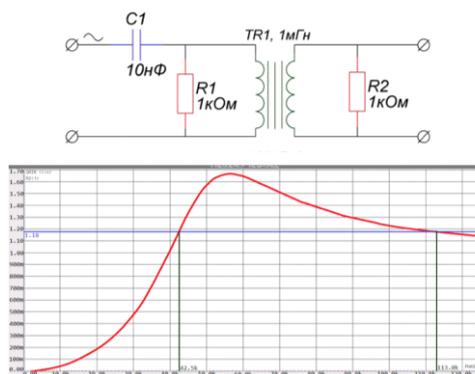


Рис. 1. Схема и АЧХ входного фильтра.

Прибор подключается к сети максимально близко к исследуемому прибору. Суть эксперимента заключается в том, что записываются две выборки – одна до включения исследуемого прибора в сеть, а вторая – при включенном приборе. Разница амплитудных спектров этих двух сигналов представляет собой оценку спектра вносимых в сеть помех конкретным прибором. В ходе эксперимента были исследованы бытовые приборы большой мощности, такие как холодильник, принтер, микроволновая печь, утюг. Они оказались малозумящими и их влияние на помехи сравнительно небольшое. Также были исследованы приборы с большим уровнем влияния на помехи в сети. Это зарядные устройства различных цифровых устройств.

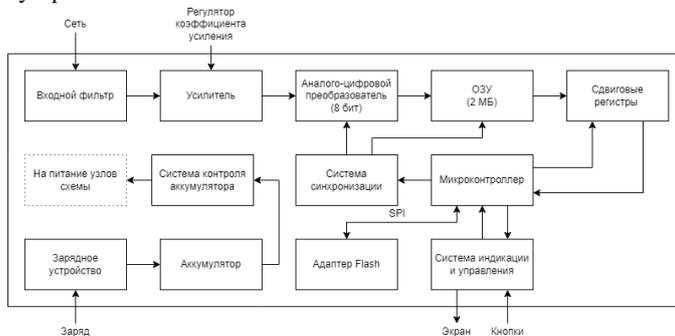


Рис. 2. Структурная схема прибора для измерения сигнала бытовой сети

Общий спектр помех в сети электропитания, полученный с помощью созданного прибора, приведен на рис. 3.

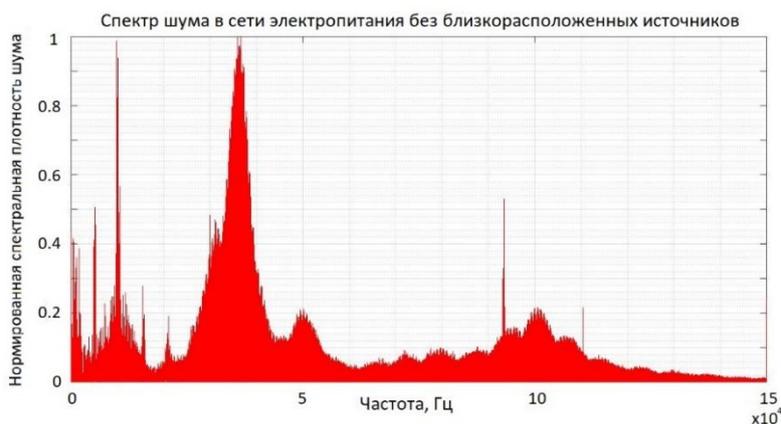


Рис. 3. Спектр шума в сети электропитания.

Полученные в результате анализа экспериментальных данных сведения позволили сформировать требования к системе передачи информации. Рабочий диапазон частот (45 – 110 кГц) был разделен на несколько поддиапазонов, в которых вероятность появления помех наименее вероятна. На нем можно выделить наименее зашумленные по сравнению с другими. Это диапазон от 65 до 75 кГц. Он накладывается на диапазон наименее зашумленных частот слабошумящих приборов и может использоваться для дальнейшей разработки метода для передачи данных по проводной системе бытовой электросети.

Для расчета битовой ошибки при передаче сигнала были проанализированы различные типы модуляции при определенном отношении сигнал/шум. Ширина полосы равна 10 кГц (65-75 кГц). Скорость передачи данных на этой полосе частот равна  $R = 2\Delta f = 2 * 5 \text{ кГц} = 10 \text{ кбит/с}$ . Необходимо чтобы информационный сигнал на несущей частоте не превышал по амплитуде максимальный по амплитуде сигнал помех, чтобы не нарушать работу электросети.

На рисунке 4 изображены графики отношения битовой ошибки от величины сигнал/шум для PSK модуляций.

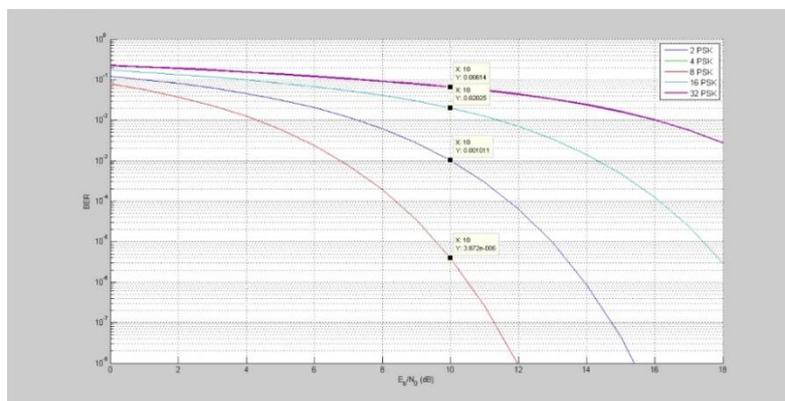


Рис. 4. Битовая ошибка для PSK модуляций

На рисунках поставлены точки на отношении сигнал/шум равным 10 дБ, чтобы предусмотреть случай, когда помехи появляются на частотах, на которых передается информационный сигнал. Эффективнее всего использовать BPSK модуляцию из рассмотренных. Тогда скорость передачи данных будет равна 10 кбит/с при битовой ошибке  $4 * 10^{-6}$ .

Использование более низких частот позволяет увеличить дальность передачи данных. Это актуально для больших помещений или помещений, удаленных друг от друга. Дальность передачи данных может быть увеличена по сравнению с аналогами, которые используют более высокие частоты для передачи данных.

#### Библиографический список

1. Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах». // Перевод с английского. Под редакцией доктора физ-мат наук В. Г. Губанкова. Москва «Мир» 1986.
2. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных сисетмах // Перевод с английского Бронина Б. Н. Под ред. к. т. н. Гальперина Н. В. Москва «Мир» 1979.
3. Цицикян Г. Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике // Учебное пособие. Санкт-Петербург 2006.
4. Зимин В. В. Промышленные сети // Нижний Новгород 2006.

**ОБНАРУЖЕНИЕ КОСЯКОВ МОРСКИХ РЫБ СРЕДСТВАМИ БОРТОВОЙ КОГЕРЕНТНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБЗОРА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИЖЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ АНТЕННЫ**

*С.М. Петров<sup>1</sup>, В.А. Сеницын<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Балтийский Государственный Технический Университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

В статье рассматривается возможность применения летательного аппарата (ЛА), с бортовой когерентной радиолокационной системой обзора морской поверхности, с использованием движения платформы для электронного моделирования эффективной площади антенны для обнаружения движущихся под водой косяков морских рыб (КМР), в интересах народного хозяйства, при помощи отслеживания порождаемых ими искусственных гидродинамических образований на морской поверхности. Дается обзор основных параметров среды, способных оказывать влияние на достоверность полученной оценки, дается обоснование для выбора параметров станции, таких как: поляризация и частота работы; предлагается вариант структурной схемы. Автор показывает состоятельность выдвинутой в статье концепции и делает выводы о возможности применения комплекса, созданного на основе полученных в статье результатов.

Все подводные движущиеся объекты создают над собой волновые аномалии правильной геометрической формы, что позволяет их обнаруживать на фоне возмущений морской поверхности естественного происхождения: так как бликовые эффекты, которые яркостью и симметрией должны соответствовать контурам области возмущений, то есть полезному сигналу, что является признаком обнаружения косяка морских рыб [1]. В качестве допущения, будем аппроксимировать КМР оvoidом Рэнкина.

Видимость искусственных гидродинамических образований на радиолокационных изображениях практически не зависит от частоты излучения, но она должна быть значительно выше при горизонтальной, чем при вертикальной поляризации, также должна быть выше при низких (крутых) углах падения чем при больших углах падения [2].

Наиболее выгодным для наблюдения следов на поверхности воды является диапазон скоростей ветра от 5 м/с до 8 м/с, так как видимость искусственных гидродинамических образований на радиолокационных изображениях существенно зависит от скорости ветра, но почти не зависит от его направления. Для нейтрализации помех обнаружения объекта, вызванных волнением, целесообразно применить алгоритм с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ), предполагая, что волны, которые придется отфильтровывать таким способом, являются регулярными. Алгоритм обратного расчета:

1. Получение высот океанских волн вдоль волнового среза.
2. Применение БПФ к свободной поверхности и построение распределения волнового числа волн на ней.
3. Использование соответствующего фильтра для фильтрации волны с определенными волновыми числами.
4. Применение обратного БПФ к отфильтрованному распределению волновых чисел, для получения конечной высоты свободной поверхности [3].

В результате выполнения данного алгоритма будет получен горб Бернулли (ГБ), образуемый движением КМР. Это область давления, вызывающая возмущение, которое представляет собой поднятие воды над поверхностью непосредственно над лидерами и замыкающими рыбами стаи, а также углубление между ними. В создании этого эффекта нет заметной временной задержки. Возмущение в поперечном измерении продольной оси косяка, сравнимо по ширине с его длиной. Можно утверждать, что по особенностям ГБ (изменению его глубины и длины) возможно определить характеристики КМР.

Уравнение, описывающее этот эффект [4]:

$$\zeta_{N,T}(x, 0) = \frac{D^2 U^2}{8gh^2} \left[ \hat{f}\left(\frac{x+a}{h}\right) - \hat{f}\left(\frac{x-a}{h}\right) \right], \quad (1)$$

Уравнение (1) является произведением двух функций. Первая (2) - это масштабирующая функция, которая изменяется в зависимости от скорости  $U$ , диаметра оvoidа  $D$  и глубины  $h$ . Вторая - это функция формы, изменяющаяся на расстоянии от средней точки оvoidа и зависящая от глубины  $h$  и длины  $2a$  оvoidа. Координата  $x$  равна нулю в средней точке оvoidа и является положительной в направлении хвоста стаи, а  $g$  - ускорение свободного падения. Высота непосредственно ГБ вычисляется по формуле [4]:

$$W(U, D, h) = \frac{D^2 U^2}{8gh^2}, \quad (2)$$

Из (2) следует, что общая форма возмущения не очень чувствительна к изменениям глубины. В таблице 1 представлены расчеты, демонстрирующие значения для КМР, описываемого оvoidом с длиной 110.3 м. и диаметром 13.6 м.

Таблица 1

Скорость, уз	5	10
Глубина, м	Высота горба Бернулли, мм	
10	192.9	1628.8
20	36.8	182.3
30	15.8	75.2
40	9.3	40.2
50	6.6	27.4
60	3.1	12.5
70	2.6	5.9

Как показано в [5, 6], искусственные гидродинамические образования хорошо видны на изображениях, полученных с помощью бортовой когерентной радиолокационной системы обзора морской поверхности, с использованием движения платформы для электронного моделирования эффективной площади антенны. Радиолокационные комплексы (РЛК), могут обнаруживать только шероховатости поверхности, которые являются очень мелкими по сравнению с общим размером изображения. Взаимодействие различных эффектов, порождаемых морской поверхностью, и тот факт, что наблюдаемое РЛК явление находится в неравномерном движении, приводят к сложному сигналу изображения (т.е. негауссову и часто нестационарному и нелинейному сигналу).

Лучшие результаты по обнаружению КМР, даёт отношение высоты носителя с бортовой когерентной радиолокационной системой обзора морской поверхности, с использованием движения платформы для электронного моделирования эффективной площади антенны, к его скорости в 20 секунд. Картина следа становится более четкой, когда угол падения увеличивается до  $60^\circ$ , потому что разрешение улучшается с увеличением угла обзора, в то же время изображение становится темнее из-за более слабого обратного рассеяния [6].

Структурно РЛК состоит из двух сегментов: бортового и внебортового.

В качестве носителя РЛС предлагается использовать ЛА вертолётного типа, так как, такая конструкция позволяет:

I. разместить в законцовках лопастей антенны, имеющие слабонаправленные диаграммы направленности (ДН), что позволит получать РЛИ в режиме «под собой», а процесс электронного моделирования эффективной площади антенны будет происходить и когда носитель остаётся неподвижным [2];

II. вертолетные системы, могут использоваться практически в любых условиях.

При таком размещении антенны РЛС предлагается использовать следующую структуру (рисунок 1):

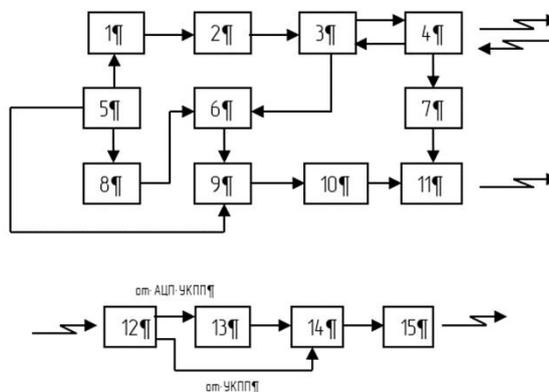


Рисунок 1 - Схема РЛС с режимом электронного моделирования эффективной площади антенны за счет вращения ФЦ реальной антенны

На рисунке 1: (5) - задающий генератор (ЗГ) обеспечивает формирование высокостабильного опорного колебания, которое служит для формирования вспомогательных колебаний, необходимых для обеспечения когерентности приемопередающего тракта РЛС. Сигнал частоты  $f_{оп}$  поступает с ЗГ на 1 - формирователь зондирующего сигнала (ФЗС).

В ФЗС из данного сигнала формируется сигнал с частотой  $f_0$ , равной несущей частоте зондирующего сигнала. Сформированный сигнал усиливается в 2 - усилителе мощности (УМ) и через 3 - антенный переключатель (АП) подается в 4 - антенну (АНТ).

В приемном канале радиолокационной станции опорное колебание ЗГ поступает в 8 - гетеродин (Г), в котором из данного колебания формируется сигнал частоты  $f_g$ , поступающий затем в качестве гетеродинного сигнала на 6 - смеситель высокочастотной части приемника (ВЧПРМ). На второй вход данного смесителя поступает сигнал, отраженный от цели, который воспринимается АНТ радиолокационной станции и через АП подается в приемник. В ВЧПРМ выполняется перенос принятого сигнала на промежуточную частоту и усиление его до требуемого уровня.

Сигнал ЗГ частоты  $f_{оп}$  используется для формирования опорных колебаний для 9 - блока фазовых детекторов (ФД). В блоке ФД формируются квадратурные составляющие принятого сигнала, которые затем преобразуются в цифровой сигнал с помощью 10 - аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и затем подаются на 11 - передатчик (ПРД), который будет предавать все полученные данные пакетами

в режиме реального времени на носитель ЛА. Данное решение обладает рядом существенных достоинств:

I. позволяет использовать вычислительную аппаратуру, установленную на промышленное рыболовное судно. Передаваемая радиограмма невосприимчива к случайным канальным ошибкам в радиоканале передачи данных ЛА. В теории синтеза РЛИ доказывается, что радиоголограмма более устойчива к случайным канальным ошибкам по сравнению с передачей уже сформированного РЛИ [3]. Потери до 20% радиоголограммы не приводят к заметному повреждению участков РЛИ, но незначительно снижают общую контрастность изображения. Скорость потока данных из РЛК для передачи по радиоканалу передачи данных ЛА, не превышает 15 Мбит/с, что позволяет осуществлять передачу данных в режиме реального времени [3];

II. позволяет уменьшить энергопотребление на борту ЛА, которое имело бы место, при установке 13 - процессора первичной обработки (ППО) и 14 - электронной вычислительной машины (ЭВМ) вместе с системой охлаждения;

III. позволяет получить выигрыш в полезной нагрузке и объеме. В качестве ПРД выступает модулятор радиолинии передачи целевой информации ЛА, которая осуществляет ретрансляцию полученного пакета данных на носитель ЛА.

В ППО реализуется алгоритм формирования радиолокационного изображения РЛИ подстилающей поверхности. Для реализации алгоритма углового стробирования необходимо иметь информацию о текущей ориентации лопасти несущего винта, в которой расположена антенна. Эту информацию выдает 7 - устройство контроля положения лопасти (УКПЛ). Данная информация позволяет также частично скомпенсировать траекторные нестабильности, возникающие вследствие вращения и деформации лопасти при ее движении. Все эти пакеты данных через ПРД и 12 - приёмник (ПРМ) передаются на носитель ЛА, ППО формирует РЛИ, а ЭВМ по сигналам с УКПЛ осуществляет координатную привязку полученного РЛИ. Все полученные результаты отображаются на 20 - автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора ЛА через 15 - интерфейс АРМ оператора ЛА.

Общий вид предложенной системы представлен на рисунке 2, где 16 - радиолокационная система, 17 - командная линия телеуправления и канал передачи данных, 18 - система подготовки полётного задания, 19 - геоинформационная система.

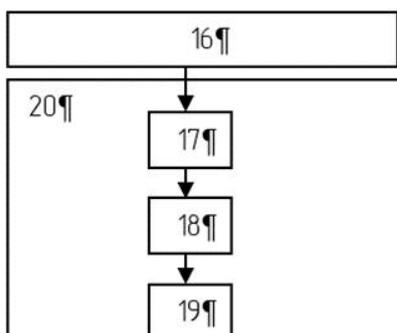


Рисунок 2 – Общий вид предложенной системы

Как показывают исследования, представляется возможным использование ЛА вертолётного типа с бортовой когерентной радиолокационной системой обзора морской поверхности, с использованием движения платформы для электронного моделирования эффективной площади антенны для обнаружения КМР, по порождаемым ими искусственными гидродинамическими образованиями на морской поверхности.

#### Библиографический список

1. Поленин В.И. Явление единой причинности кластерно-дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС: журнал. // Интерактивная наука. – 2019. – № 3 (37). – С. 62-71. – ISSN 2414-9411. doi:10.21661/r-486228
2. I. Hennings, R. Romeiser, W. Alpers & A. Viola (1999): Radar imaging of Kelvin arms of ship wakes, International Journal of Remote Sensing, 20:13, 2519-2543
3. Sudharsun G a, Azhar Ali a, Arindam Mitra b, Ashish Jaiswal a, Praveen Naresh c, H.V. Warrior. Free surface features of submarines moving underwater: Study of Bernoulli Hump.
4. Stefanick, Tom Strategic antisubmarine warfare and naval strategy. Includes index. 1. Anti-submarine warfare. 2. Fleet ballistic missile weapons systems. 3. Naval strategy. 4. Nuclear warfare. 5. Nuclear disarmament. 6. Underwater acoustics. I. Title. V2
5. Henri Maitre. Processing of synthetic aperture radar images. Includes bibliographical references and index. 17. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data [Traitement des images de RSO. English]. ISBN 978-1-84821-024-0
6. Peng Liu, Ya-Qiu Jin. Simulation of synthetic aperture radar imaging of dynamic wakes of submerged body.
7. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кондратенкова. - М.: «Радиотехника», 2005. - 368 с.: ил. (Сер. Радиолокация).

**ОТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ  
СОЗДАНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЗАХОДА НА ПОСАДКУ ПО  
ПРИБОРАМ ДЛЯ ГИДРОСАМОЛЁТОВ И САМОЛЁТОВ-АМФИБИЙ**

*Лужков Д.А.<sup>1</sup>, Сеницын В.А.<sup>1</sup>*

*Балтийский Государственный Технический Университет «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф.Устинова,*

В статье рассматриваются отражающие свойства морской поверхности, учёт которых необходим для разработки комплекса, позволяющего организовать заход на посадку по приборам в любых метеоусловиях, в любое время года и суток всех типов гидросамолётов и самолётов-амфибий. Также в данной работе рассматривается способ определения крутизны волны.

Одним из самых сложных элементов при приводнении гидросамолёта или самолёта амфибии является определение характеристик водной поверхности. Помимо обычных параметров, которые учитываются при посадке на обычную взлетно-посадочную полосу, таких как сила и направление ветра, а также видимость, требуется учитывать высоту волны и её направление. Значительную часть необходимой информации лётчик может получить из приборов, находящихся на борту самолёта. Однако, бортовые радиоэлектронные комплексы не дают информации о высоте волны. В качестве решения предлагается использование радиолокационное устройство для измерения статистических характеристик морских волн. Облучая морскую поверхность импульсами и принимая отражённые от неё колебаний.

Для корабельных и самолётных (при малых высотах) радиолокационных станций (РЛС) характерным является облучение морской поверхности при малых углах скольжения. При таких углах скольжения влияние имеют различные нерезонансные факторы рассеяния (отражение от брызг при разрушении гребня волны, краевая дифракция при заострении гребней волн etc.). Такая поверхность представляет собой сложно шероховатую структуру. Для таких углов, удельный параметр шероховатости поверхности рассчитывается по следующей формуле [5]:

$$a_{ш}^2 = \frac{4\sigma^2}{r_h}, \quad (1)$$

где  $\sigma^2$  – среднеквадратичное значение высоты морского волнения;  $r_h$  – радиус корреляции.

Под радиусом корреляции будем понимать такое расстояние, при удалении на которое значения высоты поверхности элементарных площадок будут все больше различаться.

Задача о нахождении поля радиоволн, которые были рассеяны морской поверхностью, достаточно сложна так как требуется учесть огромное количество факторов, поэтому требуется конструирование моделей поверхности моря, в различной степени отражающих различные аспекты реального процесса.

Одним из методов является метод Кирхгофа для нахождения поля, рассеянного статистически шероховатой поверхностью с крупными пологими неровностями. Суть метода заключается в допущении, что на неровной поверхности отраженное поле можно вычислить по законам геометрической оптики. По средствам этого метода необходимые результаты могут быть получены только средним интенсивностям, и для расчета флуктуаций интенсивностей необходимо вычислить восьмикратные интегралы, что требует слишком больших вычислительных мощностей [1].

Другим подходом к расчету средней интенсивности излучения, его флуктуаций и плотности распределения является метод зеркальных точек (МЗТ). Основной идеей МЗТ является определение интенсивности излучения, которое отражается от шероховатой поверхности, количеством зеркальных точек  $N$ , а также радиусами кривизны  $\rho$  в точках зеркального отражения. В работе [2] было предложено дополнение к МЗТ, оно состоит в том, чтобы рассчитывается отражение от точек поверхности по правилам геометрической оптики, для таких точек поверхности, где кривизна не равна нулю, а для точек с нулевой кривизной ("каустические точки") использовать правила волновой оптики.

Главное преимущество МЗТ состоит в том, что этот метод использует чисто геометрические и наблюдаемыми характеристиками поверхности ( $N$  и  $\rho$ ), при этом он очень чувствителен к любым изменениям структуры поверхности.

На практике для определения количества зеркальных точек  $N$  существуют выражения двух видов. Когда распределение точек можно приблизительно описать законом Пуассона (редко встречаются и их появление статистически не зависит друг от друга) или по закону Гаусса (часто встречаются и их появление статистически не зависит друг от друга). Для водной поверхности применим второй случай.

Среднее число зеркальных точек  $N_0$ , приходящихся на каждую единицу длины, двумерной поверхности определяется как [6]:

$$N_0 = \frac{4}{\pi} E_1 \Phi\left(\frac{E_2}{E_1}\right) W(\gamma_x, \gamma_y), \quad (2)$$

где  $E_1, E_2$  – параметры, которые определяются моментами энергетического спектра морского волнения;  $\Phi(x)$  – функция, которая монотонно убывает и имеет максимальное значение  $\Phi(0) = 1$ , а минимальное значение  $\Phi(2^{-1}) \approx 0,907$ ;  $W(\gamma_x, \gamma_y)$  – нормальное распределение, показывающее плотность распределения наклонов поверхности.

Чтобы определить площадь морской поверхности, которая участвует в отражении нашего зондирующего импульса, нужно брать в расчёт количество и размер зеркальных точек, который характеризуется радиусом кривизны поверхности  $\rho$ .

Средний радиус кривизны для двумерной поверхности определяется по формуле [6]:

$$\rho_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{\sqrt{\sigma^3}}{1 + \gamma_x^2 + \gamma_y^2}, \quad (3)$$

Для любой выпуклой поверхности, у которой минимальный радиус кривизны много больше длины волны, можно вычислить эффективную отражающую поверхность по формуле [6]:

$$S_{\text{эфф}} = \pi \rho_{\text{ср}}^2 N_0. \quad (4)$$

Для расчета мощности отраженного от поверхности моря сигнала необходимо учитывать не только структуру поверхности, которую определяют наличие когерентной и некогерентной составляющей в отраженном сигнале. Если шероховатость поверхности имеет смешанную структуру и высота волнения больше чем  $\lambda/4$ , то когерентная составляющая практически равна нулю, а некогерентная определяется формулой [1]:

$$P_{\text{нкг}} = c \tau_{\text{и}} G \frac{K_f^2}{a_{\text{ш}}^2} \cdot \frac{P_{\text{прд}} S_{\text{эфф}}}{16 \pi^2 R_0^3}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{прд}}$  – мощность передатчика;  $G$  – коэффициент усиления антенны;  $R_0$  – расстояние до отражающей поверхности;  $\tau_{\text{и}}$  – длина зондирующего импульса;  $c$  – скорость света.

Проанализировав формулы 1-5 найдем, среднеквадратическое значение высоты морского волнения составит [1]:

$$\sigma = \frac{32 P_{\text{нкг}} (1 + \gamma_x^2 + \gamma_y^2) \pi R_0^3}{P_{\text{прд}} E_1 \Phi \left( \frac{E_2}{E_1} \right) W(\gamma_x, \gamma_y) K_f^2 c \tau_{\text{и}} G r_h}. \quad (6)$$

Таким образом, среднюю высоту волн  $h_{\text{ср}}$  можно определить исходя из среднеквадратического значения высоты морского волнения  $h$  с помощью следующего соотношения [4]:

$$h_{\text{ср}} = \sqrt{8 \pi \sigma^2}. \quad (7)$$

При малом изменении любых параметров морского волнения уровень шероховатости и характеристики зеркальных точек подвержены сильному изменению, из-за этого изменяется уровень отраженного сигнала, проходящего на вход приемника РЛС, по которому в работе предлагается определять высоту морского волнения.

Таким образом, по уровню мощности сигнала, который пришел в приемник бортовой РЛС после отражения от морской поверхности, можно определить значение средней высоты морского волнения.

Во время посадки гидросамолета большую роль играет крутизна волны. Этот параметр характеризуется отношением высоты волны к расстоянию между вершинами соседних волн.

Волнение относится к явлениям, элементы которых являются повторяющимися. Настоящее волнение моря – это трехмерный процесс, нерегулярный во времени. Следующие волны отличаются друг от друга по амплитуде, периоду, длине. Длина гребней ветровых волн невелика и составляет около 2-3 длин волн [2].

Для нахождения расстояния между соседними вершинами волн будем рассматривать морскую поверхность как суперпозицию бесконечного множества элементарных синусоидальных плоских волн, отличающихся по частоте и амплитуде.

Получение данных о волнении происходит по средствам анализа участка водной поверхности, облучаемого РЛС на протяжении полета над акваторией. Во время работы РЛС образуется радиолокационный образ взволнованной субакватории. Совокупность отраженных от водной поверхности сигналов, получаемых в течение некоторого интервала времени, представляет собой одномерную реализацию однородного случайного процесса.

Величина напряжения, принятого и усиленного до определенного уровня отраженного от моря сигнала РЛС, может рассматриваться как случайная функция трех аргументов (двумерного пространства и времени). По значениям напряжений, принадлежащих субакватории, расположенной в направлении распространения морского волнения, с помощью быстрого преобразования Фурье возможно нахождение спектральной функции отраженных сигналов.

Используя теорему Парсеваля [10], найдем среднюю спектральную мощность дискретного сигнала, принимаемого РЛС:

$$\exists = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |X(k)|^2 = \sum_{i=0}^{N-1} |x(i)|^2, \quad (8)$$

где  $N$  – количество отсчетов дискретного сигнала;  $x(i)$  – полученный дискретный сигнал;  $X(k)$  – дискретное преобразование Фурье.

Разложим среднюю спектральную мощность на составляющие гармоники, выделив частоту, на которую приходится наибольшая средняя спектральная мощность. Эта частота связана с длиной волны следующим соотношением [4]:

$$\lambda = \frac{2g\pi}{\omega^2}, \quad (9)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\omega$  – частота с наибольшей средней спектральной мощностью.

Таким образом, расстояние между двумя, идущими друг за другом, гребнями морских волн (длину волны) предлагается определить с помощью средств быстрого преобразования Фурье в направлении распространения морской волны.

Следовательно, совершая заход на посадку на морскую поверхность в условиях плохой видимости, возможно определить высоту волнения и его направление, а также, расстояние между гребнями соседних волн, что позволит произвести вычисление крутизны волн и на основании этого принимать решение о посадке.

#### Библиографический список

1. Naughton, Russell. Henri Fabre (1882–1984). Monash University Centre for Telecommunications and Information Engineering, May 15, 2002. Retrieved: 9 May 2018.
2. Гутник В. Г., Кулемин Г. П., Шарапов Л. И. Особенности обратного рассеяния радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов морской поверхностью при малых углах скольжения // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 1.
3. Зубкович С. Г. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. – М.: Сов. радио, 1968. – 224 с
4. Кравцов Ю.А., Митягина М.И., Чурюмов А.Н. Нерезонансный механизм рассеяния электромагнитных волн на морской поверхности: рассеяние на крутых заостренных волнах // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 1999. Т. 42. № 3. С. 240–254.
5. Татарский Б.Г. Способ получения детального радиолокационного изображения ограниченного участка земной поверхности. Патент №2590900 РФ, МПК G01S 13/89. 2015123011/07; Заявл. 16.06.2015; Опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

УДК 629.7.058

#### АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ В КАНАЛАХ СВЯЗИ БПЛА

*Е.В. Пушнякова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>. *Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) набирают все большую популярность благодаря своему применению в военном, частном и государственном секторах. Технологии, которые предлагают БПЛА, способствуют развития различных отраслей промышленности, как следствие, экономики страны. БПЛА развиваются, с каждым годом на рынке появляются новые модели с улучшенными характеристиками, качества съемки, технических возможностей для промышленного применения, полезных нагрузок [1].

БПЛА входит в состав беспилотной авиационной системы (БАС). БАС состоит из БПЛА, бортового комплекса управления, полезной нагрузки и наземной станции управления.

В настоящее время с целью повышения эффективности выполнения задач в воздухе отдельные БПЛА объединяют в группы как с другими БПЛА, так и в гибридные группы, в которых БПЛА могут работать с наземными, морскими или космическими мобильными робототехническими комплексами. Групповое применение БПЛА накладывает особые требования на управление как всей группой, так и отдельными БПЛА группы.

Объединение в группы называется роем. Принцип организации роя подсмотрен у насекомых. В случае с БПЛА, после их объединения в рой, каждый БПЛА управляется собственной автоматикой, а поведением роя может управлять программа с элементами ИИ или один (несколько) операторов (Рисунок 1).

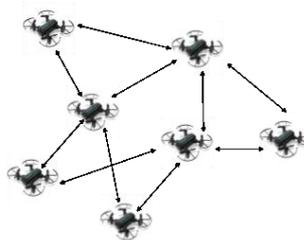


Рисунок 1 – Групповое управление БПЛА

Линия радиосвязи летательного аппарата и наземного пункта управления обеспечивает в общем случае двусторонний обмен информацией между бортовой и наземной аппаратурой, а также между самими БПЛА.

При групповом управлении БПЛА используются навигационные данные (координаты и параметры движения каждого БПЛА). Передача измерительной информации в рое между БПЛА осуществляется с помощью различных каналов связи. Передача информации может осуществляться по радиоканалу или по оптическому каналу.

На БПЛА есть оптико-электронная и радиоэлектронная полезная нагрузка, с помощью которой передается и обрабатывается информация. Главным недостатком оптических систем обнаружения БПЛА является то, что на качество их функционирования значительное влияние оказывают факторы окружающей среды. Применение радиолокационных систем, позволяет повысить дальность обнаружения БПЛА до единиц километров, при этом качество их работы не зависит от времени суток и погодных условий, что выгодно их отличает от акустических и оптических средств. Помимо выявления, радиолокаторы позволяют определить направление и дальность до приближающегося БПЛА, однако неспособны определить тип обнаруженного объекта и как следствие, подвержены

ложным срабатываниям.

Информацию, получаемую через оптоэлектронную и радиоэлектронную полезную нагрузку, необходимо передавать качественно и оперативно. Оперативное общение между БПЛА в рое осуществляется по каналам связи как между соседними БПЛА, так и через нескольких. Для получения качественной информации необходимо обеспечить достоверную информацию. При возникновении искажений информации нужно за минимальное время обнаружить эти искажения, т.е. обеспечить постоянный контроль получаемой информации [2].

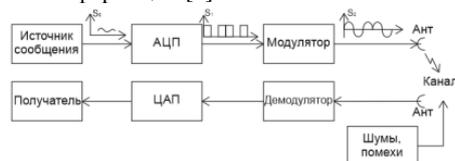


Рисунок 2 – Обобщенная схема канала связи

В рое используется большое количество БПЛА, поэтому они должны быть недорогими, что в свою очередь повышает вероятность искажений. Основные причины искажений – ошибки в измерениях, а именно – возникновение и нарастание сбоев и отказов, которые появляются из-за погрешностей, описанных ниже.

**Погрешности, связанные с распространением радиоволн в ионосфере.** Задержки распространения сигналов при их прохождении через верхние слои атмосферы приводят к ошибкам порядка 20-30 м днем и 3-6 м ночью. Несмотря на то, что сообщение, передаваемое с борта БПЛА, содержит параметры модели ионосферы, компенсация фактической задержки в лучшем случае составляет 50%. Компенсировать ошибки, вызванные ионосферной рефракцией, можно при использовании для навигации сигналов, принимаемых на двух разных частотах.

**Погрешности, обусловленные распространением радиоволн в тропосфере.** Возникают при прохождении радиоволн через нижние слои атмосферы. Значения погрешностей этого вида при использовании сигналов с C/A-кодом не превышают 30 м.

**Эфемеридная погрешность.** Ошибки обусловлены расхождением между фактическим положением GPS-спутника и его расчетным положением, которое устанавливается по данным сигнала, передаваемого с борта БПЛА. Значение погрешности обычно не больше 3 м.

**Погрешность ухода шкалы времени БПЛА** обусловлена расхождением шкал времени различных БПЛА. Устраняется с помощью наземных станций слежения или за счет компенсации ухода шкалы времени в дифференциальном режиме определения местоположения.

**Погрешность определения расстояния до БПЛА.** Данный показатель является статистическим, он вычисляется для конкретного БПЛА и заданного интервала времени. Ошибка не коррелирована с другими видами погрешностей. Ее величина обычно не превышает 10 м.

В процессе работы датчиков могут возникать различные нарушения нормального функционирования оборудования [3]. Разновидностями таких ситуаций могут быть: отказы БПЛА, бортового оборудования; отсутствие в зоне радиовидимости достаточного количества БПЛА (в том числе, ухудшение видимости из-за затенения антенны частями конструкции воздушного судна или рельефом местности); плохая геометрия БПЛА и др.

Важным дестабилизирующим фактором из-за которого могут возникнуть искажения являются радиопомехи сигналов БПЛА. Такие ситуации могут приводить к потере целостности навигационных данных или снижению точности.

Для определения основных проблем в работе измерительных датчиков БПЛА, которые должны выявлять системы контроля необходимо рассмотреть типовые случаи аномальной работы датчиков.

Одной из аномалий, характерных для любых типов датчиков, является полный *отказ устройства*, вызванный физическим выходом из строя одной из составных частей устройства или обрыв линии связи. Кроме того, причиной такого отказа может быть сбой в работе программного обеспечения. В данном случае информация от датчика не поступает к потребителям [4].

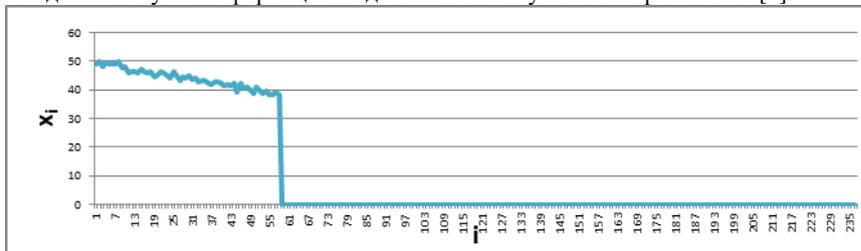


Рисунок 3 – Графики отказа

*Сбой* – кратковременный самоустраняющийся без вмешательства извне отказ элемента, возникающий в результате воздействия на элемент дестабилизирующих факторов (помех). Непосредственным последствием сбоя является искажение информации, обрабатываемой, хранимой или передаваемой в данный момент времени [5]. Информация пропадает на короткие периоды времени с последующим восстановлением. Они могут возникать по причине повреждения передающего тракта, обрывов или замыканий в линиях связи.

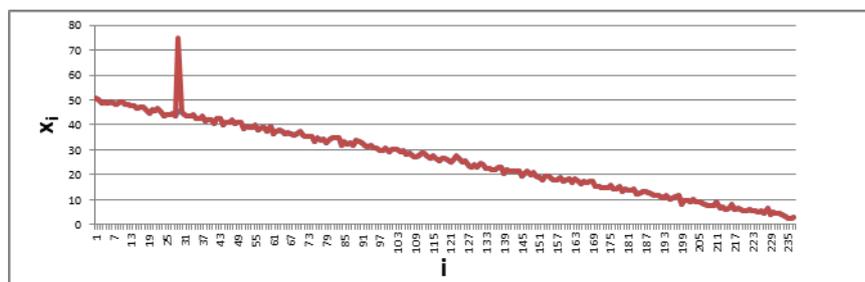


Рисунок 4 – Типовые сбои в работе

*Ухудшение точности.* Одной из аномальных ситуаций в работе, характерной для измерительных датчиков, которая может предшествовать полному отказу датчика, является ухудшение точности выдаваемых им навигационных параметров [6], [7]. Этот тип отказных ситуаций наиболее трудно диагностируем, но обнаружение данного типа отказа позволяет скорректировать работу датчика, а в случае, когда «ухудшение значительно и регулярно за короткий интервал времени», можно провести наземные тесты и, при необходимости заменить устройство до полного его выхода из строя во время полета [8].

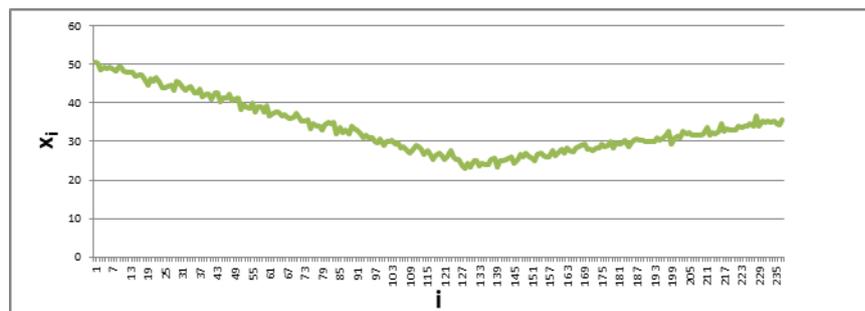


Рисунок 5 – Ухудшение математического ожидания

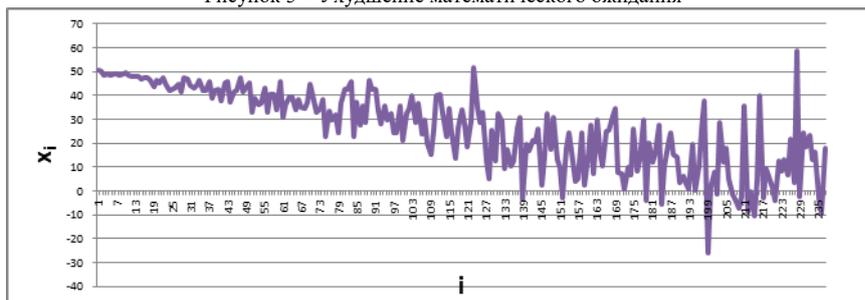


Рисунок 6 – Ухудшение дисперсии

Таким образом, можно сделать вывод, что необходимо создать алгоритм контроля передаваемой информации БПЛА, который будет не только обнаруживать искажения, но и позволит прогнозировать их проявление.

#### Библиографический список

1. Кучерявый А. А. Бортовые информационные системы [Текст]: Курс лекций / А. А. Кучерявый; под ред. В.А. Мишина и Г.И. Клюева – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 504 с.
2. Ипполитов С.В. Методы и средства объективного контроля [Текст]: Учебное пособие / С.В. Ипполитов, В.Л. Кучевский, В.Т. Юдин – Воронеж: ВАИУ, 2011. – 238 с.
3. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений [Текст] / А.Н. Зайдель. – изд 2-е, испр. и доп. – Л.: Наука, 1967. – 88 с.
4. ОСТ 1 00698-88 Средства контроля изделий авиационной техники встроенные [Текст]: Общие технические требования. – Взамен ОСТ 1 00698-81; Введ. с 01.07.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.
5. Пушнякова Е.В., Петров Ю.В. Последовательный алгоритм контроля радиоэлектронного оборудования [Текст]: Молодежь. Техника. Космос: труды четырнадцатой общерос. молодежн. науч.-техн. конф. В 4 т. Т. 2. СПб., Издательство Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2022. – Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 87
6. Кучерявый А. А. Бортовые информационные системы [Текст]: Курс лекций / А. А. Кучерявый; под ред. В.А. Мишина и Г.И. Клюева – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 504 с.
7. Вальд А. Последовательный анализ. [Текст] / А. Вальд; пер. с англ. под ред. Б.А. Севастьянова. – М.: Государственной издательство физико-математической литературы, 1960. – 329 с.
8. Пушнякова Е.В. Алгоритм информационного контроля среднего значения при обнаружении аномалий в работе датчиков [Текст]: Материалы XX Открытой научно-практической конференции студентов и аспирантов. ГБНОУ СПб ГДТУ. – СПб., 2022. – 80 с.

# СЕКЦИЯ 6

## РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА

УДК 681.5

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Д.А. Авдонин<sup>1</sup>, В.А. Патлахов<sup>1</sup>, А.И. Авдиенко<sup>1</sup>, Е.А. Гибадуллин<sup>1</sup>, Кулемин В. Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В современном мире растет тенденция использования многостепенных манипуляторов. При проектировании любого робототехнического комплекса необходимо правильно произвести теоретические расчеты для дальнейшей разработки. Очень важным этапом является проектировочный расчет как всего исполнительного устройства, так и отдельного мехатронного модуля. В данной работе кратко рассматривается создание алгоритма по автоматизации проектировочного расчета и визуализации стандартного 6-звенного робота-манипулятора с вращательными сочленениями (6В) в среде Matlab 2021b, актуальность данного программного обеспечения, его преимущества и недостатки.

Задачами данного программного обеспечения являются:

- 1) Построение заранее определенной конфигурации манипулятора с любыми длинами звеньев;
- 2) Возможность выбирать значение констант, используемых в расчётных формулах;
- 3) Определение погрешности для конкретного шестизвенного манипулятора и его матрицы инструмента;
- 4) Определение параметров, необходимых для выбора электромеханического преобразователя, используемого в каждом мехатронном модуле;
- 5) Расчёт параметров механических передач, используемых в мехатронном модуле, и их суммарную погрешность;
- 6) Запись результатов расчётов в текстовые файлы для удобства дальнейшего использования.

Данная программа может производить предварительный расчёт робота-манипулятора только с заранее сформированной кинематической схемой, поэтому для нее также сразу закладываются параметры Денавита-Хартенберга. Используемая в программе кинематическая схема исполнительного устройства робота-манипулятора представлена на рисунке 1:

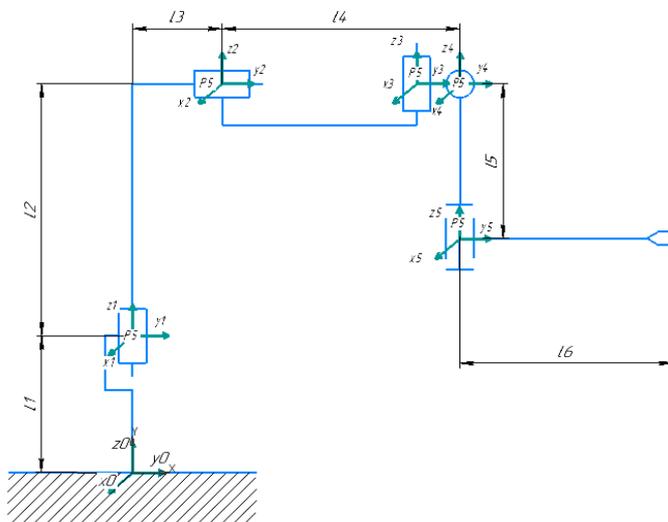


Рис. 1 – Кинематическая схема исполнительного устройства

При предварительном расчёте принимаются следующие допущения:

- 1) Звенья манипулятора принимаются за однородные недеформируемые балки;
- 2) Параметры зубчатых колес считаются общими для каждого из них;
- 3) При расчёте механических моментов исполнительное устройство робота считается статичным.

Далее будет поэтапно рассмотрена и проиллюстрирована работа программного обеспечения, представлен список вычисляемых параметров.

Первым этапом работы программы является ввод пользователем следующих данных для каждого из шести мехатронных модулей:

- 1) Плотность используемого материала;
- 2) Предварительные размеры – длина, ширина и высота;
- 3) Линейные и угловые допуски на изготовление;
- 4) Передаточное отношение и предварительные параметры механического преобразователя – редуктора.

Ввод каждой величины осуществляется последовательно, ее название и используемые единицы измерения выводятся на экран. При этом введенные данные автоматически сохраняются, что избавляет пользователя от необходимости каждый раз вводить их заново. В начале работы пользователь может выбрать, использовать старые данные или ввести новые.

Иллюстрация интерфейса программы для ввода пользователем расчётных данных представлена на рисунке 2:

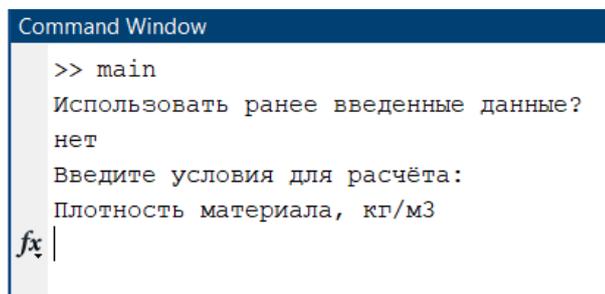


Рис. 2 – иллюстрация интерфейса ПО.

Второй этап работы программы – выполнение предварительного расчёта исполнительного устройства робота-манипулятора. На основании введенных данных программа производит расчёт матрицы инструмента, представляющей собой произведение последовательности однородных матриц преобразования, а также трехмерную визуализацию исполнительного устройства с возможностью анимации, которая представлена на рисунке 3:

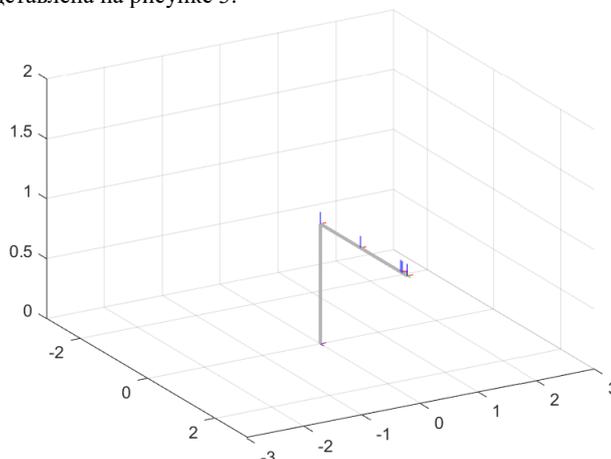


Рис. 3 – визуализация исполнительного устройства.

Далее происходит расчёт параметров звеньев манипулятора, а именно: масс и механических моментов, ими создаваемых, податливость зубчатых передач и передатчика движений. Вся эта информация записывается в текстовый файл в удобном для восприятия формате.

Третьим этапом является расчёт погрешностей исполнительного устройства робота-манипулятора. Здесь происходит вычисление следующих параметров:

- 1) Вектора первичных ошибок;
- 2) Вектора передаточных коэффициентов;
- 3) Диагональной матрицы погрешностей работы двигателей (углов);
- 4) Матрицы погрешностей ввода обобщенных координат.

На этом этапе заканчивается предварительный расчёт исполнительного устройства манипулятора, вся информация также записывается в текстовый файл. Далее начинается предварительный расчёт электромеханического и механического преобразователей для каждого мехатронного модуля.

Четвертый этап – расчёт параметров, необходимых для выбора электромеханического преобразователя – электродвигателя. Выбор осуществляется пользователем, при этом программа автоматически рассчитывает необходимую мощность двигателя, а также ориентировочную скорость разгона, торможения и цикла. После выбора в программу вносятся параметры двигателя: мощность, скорость, диаметр вала и выходной момент двигателя.

Пятый этап – проектировочный расчёт механических преобразователей мехатронного модуля. На данный момент для расчёта доступны два типа редукторов – планетарный и волновой.

Предполагается, что планетарный редуктор соединен с валом двигателя, а волновой – с выходным валом планетарного редуктора. Это обусловлено тем, что волновой редуктор, в отличие от планетарного, имеет ограничения на максимальную скорость вращения элементов. В связи с этим планетарный редуктор часто используется как переключатель между валом двигателя и волновым редуктором, снижая скорость вращения до приемлемых значений. Пользователь может выбрать, использовать ли каждый из предлагаемых редукторов в мехатронном модуле.

Схема компоновки мехатронного модуля представлена на рисунке 4:

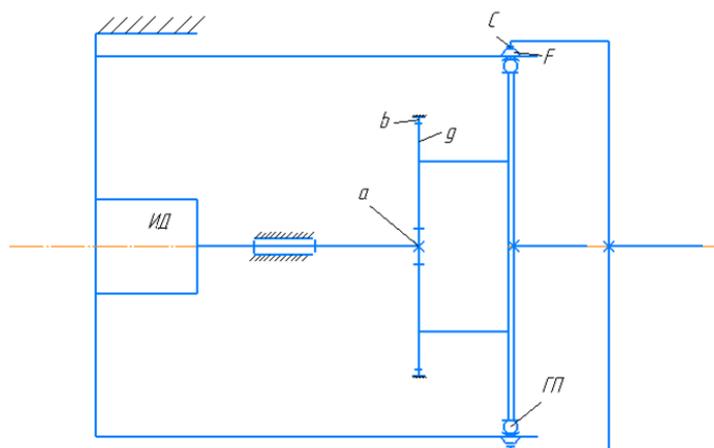


Рис. 4 – компоновка мехатронного модуля

Где:

- ИД – исполнительный двигатель,
- a – солнечное колесо планетарного редуктора,
- b – коронное колесо,
- g – сателлит,
- ГП – гибкий подшипник,
- C – жесткое колесо,
- F – гибкий стакан.

Входным звеном здесь является вал исполнительного двигателя, выходным – жесткое колесо волнового редуктора.

Для каждого механического преобразователя выполняется проектировочный, прочностной и силовой расчёты, осуществляется расчёт КПД и реализации, также в процессе пользователем осуществляется подбор подшипников. В конце рассчитывается суммарная погрешность преобразователей движения.

Четвёртый и пятый этапы повторяются для каждого мехатронного модуля отдельно. Результаты расчётов записываются в текстовый файл.

В случае невозможности дальнейшего расчёта из-за противоречащих данных программа уведомляет об этом пользователя и возвращается к началу этапа для проведения перерасчёта.

На рисунке 5 представлена иллюстрация текстового файла с записанными в него результатами расчёта:

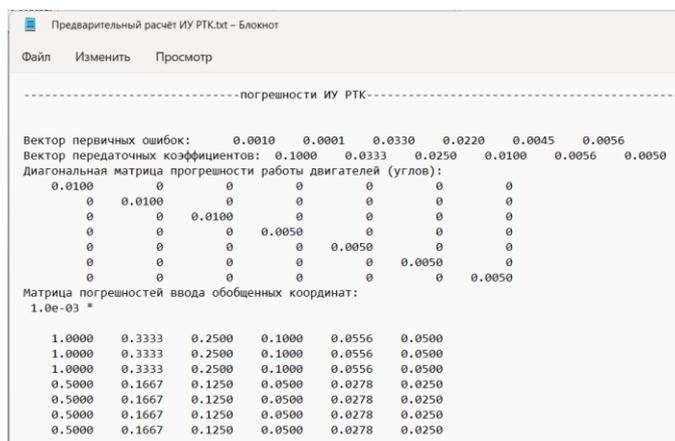


Рис. 5 – пример результатов расчётов.

Данное программное обеспечение создано в исследовательских и экспериментальных целях для ускорения и автоматизации предварительного расчёта исполнительных устройств роботоманипуляторов, обладающих стандартной и широко распространенной кинематической схемой. На основании проведенных исследований были выявлены следующие достоинства подобного программного обеспечения:

- 1) Существенное ускорение выполнения проектировочного расчёта, а также возможность быстрого перерасчёта;
- 2) Возможность удобной и наглядной корректировки размеров исполнительного устройства под конкретную рабочую зону благодаря трехмерной визуализации и возможности анимации;
- 3) Возможность оценки взаимного движения звеньев исполнительного устройства;
- 4) Возможность изменения значений констант и коэффициентов пользователем;
- 5) Возможность настройки и корректировки расчётных формул.

Также в процессе исследования были выявлены следующие недостатки:

- 1) Ограниченное количество доступных для использования кинематических схем и отсутствие возможности их индивидуальной настройки пользователем;

- 2) Большое количество более узкоспециализированных программ-конкурентов;
- 3) Высокая сложность настройки и корректировки используемых при расчётах формул;
- 4) Ограниченные возможности автоматизации.

Таким образом, на основании вышеизложенной информации, были сделаны следующие выводы.

Автоматизация подобных инженерных расчётов не только возможна, но и широко применяется, однако она носит индивидуальный характер. Создание более гибкого и универсального программного обеспечения позволяет существенно ускорить процесс разработки манипуляторов при условии наличия у них стандартной кинематической схемы.

Несмотря на возможность частичной автоматизации, основную роль в разработке и конструировании продолжает играть человек, превосходящий по охвату знаний, кругозору, аналитическим и творческим возможностям все современные интеллектуальные системы.

#### Библиографический список

1. Наместников С.М. /Основы программирования в Matlab. Сборник лекций: УлГТУ, Ульяновск. – 2011 – 39 стр. – текст: непосредственный.
2. Робототехника, Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Москва «МИР», 1969г – 524 стр. – текст: непосредственный.
3. ГОСТ Р 60.0.0.1-2016. Роботы и робототехнические устройства. Общие положения – текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [сайт] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140202> (дата обращения: 10.02.2023)
4. ГОСТ Р 60.0.0.2-2016. Роботы и робототехнические устройства. Классификация – текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [сайт] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200142401> (дата обращения: 12.02.2023)
5. ГОСТ 25686-85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения – текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [сайт] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011747> (дата обращения: 12.02.2023)
6. Конструирование мехатронных модулей: Методические указания по курсовому проектированию / Сост.: Е.И. Агеев, А.З. Копылов, В.Ю. Лавров, В.И. Осипов; Балт. гос. техн. ун-т. СПб. 2001. 26 с. – текст: непосредственный.

#### УДК 62-523.8

#### УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИНОГИМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ-НАБЛЮДАТЕЛЕМ

*М.О. Чаева<sup>1</sup>, В.А. Немцов<sup>1</sup>*

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых*

В настоящее время исследованием шагающих роботов занимаются многие промышленно развитые страны. Интерес к этому объясняется тем, что шагающие машины по сравнению с колёсными и гусеничными имеют ряд преимуществ при движении по поверхности со сложным рельефом. Шагающие роботы могут найти применение в исследовательской области, при аварийно-спасательных работах в экстремальных условиях или военном деле [1].

А также их можно использовать для наблюдений за дикой природой. Изучать мир диких животных – непростая задача, ведь нужно оставаться незаметным для зверей, чтобы информация об их жизни была достоверная. В недавнее время ученым удалось совершить невероятный прорыв в этой области благодаря роботам-наблюдателям, оснащённым записывающими устройствами. Их размеры позволяют им прятаться и маскироваться, поэтому роботы могут непрерывно наблюдать за животными.

#### Шагающие роботы

Шагающие роботы являются сложными механическими системами с большим количеством управляемых степеней свободы и представляют собой класс роботов, имитирующих передвижение животных или насекомых. Их конструирование началось с наблюдения и попытки воспроизвести походку разных существ. На рисунке 1 представлено типичное размещение лап насекомых, рептилий и млекопитающих. Для передвижения шагающие роботы используют механические ноги, каждая из которых должна иметь как минимум три привода, чтобы обеспечить возможность поместить стопу в произвольную точку в пределах некоторой рабочей зоны, определяемой конструкцией ноги в трёхмерном пространстве. Важно: *чем выше центр тяжести робота, тем труднее удерживать его в равновесии.*

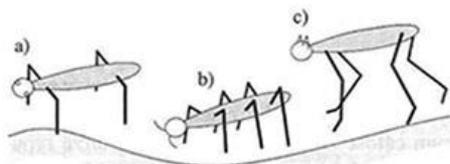


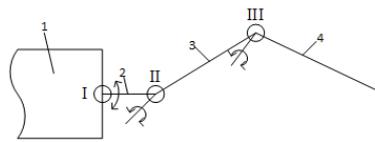
Рис. 1 – Типичное размещение лап животных: а) рептилия, б) насекомое, в) млекопитающее.

#### Роботы-гексаподы

Отдельное направление – роботы-гексаподы. Данные роботы имеют шесть независимых ног, состоящих из трех звеньев – голени бедра и промежуточного звена, соединенных вращательными шарнирами (рис. 2). Каждая конечность имеет как минимум три степени свободы. В точке крепления ноги к платформе I (рис. 2) происходит вращение вокруг вертикальной оси, в точке крепления бедра к промежуточному звену II — вращение вокруг горизонтальной оси. Точка крепления голени к бедру III имеет одну степень свободы — вращение вокруг горизонтальной оси. Для перемещения звеньев

используются электроприводы. Контакт ноги с опорной поверхностью происходит в единственной точке. Все ноги робота одинаковые.

Благодаря такому количеству ног робот имеет лучшую сбалансированность и повышенную устойчивость. Если одна пара выйдет из строя, робот не потеряет равновесие и сможет продолжить движение.



- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1. Неподвижное звено (корпус). | I – точка крепления ноги к платформе;              |
| 2. Промежуточное звено.        | II – точка крепления бедра к промежуточному звену; |
| 3. «Бедро».                    | III - коленный сустав.                             |
| 4. «Голень».                   |  |

Рис. 2 – Модель ноги робота

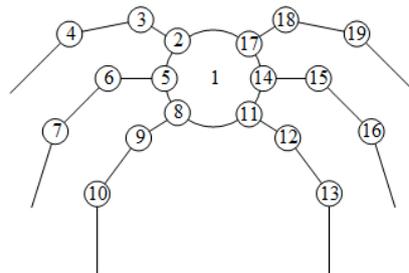


Рис. 3 – Механическая модель с шестью обобщенными координатами

Вершина 1 соответствует корпусу робота (рис. 3). Остальные вершины соответствуют шарнирам, соединяющим элементы механизма, выполняющие заданное относительное движение. Дуги соответствуют звеньям ног.

#### Походка шагающих роботов

Ограничение по походке шагающих роботов проистекает из используемых приводов, выбранного устройства движения и его ограничений, а также ограничений системы управления, особенно ее скорости.

**Волновое движение** очень популярно и легко реализуемо. Последовательность смены ног является циклической. Эту походку можно представить в виде диаграмм походок (рис. 4). Фаза движения ноги называется фазой вытягивания, а период, в течение которого нога соприкасается с землей – фазой рефрактерности. Такую походку еще называют периодической и используют на прямых и плоских поверхностях.

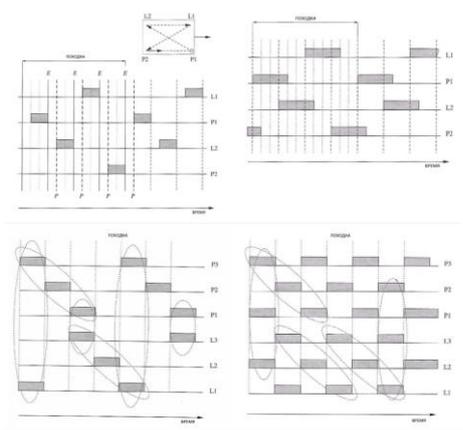


Рис. 4 – Примеры схем походки четвероногого и шестиногого роботов

Другой вид — **свободная походка** – решение о том, какую ногу переместить и куда поставить, принимается постоянно. Такая походка требует сложного алгоритма управления, датчиков и быстрой системы управления. Она подходит для использования на сложной местности.

Последний вид походки — **движение проводника**. Следующая нога ставится на то место, где ранее находилась предыдущая нога. Её применение аналогично свободному движению.

#### Положение центра тяжести

Чтобы робот оставался устойчивым, его центр тяжести должен находиться внутри многоугольника опоры робота. На это также может влиять размещение ног.

**Опорный многоугольник** — это многоугольник, вершинами которого являются точки, в которых ноги фактически соприкасаются с землей. Эта цифра меняется в каждый момент движения. Например, для четвероногого робота с симметрично распределенными ногами, когда все ноги

соприкасаются с землей, опорный многоугольник представляет собой прямоугольник или квадрат; если одна нога поднята — многоугольник опоры становится треугольником (рис. 5). Важно, чтобы центр тяжести никогда не выходил за пределы многоугольника.

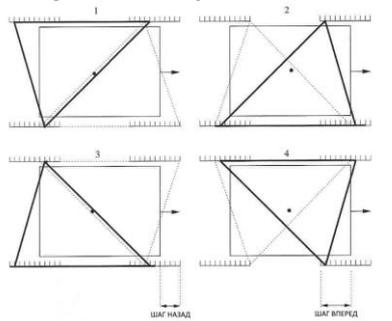


Рис. 5 – Последовательность опорных полигонов во время движения четвероногим роботом.

### Расчет области достижимости ступни ноги робота

Одной из важных задач является задача построения области достижимости для ступни ноги робота. Она определяется длинами звеньев ноги, а также допустимыми углами отклонения.

Общие геометрические характеристики робота следующие:

- длина бедра  $L_2$  — 120 мм;
- длина голени  $L_1$  — 150 мм;
- длина промежуточного звена  $L_3$  — 50 мм;
- допустимые значения угла подъема бедра —  $-20^\circ < \alpha_1 < 70^\circ$ ;
- допустимые значения угла поворота голени относительно бедра —  $30^\circ < \alpha_4 < 180^\circ$ ;
- допустимые значения угла разворота ноги —  $-60^\circ < \alpha_3 < 60^\circ$ .

Границы допустимой области могут быть получены благодаря поочередному закреплению одного из углов в предельном положении и изменении второго угла в рамках допустимых значений (рис. 6). Область достижимости ступни в плоскости ноги представляет собой криволинейный четырехугольник, стороны которого — дуги окружностей [2].

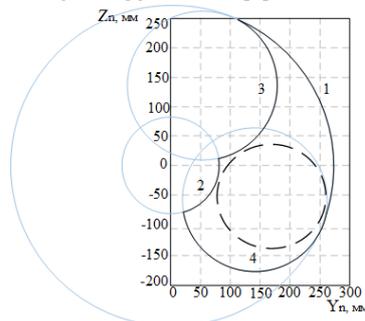


Рис. 6 – Разрез области достижимости ступни

Дуга 1 – траектория ступни при повороте максимально выпрямленной ноги (угол между бедром и голенью  $\alpha_4 = 180^\circ$ ) вокруг оси  $X_n$  в пределах допустимых значений  $\alpha_1$ . Центр соответствующей окружности  $Y_n^2 + Z_n^2 = R_1^2$  будет лежать в начале координат, а ее радиус:

$$R_1 = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos \alpha_4}; \quad (1)$$

$$R_1 = \sqrt{150^2 + 120^2 - 2 * 150 * 120 * \cos 180^\circ} = 270 \text{ мм.}$$

Дуга 2 – траектория ступни при повороте максимально согнутой ноги (угол между бедром и голенью  $\alpha_4 = 30^\circ$ ) вокруг оси  $X_n$  в пределах допустимых значений  $\alpha_1$ . Центр соответствующей окружности  $Y_n^2 + Z_n^2 = R_2^2$  также будет лежать в начале координат, а ее радиус:

$$R_2 = \sqrt{150^2 + 120^2 - 2 * 150 * 120 * \cos 30^\circ} = 75,7 \text{ мм}$$

Дуга 3 – траектория ступни при сгибании максимально поднятой ноги (угол подъема бедра  $\alpha_1 = 70^\circ$ ) в пределах допустимых значений  $\alpha_4$ . Центр соответствующей окружности  $(Y_n - Y_{n3})^2 + (Z_n - Z_{n3})^2 = L_2^2$  является точкой расположения колена при максимально поднятом бедре:

$$Y_{n3} = L_1 \cos 70^\circ \approx 150 * 0,342 = 51,3 \text{ мм};$$

$$Z_{n3} = L_1 \sin 70^\circ \approx 150 * 0,94 = 141 \text{ мм.}$$

А ее радиус будет равен  $L_2 = 120$  мм.

Дуга 4 – траектория ступни при сгибании максимально опущенной ноги (угол подъема бедра  $\alpha_1 = -20^\circ$ ) в пределах допустимых значений  $\alpha_4$ . Центр соответствующей окружности  $(Y_n - Y_{n4})^2 + (Z_n - Z_{n4})^2 = L_2^2$  является точкой расположения колена при максимально опущенном бедре:

$$Y_{n4} = L_1 \cos(-20^\circ) \approx 150 * 0,94 = 141 \text{ мм};$$

$$Z_{n4} = L_1 \sin(-20^\circ) \approx 150 * (-0,342) = -51,3 \text{ мм}.$$

А ее радиус будет равен  $L_2 = 120 \text{ мм}$ .

Животные и насекомые при ходьбе не всегда используют всю область достижимости конечностей. Передвижение конечностей происходит с минимальными энергетическими затратами, в зоне наиболее комфортной для согласования рабочих и холостых перемещений. Такая зона в модели машины обозначается сферой или эллипсоидом максимального радиуса, вписанными в область достижимости ноги (вертикальный разрез такой сферы показан пунктиром на рис. 6). Смещение стопы прекращается при достижении поверхности сферы. Центр сферы – точка нахождения стопы робота перед началом перемещения.

#### Анализ ходьбы шестиного шагающего робота

В настоящее время имеется несколько вариантов алгоритмов передвижения шестиного шагающего робота. Одним из наиболее распространённых является передвижение сходственное с походкой шестиногих насекомых, например, муравьев. Во время движения робот сохраняет устойчивое состояние опираясь на три ноги – две с одной стороны (передняя и задняя) и одна с другой (средняя), в то время, пока другие три ноги (одна с одной стороны и две с другой) совершают перемещение. Таким образом получается опорный треугольник, внутри которого располагается центр тяжести его тела.

На рисунке 7 закрашенный круг – нога соприкасается с поверхностью и поддерживает вес робота, белый круг – нога поднята и совершает движение. На рисунке 7-а) робот находится в положении «стояния». Все ноги опираются на поверхность.

Чтобы сделать шаг, робот поднимает три из своих ног (рис. 7-б)), вес робота переносится на оставшиеся три ноги (закрашенные круги). Три остальные ноги (белые круги) совершают движение вперед.

На рисунке 7-в) показан момент движения поднятых ног.

Вес робота распределяется с неподвижных на движущиеся ноги и продолжает поддерживаться треугольным расположением опорных ног. (рис. 7-г)). Далее таким же образом переставляется другая тройка ног, и цикл повторяется. Такой вид походки называется треножным, вес робота в каждый момент времени поддерживается треугольным положением опорных ног и подходит в основном для перемещения по плоской поверхности.

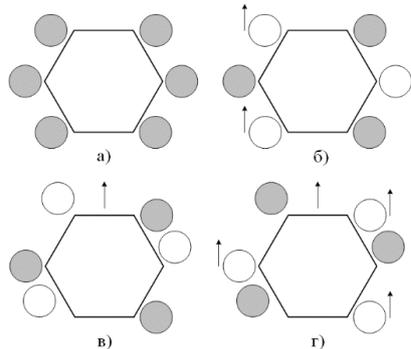


Рис. 7 – Походка шестиногого робота

#### Алгоритм движения шестиного шагающего робота

Шагающий аппарат содержит корпус с шестью ногами. Внутри корпуса устанавливается гироскопический датчик, отслеживающий изменение угла наклона; на внешней части корпуса – ультразвуковой дальномер, доставляющий информацию на устройство управления о наличии препятствий перед роботом. Само устройство управления размещается также внутри корпуса.

Каждая конечность имеет три степени свободы, и приводится в действие с помощью сервоприводов. В нижней части конечности находится тензометрический датчик для определения момента касания ногой поверхности.

Движение робота вперед начинается с установки исходного положения конечностей робота в пространстве и формирования точек отсчета углов поворота приводов [3]. После этого происходит опрос ультразвукового датчика на наличие препятствий перед роботом и если таковое имеется, то робот продумывает, как его обойти.

Один шаг робота состоит из трех частей:

1. Перемещение трех ног из низкого положения в высокое.
2. Сдвиг трех ног из крайнего заднего положение в переднее.
3. Перемещение трех ног из высокого положения в низкое.

Во время перемещения ног из высокого положения в низкое должен осуществляться контроль высоты положения стоп над поверхностью, а также происходить опрос датчика гироскопа. Если изменение угла наклона платформы не произошло, то положение ног сравнивается с тем, в которое совершается перемещение. Если конечное положение ног еще не достигнуто, то продолжается процесс опускания, с последующим опросом датчика акселерометра-гироскопа. Если изменение угла наклона платформы произошло, то три ноги робота поднимаются на  $1^\circ$ , вновь опрашивается датчик гироскоп и цикл продолжается до тех пор, пока ноги не достигнут конечного положения. Достижение

конечного положения происходит в момент касания ногой робота поверхности. В этот момент на устройство управления приходит сигнал от тензометрического датчика и процесс опускания ноги прекращается.

Двигаясь в сторону целевой точки, при обнаружении препятствия на своей траектории робот должен приблизиться к препятствию, повернуться и следовать вдоль его границ, пока те не закончатся. Таким образом реализуется обход препятствия с дальнейшим следованием в целевую точку.

#### **Заключение**

Шагающие роботы являются сложными механическими системами с большим количеством управляемых степеней свободы и представляют собой класс роботов, имитирующих передвижение животных или насекомых и по сравнению с колёсными и гусеничными имеют ряд преимуществ при движении по поверхности со сложным рельефом. Их можно использовать для наблюдений за дикой природой.

Наилучшую сбалансированность и повышенную устойчивость имеют шестиногие шагающие роботы – гексаподы. Наиболее распространенной походкой таких роботов является походка «трешкой». Во время движения робот сохраняет устойчивое состояние опираясь на три ноги, в то время, пока другие три ноги совершают перемещение.

#### **Библиографический список**

1. Павловский В.Е. О разработках шагающих машин // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 101. 32 с. [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-101> (дата обращения 14.02.2023)
2. Игнатъев М. Б. Кибернетическая картина мира. Теория сложных систем. — СПб.: ГУАП, 2011. — 448 с.
3. Охоцимский Д. Е., Голубев Ю. Ф. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата. — М.: Наука, 1984. — 310 с.

#### **УДК 62-522.7**

### **РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

*Д.Д. Логинов*

*Владимирский государственный университет*

Одним из объектов систем управления является электропневматическое оборудование, используемое в ряде производственно-технологических задач. Создание таких систем и обучение последовательной разработке в образовательном процессе связано с трудностями отсутствия реального объекта управления. Поскольку настоящей задачей всегда повышается интерес к поставленной задаче в рамках обучения, в качестве объекта управления было решено использовать робот циклового типа МП-9с, предназначенный для транспортировки и ориентирования деталей/заготовок. Он имеет три степени свободы, без учета устройства захвата. Движение осуществляется с помощью пневмоприводов, имеющие по 8 распределительных клапанов, однако конкретно в модели, для которой разрабатывается система, один клапан не используется – схват имеет возвратную пружину, также робот имеет 7 концевых датчиков (герконов). Движение осуществляется за счёт открытия клапана, отвечающего за конкретное движение и подачи сжатого воздуха из общей распределительной системы в пневмоцилиндр. Использование такого объекта управления было обусловлено следующими факторами: большой распространённостью, простой конструкции, в следствии этого высокой надёжностью. Также данный объект хорошо подходит для изучения базовых принципов управления дискретными устройствами и может стать первым этапом в изучении робототехники. В рамках данной разработки студенты принимают на себя роль конструкторов, на примере работы преподавателя над разработкой смогут научиться составлять план работы и развивать последовательность выполнения задач, а также решать проблемы неизбежно возникающие в процессе.

Концепцией системы управления стали следующие пункты:

1. Возможность управления роботом и создание управляющих программ движений без использования ПК, что позволяет быстро начинать работу.
2. Универсальность, простота и прямой доступ к программе обслуживающего систему контроллера для оперативных доработок и реализаций дополнительных функций и алгоритмов для иных объектов управления.

Поскольку данная модель робота имела собственную систему управления и разработка современных систем управления для подобного робота не нова, то необходимо было рассмотреть и понять их минусы и привести свои идеи и доработки. Оригинальная система управления морально устарела, хоть и не потеряла функционала, однако для современных методов при работе с задачами управления она подходит лишь как экспонат, также на ней невозможно реализовать идеи и решать задачи других объектов управления.

Существует несколько статей по разработке системы управления аналогичным роботом. Имеются реализации управления с помощью ПЛК, данный способ хоть и крайне удобен с точки зрения простого подключения, отсутствия создания программного кода, однако ограничивает доработки и не способствует изучению программирования микроконтроллеров. В одной из статей показана реализация системы при помощи как раз таки микроконтроллера, однако всё управления в

системе осуществляется при помощи ПК и имеет связь по последовательному порту, однако в нём не описан интерфейс панели оператора на ПК, и строить предположения как это реализовано бесполезно.

В системе, представленной в этой статье отсутствуют недостатки описанных способов. В базовой версии разработки имеются следующие функции: работа в ручном режиме и режим программирования. В первом же робот выполняет движения в соответствии с клавишей на панели оператора. Во втором система запоминает последовательность введённых команд и воспроизводит в циклическом режиме, имеется возможность задачи временного интервала между действиями, а также возможность начала следующего действия разрешением сигналом с другого технологического оборудования. Программа управления при этом не стирается после отключения питания.

Была создана структурная схема такой системы управления и представлена на рисунке 1.

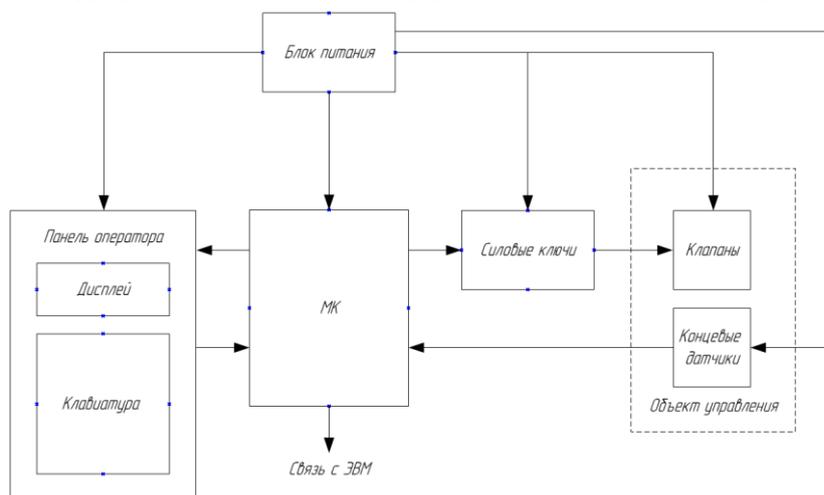


Рис. 1. Структурная схема системы управления.

На данном этапе уже были вынесены требования к элементам системы. Контроллер должен иметь связь с ПК, Flash-память, возможность внутрисхемного программирования, иметь доступную среду программирования для облегчения процесса создания программы. Всеми этими функциями обладает платформа Arduino. В данном случае решено применить модель NANO, ввиду её компактности и способности обслужить данную систему.

Поскольку должна иметься возможность управления без использования ПК необходима панель оператора. В ней должно быть средство ввода/вывода информации. Очевидным выбором устройства ввода становится клавиатура, устройством же вывода информации могут быть классические п-сегментные индикаторы, либо светодиоды с подписями на панели, однако при доработках может возникнуть необходимость добавления выводимой информации – придётся добавлять элементы индикации, поэтому было принято решение использовать LCD экран с интерфейсом I2C, что в данном случае будет универсально поскольку добавление выводимой информации можно отслеживать дополнительными символами на дисплее. Размерность клавиатуры определяется командами, которые должна обрабатывать система. А именно команды движений: ВПЕРЕД, НАЗАД, ВПРАВО, ВЛЕВО, ВВЕРХ, ВНИЗ, СХВАТ. Команды управления режимами: ВЫБОР РЕЖИМА, СОХРАНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ, ЗАПУСК ПРОГРАММЫ. Также в резерве должно быть несколько клавиш для функций, которые могут быть реализованы в будущем. Оптимальным решением стала матричная клавиатура 4x4.

Для обеспечения ввода информации с датчиков и выдачи управляющих сигналов понадобится минимум 14 линий контроллера (7 клапанов, 7 датчиков), однако если передавать информацию в последовательном коде, то это многократно сократит количество используемых линий до одной информационной и двух управляющих. Для преобразования последовательной информации в параллельную и наоборот используют регистры сдвига, для передачи управления на силовые ключи было решено использовать регистр 74НС595, а в качестве регистра, передающего информацию с датчиков 1533ИР9 (аналог 74НС165).

Коммутацию нагрузки в виде клапанов можно осуществить через IGBT-транзисторы, однако из-за сравнительно большой стоимости и с точки зрения изучения схемотехники было решено использовать модуль дискретного вывода на основе оптрона типа АОТ110 (ввиду их наличия). Транзисторная оптопара АОТ110 содержит в себе составной (сборка Дарлингтона) фототранзистор, однако выходной ток коллектора при этом не может превышать 0,2 А, но оптопара может управлять более мощным биполярным транзистором, который в ключевом режиме и будет коммутировать нагрузку.

Блок питания должен содержать источники напряжения 5 вольт для питания микроконтроллера и периферии и 24 В для питания клапанов. Потребление одного клапана составляет примерно 0,38 А. С учётом что одновременно могут быть включены только 4 клапана (одно из направлений движений по каждой из осей + схват) суммарный потребляемый ток равняется 1,52 ампера. Что позволяет использовать стабилизатор L78S24CV рассчитанный на 2 А. Токи потребления МК и периферии не превышают 1,5 А поэтому можно использовать стабилизатор 7805.

Общая принципиальная схема приведена на рисунке 2.

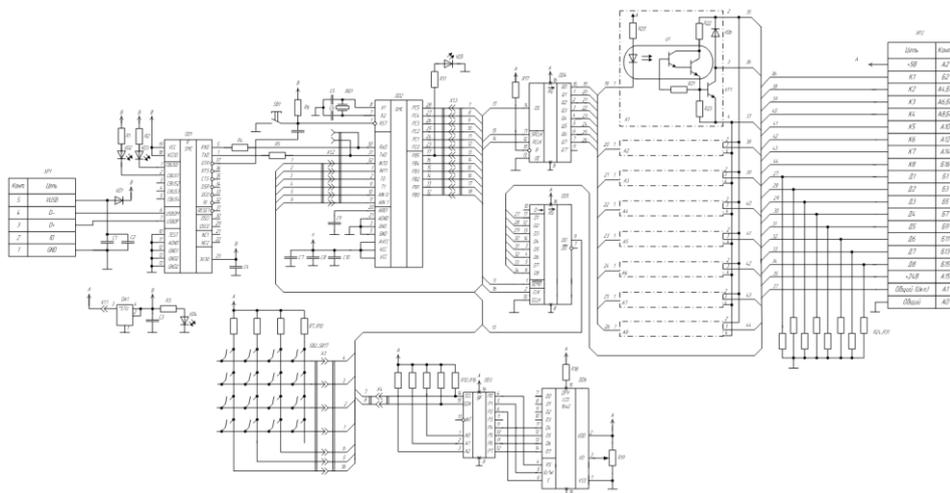


Рис. 2. Принципиальная схема системы управления.

Макетирование перед созданием опытного образца изделия – важный этап. Он помогает смитировать работу системы без подключения к объекту управления, также он позволяет выявить и оперативно внести коррективы при теоретических недоработках связанных с упущением некоторых факторов при разработке, что будет опытом будущему разработчику. Однако создание натурного макета системы связано со следующими факторами: ожидание поставки основных компонентов для изготовления, непредвидимый выход из строя либо изначальноный брак компонента, достаточная временная затрата на изготовление, что вносит неудобство при разделённых функциях участников проекта.

Одним из решений стало использование среды Proteus, она позволяет смоделировать работу схемы системы, в том числе и тестировать управляющую программу контроллера, при отсутствии непосредственного доступа к реальному макету. Параллельно с этим создаётся и реальный макет, на котором тестируются отработанные в симуляции части программы для контроллера, при необходимости вносятся коррективы, поскольку симуляция зачастую «идеальна» и не учитывает постоянные времени на задержку переключения, к примеру, логических элементов. Такое решение позволяет относительно быстро сделать рабочий образец. Симуляция при этом в реальном времени показывает работу компонентов системы, а также динамику скорость выполняемой программы. Силовые ключи здесь же использовать можно любые. Поскольку в первую очередь тестируется программа.

Модель системы в среде Proteus приведена на рисунке 3, в качестве индикации сработавшего клапана используется светодиод, а в качестве дискретного датчика кнопка.

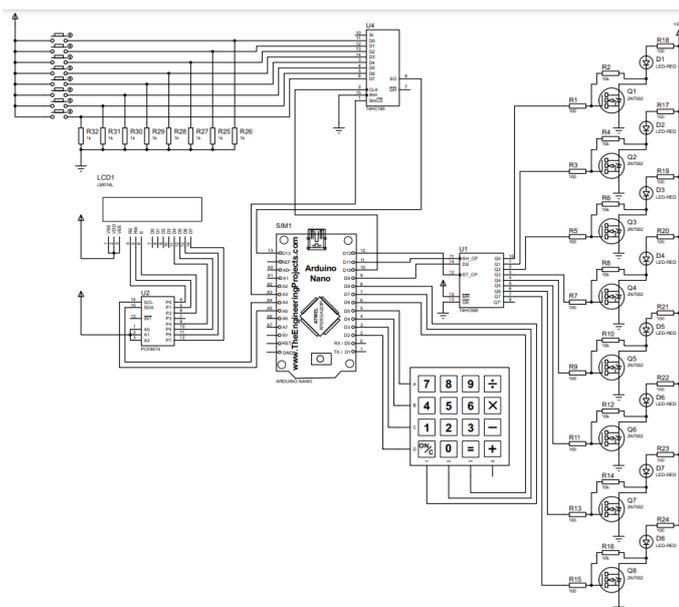


Рис. 3. Модель системы управления в среде Proteus.

Создание алгоритма работы системы заключается в поочередной проверке определенных условий при совершении над системой каких-либо действий. В данном случае действия над системой это ожидание команд оператора – ввод данных. Происходит постоянный опрос матричной клавиатуры и при нажатии клавиши сравнивается её значение с картой кодов клавиш, каждый код соответствует определенной инструкции. Далее следует переход к выполнению инструкции. Выполнение

инструкции сопровождается выводом информации на дисплей. Необходимо учесть все известные факторы для обеспечения работоспособности и избежания ошибок системы, которые нельзя решить. Заранее было определено условие, что робот может двигаться только по одной из осей при подачи управляющего сигнала, необходимо исключить включение двух клапанов на этой оси, следующее движение может начаться только если завершено предыдущее, при этом ожидается сигнал с датчика. Были выделены аварийные моменты, например если робот встретит препятствие, то питание должно быть отключено со схемы клапанов. Проверяется это опросом датчика после подачи управляющего воздействия соответствующему выполняемому действию и, если датчик не срабатывает дольше 5ти секунд, то система выдаёт ошибку и ожидает сброса. При этом со схемы снимается питание. Начальное положение задаётся программно. Для удобства чтения алгоритмы разделены для ручного управления и для режима программирования. В алгоритме режима программирования опущен момент описания опроса датчика и переключения противоположных клапанов на противоположных частях одной оси, однако он аналогичен части алгоритма в режиме ручного управления. В качестве разрешения/запрета от внешнего сигнала используются резервные линии контроллера, при программировании задаётся условия чтения этих сигналов. Причём запрет от внешних сигналов спрашивается один раз при работе в режиме программирования, ввод разрешения следующего движения спрашивается каждый раз. Временная задержка варьируется от 0 до 5000 мс. Разрешение от внешнего сигнала при этом имеет больший приоритет чем временная задержка.

Алгоритм работы в ручном режиме приведен на рисунке 4а, алгоритм работы в режиме программирования приведён на рисунке 4б.

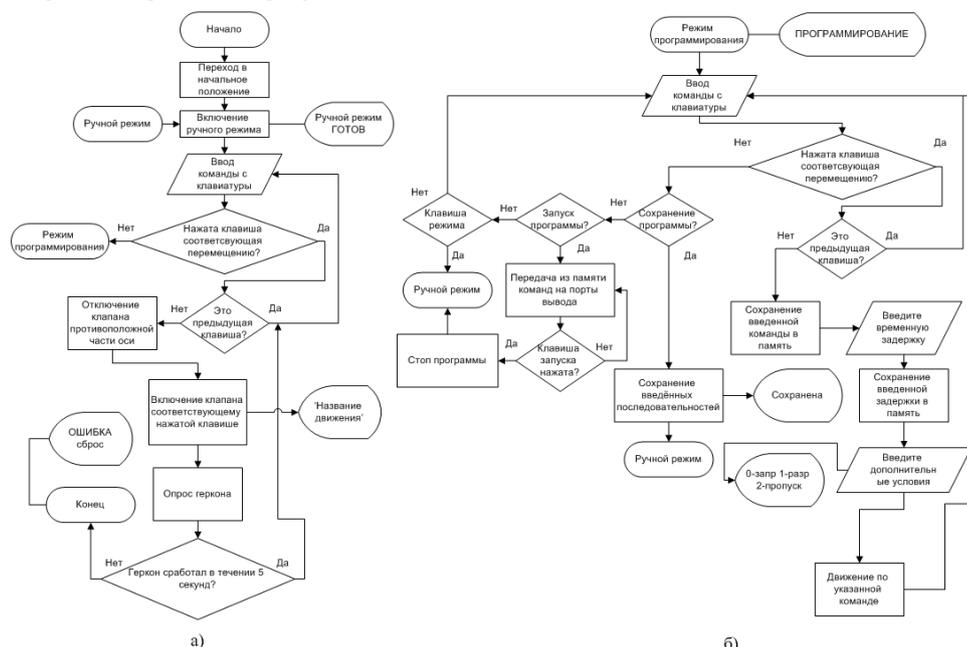


Рис. 4. Алгоритм работы системы управления в ручном режиме (а) и в режиме программирования (б).

На основе алгоритма пишется программа для микроконтроллера. Существует множество способов создания программ для отладочных комплектов Arduino. Это и классический метод написания кода в среде Arduino IDE на Си-подобном языке, существуют способы блочно-алгоритмического программирования в различных средах. В данном случае был выбран метод упрощенного варианта с помощью Ardublocks. Этот способ строится на основе автозаполнения кода, в зависимости от выбранной функции. От программиста требуется лишь четкая структура программы, с заранее прописанными условиями. В чем и поможет алгоритм. Для упрощения написания базовых типовых функций как опрос клавиатуры или вывод на дисплей информации существуют библиотеки, содержащиеся в среде Ardublocks. Также и присутствует доступ к EEPROM памяти.

В итоге разработка программы для микроконтроллера при достаточно не сложной структуре занимает малое количество времени. При этом человек не владеющий всеми командами языка программирования выбирая ту или иную функцию будет видеть, как реализовать её при классическом способе написания программы, тем самым учится основам программирования.

Таким образом была создана система управления дискретными устройствами на основе электропневматического оборудования. Система так же может быть использована для любого другого электрооборудования, введения дополнительных функций или условий путём перепрограммирования контроллера для иных алгоритмов, тем самым получена универсальная система с большим набором реализуемых функций.

**О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ, ВЫЯВЛЕННЫХ ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРАКТИК ПО КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ ФГБУ «НИИ ЦПК ИМЕНИ Ю.А. ГАГАРИНА»**

*Ю.С. Чеботарев<sup>1</sup>, А.Ю. Кикина<sup>1</sup>, Ю.С. Азаркова<sup>1</sup>, В.А. Дикарев<sup>1</sup>  
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок*

При выполнении в виртуальной среде (ВС), воссоздаваемой с помощью универсального компьютерного стенда робототехнических систем (УКС РТС) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» [1], экспериментальных исследований (ЭИ) по космической робототехнике в условиях изоляционного эксперимента «SIRIUS 21» с использованием робототехнических систем (РТС) для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ (ППКП), определена потребность в дополнительных исследованиях:

- вестибулярной устойчивости операторов при управлении РТС в ВС;
- операторской деятельности посредством физических образцов РТС;
- соответствия кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств РТС [2].

Следует отметить, что в рамках изоляционного эксперимента «SIRIUS 21» при проведении во время сеансов работы с виртуальными моделями антропоморфного робота (АР) объектами ЭИ явились российские и иностранные испытатели. В задачи ЭИ входило, главным образом, получение экспериментальных данных в интересах оценивания качества применения и адаптации профилированных использования РТС для поддержания операторской деятельности экипажей в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания, получение экспериментальных данных и их обработка в интересах определения потенциальных особенностей и выявления возможных проблем использования РТС, а также получение экспериментальных данных и их обработка в интересах определения необходимого и достаточного уровня подготовки экипажа по направлению «Космическая робототехника» с использованием технологий дистанционного обучения в длительном межпланетном перелете. ЭИ представляли собой 4 сеанса исследований процесса выполнения заданий при работе с виртуальными моделями АР, управляемого с помощью мобильного ЗУКТ (ЗУКТ-М). При выполнении сценарного плана испытателям было необходимо выполнить задания по отработке индивидуальных операций РТС, а также групповых операций совмещенными РТС. Пример виртуальной сцены одного из сценариев по отработке групповых операций совмещенными РТС приведен на рис. 1.

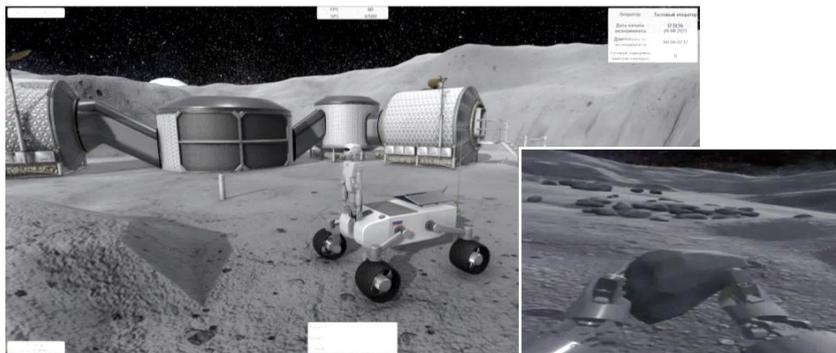


Рис. 1. Манипуляции по перемещению антропоморфного робота по поверхности Луны совмещенным с ним ровером и сбору реголита

С учетом необходимости проведения дальнейших исследований в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» с помощью УКС РТС в 2022 году проведены: ЭИ вестибулярной устойчивости космонавта при управлении РТС антропоморфного типа (АТ) в ВС (одна из целей ЭИ – оценка возможности и качества осуществления профессиональной деятельности космонавта по управлению РТС АТ). Объектом данных ЭИ являлся космонавт, выполняющий роль оператора РТС АТ и задачи управления АР в виртуальной среде посредством ЗУКТ. Целью ЭИ стало определение вестибулярной устойчивости космонавта при управлении РТС АТ в виртуальной среде. В задачи ЭИ вошли следующие направления:

- оценка факторов, влияющих на вестибулярную устойчивость космонавта при выполнении задач управления РТС АТ в ВС;
- формирование у космонавта в процессе ЭИ навыка управления РТС АТ в ВС;
- получение на всех этапах ЭИ данных: о функциональном состоянии космонавта, о технических параметрах РТС АТ, характеризующих движения АР и ЗУКТ;
- оценка возможности и качества осуществления профессиональной деятельности космонавта по управлению РТС АТ.

ЭИ могут стать основой для формирования программы и методики проведения профессионального и пролонгированного отбора соответственно кандидатов в космонавты и космонавтов в составе экипажей тестирования индивидуального и совместного выполнения ими операций по управлению РТС АТ в ВС УКС РТС, в том числе, с использованием системы медицинского контроля (СМедК) (рис. 2), а также стабиланализатора «Стабилан-01-2» (рис. 3).

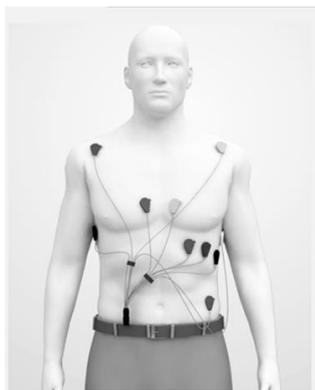


Рис. 2. Вариант размещения датчиков СМедК на операторе

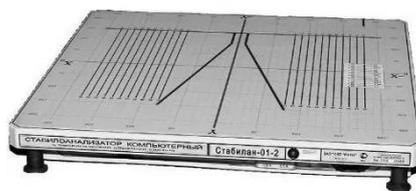


Рис. 3. Платформа «Стабилан-01-2»

Оператор, с закреплёнными на нем датчиками СМедК (рис. 2), облаченный в ЗУКТ-М и шлем виртуальной реальности (рис. 4), находясь в положении «стоя» на платформе «Стабилан-01-2», в процессе тестирования должен выполнить работу в соответствии со сценарным планом под непосредственным контролем медицинского персонала за его физиологическим состоянием.

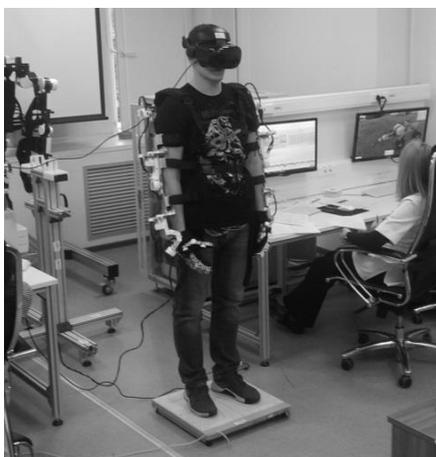


Рис. 4. Оператор, облаченный в ЗУКТ-М и ШВР

Космонавты в виртуальной сцене «Манипуляции по перемещению АР по поверхности Луны совмещенным с ним ровером и сбору реголита» (рис. 1) выполняли действия в соответствии с заранее утвержденным сценарием. В задачи сценария входило перемещение имитатора планетохода (ИП) по поверхности Луны в ВС, взятие лунного грунта и перемещение его в бункер ровера. На основании обработки результатов проведения ЭИ вестибулярной устойчивости космонавта при управлении РТС получены обобщенные выводы о том, что все изменения (рис. 5-7) функционального состояния космонавтов носили временный характер, о необходимости увеличения количества участников для получения статистически более значимой выборки, а также применения иных методов математического анализа к данной проблеме в последующих исследованиях.

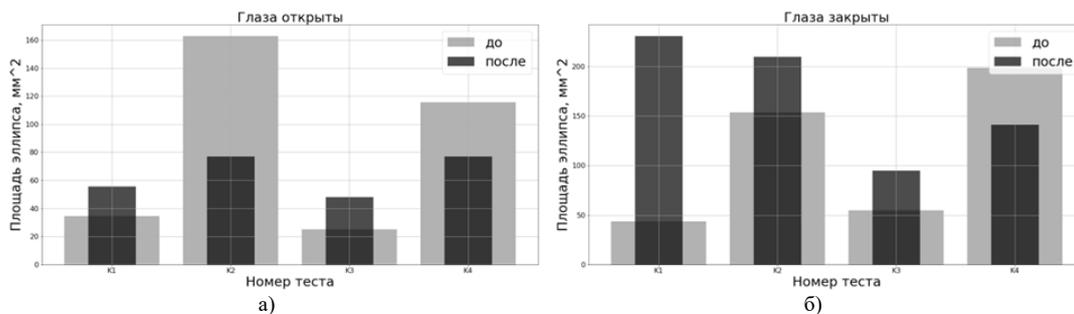


Рис. 5. Сравнение площадей эллипса: а) глаза открыты; б) глаза закрыты

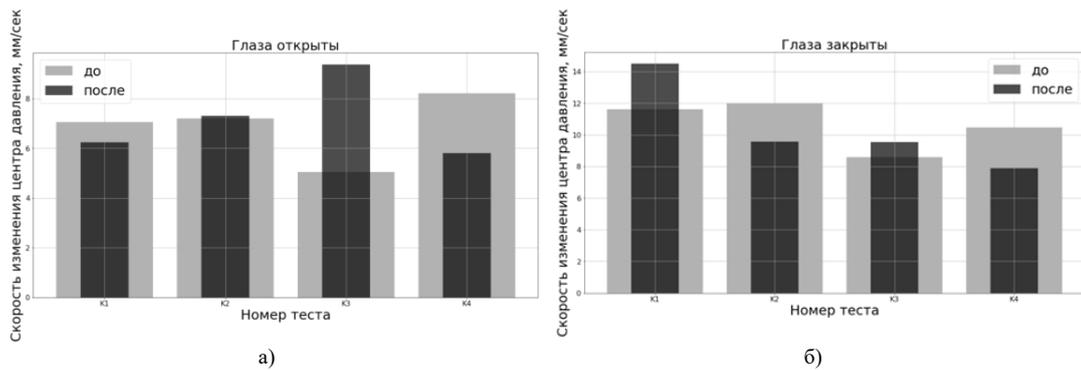


Рис. 6. Сравнение скоростей изменения центра давления:  
а) глаза открыты; б) глаза закрыты

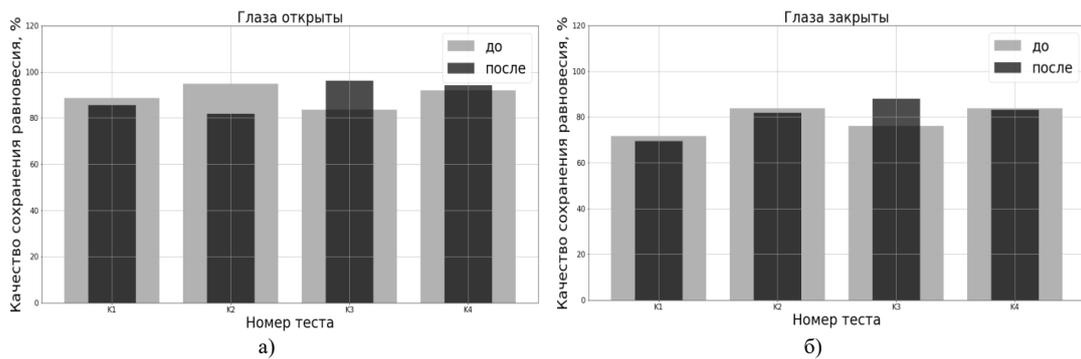


Рис. 7. Сравнение качества сохранения равновесия:  
а) глаза открыты; б) глаза закрыты

Также в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» с помощью УКС РТС в 2022 году проведены ЭИ возможности выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением транспортного средства ИП) посредством АР в копирующем режиме телеуправления.

Одной из главных целей ЭИ была оценка динамики изменения качества выполнения космонавтами операторской деятельности посредством физических образцов РТС до и после космического полета. В качестве объекта исследований рассматривался космонавт, выполняющий операторскую деятельность при управлении движением ИП по специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления. Целью данного ЭИ является создание научно-технического задела для исследования и оценки возможностей и особенностей выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ИП по специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления до и после длительных космических полетов, а так же получение экспериментальных данных о качестве выполнения данных операций. При этом в задачи ЭИ входят: оценка возможностей и особенностей выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ИП по специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления; получение экспериментальных данных ЭИ непосредственно до и после длительных космических полетов с использованием РТС; оценка динамики изменения качества выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ИП по специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления (до и после космического полета); разработка предложений по исследованию проблем взаимодействия космонавтов и различных РТС.

Исследования проводились с тремя космонавтами за 2 месяца до космического полета в составе экипажа длительной экспедиции МКС-68. В ходе испытаний были получены экспериментальные данные до выполнения космонавтами длительного космического полета с использованием РТС. В дальнейшем планируется провести испытания после совершения соответствующими космонавтами длительного космического полета. По результату проведения ЭИ анализу подвергся ряд характеристик работы. Сравнительные диаграммы ряда характеристик прохождения космонавтами (K02, K14 и K19) специальной трассы при непосредственном управлении планетоходом и посредством АР «Федор» в режиме телеуправления прямой видимости, облаченных в ЗУКТ-М, и в режиме удаленного телеуправления, облаченных в стационарный ЗУКТ (ЗУКТ-С), представлены на рис. 8-12.

Очевидно, что при анализе времени прохождения трассы при непосредственном управлении ИП космонавтом и посредством АР, значительно больше времени затрачивается на управление посредством АР для всех космонавтов, участвующих в исследованиях (в 7 и 9 раз соответственно). Показатели расхода электроэнергии возрастают 5 раз, средней скорости передвижения уменьшается в 8 раз. Суммарное количество углов поворота колес возрастает почти в 2 раза, а пройденный путь уменьшается на 10%.

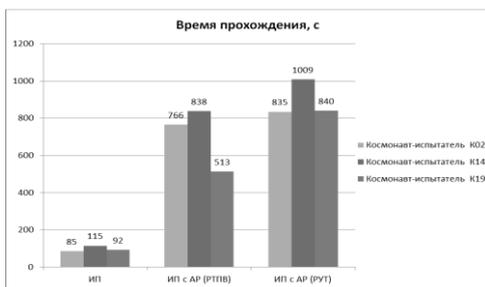


Рис. 8. Сравнение времени прохождения трассы при непосредственном управлении ИП напрямую и посредством АР

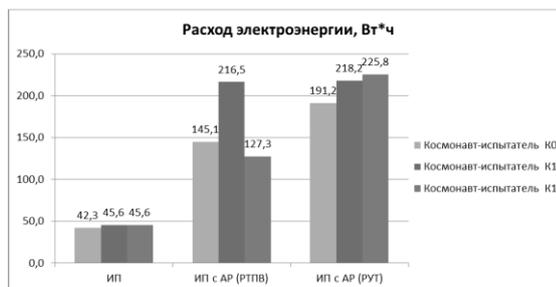


Рис. 9. Сравнение расхода энергии в прохождении трассы при управлении ИП напрямую и посредством АР

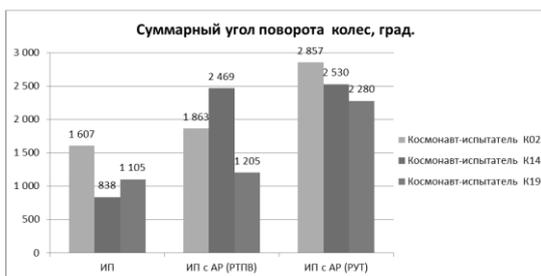


Рис. 10. Сравнение суммарных углов в прохождении трассы при управлении ИП напрямую и посредством АР

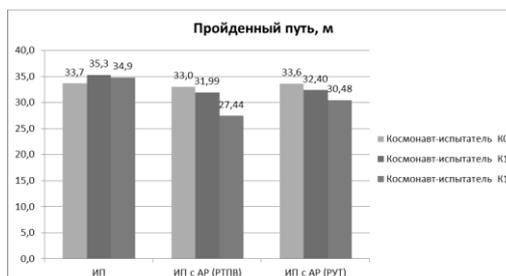


Рис. 11. Сравнение пройденного пути в прохождении трассы при управлении ИП напрямую и посредством АР

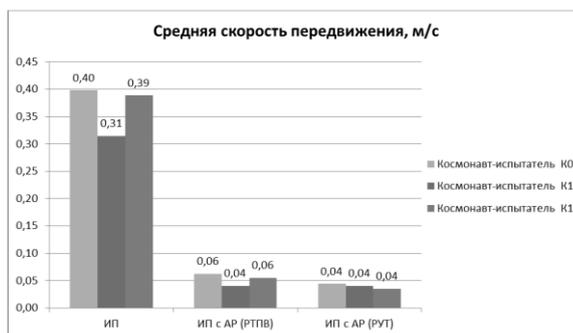


Рис. 12. Сравнение средней скорости в прохождении трассы при управлении ИП напрямую и посредством АР

При исследовании интерфейсов управления РТС выявлена проблема обеспечения точности управления АР при использовании задающего устройства в виде ЗУКТ: изменения линейных размеров некоторых кинематических звеньев задающего устройства под антропоморфные параметры конкретного космонавта-оператора способствуют ухудшению качества управления, и, как следствие, вызывают рассогласованность в действиях АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ.

На основании сравнительного анализа кинематической схемы ЗУКТ-М и кинематической схемы АР, проведены предварительные исследования влияния линейных размеров кинематических звеньев задающего устройства на уровень рассогласованности в действиях АР. Из соотношения размеров кинематических звеньев ЗУКТ-М и технологического макета № 1 (ТМ-1) АР следует, что имеет место ситуация, когда размер кинематических звеньев ТМ-1 АР выходит за предел минимальных и максимальных значений соответствующих регулируемых кинематических звеньев ЗУКТ-М. Это является потенциально заложенной конструктивной структурно-параметрической несогласованностью АР и ЗУКТ, которая может способствовать возрастанию рассогласованности в действиях АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ с учетом его антропометрических характеристик.

Для выполнения предварительных исследований влияния линейных размеров кинематических звеньев задающего устройства на уровень рассогласованности в действиях АР предложен интегрированный метод, основанный на поэтапном применении существующих методов: метода приведения подобия управляющих сигналов; метода математического сравнения расчетов. На первом этапе используется метод приведения подобия управляющих сигналов для обеспечения угловых положений звеньев ТМ-1 АР, равных зафиксированным угловым положениям соответствующих звеньев ЗУКТ-М. Причем угловые положения звеньев ЗУКТ-М фиксируются, когда его предкритические окончания смыкаются между собой. На втором этапе применяется метод математического сравнения расчетов для вычисления рассогласованности пространственного положения предкритических окончаний ТМ-1 АР относительно пространственного положения сомкнутых предкритических окончаний ЗУКТ-М. Предлагаемый интегрированный метод вполне может быть использован как для предварительных исследований влияния линейных размеров кинематических звеньев задающего устройства на уровень

рассогласованности в действиях АР, так и для определения такого рода возможных расхождений при заданных антропоморфных параметрах конкретных космонавтов-операторов. На примере определения уровня возможной пространственной рассогласованности между кинематической схемой ТМ-1 АР и кинематической схемой ЗУКТ-М проведена процедура применения предлагаемого комбинированного метода.

Результаты исследований показывают: значения ошибки позиционирования звеньев АР при управлении с помощью ЗУКТ существенно зависят от соотношений геометрических размеров ЗУКТ и АР и носят нелинейный характер; требуется обеспечить планирование траекторий движения рабочих органов робота с целью исключения столкновений рабочих органов АР. В целях избегания критической, приводящей к срыву выполнения заданий, рассогласованности действий АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ, требуется проведение предварительного сопоставления кинематических характеристик АР с соответствующими текущими кинематическими характеристиками ЗУКТ для определения специальных параметров, демпфирующих потенциально возможные рассогласования. Исследование и апробация механизмов по определению параметров, демпфирующих потенциально возможные рассогласования кинематических характеристик АР и ЗУКТ, планируется выполнять в ходе предварительного проектирования типовых полетных заданий (операций) ППКП на УКС РТС. Наличие таких апробированных механизмов позволит сформировать с учетом антропоморфных параметров космонавта, «персональную базу данных», демпфирующую потенциально возможные рассогласования кинематических характеристик летных образцов. Эти данные можно предварительно загрузить в ноутбуки Международной космической станции или Российской орбитальной станции (РОС), и тем самым обеспечить антропоморфную совместимость космонавтов с научной аппаратурой во время бортовой реализации космического эксперимента.

### **Заключение**

Выполненные ЭИ предварительно выявили: наличие разной вестибулярной устойчивости космонавтов при управлении РТС АТ в ВС и разных операторских качеств космонавтов при управлении ИП посредством АР в копирующем режиме телеуправления, что необходимо учитывать при подготовке космонавтов к бортовой реализации целевых работ по космической робототехнике; сущность проблемы соответствия кинематических характеристик АР ЗУКТ, для разрешения которой требуется создание в модели управления АР механизмов, демпфирующих разные антропометрические характеристики космонавтов.

Включение этих заданий в планы проведения практических занятий и факультативов по лабораторно-экспериментальным исследованиям на УКС РТС должно учитывать рассмотренные характерные особенности при их планировании и могут сочетать различные комбинации в зависимости от уровня готовности кандидатов в космонавты и распределения между ними операторских, ассистентских и лабораторно-исследовательских функций. Элементы разработанных заданий за период подготовительной к ЭИ работы на УКС РТС могут стать прототипом составных частей заданий разного рода ЭИ при участии космонавтов с использованием виртуальных моделей и физических образцов РТС антропоморфного типа.

Вследствие неизбежности развития и расширения возможностей РТС АТ и соответственно УКС РТС предстоит коррекция рассмотренных и формирование новых заданий, которые в дальнейшем должны войти в виде изменений и дополнений программ последующих ЭИ. Для достижения репрезентативных оценок операторских качеств космонавтов и формирования предложений по совершенствованию их подготовки и технических качеств, используемых экспериментальных РТС планируется продолжение и расширение экспериментально-исследовательских практик по космической робототехнике. В частности, в рамках изоляционного эксперимента «SIRIUS 23», предполагается проведение ЭИ технологических процессов операционной и информационной поддержки деятельности членов экипажа с использованием коллаборативных [3,4] роботизированных технологий и средств (КРТиС) в обеспечение автономности выполнения совместных операций при ограничениях функциональных возможностей в условиях имитации факторов длительной космической экспедиции. Эти ЭИ в перспективе могут стать основой для проведения целевой работы на РОС исследований возможностей использования КРТиС для управления и эксплуатации пилотируемых космических комплексов, обслуживания их систем при деятельности в нештатных ситуациях и ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в условиях факторов космического пространства.

### **Библиографический список**

1. Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стенда робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев // Пилотируемые полеты в космос. – №4 (41)/2021. – С 36-47.
2. Проблема обеспечения соответствия кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств антропоморфных робототехнических систем для перспективных пилотируемых космических программ / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, Э.В. Никитов, В.В. Швецов, Дудоров Е.А. //Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – №4 (45). – С. 54-71.
3. Дикарев В.А., Чеботарев Ю.С. Разработка элементов коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов //Идеи и Новации. – 2022. № 1-2. – Том 10. – С. 99-103.
4. О возможности отработки коллаборативного использования антропоморфной и манипуляционной робототехнической системы для операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов. /В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, Э.В. Никитов, М.В. Кондратенко, Ю.С. Агаркова //Пилотируемые полеты в космос. –2022. – №3 (44). – С. 69-84.

**Введение и постановка задачи**

Использование синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) является одним из перспективных направлений развития электропривода. В устройствах на основе СДПМ проявляются их сравнительные преимущества, к которым относятся: малые габариты, малый момент инерции ротора, малые электромеханическая и электромагнитная постоянные времени, повышенная управляемость.

Перечисленные достоинства обуславливают широкое применение СДПМ в различных инженерных и научных приложениях, особенно в робототехнике, где от привода требуется сочетание высокого момента, малых массы и габаритов, высокого быстродействия.

Для СДПМ во время функционирования, как и для любого другого типа электродвигателей, характерны температурные процессы, например, выделение тепла на обмотках статора и роторе. Нарушение температурного режима может привести к функциональным проблемам и неисправностям СДПМ: потере точности позиционирования и плавности движения из-за теплового расширения деталей механических передач и преобразователей; повреждению изоляции обмоток статора и, как следствие, их выгоранию и выходу двигателя из строя. Также следует учитывать влияние температурного режима среды, в которой эксплуатируется двигатель.

Таким образом, особенно важна и актуальна задача температурной диагностики СДПМ.

Как правило, для оценки температуры узлов двигателя используют датчики, однако их применение не всегда реализуемо. Поэтому более предпочтительным методом диагностики является бездатчиковая оценка температуры на основе модели тепловых процессов в СДПМ. В настоящей работе представляются описание термальной модели двигателя, решение задачи параметрической идентификации на основе расширенного фильтра Калмана и реализации алгоритма бездатчиковой диагностики.

**Термальная цепь СДПМ**

Математическое описание тепловых процессов в СДПМ формируется на основе, так называемой, термальной цепи рис. 1.

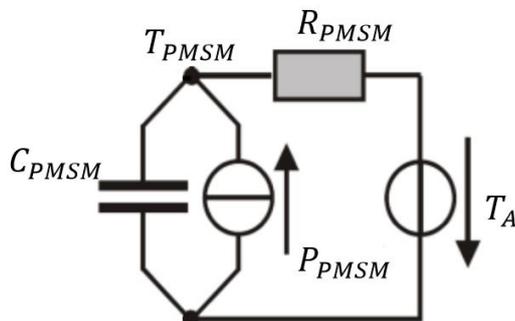


Рис. 1. Термальная цепь СДПМ

Уравнение термальной цепи, представленной на рисунке 1, имеет вид:

$$P_{PMSM} - C_{PMSM} \frac{dT_{PMSM}}{dt} = \frac{T_{PMSM} - T_A}{R_{PMSM}}, \quad (1)$$

где  $P_{PMSM}$  – общие тепловые потери в СДПМ,  $C_{PMSM}$  – общая тепловая емкость СДПМ,  $R_{PMSM}$  – общее тепловое сопротивление СДПМ,  $T_A$  – температура окружающей среды,  $T_{PMSM}$  – общая температура СДПМ.

Бездатчиковая диагностика температуры СДПМ основывается на данных о термальных параметрах двигателя, которые определяют динамику его тепловых процессов.

Для идентификации параметров теплоемкости и теплового сопротивления цепи предлагается применение расширенного фильтра Калмана.

Алгоритм работы фильтра Калмана состоит из двух этапов:

Прогнозирование:

$$\begin{cases} \hat{x}_{k|k-1} = f(\hat{x}_{k-1|k-1}, u_k) \\ P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \end{cases} \quad (2)$$

где  $\hat{x}_{k|k-1}$  – текущее состояние,  $P_{k|k-1}$  – ковариационная матрица состояния,  $Q_k$  – ковариационная матрица ошибки модели.

Корректировка:

$$\begin{cases} \hat{y}_k = z_k - h(\hat{x}_{k|k-1}) \\ S_k = H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k \\ K_k = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1} \\ \hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \hat{y}_k \\ P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \end{cases} \quad (3)$$

где  $\hat{x}_{k|k}$  – коррекция текущего состояния,  $P_{k|k}$  – коррекция ковариационной матрицы состояния,  $R_k$  – ковариационная матрица шума измерений

Матрицы расширенного фильтра Калмана для прогнозирования температуры и неизвестных параметров цепи имеют вид:

$$f = \begin{bmatrix} T_{PMSM} \left( 1 - \frac{T_k}{R_{PMSM} C_{PMSM}} \right) + T_k \left( \frac{P_{PMSM}}{C_{PMSM}} + \frac{T_A}{C_{PMSM} R_{PMSM}} \right) \\ C_{PMSM} \\ R_{PMSM} \end{bmatrix}; h = \begin{bmatrix} T_{PMSM} \\ C_{PMSM} \\ R_{PMSM} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 - \frac{T_k}{C_{PMSM} R_{PMSM}} & T_k \left( \frac{T_{PMSM} - T_A}{C_{PMSM}^2 R_{PMSM}} - \frac{P_{PMSM}}{C_{PMSM}^2} \right) & T_k \left( \frac{1 - T_A}{R_{PMSM}^2 C_{PMSM}} \right) \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $T_k$  – период дискретизации цифрового фильтра Калмана

### Моделирование в MATLAB/SIMULINK

Модель СДПМ построена в среде моделирования SIMULINK с применением набора инструментов Simscape.

При моделировании были взяты следующие параметры СДПМ:

$$R = 0.013 \text{ Ом}; L_d = L_q = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}; p = 6; \Psi_r = 0.03 \text{ Вб}; J = 0.2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Параметры регулятора скорости:

$$K_p = 60; K_i = 600$$

На рис. 2 представлен общий вид модели СДПМ с системой управления.

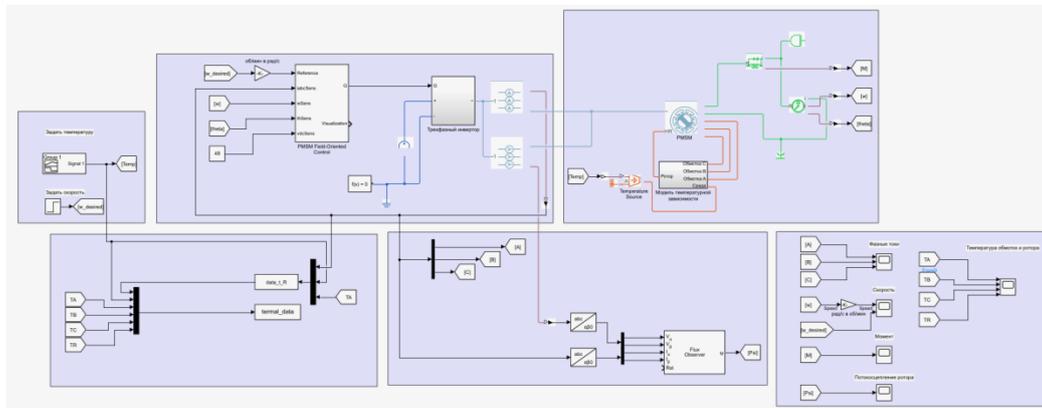


Рис. 2. Общий вид модели

Представленная на рис. 2 модель позволяет оценить тепловые процессы, возникающие при функционировании СДПМ. На основе данных, полученных в модели, рассчитываются тепловые потери в двигателе, по которым с помощью расширенного фильтра Калмана идентифицируются параметры теплового сопротивления и теплоемкости двигателя, а затем производится оценка общей температуры СДПМ.

### Результаты моделирования

В термальной модели СДПМ за 500 с при скорости вращения 450 рад/с получены переходные процессы.

На рис. 3 представлена температура окружающей среды, действующая на привод в процессе стабилизации заданной скорости.

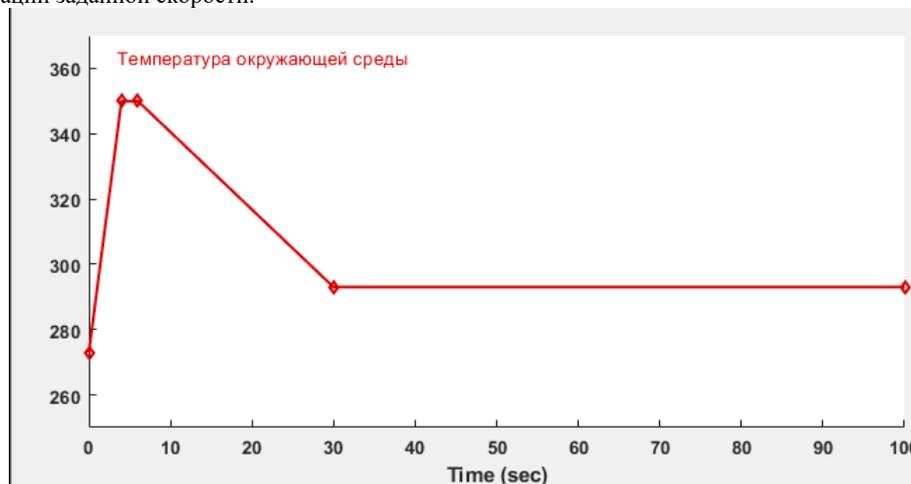


Рис. 3. Температура окружающей среды  $T_A$ , К

Результаты идентификации параметров и оценки температуры СДПМ представлены на рис. 4.

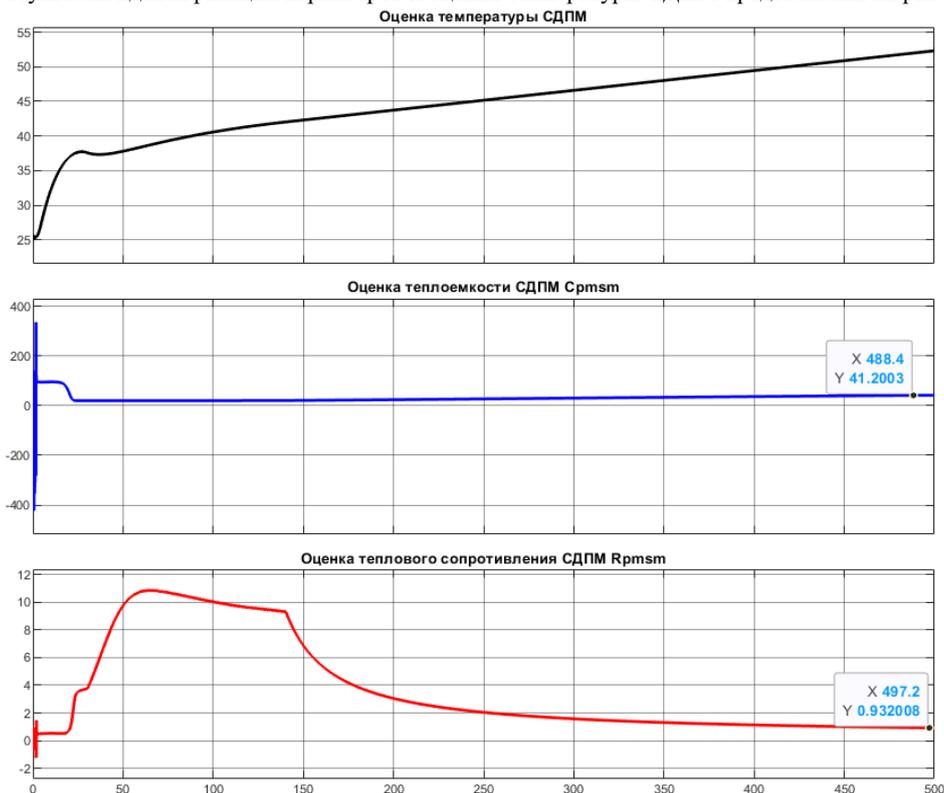


Рис. 4 Тепловые параметры СДПМ и оценка его температуры

Рис. 4 показывает, что процесс параметрической идентификации с помощью фильтра Калмана сходится к постоянным параметрам теплоемкости и теплового сопротивления СДПМ:

$$C_{rmsm} = 41.2003 \frac{\text{Дж}}{\text{°C}}; R_{rmsm} = 0.932008 \frac{\text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Оценка температуры показывает, что за 500 секунд работы температура двигателя поднимется до 52 °С.

#### Выводы

Результатом настоящей работы является динамическая модель СДПМ в среде MATLAB/SIMULINK, позволяющая оценить тепловые процессы, протекающие в двигателе. Составлена термальная цепь СДПМ. Для представленной термальной цепи получен расширенный фильтр Калмана, с помощью которого были идентифицированы параметры теплоемкости и теплового сопротивления двигателя. На основе идентифицированных параметров реализован алгоритм бездатчиковой оценки температуры СДПМ.

#### Библиографический список

1. Амр Рефки Али Абд Эль Вхаб РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УЛУЧШЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2012. — 142 с.
2. Балковой А.С., Цаценкин В.К. Электропривод с вентильными двигателями // Докл. науч.-практ. семинара. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. С. 35–70.
3. Сергей Герман-Галкин: Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. Учебное пособие для вузов.
4. Shuai Xiao, On-line Temperature Monitoring of Permanent Magnet Synchronous Machines - The University of Sheffield, 2019. – 167 с.

УДК 681.52

#### КОСВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ СИЛЫ. МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ИМПЕДАНСОМ.

*Н.А. Корнеев<sup>1</sup>, Р.Е. Николаев<sup>1</sup>, А.А. Минина<sup>1</sup>, Э.Е. Кузьмин<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Исследования в области управления силой роботов процветали в последние три десятилетия. Такой широкий интерес обусловлен общим желанием обеспечить роботизированные системы расширенными сенсорными возможностями. Ожидается, что роботы, использующие обратную связь по силе, расстоянию и визуальную, будут автономно работать в неструктурированных средах, отличных от типичного промышленного цеха.

Начиная с ранних работ по телеманипуляции, использование силовой обратной связи было задумано для того, чтобы помочь человеку-оператору дистанционно управлять объектами с помощью

ведомого манипулятора. Совсем недавно были разработаны кооперативные роботизированные системы, в которых необходимо управлять двумя или более манипуляторами (а именно пальцами левой руки робота) таким образом, чтобы ограничить обмениваемые усилия и избежать деформации удерживаемого предмета. Управление силой также играет фундаментальную роль в достижении надежного и универсального поведения роботизированных систем в открытых средах, обеспечивая интеллектуальный ответ в непредвиденных ситуациях и улучшая взаимодействие человека и робота.

Управление физическим взаимодействием между роботом манипулятором и окружающей средой имеет решающее значение для успешного выполнения ряда практических задач, где конечный элемент робота должен манипулировать объектом или выполнить какую-либо операцию на поверхности. Успешное выполнение задачи взаимодействия с окружающей средой с помощью управления движением может быть достигнуто только при условии точного планирования задачи. Это, в свою очередь, требует точной модели как робота-манипулятора (кинематика и динамика), так и окружающей среды (геометрия и механические характеристики).

Чтобы понять важность точности планирования задачи, достаточно заметить, что для того, чтобы выполнить сопряжения механических деталей с использованием позиционного подхода, необходимо обеспечить относительное позиционирование деталей, которое должно быть гарантировано с точностью, на порядок превышающей механический допуск детали. Как только абсолютное положение одной детали точно известно, манипулятор должен направлять движение другой с той же точностью.

На практике ошибки планирования могут привести к возникновению контактной силы и момента, вызывающих отклонение конечного элемента от желаемой траектории. С другой стороны, система управления реагирует на уменьшение таких отклонений. В конечном счете это приводит к увеличению контактного усилия до тех пор, пока не будет достигнуто насыщение приводов, шарнира или не произойдет поломка соприкасающихся деталей. Чем выше жесткость окружающей среды и точность контроля положения, тем вероятнее может возникнуть ситуация, подобная только что описанной. Этот недостаток может быть преодолен, если во время взаимодействия будет обеспечено податливое поведение. Такое податливое поведение может быть достигнуто либо пассивным, либо активным способом.

Преимущества использования метода контроля импедансом:

- задает желаемое динамическое поведение взаимодействию между конечным звеном робота и окружающей средой

- желаемая производительность определяется с помощью обобщенного динамического сопротивления, а именно полного набора уравнений масса-пружина-демпфер (обычно выбираемых как линейные и несвязанные, но также и нелинейные)

- модель, описывающая, как генерируются силы реакции в связи с деформацией окружающей среды, явно не требуется

- подходит для задач, в которых контактные усилия должны быть «минимальными», в то время, как их точное регулирование не является обязательным

- поскольку контур управления, основанный на ошибке по усилию, отсутствует, контактные усилия назначаются только косвенно, путем управления положением

- выбор конкретной жесткости в модели импеданса вдоль декартового направления приводит к компромиссу между контактными силами и точностью позиционирования в этом направлении

Отправной точкой для достижения этой цели может быть подход, основанный на заданном ускорении и используемый для управления движением. Данный подход направлен на разделение и линеаризацию нелинейной динамики робота на уровне ускорения (в соответствии с законом управления обратной динамикой) [2]. При наличии взаимодействия с окружающей средой действует закон управления:

$$h_c = \Lambda(q)\alpha + \Gamma(q, \dot{q})\dot{q} + \eta(q) + h_e, \quad (1)$$

Приводя к динамической модели, получим результат:

$$\dot{v}_e = \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – это правильно спроектированный управляющий входное воздействие со значением ускорения, относящимся к базовой системе отсчета. Принимая во внимание идентичность

$$\dot{v}_e = \bar{R}_e^T \dot{v}_e^e + \dot{\bar{R}}_e^T v_e^e, \text{ с } \bar{R}_e \begin{pmatrix} R_e & 0 \\ 0 & R_e \end{pmatrix}$$

Выберем следующий вариант управления входом:

$$\alpha = \bar{R}_e^T \alpha^e + \dot{\bar{R}}_e^T v_e^e, \quad (3)$$

Исходя из выбора, получим:

$$\dot{v}_e^e = \alpha^e, \quad (4)$$

где управляющий вход  $\alpha^e$  имеет значение ускорения, отнесенного к конечному эффектору  $\Sigma_e$ .

Установим следующее:

$$\alpha^e = \dot{v}_d^e + K_M^{-1}(K_D \Delta v_{de}^e + h_{\Delta}^e - h_e^e), \quad (5)$$

Для замкнутой системы можем найти следующее выражение:

$$K_M \Delta \dot{v}_{de}^e + K_D \Delta v_{de}^e + h_{\Delta}^e = h_e^e, \quad (6)$$

где  $K_M$  и  $K_D$  это симметричная матрица  $6 \times 6$ ,  $\Delta \dot{v}_{d\epsilon}^e = \dot{v}_d^e - \dot{v}_\epsilon^e$ ,  $\Delta v_{d\epsilon}^e = v_d^e - v_\epsilon^e$ ,  $\dot{v}_d^e$  и  $v_d^e$  являются ускорением и скоростью желаемого звена  $\Sigma_d$  и  $h_\Delta^e$  это упругие силы, все величины относятся к системе отсчета конечного звена  $\Sigma_\epsilon$ .

Приведенное выше уравнение, описывающее динамическое поведение управляемого конечного звена, может быть интерпретировано как обобщенный механический импеданс. Асимптотическую устойчивость равновесия, в случае  $h_\epsilon = 0$ , можно доказать, рассмотрев функцию Ляпунова.

$$V = \frac{1}{2} \Delta v_{d\epsilon}^{eT} K_M \Delta v_{d\epsilon}^e + V_t + V_o, \quad (7)$$

$$\dot{V} = -\Delta v_{d\epsilon}^{eT} K_D \Delta v_{d\epsilon}^e, \quad (8)$$

Когда,  $h_\epsilon \neq 0$  можно найти другое асимптотически устойчивое равновесие, соответствующее ненулевому смещению желаемого звена  $\Sigma_d$  относительно конечного звена  $\Sigma_\epsilon$ . Новое равновесие является решением уравнения  $h_\Delta = h_\epsilon$ .

В случае, когда  $\Sigma_d$  является константой, (6) имеет смысл истинного механического импеданса по 6-DOF (6 степеней свободы), если  $K_M$  выбирается, как:

$$K_M = \begin{pmatrix} ml & 0 \\ 0 & M \end{pmatrix}, \quad (9)$$

Где,  $m$  – это масса и  $M$  – это тензор инерции  $3 \times 3$ , а  $K_D$  выбирается как блочно-диагональная матрица  $3 \times 3$ . Физически эквивалентная система представляет собой тело массой  $m$  с тензором инерции  $M$  относительно звена  $\Sigma_\epsilon$  прикрепленной к телу, под действием внешних сил  $h_\epsilon^e$ . Это тело соединено с виртуальным телом, прикрепленным к звену  $\Sigma_d$  через 6-DOF идеальную пружину с матрицей жесткости  $K_p$  и подвержено вязким силам и моментам с демпфированием  $K_D$ . Функция  $V$  в (7) представляет собой полную энергию тела: сумму кинетической и потенциальной энергии упругости. [5]

Блок-схема результирующего управления импедансом показана на рисунке 1. Управление импедансом вычисляет входное ускорение, как в (3) и (5), на основе обратной связи по положению и ориентации, а также измерений силы и момента  $\tau = J^T h_c$  с  $h_c$  в (1). Эта схема управления, при отсутствии взаимодействия, гарантирует, что конечное звено  $\Sigma_\epsilon$  асимптотически следует желаемому звену  $\Sigma_d$ . При наличии контакта с окружающей средой на конечное звено накладывается податливое динамическое поведение, в соответствии с импедансом (6) и контактными силами. В отличие от жесткого управления, требуется датчик силы/крутящего момента для измерения контактной силы и момента. [2,3]

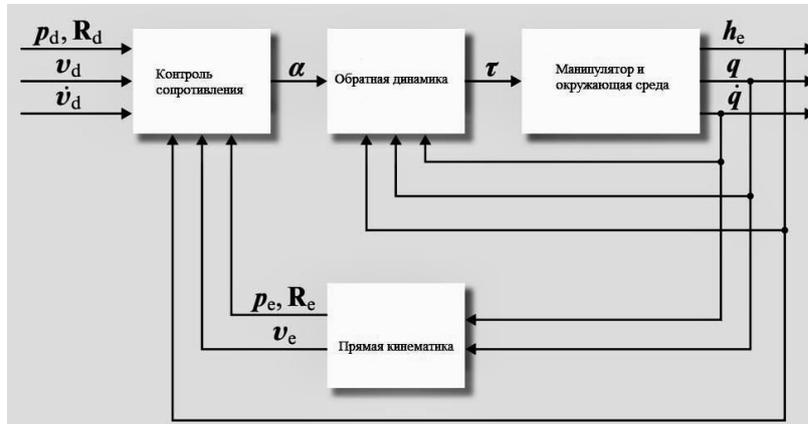


Рис. 1. Функциональная схема алгоритма управления импедансом

В случае отсутствия датчика силы/крутящего момента, измерение внешних сил  $h_c$  не может быть использовано в контроллере и, таким образом, поведение импеданса, не зависящее от конфигурации (6), больше не может быть получено. Однако желаемое поведение импеданса все еще может быть достигнуто с помощью закона управления:

$$h_c = \Lambda(q) \dot{v}_d + \Gamma(q, \dot{q}) v_d + K_D \Delta v_{d\epsilon} + h_\Delta + \eta(q), \quad (10)$$

Вместо (1),  $K_D$  – это положительно-определенная матрица  $6 \times 6$  и  $h_\Delta$  это упругие силы.

Полученное уравнение замкнутого цикла имеет вид:

$$\Lambda(q) \dot{v}_{d\epsilon} + (\Gamma(q, \dot{q}) + K_D) \Delta v_{d\epsilon} + h_\Delta = h_c, \quad (11)$$

Представленное уравнение импеданса, сохраняет фактическую матрицу инерции операционного пространства  $\Lambda(q)$  робота. В приведенном выше уравнении центробежные и Кориолисовы силы  $\Gamma(q, \dot{q}) \Delta v_{d\epsilon}$  необходимы для сохранения механических свойств инерции, зависящей от

конфигурации, и для доказательства устойчивости аналогично (6). Если  $\Sigma_d$  постоянна, то закон управления (10) сводится к жесткому закону управления.

Вопрос реализации

Выбор хороших параметров импеданса, обеспечивающих удовлетворительное поведение, является непростой задачей. На самом деле динамика системы с замкнутым контуром отличается в свободном пространстве и во время взаимодействия. Цели управления также различны, поскольку отслеживание движения и подавление возмущений должны быть обеспечены в свободном пространстве, во время взаимодействия, основной целью является достижение подходящего податливого динамического поведения для конечного звена. Заметим также, что динамика управляемой системы во время взаимодействия зависит от динамики окружающей среды [4].

Контроль допуска

Решение этого недостатка может быть найдено путем отделения управления движением от управления импедансом следующим образом. Управление движением целенаправленно сделано жестким. Чтобы улучшить подавление помех, нужно обеспечивать отслеживание желаемого положения и ориентации конечного звена. Другими словами, желаемое положение и ориентация вместе с измеренными контактными силами вводятся в уравнение импеданса, которое посредством подходящего интегрирования генерирует положение и ориентацию, которые будут использоваться в качестве эталона для управления движением.

Краткие выводы

В данной статье был рассмотрен метод управления импедансом.

#### Библиографический список

1. D.E. Whitney: Force feedback control of manipulator fine motions, ASME J. Dyn. Syst. Meas. Control 99, 91–97 (1977)
2. Bruno Siciliano, Oussama Khatib Springer Handbook of Robotics, 2016г. ISBN – 3319325523, 9783319325521 - С. 2228
3. Егоров, И. Н. Позиционно-силовое управление робототехническими и мехатронными устройствами : монография / И. Н. Егоров ; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 192 с. ISBN 978-5-9984-0116-9
4. N. Hogan: On the stability of manipulators performing contact tasks, IEEE J. Robotics Autom. 4, 677–686 (1988)
5. F. Caccavale, C. Natale, B. Siciliano, L. Villani: Six-DOF impedance control based on angle/axis representations, IEEE Trans. Robotics Autom. 15, 289–300 (1999)

УДК 681.5

#### ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА ТИПА «КВАДРОКОПТЕР»

*А.Ю. Бойко<sup>1</sup>, И.В. Кашиляков<sup>1</sup>, Д.А. Авдонин<sup>1</sup>, Н.Е. Талабанова<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Беспилотные летательные аппараты сегодня становятся неотъемлемой частью нашей жизни. Благодаря своим достоинствам, эти машины находят применение в бытовой, научно-исследовательской и других сферах жизни. В частности, наибольшее распространение получили летательные аппараты, построенные на вертолетной схеме – мультикоптеры. Малогабаритные и маневренные, они позволяют решать широкий спектр задач – разведка, доставка грузов, исследование местности, видео- и фотосъемка и многие другие. В данной статье рассматривается подтип мультикоптера – квадрокоптер с четырьмя несущими винтами. Для такого устройства нужна достаточно сложная система управления, которая позволяла бы удерживать квадрокоптер в заданном положении в течении всего времени полета [1].

Для дронов типичной схемой конструкции является схема «X» (рис.1), так как рама такой формы не попадает в кадр при съемке, а также у нее более высокая устойчивость к авариям. Раму делают из прочного и при этом легкого карбона, однако этот материал является проводником электрического тока, поэтому моторы и авионику дрона следует изолировать от корпуса.

В качестве привода двигателя используется бесколлекторный двигатель постоянного тока (БДПТ) вместе с регулятором скорости или, как принято его называть, ESC (Electronic Speed Controller). Ядром квадрокоптера является полетный контроллер, который осуществляет управление приводами и обработку данных с датчиков. Информационная составляющая дрона состоит из гироскопов, акселерометров, барометров, модуля GPS/ГЛОНАСС или другой навигационной системы, а также из камеры, тепловизора, приемника пульта и передатчика видеосигнала.

На рис. 2 изображен пример гоночного дрона. Для таких машин важны легкость конструкции и хорошая аэродинамика для достижения скоростей выше 100 км/ч. Рекордсменом в данном сегменте является DPL Racer X, разработанный командой из Нью Йорка во главе с директором Drone Racing League Райаном Гури. Данный аппарат может развивать скорость до 263,1 км/ч, что является рекордом Гиннеса, а на некоторых участках гоночной трассы дрон разогнался до 289,04 км/ч [6].

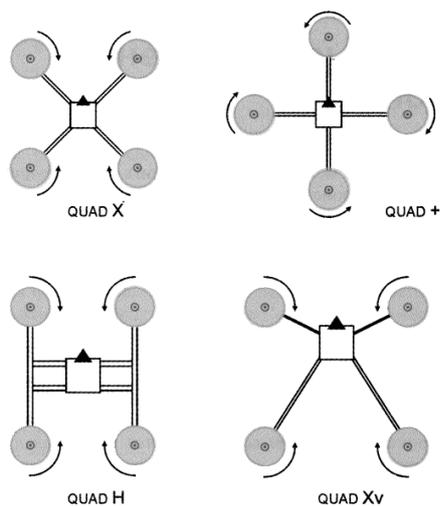


Рис. 1. Варианты конструкции рамы квадрокоптера

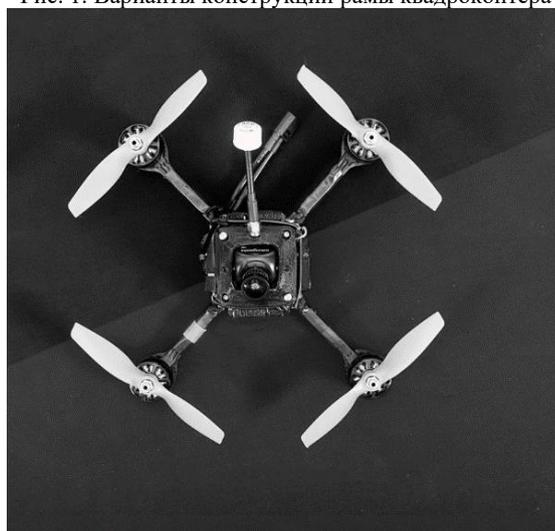


Рис. 2. Пример гоночного квадрокоптера

Грузоподъемность квадрокоптеров среднего размера – обычно около 500 г., позволяет поднять в воздух небольшую фото или видеокамеру. Наиболее популярными являются экшн-камера, в более дешёвых моделях, и зеркальные камеры в профессиональных. Для таких задач важна динамическая стабилизация, чтобы снимки были высокого качества. Применяются два типа стабилизации камеры: стабилизация самого коптера с помощью системы управления и механический стабилизационный подвес. На рис. 3 представлен пример квадрокоптера для видеосъемок.



Рис. 3. Пример квадрокоптера для съемок

На рис. 4 изображен один из известных представителей многоцелевых квадрокоптеров – DJI Matrice. Это промышленный дрон, который применяется в таких сферах как поисково-спасательные работы и пожаротушение, строительство, инспекция ЛЭП, трубопроводов и скважин, съёмка. Устройство считается одним из самых портативных. Также одно из его достоинств – возможность работать в условиях повышенной влажности благодаря степени защиты IP45, а также плохой видимости за счет наличия инфракрасных датчиков. Особенностью является аккумулятор с возможностью горячей замены, а также дублированная система датчиков и АКБ. Диапазон рабочих температур – от -20 градусов до 50 градусов. Ещё одной особенностью является система безопасности: помимо дублирования датчиков, в случае неисправности инерциального измерительного блока (IMU) квадрокоптер не взлетает, а при выходе его из строя через 0,2 секунды включается резервный. Кроме того, DJI Matrice поддерживает одновременное управление с двух

пультов, что особенно полезно при обучении. Также используется технология DJI AirSense, которая позволяет оператору быть в курсе внешней ситуации в небе. В случае выхода из строя обоих компасов навигационная система RTK берет на себя функции комплекса, определяя стороны света по взаимному положению навигационных антенн [2, 3].



Рис. 4. DJI Matrice 30t

Летательные аппараты в целом используют управление, состоящее из трех контуров: планирование, наведение и само управление летательным аппаратом. В контуре планирования происходит формирование маршрута полета. Контур наведения следит за тем, чтобы аппарат не отклонялся от заданной траектории. Входными данными для этого контура является ориентация дрона. Последний контур контролирует стабильность аппарата при отработке заданных траектории [4].

Принцип действия квадрокоптера заключается в том, что тяга создается винтами, расположенными на диагональных лучах рамы. Если винты вращаются синхронно с одной скоростью, то будет меняться только высота машины. В противном случае, квадрокоптер отклонится от горизонтального положения и будет лететь в сторону отклонения, что позволяет ему двигаться в произвольном управлении [1].

В [4] приведена типовая структурная схема системы управления дроном, состоящая из планировщика траектории, регулятора позиции, планировщика ориентации по углам, регулятора ориентации по углам и регулятора моторов с учетом динамики самого объекта управления (рис. 5).

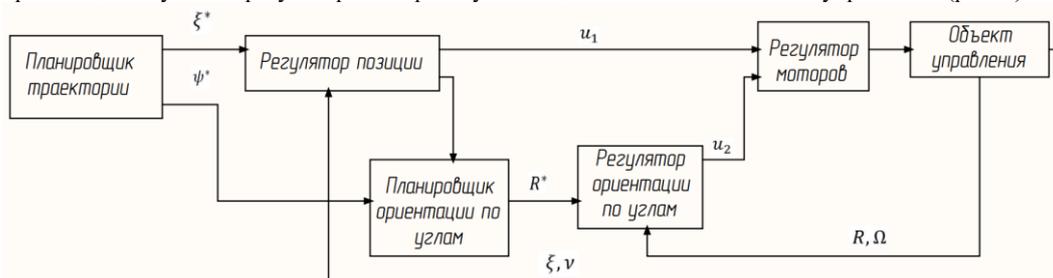


Рис. 5. Общая структурная схема системы управления (где  $\xi^*$  - желаемое положение дрона,  $R$  - матрица поворота дрона,  $R^*$  - желаемая матрица поворота,  $\psi^*$  - желаемый угол рысканья,  $\nu$  - линейная скорость,  $\Omega$  - угловая скорость,  $u_1$  - сигнал управления по линейному положению,  $u_2$  - сигнал управления по угловому положению)

Планирование траектории может реализовываться как на самом аппарате, так и при помощи аппаратуры управления у оператора квадрокоптера. Остальные элементы из схемы на рис. 5, кроме регулятора моторов, обычно реализуются на полетном контроллере дрона, которая представляет собой плату управления с микроконтроллером. В большинстве моделей контроллеров, предназначенных для любительских дронов, используются микроконтроллеры фирмы STM из серии F1, F3, F4 и F7. Последние две на данный момент получают все большее распространение из-за их высокой вычислительной мощности [5]. Также на полетном контроллере располагается набор интегральных МЭМС – модулей гироскопа, акселерометра, барометра и магнитометра для определения положения дрона в пространстве, а также воздействующих на него угловых ускорении, атмосферного давления и направления силовых линий магнитного поля [1].

В более профессиональных моделях квадрокоптеров полетный контроллер может представлять из себя достаточно мощный микропроцессорный модуль, пригодный для реализации на нем алгоритмов глубокого обучения и распознавания объектов при помощи систем технического зрения. Примером является дрон от компании Intelligent Flying Machines (IFM), который был собран на базе модуля NVIDIA Jetson (рис. 6). Его особенностью является возможность автономного полета внутри помещения с точностью перемещения до 1 см, когда квадрокоптер ориентируется при помощи камер. Дрон уже применяется на складах для инвентаризации, в частности, для сканирования специальных меток на коробках и сравнения данных с данными базы складского учета. При обнаружении несоответствия дрон сообщает об этом, и работники устраняют ошибку [7].



Рис. 6. Дрон IFM

Как уже было отмечено, для регуляции скорости БДПТ применяют модуль ESC. Он представляет из себя модуль управления приводом и состоит из транзисторных полумостов на основе MOSFET – транзисторов и драйверов затворов, микроконтроллера, датчика тока и регулятора напряжения [8]. ESC управляет вращением поля статора мотора путем переключения фазных обмоток статора. Зачастую для определения положения угла ротора используются датчики, но это снижает надежность системы, поэтому в модулях управления БДПТ используется технология бездатчикового управления, когда при помощи аналого-цифровых преобразователей микроконтроллер получает значение напряжения в неподключенной фазе ротора и исходя из этих данных, формирует сигналы управления [9]. Обычно для общения ESC с полетным контроллером применяют такие протоколы как Dshot1200, Dshot600, Oneshot125, Multishot и другие [8].

Для того чтобы компенсировать внешние воздействия и улучшить управление квадрокоптером в программе полетного контроллера заложены регуляторы. Прежде всего стабилизируется положение дрона по горизонтали и по курсу. Традиционно для любительских дронов используется ПИД – регулятор, который настраивается отдельно для углов тангажа, крена и рысканья. Основным достоинством такого регулятора является относительная простота реализации. Однако, необходимость ручной настройки параметров является существенным недостатком. В более профессиональных решениях применяются такие регуляторы как LQR, нейросетевой и другие. В [10] приведено сравнение LQR и ПИД – регулятора для квадрокоптера, по итогам которого первый показывает себя как наиболее оптимальный регулятор с меньшим, чем у ПИД, перерегулированием и большей надежностью и точностью. Однако, более сложные алгоритмы требуют большей вычислительной мощности, а также подробной информации о параметрах системы.

Подводя итоги, прежде всего следует отметить, что система управления квадрокоптера наравне с задачей позиционирования должна успешно решать задачу ориентации и стабилизации объекта управления в пространстве, причем обе эти задачи одинаково важны для подобной системы. Современные решения в данной сфере позволяют, как и любителям, так и профессионалам реализовывать и улучшать свои идеи. Также следует отметить, что в настоящее время идет активная разработка автономных систем управления БПЛА, способных выполнять задачи без оператора, что позволит расширить спектр применения квадрокоптеров и автоматизировать многие промышленные и бытовые процессы.

#### Библиографический список

1. Яценков, В. С. Твой первый квадрокоптер: теория и практика / В. С. Яценков. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2016. — 256 с. — Текст : непосредственный.
2. DJI Matrice 30T: Обзор, характеристики, плюсы и минусы. — Текст : электронный // Dronnews.ru : [сайт]. — URL: <https://dronnews.ru/obzory/dji/dji-matrice-30t.html> (дата обращения: 05.02.2023).
3. Обзор промышленного квадрокоптера DJI Matrice 300 RTK. — Текст : электронный // Хабр : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/post/503290/> (дата обращения: 06.02.2023).
4. Bruno, Siciliano Springer Handbook of Robotics / Siciliano Bruno, Khatib Oussama. — 2-е изд. — Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2016. — 2154 с. — Текст : непосредственный.
5. Полетный контроллер, для чего он нужен - Все о квадрокоптерах. — Текст : электронный // PROFPV.RU : [сайт]. — URL: <https://profpv.ru/poletnyj-kontroller/> (дата обращения: 05.02.2023).
6. Самые быстрые квадрокоптеры в мире | Рейтинг. — Текст : электронный // Новости из мира БПЛА – Всё о квадрокоптерах и дронах : [сайт]. — URL: <https://mykvadrocopter.ru/top-gonochnyh-kvadrokopteroev/> (дата обращения: 05.02.2023).
7. NVIDIA Jetson: примеры использования – дроны Intelligent Flying Machines (IFM). — Текст : электронный // YouTube : [сайт]. — URL: <https://www.youtube.com/watch?v=7bC3078SA50&t=1s> (дата обращения: 06.02.2023).
8. ESC регуляторы оборотов, что это, как они работают и как выбрать - Все о квадрокоптерах. — Текст : электронный // PROFPV.RU : [сайт]. — URL: <https://profpv.ru/esc-regulyatory-oborotov-cto-eh-to-kak-oni-t/> (дата обращения: 06.02.2023).
9. Система бездатчикового управления вентильным приводом / В. О. Гончаров, Е. Б. Коротков, Н. С. Слободзян, А. В. Четвертухин // Молодежь. Техника. Космос : труды X Общероссийской молодежной научно-

технической конференции, Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2018. – С. 212-217. – EDN XVKSZV.

10. A Comparative Study Between a Classical and Optimal Controller for a Quadrotor. — Текст : электронный // Papers With Code : [сайт]. — URL: <https://paperswithcode.com/paper/a-comparative-study-between-a-classical-and> (дата обращения: 06.02.2023).

УДК 621.865.8

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ КОПИРУЮЩИХ МАНИПУЛЯТОРОВ

*Н.С. Слободзян<sup>1</sup>, В.Д. Грагерт<sup>1</sup>, Ю.А. Жуков<sup>1</sup>, М.И. Надежин<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Прогресс во многих областях отечественной науки и техники на сегодняшний день обуславливается все более широким применением средств автоматизации, в особенности робототехнических и мехатронных систем. В таких сферах, как атомная и химическая промышленность, зачастую требуется полное исключение непосредственного физического контакта человека с объектами исследований, для чего с середины прошлого века применяют специализированные устройства — копирующие манипуляторы.

В общем случае копирующий манипулятор (КМ) — это устройство, обеспечивающее имитацию функций руки человека. При этом для качественного выполнения операций КМ должен иметь систему передачи положения и усилия двустороннего действия, от оператора к объекту манипулирования и обратно. Различают две основные группы КМ в зависимости от типа связи между задающим и исполнительным механизмами: манипуляторы с механической связью и сервоманипуляторы [1].

Манипуляторы с механической связью (ММС) исторически стали первыми устройствами, которые начали применяться в экстремальных условиях для исключения контакта человека с рабочей средой. В таких манипуляторах задающий и исполнительный механизмы связаны исключительно механически с помощью тросовых, ленточных, зубчатых и др. передач с помощью систем блоков, шкивов и противовесов. При таких достоинствах ММС, как высокая надежность и простота устройства, указанные манипуляторы имеют ограничения по развиваемым усилиям (лимитированные силой руки оператора), а также точностным характеристикам позиционирования и уровню двустороннего очувствления, связанным с люфтами и упругостями передач. Примерами манипуляторов с механической связью являются советские М-22, М-28, М-55 и российские ККМ/УЗГА 45/2 [2] и др.

Сервоманипуляторы — это КМ, в которых задающий и исполнительный механизмы расположены дистанционно и связаны обратимыми следящими системами управления. В большинстве случаев сервоманипуляторы строятся на основе электромеханических исполнительных приводов. Применение таких манипуляторов позволяет исключить основные недостатки, присущие ММС, но конструкция сервоманипуляторов является более сложной. Примерами сервоманипуляторов являются системы МЭМ-5, МЭМ-10 [3], GM1000 [4] (рис. 1). Существуют также комбинированные ММС, в которых одна или несколько степеней подвижности дополнены с несколькими электромеханическими приводами, например А100 [5] (рис. 1), ММК-25 [6] и др.



Рис. 1. Копирующий манипулятор GM-1000 (слева), копирующий манипулятор А-100 (справа)

Структурно сервоманипуляторы состоят из трех основных устройств: задающее устройство, исполнительное устройство и система управления. Каждое из упомянутых устройств имеет свои особенности и достойно отдельной исследовательской работы, в данной статье обзорно будут рассмотрены возможные варианты построения систем управления двустороннего действия.

При большинстве выполняемых операций в атомной промышленности полное исключение человека невозможно в связи со сложностью и непредсказуемостью действий в ходе исследований. Следовательно, возникает задача проектирования системы управления, обеспечивающей быструю и точную передачу не только управляющих воздействий от оператора к исполнительному устройству, но и информацию в обратном направлении для создания условий т.н. «прозрачного» управления. Такие системы с передачей воздействий от исполнительного устройства к оператору и обратно называются системами двустороннего действия (ДСД)

Информационные потоки типовой системы двустороннего действия представлены на рис. 2. Оператор воздействует на задающее устройство, формируя перемещения, скорости и усилия, являющиеся управляющими воздействиями для исполнительного устройства. Исполнительное устройство, перемещаясь в пространстве, подвергается воздействию внешней среды и объекта манипулирования, информация о которых, в свою очередь, передается на задающее устройство. Таким образом, для воспроизведения усилий и моментов на стороне оператора также требуется расположение исполнительных приводов.

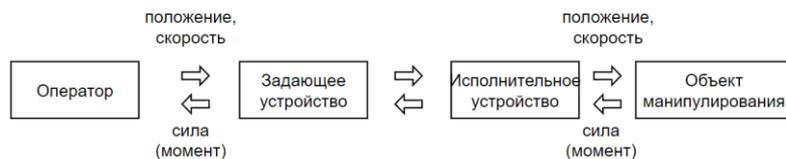


Рис. 2. Информационные потоки типовой системы двустороннего действия

Возможны два варианта построения копирующего манипулятора: с полным кинематическим подобием задающего и исполнительного устройств и с различающимися кинематическими схемами.

Примером копирующего манипулятора с кинематически подобными задающим и исполнительным устройствами является электромеханический копирующий манипулятор МЭМ-10. Система ДСД такого манипулятора достаточно проста и строится на основе попарно включенных сельсинов, обеспечивающих по-отдельности перемещение каждого из сочленений. При наличии нагрузки на исполнительном звене в виде момента  $M$  и движущемся или неподвижном звене управления сельсин на стороне нагрузки развивает момент, а сельсин на стороне оператора — равный ему, но противоположный по знаку синхронизирующий момент  $M_c$ . В результате оператор ощущает внешнюю нагрузку от объекта манипулирования не только при движении, но и при неподвижном положении схвата манипулятора. Динамика таких систем весьма сложна, уравнения движения составляются и исследуются с помощью чисто механического аналога. Недостатком такого типа системы ДСД является низкая динамика, ограниченная постоянными времени сельсинных пар, а также недостаточная компенсация сил трения, тяжести и инерции, связанных с механизмами самого манипулятора. Кроме того, МЭМ-10 рабочая зона исполнительного устройства жестко связана с рабочей зоной задающего устройства и ограничена возможностями перемещения руки неподвижного оператора.

Общим случаем для построения систем ДСД является копирующий манипулятор с различающимися кинематическими схемами задающего и исполнительного устройств. Зачастую КМ такого типа позволяет расширить рабочую зону и оптимизировать технико-экономические показатели манипулятора и системы управления. Однако, для управления таким КМ требуется постоянный пересчет координат для задающего и исполнительного устройств (ЗУ и ИУ). Основное управление реализуется в координатах положения, скорости, усилия ручки задающего и схвата исполнительного устройств, а непосредственно силовые воздействия формируются в исполнительных приводах ЗУ и ИУ.

Рассмотрим основные варианты построения систем ДСД для общего случая копирующего манипулятора с различающимися кинематическими схемами ЗУ и ИУ [7].

**Система ДСД типа «положение-положение» (ДСД ПП, англ. *position-position control, PPC*)** обеспечивает управление по разности положения задающего и исполнительного устройств. Структура ПП ДСД показана на рис. 3.

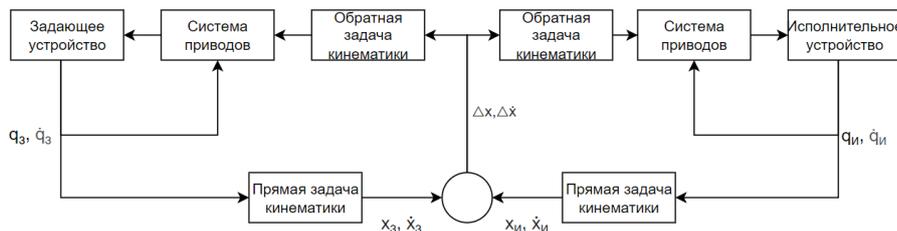


Рис. 3. Структура системы ДСД типа «положение-положение»

В системе ДСД ПП человек-оператор, воздействуя на рукоятку задающего устройства, фактически формирует перемещения в сочленениях (приводах) ЗУ. Угловые или линейные перемещения приводов  $q_3$ , в зависимости от их типа в конкретном ЗУ, называются обобщенными координатами. Для обеспечения высокого качества управления в большинстве случаев также используется информация об обобщенных скоростях  $\dot{q}_3$ . Указанные обобщенные параметры пересчитываются путем решения прямой задачи кинематики ЗУ в абсолютную систему координат  $x_3$  и скоростей  $\dot{x}_3$ , связанную с рукояткой. Аналогично для приводов исполнительного устройства измеряются  $q_{и}, \dot{q}_{и}$ , а затем для схвата ИУ вычисляются  $x_{и}$  и  $\dot{x}_{и}$ .

При взаимодействии оператора с ЗУ и объектов манипулирования и внешней среды с ИУ появляется рассогласование между положением и скоростью движения схвата исполнительного и рукоятки задающего устройств. Затем, путем решения обратных задач кинематики, вычисляются уставки обобщенных координат и скоростей для ЗУ и ИУ. При этом косвенно обеспечивается прямое и обратное воспроизведение усилий между человеком-оператором и объектами манипулирования.

Достоинством системы ДСД ПП является сравнительная простота её реализации, минимальное количество датчиков ЗУ и ИУ, а также в общем случае лучшая устойчивость замкнутой системы управления. Однако при этом точность воспроизведения усилий на ЗУ и ИУ не высока, что связано с неизбежной ошибкой приводов задающего и исполнительного устройств. Для устранения указанного недостатка применяют иной способ построения системы двустороннего действия.

**Система ДСД типа «положение-усилие» (ДСД ПУ, англ. *position-force control, PFC*)** обеспечивает одновременный контроль положения и усилий и подразумевает измерение усилий на ИУ (рис. 4). Управляющее воздействие для ИУ формируется аналогично рассмотренной ранее системы ДСД ПП по рассогласованию положений задающего и исполнительного устройств. Отличие заключается в формировании задающего воздействия от ИУ к ЗУ. Сигналы управления приводами ЗУ вычисляются путем пересчета усилий  $F_{и}$ , измеренных датчиками линейных усилий или крутящих моментов, расположенных на исполнительном устройстве.

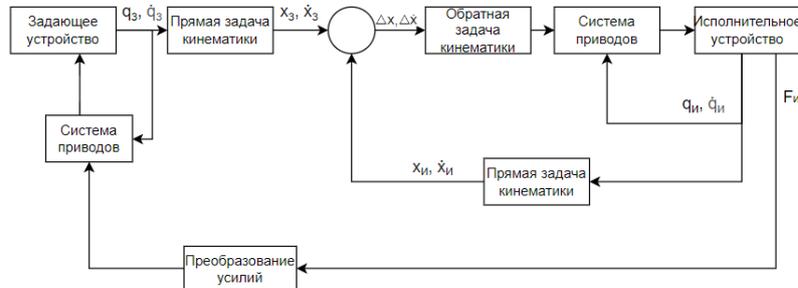


Рис. 4. Структура системы ДСД типа «положение-усилие»

Система, показанная на рис. 4, обеспечивает более высокую точность воспроизведения положения по сравнению с ДСД ПП, однако при реализации цифровой системы управления из-за квантования по времени сигналов обратной связи, а также неперенного наличия сил трения, тяжести и инерции, усилие воспроизводится с невысокой точностью. На рис. 5 показана структура системы ДСД ПУ с дополнительным каналом измерения усилий  $F_3$  на ЗУ.

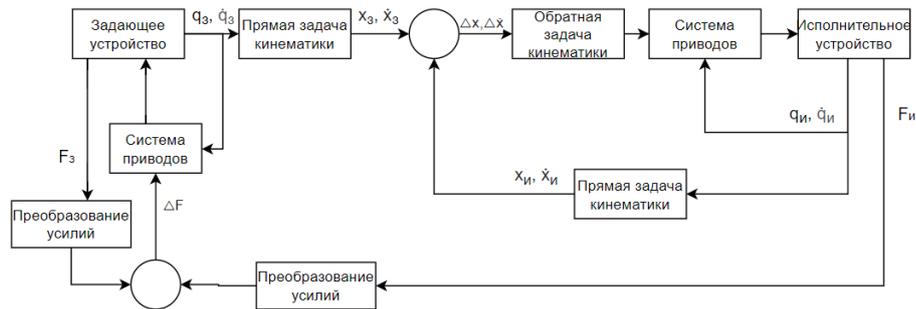


Рис. 5. Структура системы ДСД ПУ с дополнительным каналом измерения усилий на ЗУ

Недостаток системы ДСД ПУ заключается в том, что её устойчивость существенно зависит от временных задержек в каналах управления. При контакте исполнительного устройства с жестким неподатливым объектом система управления также может потерять устойчивость. Кроме того, структура, показанная на рис. 5, подразумевает наличие датчиков положения и усилий как на ведущем, так и на ведомом устройствах.

**Система ДСД с контролем общего импеданса (ДСД КОИ, англ. *generalized impedance control, GIC*)** подразумевает представление копирующего манипулятора в виде двухпортовой модели. Двухпортовая модель часто используется для систем, в которых энергия может передаваться в обоих направлениях. Очевидно, что копирующий манипулятор также может быть представлен как такая двунаправленная система (рис. 6).

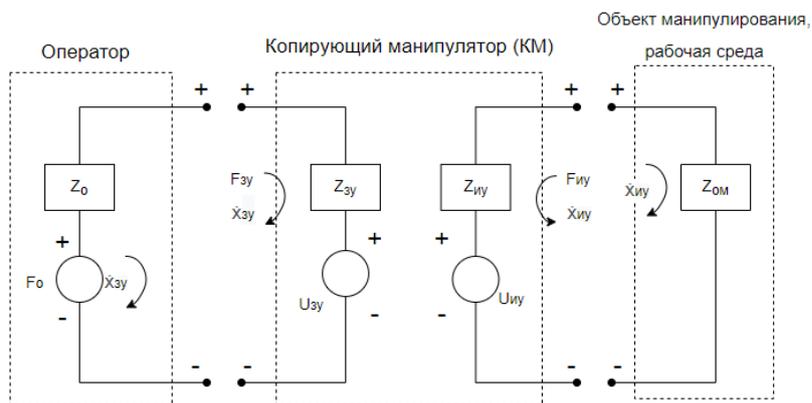


Рис. 6. Модель двухпортовой системы копирующего манипулятора

На рис. 6 интерфейс между оператором и задающим устройством показан как входной порт КМ, а интерфейс между исполнителем устройством и объектом манипулирования показан как выходной порт.

Система ДСД КОИ строится по принципу управления механическим импедансом КМ, т.е. копирующий манипулятор рассматривается как сложная система со свойствами *пружина – демпфер* в ЗУ и ИУ. При этом обеспечивается регулирование по произвольному закону и по произвольным координатам жёсткостей и коэффициентов демпфирования. Таким образом, формируется канал обратной связи, который передает желаемую силу в обоих направлениях между оператором и объектом манипулирования.

На рис. 7 показана система двустороннего действия с контролем общего импеданса КМ. В таком представлении для реализации ДСД КОИ требуются точные модели импедансов задающего  $Z_{зу}$  и исполнительного устройств  $Z_{иу}$ , оператора  $Z_о$ , объекта манипулирования и рабочей среды  $Z_{ом}$ . Сигналы  $U_{зу}$  и  $U_{иу}$  являются управляющими для приводов ЗУ и ИУ. В общем случае система ДСД КОИ обеспечивает более высокую точность воспроизведения положения и усилий и имеет более высокую устойчивость по сравнению с системами ДСД ПП и ДСД ПУ.

Отметим, что процесс работы системы ДСД КОИ по сути эквивалентен поведению человека, когда для выполнения необходимых манипуляций осуществляется регулировка импеданса собственной руки нейронной системой и мышцами.

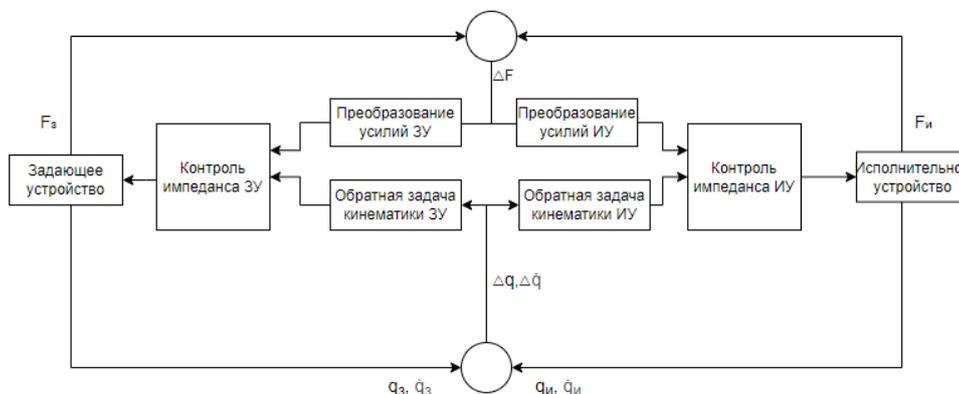


Рис. 7. Структура системы ДСД с контролем общего импеданса

Подытоживая рассмотрение методов построения систем двустороннего действия, отметим, что качество воспроизведения усилий от исполнительного устройства к задающему прямо пропорционально сложности реализации системы ДСД. С использованием современных технологий разработать качественную систему двустороннего действия возможно, однако необходимо всесторонне оценивать необходимость построения такой системы в соответствии с затратами на её изготовление.

### Библиографический список

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 640 с.
2. КОПИРУЮЩИЙ МАНИПУЛЯТОР ККМ/УЗГА 45/2 (АНАЛОГ М22) [Электронный ресурс] // Уральский завод газоочистительной аппаратуры; URL: <https://yzga.ru/products/manipulyatornaya-tehnika/kopirujushhij-manipulyator-m-22.html> (дата обращения: 06.04.2022).
3. КОПИРУЮЩИЙ МАНИПУЛЯТОР МЭМ-10 [Электронный ресурс] // Уральский завод газоочистительной аппаратуры; URL: <https://yzga.ru/products/manipulyatornaya-tehnika/kopiruyushchiy-manipulyator-mem-10.html> (дата обращения: 06.04.2022).

4. КОПИРУЮЩИЙ МАНИПУЛЯТОР GM1000 [Электронный ресурс] // Уральский завод газоочистительной аппаратуры; URL: [https://yzga.ru/products/manipulyatornaya-tehnika/manipulyatornaya-tehnika\\_189.html](https://yzga.ru/products/manipulyatornaya-tehnika/manipulyatornaya-tehnika_189.html) (дата обращения: 06.04.2022).
5. Копирующая манипуляторная система A100S [Электронный ресурс] // Роник – Ядерные и Медицинские Технологии; URL: <http://www.ronik.ru/catalog/manipulyatornye-sistemy/a100s/> (дата обращения: 06.04.2022).
6. Копирующий механический манипулятор ММК-25 [Электронный ресурс] Акционерное Общество «Федеральный научно-производственный центр «Производственное объединение «Старт» имени М.В.Проценко»; URL: <https://www.startatom.ru/production/produksiya-dlya-atomnoy-energetiki/manipulyatornaya-tehnika/> (дата обращения: 06.04.2022).
7. Kim K. H. et al. State of the art in design and control of master-slave manipulators. – Korea Atomic Energy Research Institute, 1998. – №. KAERI/AR--488/98.

УДК 621.86.062

## ЗАХВАТНОЕ УСТРОЙСТВО КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА

*Э.Е. Кузьмин<sup>1</sup>, А.А. Минина<sup>1</sup>, Э.В. Голубев<sup>1</sup>, В.П. Савков<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

### Введение

Применение роботов в различных сферах жизни человечества является актуальным направлением развития. В условиях, когда человек подвергается риску нанесения увечий и травм, интеграция роботов является эффективным и разумным решением [1,2]. Так или иначе достижение полной автоматизации рабочего места с использованием робота в настоящее время не представляется возможным. Это связано со многими ограничениями такими, как радиус рабочего пространства робота, его функциональные возможности, перенастройка и перепрограммирование для новых задач, неоднородность внешней среды и ограниченность энергоресурсов. В то же время ведущим направлением достижения большей эффективности роботов является их применение в составе групп (сборочных линий).

Групповое применение роботов расширяет круг выполняемых ими задач, повышает функциональные возможности за счет непрерывного и последовательного выполнения технологических операций для каждого робота, входящего в состав группы. Такое взаимодействие называют коллаборативным, а класс роботов – коллаборативными роботами (коботами). Коллаборативные роботы должны работать в той же рабочей области, что и человек, и, следовательно, быть безопасными для человека. Должны быть достаточно легкими в управлении, ремонте, обслуживании и не требующими специальных знаний от человека-оператора. Данный тип роботов, взаимодействуя в едином рабочем пространстве для выполнения единой глобальной целевой задачи, формирует коллаборативную робототехническую систему (КРТС).

Существует множество направлений использования совместно с человеком во всех отраслях промышленности [3]. Они включают в себя сборку, обработку, покраску, обслуживание техники и оборудования, погрузочно-разгрузочные работы, сварку, контроль качества и многое другое. Реализуются все эти направления использования коботов во многом за счет возможности быстрой смены рабочего органа (РО). Многомодульные фланцевые крепления позволяют быстро менять РО и приступать к выполнению технологических операций. Таким образом, актуальной является научная проблема эффективного взаимодействия КРТС в едином рабочем пространстве с человеком, где действия роботов автономны в условиях сложной и динамически меняющейся среды. Поэтому одним из важных направлений решения этой проблемы является разработка захватных устройств коботов. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

**Манипулирование объектами** – это пространственное перемещение, ориентирование, базирование, установка, вставление и другие действия с целью приведения в положение, необходимое для проведения над ними (или с их помощью) технологических операций и переходов.

Захватные устройства коллаборативных роботов служат для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования, переноса из точки А в точку Б. К объектам манипулирования относят предметы производства и технологическую оснастку. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму, массу и обладать разнообразными физическими свойствами. ЗУ можно отнести к числу сменных элементов. Расширить круг выполняемых операций позволяют сменные рабочие элементы (губки, присоски и т.п.). При необходимости коллаборативных роботов оснащают специальными ЗУ, предназначенными для выполнения конкретных, нестандартных операций.

### Технические требования к конструкции захватных устройств

К захватным устройствам коллаборативных роботов предъявляются следующие требования:

1. Прочность ЗУ. Оно должно выдерживать вес перемещаемого груза, особое внимание должно быть уделено надежности крепления ЗУ к звену робота;
2. Надежность захвата/удержания;
3. Стабильность и точность позиционирования объектов управления;
4. Недопустимость повреждений или разрушения объектов манипулятора;
5. Оснащенность информационными датчиками о состоянии внешней среды (для поиска рабочего тела, обеспечения безаварийной и безопасной работы);
6. Упругость (способность обеспечить плотный обхват поверхности объекта неправильной формы, способность захватывать объекты, не точно ориентированные относительно захвата);

7. Податливость (податливость ЗУ конечного звена манипулятора позволяет уменьшить влияние смещения предмета производства (ПП) при зажиме его в базирующем приспособлении (сборочного стола, станка и т.п.), вызванное погрешностью позиционирования робота);

8. Широкий диапазон массы и формы перемещаемого объекта;

9. Обеспечение захвата деталей, расположенных в непосредственной близости от манипулятора;

10. Универсальность ЗУ (выражается в легкости и скорости (автоматизированной/автоматической) смены ЗУ);

11. Возможность изменения усилия удержания объекта манипулирования (в том числе и в автоматическом режиме).

Перспективным направлением развития ЗУ является разработка конструкции, способной захватывать и базировать неориентированно-расположенные объекты.

### Классификация захватных устройств

Общим понятием для захватных устройств всех видов является понятие «рабочий элемент». Рабочим элементом называется элемент захватного устройства, вступающий непосредственно в контакт с манипулируемым объектом.

**Механическими** называются захватные устройства, в которых удерживание объекта осуществляется под действием реакций в точках (зонах) контакта с рабочими элементами (губок), создаваемых двигателем или собственным весом объекта.

**Вакуумными** называются захватные устройства, удерживающие объект с помощью разрежения воздуха в замкнутой полости рабочего элемента — присоски.

**Магнитными** называются захватные устройства, удерживающие объект при действии магнитных сил, создаваемых постоянным магнитом или электромагнитом.

Более подробная классификация захватных устройств приведена на рисунке 1 [4].

Узел крепления захватного устройства к руке манипулятора называется механическим интерфейсом. С основанием захватного устройства связывается прямоугольная декартова система координат захватного устройства с началом, расположенным в условном геометрическом центре захватного устройства или удерживаемого объекта. В проекциях на оси этой системы координат задаются основные геометрические, точностные, статические и динамические силовые характеристики захватного устройства.

**Основными техническими характеристиками** захватных устройств всех типов являются: номинальная грузоподъемность, усилие захватывания, предельно допустимые значения приложенных сил и моментов по осям системы координат захватного устройства, время захватывания и время отпускания, масса, габаритные размеры, показатели надежности [5].

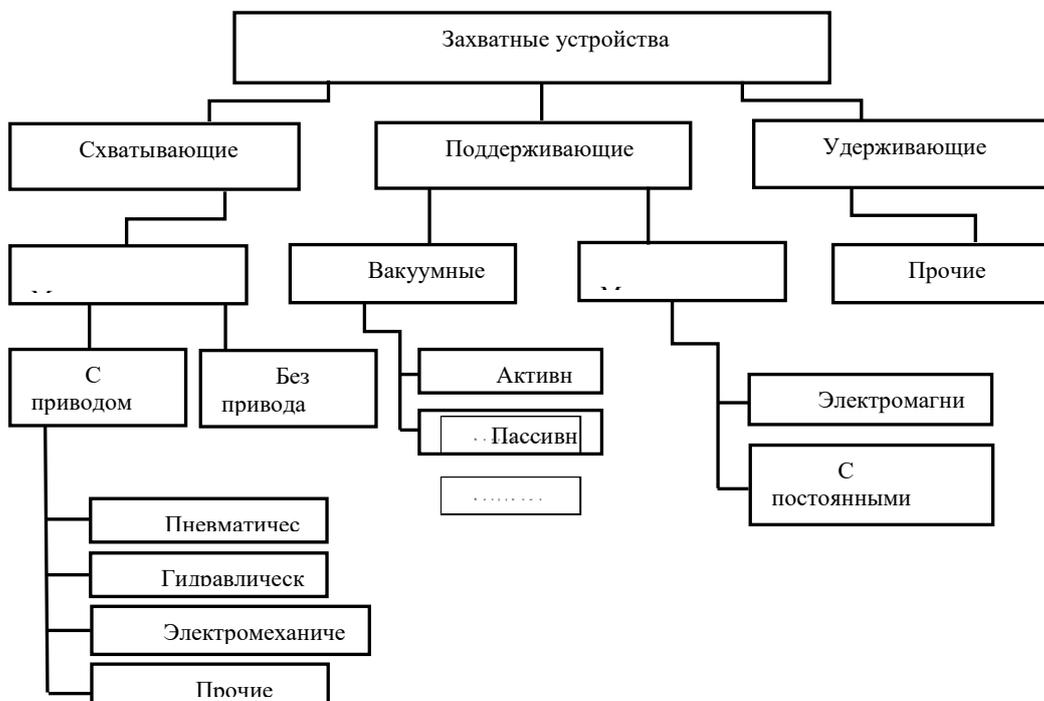


Рисунок 1 – Классификация захватных устройств

При выборе захватного устройства для коллаборативного робота встал выбор между механическим, вакуумным и магнитным классами ЗУ. Было принято решение разработки механического ЗУ, представляющего многочисленных класс конструкций. Конструкция будет оснащена приводным электродвигателем, который приводит в движение губки захвата. У данного

решения есть множество преимуществ. Во-первых, электрические захваты довольно широко используются совместно с роботами и находят применение в приложениях сборки и для обслуживания станочного оборудования. Во-вторых, отличительной особенностью таких захватов является точность управления. В-третьих, большинство электрических захватов оснащены микропроцессорной системой управления, которая позволяет изменять силу и скорость движения пальцев, оснащаются датчиками усилий. В сравнение с пневматическими ЗУ обеспечивают меньшее усилие захвата, однако эти недостатки электрических захватов компенсируются широкими возможностями управления скоростью, силой и положением исполнительных органов.

Клещевой тип конструкции разрабатываемого устройства дает возможность широкого регулирования хода губок, удобство и эффективность в эксплуатации, быстрый захват и освобождение груза, используется для подъема/перемещения объектов различной формы, размеров, изготовленных из различных материалов.

Зажимные захватные устройства клещевого типа делят на следующие виды:

1. Шарнирно-рычажные передачи;
2. Реечно-зубчатые передачи;
3. Комбинированные передачи.

Часто используется реечно-зубчатая передача, поскольку по сравнению с рычажными они имеют меньшие габаритные размеры, обеспечивают большее раскрытие губок. Применение данного типа ЗУ обеспечивает равномерное движение губок ЗУ. Используется преобразование электрической энергии приводного электродвигателя в поступательное движение губок. Передача крутящего момента от двигателя к рейкам производится с помощью зубчатого передаточного механизма. По сравнению с другими видами передач зубчатое зацепление имеет высокую технологичность, постоянство передаточного отношения, высокую нагрузочную способность, высокий КПД (до 0,97-0,99 для одной пары зубчатых колес), малые габаритные размеры по сравнению с другими видами передач при равных условиях, большая надежность в работе, простота обслуживания.

Рассмотрим конструкцию и принцип работы пневматического захватного устройства на примере MPG-plus от компании SCHUNK (рисунок 2, а) [6]. Параллельный захват с гладкими роликовыми направляющими губок, что позволяет уйти от частой замены смазывающей жидкости и её утечек из системы, получить плавный ход губок с низким трением. За счет малого веса ЗУ обеспечивает большее быстрдействие системы. Конструкция захватного устройства MPG-plus в разрезе приведена на рисунке 2, б. Такой захват предназначен для перемещения (сборки) деталей в различных отраслях промышленности.

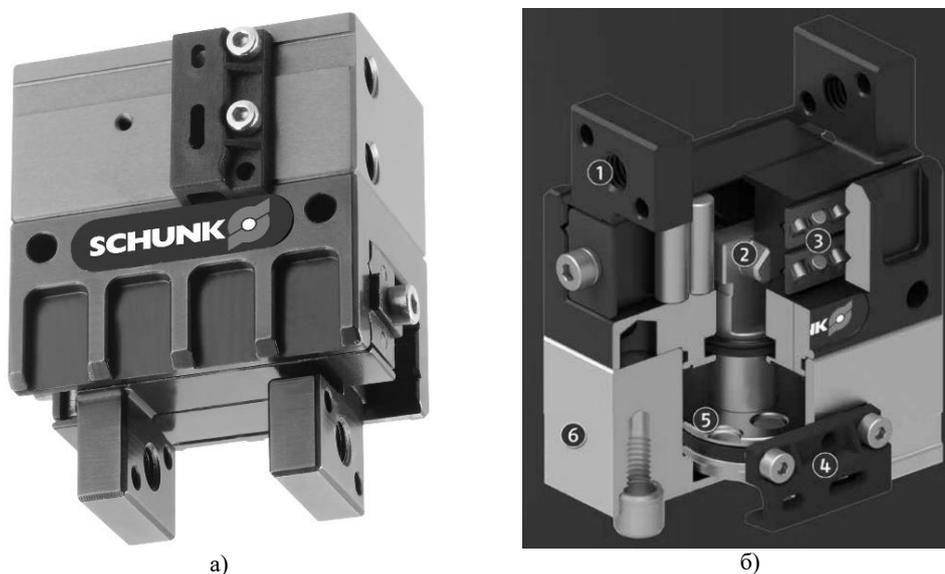


Рисунок 2 – Пример конструкции захватного устройства MPG-plus от компании SCHUNK:  
а – Общий вид ЗУ; б – вид ЗУ в разрезе

#### Состав ЗУ:

1. Стандартные губки (с возможностью модификации);
2. Клиновидный шток (для приведения в движение реек ЗУ);
3. Направляющие с перекрестными роликами (минимизируют люфт реек с губками);
4. Сенсорная система (предназначена для контроля переключения);
5. Привод овального поршня (пневмо-цилиндр для эффективной передачи усилия);
6. Корпус (алюминиевый сплав, что значительно уменьшает вес).

Плюсы данной конструкции захватного устройства MPG-plus, применяемого для коллаборативного робота:

- Легкая конструкция;
- Применение роликовых направляющих реек губок;
- Компактная пневмо-система с уменьшенными клапанами подачи воздуха в рабочие камеры пневмо-цилиндра;
- Система клиновидного «крюка», обеспечивает точность позиционирования и центрирования губок;
- Овальный плунжер пневмо-цилиндра, для увеличения КПД;
- Возможность модификации губок ЗУ;
- Высокая технологичность конструкции.

К минусам относятся:

- Небольшой ход губок из-за механизма клиновидного «крюка» (рисунок 3);
- Шум во время работы;
- Основной недостаток заключается в сжимаемости воздуха, при захвате требуется стабилизировать давление настройки, что может приводить к увеличению силы захвата в операциях с хрупкими деталями. Захват может навредить человеку, который случайно окажется в рабочей зоне, что противоречит условию совместной работы коллаборативных роботов с человеком.

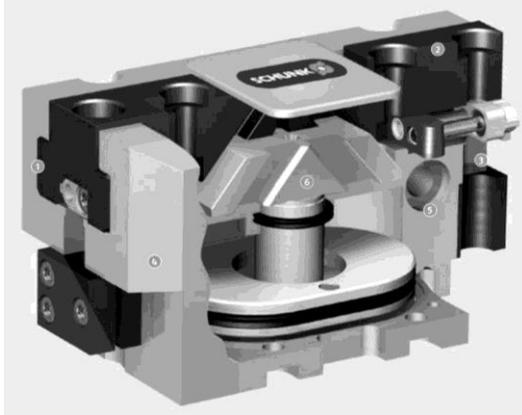


Рисунок 3 - Система клиновидного «крюка»

Таким образом, компактная конструкция в сочетании с принципиальным решением в виде клиновидного «крюка» и пневматической системы, которая позволяет увеличить усилие захвата, выгодно отличается легкостью сборки и обслуживания от рычажных и комбинированных конструкций. Однако маленький ход реек с губками не дает возможности широкого применения в сравнении с ЗУ, использующим зубчатую передачу вместо клиновидного «крюка».

Далее для проведения сравнительного анализа рассмотрим конструкцию электрического захватного устройства серии EGP от компании SCHUNK (рисунок 4, а) [6], использующую зубчато-реечную передачу для преобразования вращательного движения вала приводного двигателя в поступательное движение реек с губками. Параллельный захват с гладкими роликовыми направляющими губок. ЗУ способно перемещать объекты в широком диапазоне скоростей и усилий захвата. Такая конструкция ЗУ может применяться для сборки и испытаний в различных отраслях промышленности. Вид в разрезе представлен на рисунке 4, б.

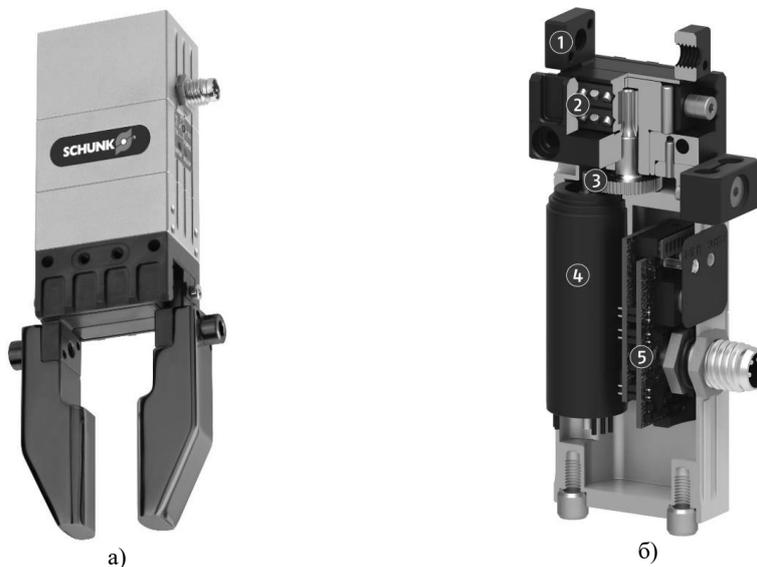


Рисунок 4 – Пример конструкции захватного устройства серии EGP от компании SCHUNK:

**Состав ЗУ:**

1. Стандартные губки (с возможностью модификации);
2. Направляющие с перекрестными роликами (минимизируют люфт реек с губками);
3. Реечная зубчатая передача (для центрирования и синхронизации движения губок);
4. Приводной электродвигатель;
5. Управляющая электроника.

**Плюсы:**

- Применение роликовых направляющих реек губок (обеспечивает движение реек без люфтов);
- Возможность модификации губок ЗУ;
- Высокая технологичность конструкции;
- Многоступенчатая и точная регулировка усилия захвата (адаптация к хрупким деталям);
- Высокое быстродействие;
- Широкий диапазон хода губок;
- Бесшумная работа;
- Простота конструкции и сборки.

**Минусы:**

- Относительно тяжелая конструкция (за счет электродвигателя и зубчатой передачи);
- Имеет большие габаритные размеры в сравнении с конструкцией MPG-plus;

Таким образом, большая длина хода захватных губок, возможность установки высокооборотных двигателей, что обеспечит быстродействие ЗУ, и безопасность для человека, делают данную конструкцию предпочтительной в сравнении с конструкцией, использующей клиновидный «крюк».

**Вывод**

Оба захватных устройства имеют оптимальную конструкцию для выполнения определенных задач на производстве. Обеспечить многофункциональность ЗУ для реализации конкретного рабочего задания не представляется возможным, так как это может привести к некачественному выполнению работы, в связи с недоработками конструкции под различную форму и габариты манипулируемых деталей. Поэтому конкретное ЗУ должно применяться к узкому кругу задач или оснащаться комплектами сменных губок, подстраиваемыми под манипулируемые объекты. Так как ЗУ, рассматриваемое в данном материале, будет интегрироваться на коллаборативный робот, производящий сборку и перемещение объектов производства, то предпочтительным вариантом конструкции является конструкция захватного устройства с зубчато-реечной передачей. Данный механизм прост в сборке, бесшумно работает, имеет широкий диапазон регулирования скорости, усилия и хода губок, высокое быстродействие, принципиальное решение в виде направляющих с перекрестными роликами и безопасен для совместной работы с человеком, что нельзя сказать про захват с клиновидными «крюком» и пневматической системой привода (из-за необходимости стабилизации давления в рабочей камере пневмо-цилиндра). Можно сделать вывод, что, учитывая недостатки конструкции электрического захвата, она будет предпочтительнее конструкции с пневматической системой.

**Библиографический список**

1. Ермишин К.В., Ющенко А.С. Коллаборативные мобильные роботы – новый этап развития сервисной робототехники // Робототехника и техническая кибернетика. № 3(12). Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК, 2016. С. 3-9.
2. Ефимов А. Как роботы могут работать с человеком вместе (а не вместо) [Электронный ресурс] // Geektimes; URL: <https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/416193/> (дата обращения: 13.02.2023).
3. Что такое коллаборативные роботы? [Электронный ресурс] // Technored.ru; URL: [https://technored.ru/blog/kollaborativnyy\\_robot/](https://technored.ru/blog/kollaborativnyy_robot/) (дата обращения: 13.02.2023).
4. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. Справочник. / Ю.Г. Козырев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
5. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учебное пособие / Ю.Г. Козырев. – М.: КНОРУС, 2010. – 312 с.
6. Захватные устройства для роботов [Электронный ресурс] // Osnastik.ru; URL: [https://osnastik.ru/zahvatnye-ustrojstva/?\\_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5ydTs1NjEwNDkzODs5Nzg0NDgzNDM1O3lhbmRleC5ydTpwcmVtaXVt&yclid=5835455457884110847](https://osnastik.ru/zahvatnye-ustrojstva/?_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5ydTs1NjEwNDkzODs5Nzg0NDgzNDM1O3lhbmRleC5ydTpwcmVtaXVt&yclid=5835455457884110847) (дата обращения: 14.02.2023).

**УДК 681.527.2**

**РАЗРАБОТКА МАКЕТА ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ДЛЯ ПОМОЩИ ЛЮДЯМ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

*П.Д. Доронина<sup>1</sup>, А.Ю. Бойко<sup>1</sup>, А.А. Киселев<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

В настоящее время одной из важных задач робототехники является помощь людям с ограниченными возможностями. Однако, роботы, которые, в частности, призваны помогать лицам с нарушением зрения находятся пока что на начальной стадии развития.

Традиционным методом помощи слепым людям является применение собак - поводырей. Однако, их существенными недостатками являются сложность дрессировки, ухода, и особенности поведения животных, связанные с инстинктами.

Шагающие роботы обладают повышенной проходимостью относительно колёсных роботов. Это особенно полезно при движении на местности с препятствиями. Также шагающие роботы затрачивают меньше энергии для передвижения, чем колесные роботы, так как гусеничные или колесные машины оставляют за собой непрерывную колею, на что уходит больше энергии, чем при движении шагами [1].

Ученые из Калифорнийского университета (США) в 2021 году уже представили робота собаку для помощи слепым людям на рисунке 1. Это устройство по конструкции похоже на аналог из Boston Dynamics, но её отличительной особенностью является наличие поводка [2]. При рассмотрении этой разработки, было принято решение о нецелесообразности использования гибкого поводка из-за чего в нашем проекте мы рассматриваем наличие жесткой конструкции поводка-ручки, по которому было бы удобнее воспринимать посыл робота и обеспечивать ход человека в шаг с роботом.

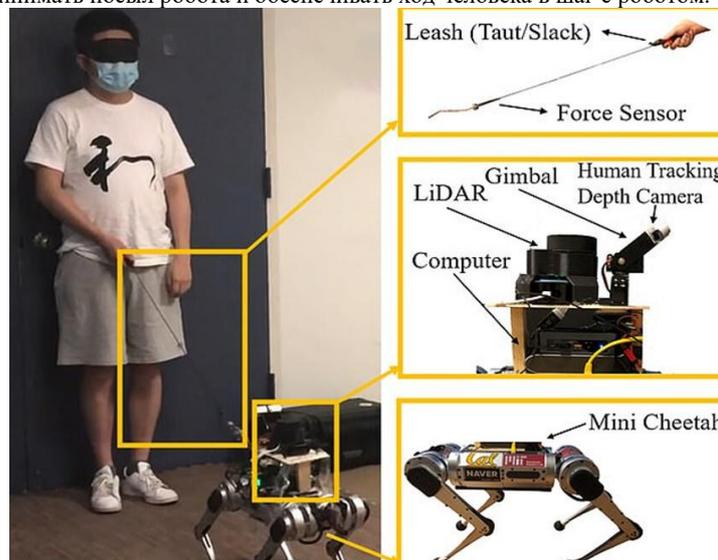


Рис. 1. Пример уже существующей модели шагающего робота поводчря

#### Кинематика

На рисунке 2 приведена кинематическая схема ноги робота. Прямая и обратная задачи кинематики решались методами, описанными в статье [4]. Ниже приведены формулы расчета углов звеньев, вычисленные в результате решения обратной задачи кинематики аналитическим методом, где  $x_4, y_4, z_4$  – координаты ступни,  $L_1, L_2, L_3$  – длины звеньев, а  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  – углы звеньев.

$$\theta_1 = \arctg(-y_4, x_4) - \arctg\left(\sqrt{x_4^2 + y_4^2 - L_1^2}, -L_1\right) \#(1)$$

$$\theta_2 = \arctg\left(z_4, \sqrt{x_4^2 + y_4^2 - L_1^2}\right) - \arctg(L_3 \sin(\theta_3), L_2 + L_3 \cos(\theta_3)) \#(2)$$

$$\theta_3 = \arctg\left(-\sqrt{1 - D^2}, D\right), \quad \text{для ног 1 и 3} \#(3)$$

$$\theta_3 = \arctg\left(\sqrt{1 - D^2}, D\right), \quad \text{для ног 2 и 4} \#(4)$$

$$D = \frac{x_4^2 + y_4^2 - L_1^2 + z_4^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} \#(5)$$

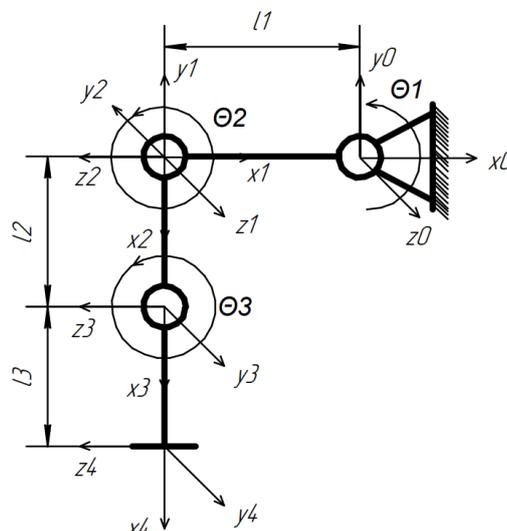


Рис. 2. Кинематическая схема ноги робота

### Конструкция

Конструкция робота, приведенная на рисунке 3, состоит из основания с четырьмя ногами, каждая из которых состоит из трех звеньев. За основу брались аналоги от Boston Dynamics [3] и любительские проекты. В качестве материала в основном используется пластик PLA. Большинство деталей изготовлены с применением аддитивных технологий. Приводная часть реализована на основе сервоприводов, поскольку это самый бюджетный вариант для макетного образца.

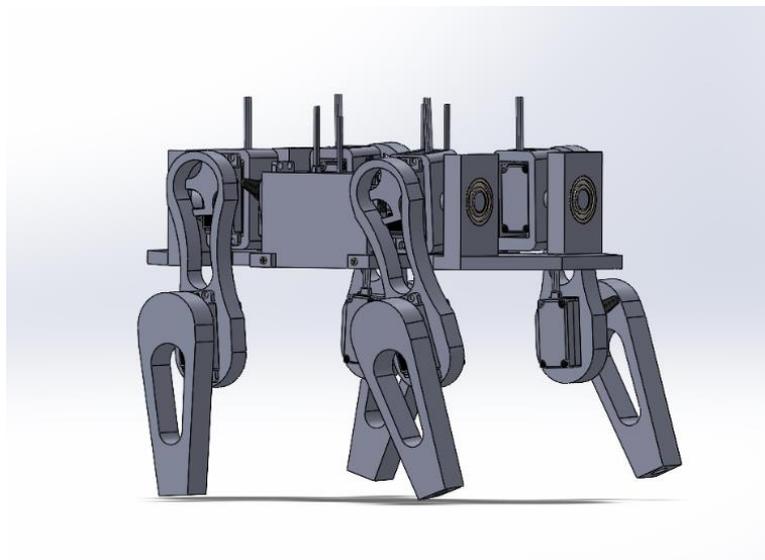


Рис. 3. Разрабатываемая модель конструкции

### Электроника

Основой электронной составляющей устройства является одноплатный компьютер Raspberry Pi, который предназначен для приема информации с датчиков и выполнения сложных расчетов, например кинематики робота. При помощи протокола Modbus Raspberry Pi посылает команды на устройства управления нижнего уровня на основе STM32, которые в свою очередь посылают ШИМ сигналы на сервоприводы. Робот оценивает свое положение в пространстве при помощи двух ультразвуковых датчиков, БИНС – модуля MPU6050, а также камеры, на которой можно задействовать алгоритмы машинного зрения.

Силовая электроника, предназначенная для управления двигателем в сервоприводе, достаточно проста в устройстве и более подробно описана в [5].

### Программное обеспечение

Программное обеспечение для одноплатного компьютера написано на языке Python и на данный момент обеспечивает расчет кинематики ног для заданного пользователем положения. Используются библиотеки numpy и matplotlib для расчетов кинематики и построения графиков траектории и minimalmodbus для обеспечения связи с микроконтроллером по протоколу Modbus. Этот протокол известен своей надежностью и давно стал промышленным стандартом. Каждому из двух устройств управления двумя ногами присваивается Slave ID, по которому одноплатный компьютер может обращаться к левой или правой паре ног. Код же для устройства управления написан на языке Си и обеспечивает передачу ШИМ – сигналов на сервоприводы в так называемом «слеющем режиме», когда с Raspberry Pi с частотой 20 Гц поступают углы для звеньев ноги, а устройство управления обрабатывает их с большей частотой, используя для плавности движения линейную интерполяцию между приходящими значениями.

### Результаты разработки

В результате исследования и моделирования была изготовлена конструкция конечностей, приведенная на рисунке 4, с расчетом на небольшое количество ресурсов и отсутствии дополнительной нагрузки, и в соответствии с назначением, а именно исследовать и создать алгоритм движения ног робота, копирующего движения, реальной собаки. Разработка столь сложной конструкции требует большого объема работы. Конечно, в наше время шагающие роботы доступны для продажи, в некоторых случаях по относительно приемлемой цене. Но все они иностранного производства, поэтому и появилась идея разработать отечественный аналог.

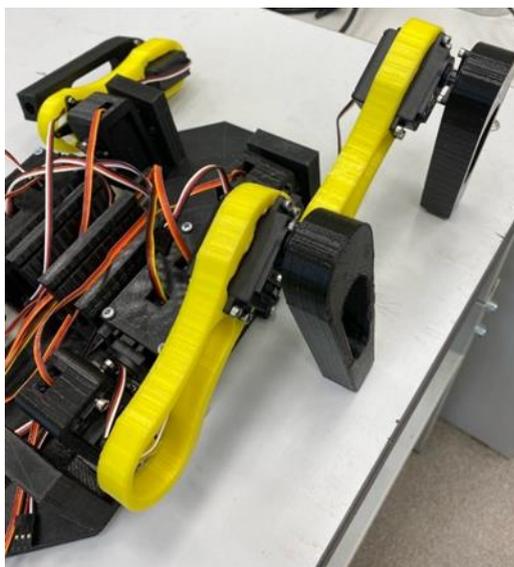


Рис. 4. Макет реальной конструкции

#### Библиографический список

1. Юревич, Е. И. Основы робототехники: Учебник для вузов / Е. И. Юревич. — Ленинград : Машиностроение, 1985. — 271 с. — Текст : непосредственный.
2. Собак-поводырей предложили заменить робопсами. — Текст : электронный // Наука : [сайт]. — URL: [https://naukatv.ru/news/sobakpovodyrej\\_predlozhili\\_zamenit\\_robopsami](https://naukatv.ru/news/sobakpovodyrej_predlozhili_zamenit_robopsami) (дата обращения: 04.02.2023).
3. Spot. — Текст: электронный // Boston Dynamics: [сайт]. — URL: <https://www.bostondynamics.com/products/spot> (дата обращения: 04.02.2023).
4. Inverse Kinematic Analysis Of A Quadruped Robot / Şen, Arif.& Muhammed, & K. Veli, Mete.. — Текст : непосредственный // International Journal of Scientific & Technology Research. — 2017. — № 6. — С. 285–289.
5. Сервоприводы PDM постоянного вращения: особенности применения и примеры кода. — Текст : электронный // Амперка / Вики : [сайт]. — URL: <http://wiki.amperka.ru/articles:servo-pdm-continuous-rotation> (дата обращения: 06.02.2023).

УДК 004.032.26

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕДОСТАТОЧНОЙ ВИДИМОСТИ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

*А.К. Комкин<sup>1</sup>, Яковенко Н.Г.<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

#### Введение

Распознавание образов - одна из важнейших задач в области искусственного интеллекта. Данное научное направление предполагает разработку алгоритмов и систем, предназначенных для определения принадлежности наблюдаемого объекта к одной из заранее созданных категорий.

Применение алгоритмов распознавания включает в себя достаточно большое количество областей, к которым можно отнести системы безопасности – распознавание лиц и отпечатков пальцев, системы дорожного наблюдения – распознавание автомобильных номеров на трассах, медицину – компьютерная диагностика пациентов для выявления патологий, промышленность – обнаружение дефектов в производимых изделиях и т.д.

В современных системах управления и обработки информации распознавание объектов на изображении затруднено тем, что воздействие негативных внешних факторов вносит в этот процесс неопределенность, приводящую к размытости, шумам на изображениях. К данным факторам в основном относятся природные явления, например, яркие лучи от солнца, сильный дождь или снегопад, дымка, туман, но также могут возникать ситуации, при которых тени от объектов, отражения на прозрачных и полупрозрачных поверхностях, различные посторонние предметы на самих объектах, шумы, возникающие при съемке, негативно сказываются на работе системы распознавания.

Особенно остро данная проблема просматривается при наблюдении за объектами с помощью камер, установленных на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) [1], наземных роботах и другой подвижной технике, на которую помимо перечисленных воздействий влияет также и рельеф, тип местности, аэродинамические силы, температура и т.д.

Для повышения робастности системы к перечисленным выше возмущающим воздействиям, как правило, создаются специальные алгоритмы, основанные на теории обработки изображений. Данные подходы используются таким образом, чтобы максимально скрыть и минимизировать признаки того или иного воздействия, появляющиеся на изображении.

В данной работе будет рассмотрено влияние на точность детектирования наблюдаемого объекта недостаточной видимости, вызванной такими явлениями как дым, туман, пыль.

#### Анализ явлений

Как правило, различные скопления частиц в воздухе, представляющие проблему для систем технического зрения, относятся к аэрозолям. Аэрозоли - это любые мелкие жидкие или твердые частицы, взвешенные в атмосфере, за исключением крупных частиц облаков или осадков. Они выбрасываются в атмосферу как природными, так и антропогенными источниками и сложным образом взаимодействуют с различными глобальными системами.

Аэрозоли сильно различаются по размеру, составу и форме, а время их существования зависит от их местоположения в атмосфере и составляет от пары недель до года. Примеры природных аэрозолей включают пыль, например, из пустынь, и вулканические аэрозоли, такие как вулканические оксиды серы. Антропогенные аэрозоли включают твердые частицы (ТЧ), такие как сажа и угольная зола, формы пыли, дыма и многое другое.

Дым - это видимое скопление различных твердых, жидких и газовых частиц, оставшихся несгоревшими в процессе горения. Дым может содержать большое количество различных химических веществ и является нормальным атмосферным явлением. Подобно дымке, яркость и контрастность изображений, снятых в задымленной среде, всегда снижаются, что приводит к серьезному ухудшению качества изображений. Это может привести к значительному снижению способности обнаружения критических объектов. Кроме того, в зависимости от продуктов горения, дым может иметь разную плотность, а соответственно и разную видимость, что непосредственно влияет на точность распознавания объектов, находящихся в нем.

Для борьбы с задымленной картинкой авторы [2] предложили основанный на контрастном обучении надежный алгоритм обнаружения объектов на изображениях с дымом. Предлагаемый детектор объектов состоит из двух модулей: модуля интерактивного обучения и модуля прогнозирования границ объекта. Первый модуль изучает векторы представления путем максимального согласования между различными дополненными видами одного и того же задымленного кадра. Затем эти представления отправляются во второй модуль, чтобы получить ограничивающую рамку для каждого объекта. Полученный алгоритм позволил достичь точности по метрике mAP в 80,77%, по mAP50 в 98,49%, что выше, чем у конкурентных методов.

Пыль же, как правило, может быть разделена на два типа в зависимости от плотности - твердую и прозрачную соответственно. Твердая пыль может иметь большую плотность и может полностью блокировать обзор камеры, если попадет на объектив, в то время как прозрачная обычно частично препятствует наблюдению за объектом, образуя облака в воздухе или оседая на камере. Одна из самых больших сложностей этой проблемы заключается в том, что в реальности грязь или пыль не имеют какой-либо определенной формы, что усложняет задачу по их удалению из кадра. Например, авторы [3] использовали алгоритм Итти-Коха, который хорошо работает для обнаружения характерных признаков пыли по изображению. Данный алгоритм помечает частицы пыли на изображении, что приводит к снижению частоты ложных срабатываний и повышению точности. Кроме того, выполняется дополнительная фильтрация для улучшения качества изображения.

Для твердых частиц использование подходов, основанных на обнаружении заданных форм, оказывается неэффективным. Поэтому авторы [4] разработали фреймворк, основанный на оценке нерезких краев с использованием расчета прочности кромок с помощью метода обнаружения краев Собеля и метода разности краев в межкадровом анализе для обнаружения пыли на объективе камеры. По результатам работы системы из 100-минутной записи с наличием частиц пыли было выявлено правильно 93% частиц, на чистой видеозаписи присутствует 1% ложных срабатываний, что является достойным результатом.

Что же касается тумана, то он представляет из себя облако водяных частиц, которое располагается на небольшом расстоянии от поверхности. Туман обладает различной плотностью, поэтому в некоторых условиях он может быть настолько густым, что затрудняет безопасное вождение, поскольку скрывает дорогу и другие автомобили. В туманную погоду на изображении, полученном системой наружного наблюдения, наблюдается ухудшение точности цветопередачи и контрастности из-за влияния атмосферного рассеяния.

На тему устранения эффекта тумана создано множество работ, например, авторы [5] создали основанный на теории "предшествующего темного канала" (DCP) изображения алгоритм в сочетании с самоадаптивным пороговым механизмом, который повышает коэффициент пропуска в светлой цветовой области изображения на основе DCP. Результаты эксперимента показывают, что этот метод может эффективно устранить изменение цвета в светлых областях изображения. В статье [6] рассматривается метод доменной адаптации (DA), который изучает инвариантные к домену признаки, учитывая сигналы глубины, согласованность между глубиной пропуска тумана и реконструкцией четкого изображения. Как утверждают авторы, данный метод значительно превзошел конкурента (47,6 mAP против 44,3 mAP) и обеспечивает наилучшую производительность на нескольких общедоступных датасетах.

#### **Применение нейронной сети для распознавания объектов**

Для создания системы распознавания объектов воспользуемся нейронной сетью на основе архитектуры YOLOv8. YOLO или You Only Look Once — это очень популярная на сегодняшний день архитектура сверточных нейронных сетей (СНС). В архитектуре YOLO СНС применяется только один раз для анализа всего изображения, тогда как большинство систем применяют СНС несколько раз к разным регионам изображения [7].

YOLOv8 - это последняя версия архитектуры YOLO для обнаружения объектов и сегментации изображений, разработанная компанией Ultralytics [8]. Одной из ключевых особенностей YOLOv8 является ее расширяемость. Она разработана как фреймворк, поддерживающий все предыдущие версии YOLO, что позволяет легко переключаться между различными версиями и сравнивать их производительность.

Для начала обучения нейросети необходимо создать набор изображений (датасет), который будет использован для обучения, валидации и тестирования нейросети. В качестве объекта был выбран автомобиль, т.к. на данном объекте достаточно просто выделить характерные черты и признаки для быстрого и эффективного обучения модели. Было принято решение воспользоваться заранее подготовленным и собранным набором изображений с различными моделями автомобилей с платформы Kaggle [9].

После сбора датасета проводится выделение искомого объекта на каждом изображении для исключения лишних деталей, которые могут помешать обучению, а также для повышения точности уже автоматической обводки объекта ограничивающей рамкой самой нейросетью при ее работе. Итоговый датасет состоит из 1000 изображений, 750 из которых используется для обучения модели, 150 для валидации и 100 для тестирования. Данное соотношение является стандартным для достижения хороших результатов обучения. Набор изображений из датасета представлен на рис. 1.

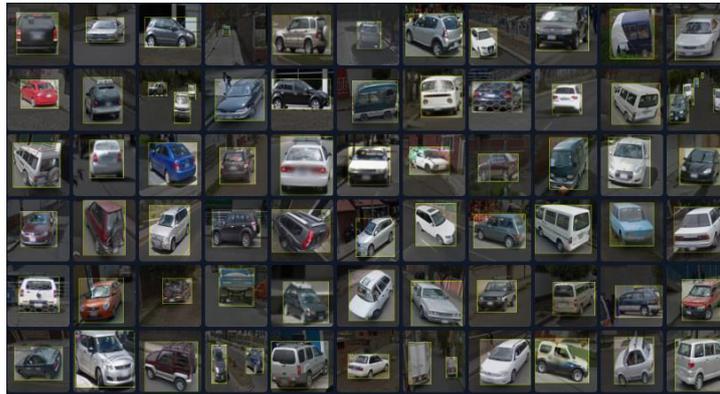


Рис. 1. Набор изображений для обучения нейросети

Обучение нейросети производилось на вычислительных машинах облачного сервиса Google Collab с использованием графических ускорителей Tesla T4 с технологией CUDA. По итогам прохождения 100 эпох средняя точность по метрике mAP50 составила 96,2%, точность составила 95,7% и полнота – 90%, что является хорошим результатом. Графики потерь, полноты и точности показаны на рис. 2.

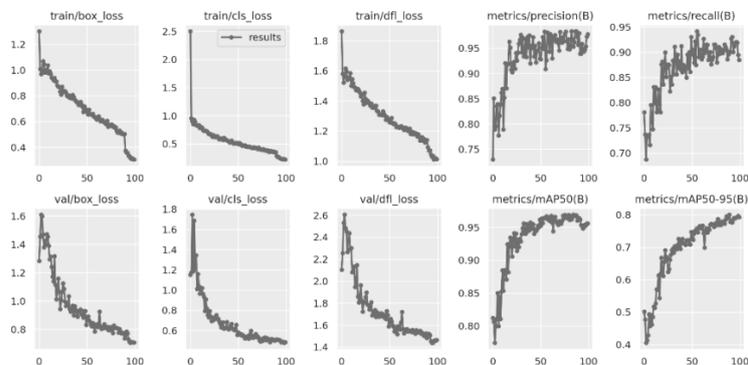


Рис. 2. Результаты обучения нейросети

После обучения модель была проверена на наборе изображениях из тестовой группы. Результаты тестирования показаны на некоторых изображениях из набора на рис. 3.



Рис. 3. Проверка работы нейросети

Практически на всех изображениях система правильно распознает объект с точностью не менее 85%. Понижение точности наблюдается на изображениях с небольшим размером объекта, т.е. когда он находится на заднем плане, при наличии различных препятствий, в том числе пыли и дыма.

Для проверки работы системы распознавания в условиях недостаточной видимости на изображения из тестового набора непосредственно на искомый объект была наложена дымка с разной интенсивностью. Пример работы модели после наложения дымки со средней видимостью показаны на рис. 4.



Рис. 4. Пример распознавания со средней плотностью дымки

Как можно заметить, точность распознавания значительно снизилась и в среднем составляет 40-50%, поэтому можно сказать, что система часто распознает объект с низкой точностью уже при данной видимости. Если добавить еще один слой дымки, то модель практически полностью теряет объект из виду и точность составляет всего пару процентов. Результаты с низкой видимостью показаны на рис. 5.



Рис. 5. Пример распознавания с высокой плотностью дымки

Таким образом, наличие дыма, закрывающего собой искомый объект, представляет серьезную проблему для системы распознавания, не приспособленной для работы в данных условиях. С увеличением плотности дымки точность модели значительно падает, поэтому для решения этой задачи необходимо использовать алгоритмы обработки изображения, о которых упоминалось ранее, либо обучать нейросеть на изображениях с неблагоприятными условиями.

#### **Заключение**

Были рассмотрены некоторые из факторов внешней среды, создающих неблагоприятные для распознавания объектов условия, среди которых различные аэрозоли – дым, пыль, туман. Для проверки влияния данных факторов на точность распознавания была обучена нейросеть на основе архитектуры YOLOv8. Далее было проведено тестирование работы модели на исходных изображениях из тестового набора и на измененных путем наложения эффекта дыма на изображениях объекта. Как показали результаты, использование нейросети для распознавания в условиях недостаточной видимости без алгоритмов предобработки или специального обучения, дает неудовлетворительные результаты. Таким образом, стоит задача разработки алгоритмов обработки изображения, поддерживающих высокую точность распознавания нейросетью даже в плохих погодных и других условиях.

### Библиографический список

1. How weather affects flight – Weather knowledge [Электронный ресурс] // Droneinfo; URL: <https://www.droneinfo.fi/en/study-material/how-weather-affects-flight-weather-knowledge> (дата обращения: 08.02.23)
2. Wu, Wei & Chang, Hao & Zheng, Yonghua & Li, Zhu & Chen, Zhiwen & Zhang, Ziheng. (2022). Contrastive Learning-based Robust Object Detection under Smoky Conditions. CVPRW.pp. 4294-4301.
3. Kaur, Manpreet & Sharma, Reecha. (2016). The novel technique for the detection and removal of dust patterns from the image in source camera identification. International Journal of Computer & Organization Trends. 34. pp. 50-54
4. Phirke, Manoj Ravindra. Dust Particles Detection on Camera Lens. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, UAE, March 10-12, 2020. pp. 1495-1503
5. Li, Aixing & Fang, Zhou & Mi, Bo. (2018). An Improved Defogging Algorithm Based on Dark Color Theory Combined with Self-Adaptive Threshold Mechanism. Journal of Control Science and Engineering. 2018. pp. 1-10.
6. Chen, Zhe & Li, Xiaofang & Zheng, Hao & Gao, Hongmin & Wang, Huibin. (2018). Domain Adaptation and Adaptive Information Fusion for Object Detection on Foggy Days. Sensors. 18(10). pp 1-14
7. Распознавание объектов с помощью YOLO v3 на Tensorflow 2.0 [Электронный ресурс] // proglib; URL: <https://proglib.io/p/raspoznavanie-obektov-s-pomoshchyu-yolo-v3-na-tensorflow-2-0-2020-11-08> (дата обращения 11.02.23).
8. Документация на архитектуру YOLOv8 [Электронный ресурс] // Ultralytics; URL: <https://docs.ultralytics.com/> (дата обращения: 10.02.23)
9. Коллекция изображений с автомобилями различных моделей [Электронный ресурс] // Kaggle; URL: <https://www.kaggle.com/datasets/jessicali9530/stanford-cars-dataset> (дата обращения: 11.02.23)

УДК 004.942

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ РОБОТАХ

*А.Д. Коротков<sup>1</sup>, Г.А. Фирсанов<sup>1</sup>, В.В. Арутюнян<sup>1</sup>, Г.С. Степанов<sup>1</sup>, Горбовский Д.И.<sup>1</sup>  
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

**Решаемая задача:** Рассмотрение понятие «техническое зрение», основные принципы и достоинства, а также виды и назначение машин обладающих им.

Системы Технического зрения(СТЗ) или просто техническое зрение. Также его называют : компьютерное или машинное зрение. Названий много, но суть остаётся неизменна : это теория построения машин способных распознавать, идентифицировать , различать и классифицировать объекты.

В статье в основном речь пойдет о такой разновидности машин как роботы. Роботы - некоторое автоматическое устройство (вовсе не обязательно формы человека), способное совершать механические операции , тем самым упрощая жизнь человека. Исходя из этого роботы бывают абсолютно разного предназначения, простейшие примеры: для уборки, сортировки , сборки деталей на производстве , конвейерные , медицинские , бытовые , военные и тд.

Мы будем рассматривать в основном конвейерные роботы (ленточные) ,так-как в них очень активно используется СТЗ.

СТЗ заточены на выполнение задач узкого и специализированного направления, таких как подсчет различных объектов на ленте конвейере, чтение штрих-кодов, серийных номеров или поиск различных наружных дефектов.



Рис. 1- пример робота-сканера.



Рис. 2 - пример робота-манипулятора

Системы технического и компьютерного зрения обычно проектируются для выполнения повторяющихся задач, циклических. Такие задачи человеку было бы скучно и однообразно делать, а машине «удобно», так как логика для каждой задачи не сильно отличается и программировать такие алгоритмы легче.

Но также СТЗ используется в обработке медиа-данных (распознавание фото и видео, умные системы видеонаблюдения), AR системы (дополненной реальности) и обработка сигналов.

Компьютерное зрение напрямую связано с понятием «искусственный интеллект» (ИИ). ИИ или машинное обучение (Machine Learning, ML) - развивающееся направление в науке и программировании занимающееся созданием, обучением и использованием одноимённого объекта. Принцип алгоритмов искусственного интеллекта заключается в том, что ситуации и задачи требуемые под обработку одной программы сильно варьируются, входные данные тоже очень изменчивы. И для того чтобы при реализации в коде не писать множество условий для обработки каждого отдельного варианта задачи (это было бы непродуктивно, нужно и учесть все варианты порой невозможно), решили сделать некоторый алгоритм (нейросеть) и обучить ее на примере множества реальных задач с решениями, как нужно действовать в той или иной ситуации. Научная область так и называется «Машинное обучение», а данные (задача плюс ответ, или более точно - объект(ситуация) плюс отклик(реакция)) называются обучающей выборкой. ML основано на дедуктивном принципе и сходится к аппроксимации функции, параметрами которой могут быть не объекты стандартного типа, а разных типов, категорий и форм представления.

**Эта часть о современных СТЗ и подходах на основе которых они реализованы и об машинном обучении, не вдаваясь в сложную математику и статистику.**

Примеры реализаций с использованием СТЗ:

*Stereo sensor KUKA\_3D Perception*- сенсор со встроенной системой камер для распознавания объектов в реальном времени, интегрированной графической картой для обработки изображений, что называется «в коробке», датчиком обозначения позиции объектов и себя в пространстве с точностью до миллиметра. Сенсор подстраивается под разную освещенность в среде сканирования и разную скорость движения объектов.

*Rstat Stereo 3D*. Благодаря мощному процессору сенсор способен определять сотни людей, находящихся в зоне подсчета, каждую секунду. СТЗ определяет самые посещаемые зоны по сканируемой области, делая возможным анализ популярности точек объекта для грамотного использования торговой площади. На основании полученных данных строится карта в зоне видимости сенсора, где легко можно увидеть самые популярные «горячие» маршруты и наоборот, «холодные» участки пути. Высокая точность и яркость видеоизображения даже в условиях недостаточной освещенности (0.001-100 lux)

*Имидж-сканер Ifm O2I*. Автоматически распознаёт несколько различных кодов в одном изображении. Также он обрабатывает все, что видит его объектив со скоростью до 7 м/с: 1D или 2D-коды, лазерную или ударно-точечную маркировку

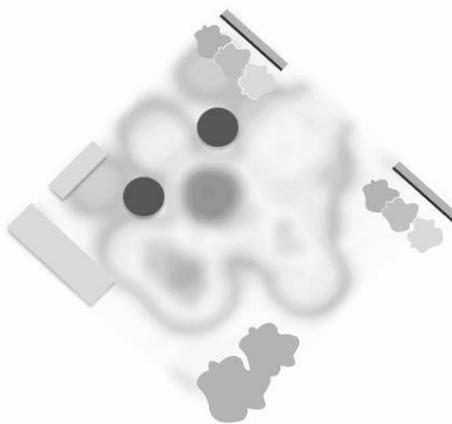


Рис. 3 - схема построенная СТЗ на основе анализа посещаемости зон

Как мы видим, рассмотренные устройства с СТЗ все уже имеют преимущества над человеком (будь то в максимальной скорости рассматривания, освещения или точности).

#### Выбор инструмента для разработки.

Самым распространённым в сфере Машинного Обучения является язык Python, у него есть обширная библиотека OpenCV. Библиотека состоит из 16 модулей. Реализованы около 1000 алгоритмов

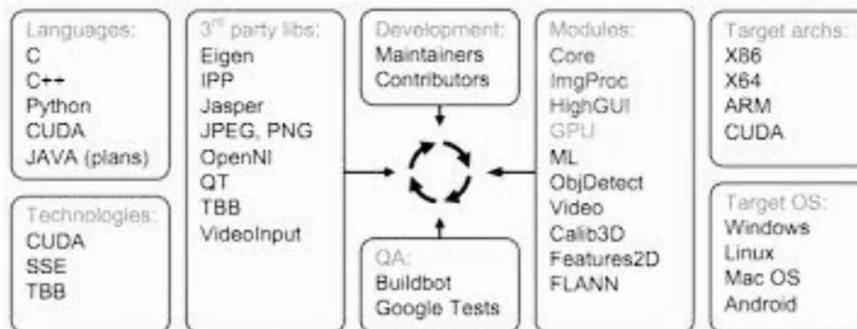


Рис.4 - схема построения библиотеки OpenCV

#### Основные модули библиотеки можно отнести к 4 группам (разделам):

— Модули *core*, *highgui*, реализующие базовую функциональность (базовые структуры, математические функции, генераторы случайных чисел, линейная алгебра, быстрое преобразование Фурье, ввод/вывод изображений и видео, ввод/вывод в форматах XML, YAML и др.).

— Модули *imgproc*, *features2d* для обработки изображений (фильтрация, геометрические преобразования, преобразование цветовых пространств, сегментация, обнаружение особых точек и ребер, контурный анализ и др.).

— Модули *video*, *objdetect*, *calib3d* (калибровка камеры, анализ движения и отслеживание объектов, вычисление положения в пространстве, построение карты глубины, детектирование объектов, оптический поток).

— Модуль *ml*, реализующий алгоритмы машинного обучения (метод ближайших соседей, наивный байесовский классификатор, деревья решений, бустинг, градиентный бустинг деревьев решений, случайный лес, машина опорных векторов, нейронные сети и др.).

#### Основные этапы связанные с камерой.

##### Расположение - система координат камеры.

Параметры камеры:

- центр камеры;
- система координат, находящаяся в этой плоскости.
- главная ось — это луч, который начинается в центре камеры и направлен в сторону, куда смотрит камера;
- проецирующая плоскость изображения точек;

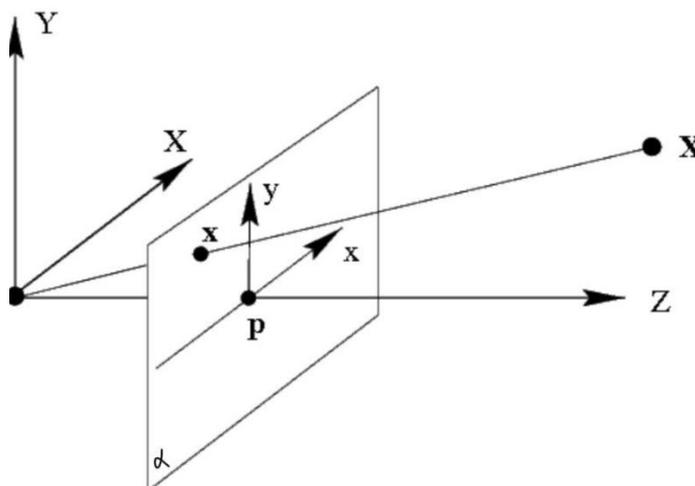


Рис. 5 - пример расположения.

##### Калибровка камеры.

Обычно производится на начальных этапах и достаточно одной калибровки. Суть ее в том, чтобы с помощью фото и видео материала сделанного камерой получить ее внутренние и внешние характеристики.

Основные виды:

Классический подход, состоящий из двух этапов, вначале определяются внешние параметры, затем внутренние.

«Гибкая калибровка», основана на использовании плоского калибровочного объекта.

Автоматическая калибровка — получение калибровочных данных без дополнительных объектов, напрямую по изображениям.

Одними из основных этапов распознавания, описания и поиска графических образов является классификация по цвету и контурный анализ. Пару слов о каждом методе.

#### **классификация по цвету:**

У каждого объекта есть свои параметры, одним из которых является цвет. С помощью него можно отбирать из имеющихся на изображении образов нужные объекты. Цвет в изображениях кодируется по пиксельно. Для кодирования могут использоваться разные цветовые модели : RGB, HSV или иные цветовые пространства. Ближе к человеческому восприятию HSV. **контурный анализ:**

Каждый объект имеет некоторую форму , суть данного метода заключается в том , чтобы вычленив из всего изображения нужный объект по границам его контура и работать уже непосредственно с ним самим. Также этот метод несет с собой ряд преимуществ, например можно сравнивать контуры для определения принадлежности данного объекта к некоторой группе объектов , а также таким образом сужается область рассмотрения изображения, уменьшается шум.

Получение контура реализуется путём вычитания из картинка фона и последующим наложении маски по определённому цвету преобладающему с краев контура.

При работе над распознаванием необходимо преобразование систем координат робота и камеры. Эта манипуляция реализуется с помощью матриц , преобразованием к однородной матрице для выявления связи между системами отсчета. В матрице будут фигурировать параметры сдвига, масштабирования, поворота и преобразования перспективы.

#### **Связь СТЗ и систем управления роботом (СУР):**

Робот может получать данные порционно , каждая дискретная порция позволяет роботу совершать некоторый набор движений на очередной интервал времени

Также , робот может получать данные постоянно , в виде непрерывного видеосигнала.

Оба варианта имеют реализации в наши дни , второй более перспективен, позволяет хорошо обрабатывать движение. Но порой достаточно первого.

Подводя итоги , можно сказать следующее:

Несмотря на значительный прогресс в этой области, никакая система технического или компьютерного зрения на данный момент еще не может соревноваться на равных с некоторыми возможностями человеческого зрения такими как неприхотливость к изменению освещения и ухудшению изображения, изменению частот и т.д. Эти факторы при обучении нейросети несут за собой еще тонны выборки для обучения модели с учётом имеющихся условий.

Но СТЗ опережает нас в «кладнокровности» (отсутствия так называемого человеческого фактора) и в постоянности работы (Конвейеры могут работать 24 часа в сутки , чего не может человек), военные роботы могут позволить , не подвергая опасности жизнь людей, разведывать территории , искать бомбы , пути эвакуации и многое другое.

Таким образом, не вдаваясь в математику и программирование, а также не изучая библиотеки для работы с Моделями мы рассмотрели основные принципы , достоинства , виды и некоторые детали реализации систем технического зрения роботов.

#### **Библиографический список**

1. Алешева, Л. Н. Интеллектуальные обучающие системы [Текст] / Л. Н. Алешева // Вестник университета. - 2018. - N 1. - С. 149-155
2. Баррат, Д. Последнее изобретение человечества : искусственный интеллект и конец эры Homo sapiens : [пер. с англ.] / Д. Баррат. - 2-е изд. - М.: Альпина нон-фикшн, 2018. - 303 с.
3. Isakov, Yu.A. Artificial intelligence / Yu.A. Isakov // ModernScience. - 2018. - № 6-1. - С. 25-27. - <https://elibrary.ru/item.asp?id=35277490>
4. Дэвид Форсайт, Жан Понс. Компьютерное зрение. Современный подход - Computer Vision: A Modern Approach. — М.: «Вильямс», 2004.
5. Goodfellow, Y Bengio, A. Courville. "Deep Learning Book", MIT Press, 2016 <http://deeplearningbook.org>.

УДК 681.52

#### **ОБЗОР МЕТОДА ГИБРИДНОГО УПРАВЛЕНИЯ УСИЛИЕМ/ДВИЖЕНИЕМ ЗАДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ**

**Н.А. Корнеев<sup>1</sup>, А.А. Мануйленко<sup>1</sup>, Н.Е. Талабанова<sup>1</sup>, А.И. Авдеев<sup>1</sup>**

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

При дистанционном выполнении работ, особенно в опасных для здоровья человека условиях, широкое распространение получили копирующие манипуляторы. Особенность таких манипуляторов – использование задающего устройства, которое имеет кинематическое подобие с исполнительным механизмом. Они оснащены силовыми синхронно-следящими системами, которые обеспечивают соответствие взаимного расположения управляющего и исполнительного органов. Работа таких систем основана на принципе гибридного управления усилием/движением [1, 2, 3].

На рисунке 1 показана структурная схема гибридного управления усилием/положением [4].

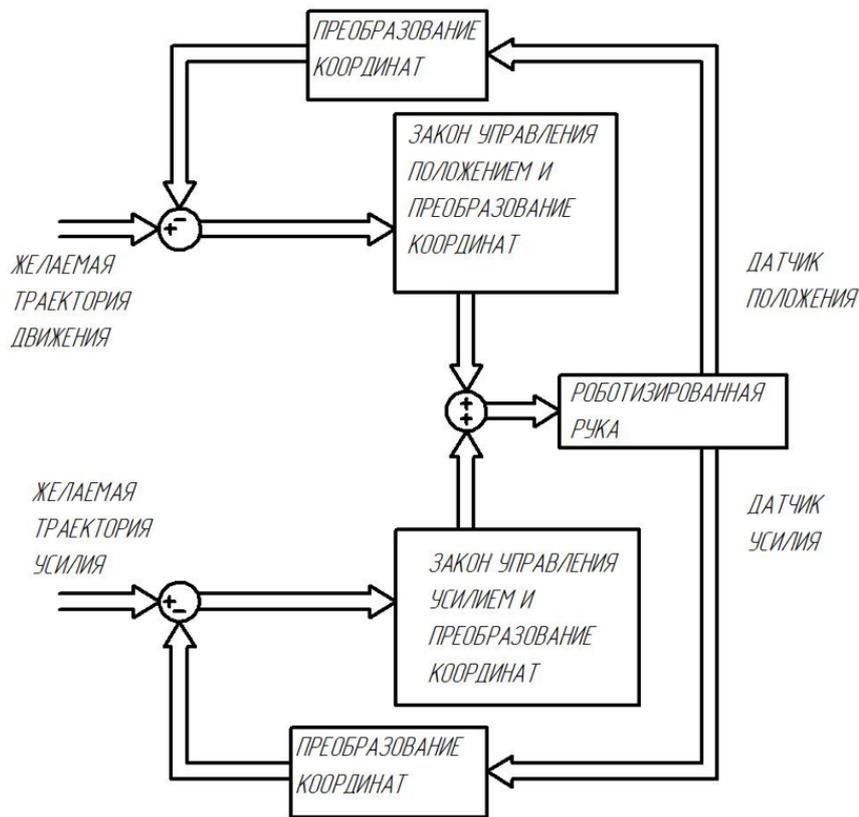


Рисунок 1 - Структурная схема гибридного управления усилием/положением.

Целью гибридного управления усилием/движением является разделение одновременного управления движением конечного инструмента и контактными силами на две отдельные несвязанные подзадачи. Для решения данной задачи может быть применено 3 подхода:

Подход, основанный на ускорении. Основная идея заключается в разработке внутреннего контура управления на основе модели для компенсации нелинейной динамики робота-манипулятора и определении подпространств силы и скорости, следовательно, внешний контур управления предназначен для обеспечения уменьшения ошибки и желаемой силы конечного воздействия и движения.

Подход, основанный на пассивности. В основе этого метода лежит фундаментальное свойство Лагранжевых систем.

Подход, основанный на скорости. Основная идея заключается в замыкании обратной связи по скорости и по моменту(силе).

Недостатком гибридного управления усилием/движения является то, что не всегда можно создать адекватную модель взаимодействия рабочего объекта с внешней средой, а также сложность в реализации. В реальных объектах обычно применяются методы, основанные на адаптации.

Рассмотрим подробнее подход, основанный на скорости. Подходы, основанные на ускорении и пассивности, требуют модификации существующих контроллеров, а именно более мощные микропроцессоры в роботах, что повышает цену производства. Что касается управления механическим импедансом: если контакт достаточно податлив, то динамика замкнутого контура робота, управляемого движением, может быть аппроксимирована в пространстве состояний выражением:

$$\mathbf{v}_e = \mathbf{v}_r, \quad (1)$$

где  $\mathbf{v}_r$  – управляющий сигнал для контура скоростного движения, который генерируется внешним контуром регулирования.

Это соответствует управлению с разрешением по скорости.

Поворот рабочего органа разложим следующим образом:

$$\mathbf{v}_e = \mathbf{S}_V \mathbf{v} + \mathbf{C}' \mathbf{S}_F \dot{\lambda}, \quad (2)$$

где первое слагаемое – свободный поворот, который содержит матрицу скорости  $\mathbf{S}_V$ , которая определяется выражением (3) как функции от  $q$  или  $r$ :

$$\mathbf{S}_V = \mathbf{J}(\mathbf{q}) \mathbf{J}_p(\mathbf{r}), \quad (3)$$

а второе слагаемое описывает ограниченный поворот, который состоит из  $\mathbf{C}'$  – матрица  $6 - m$  ранга, положительно полуопределенна и выражается как

$$\mathbf{C}' = (\mathbf{I} - \mathbf{P}_V) \mathbf{C}, \quad (4)$$

где  $(\mathbf{I} - \mathbf{P}_V)$  – проекционная матрица, которая фильтрует все повороты рабочего органа (и бесконечно малые смещения поворота), которые находятся в пространстве значений  $\mathbf{S}_V$ , а  $\mathbf{C}$  – матрица полного соответствия.

Также второе слагаемое содержит матрицу сил  $S_f$  [5]:

$$S_f = J^{-T}(q)J_{\Phi}^T(q), \quad (5)$$

где  $J_{\Phi}^T(q)$  – Якобиановая матрица ограничений.

Чтобы добиться управления силой и скоростью, в соответствии с (2), на вход может быть подан управляющий сигнал  $v_r$ , который выражается как

$$v_r = S_v v_v + C' S_f f_{\lambda}, \quad (6)$$

где

$$v_v = v_d(t) + K_{Iv} \int_0^t [v_d(\tau) - v(\tau)] d\tau, \quad (7)$$

и

$$f_{\lambda} = \dot{\lambda}_d(t) + K_{P\lambda} [\lambda_d(t) - \lambda(t)], \quad (8)$$

где  $K_{Iv}$  и  $K_{P\lambda}$  подходящие симметричные и положительно определенные коэффициенты усиления матрицы [1]. Развязка между подпространствами, управляемыми скоростью и силой, и экспоненциальная асимптотическая устойчивость замкнутой системы могут быть доказаны так же, как и для подхода с разрешением ускорения. Кроме того, поскольку силовая ошибка имеет динамику второго порядка, к формуле (8) можно добавить интегральное действие, чтобы улучшить возможности подавления помех, т. е.

$$f_{\lambda} = \dot{\lambda}_d(t) + K_{P\lambda} [\lambda_d(t) - \lambda(t)] + K_{I\lambda} \int_0^t [\lambda_d(\tau) - \lambda(\tau)] d\tau, \quad (9)$$

Экспоненциальная асимптотическая устойчивость гарантируется, если матрицы  $K_{I\lambda}$  и  $K_{P\lambda}$  симметричны и положительно определены.

Если в формуле (2) использовать оценку  $\hat{C}$  матрицы жесткости среды, как и в подходе с разрешением ускорения, экспоненциальная сходимость к константе  $\lambda d$  всё же может быть обеспечена, как для формулы (8), так и для формулы (9).

В некоторых приложениях помимо матрицы жесткости неопределенной является геометрия среды. В этих случаях может быть реализован закон управления усилием/движением, аналогичный формуле (2), без использования матриц выбора  $S_v$  и  $S_f$  для отделения подпространства, управляемого силой, от подпространства, управляемого скоростью. Закон управления движением можно задать в виде формулы (7), но используя полную обратную связь по скорости. Также можно задать закон управления силой, как в формуле (9), но с полной обратной связью по силе и моменту. То есть и управление движением, и управление силой применяются во всех направлениях шестимерного пространства. Результирующее управление, известное как управление усилием с поступательным движением или параллельное управление усилием/движением, гарантирует регулирование усилия за счёт ошибок положения вдоль ограниченных направлений задачи, благодаря доминированию регулятора усилия над регулятором движения обеспечивается наличие интегральной ошибки [4].

Из-за независимости между управлением по положению и контролем силы в гибридном управлении усилием/положением в некоторых случаях метод управления будет нестабильным в некоторых положениях. Связано это с тем, что не учитывается явление нелинейной динамической связи манипулятора.

Краткие выводы.

Гибридное управление усилием/движением требует начальных знаний для его реализации. В данной статье был рассмотрен и описан метод основанный на введении обратных связей по скорости и усилию.

#### Библиографический список

1. Bruno Siciliano, Oussama Khatib Springer Handbook of Robotics, 2016г. ISBN – 3319325523, 9783319325521 - С. 2228
2. Улянов С. В., Николаева А. В., Бархатова И. А., Ноздрачев А. В. Интеллектуальная система управления избыточным роботом-манипулятором с семью степенями свободы на основе мягких вычислений // Программные продукты и системы. 2014. №2 (106).
3. Егоров, И. Н. Позиционно-силовое управление робототехническими и мехатронными устройствами : монография / И. Н. Егоров ; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 192 с. ISBN 978-5-9984-0116-9
4. M.H. Raibert, J.J. Craig: Hybrid position/force control of manipulators, ASME J. Dyn. Syst. Meas. Control 103, 126–133 (1981)
5. O. Khatib: A unified approach for motion and force control of robot manipulators: The operational space formulation, IEEE J. Robotics Autom. 3, 43–53 (1987)

УДК 621.865.8

#### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КОЛЛИЗИЙ ДЛЯ СЕМИЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Ю.А. Жуков<sup>1</sup>, Д.А. Смелов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

**1. Введение.** В настоящее время робототехника и мехатроника являются приоритетными направлениями развития науки и техники. Роботы повсеместно внедряются в производство, обеспечивая прогресс промышленных технологий. Стремительно расширяются области сервисной робототехники. Применение робототехнических комплексов (РТК) позволяет заменить человека во многих сферах деятельности. Возрастает сложность решаемых РТК задач. Особенно актуальны проблемы взаимодействия роботов, групповое, роевое, мультиагентное, колаборативное управление.

При этом зачастую возникает проблема решения задач коллизий робота. Под термином «коллизии» понимаются явления соударения звеньев робота с объектами управления, самосоударения звеньев, столкновения с препятствиями, контактные взаимодействия с другими роботами и объектами в рабочей зоне. Успешное решение задач коллизий необходимо для планирования безопасных траекторий РТК, исключающих соударения и контактные взаимодействия. В настоящей работе представлен обзор методов решения задач коллизий для семизвенового манипулятора, разрабатываемого в рамках научно-исследовательских работ БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова.

Как правило, решение задач коллизий основано на представлении трехмерных пространственных графических моделей (3D-моделей) звеньев РТК и объектов рабочей зоны. Таким образом, возникает задача обнаружения столкновений множества 3D-объектов, находящихся в рабочей зоне манипулятора. Поскольку оценка коллизий каждой пары множества объектов является ресурсозатратным процессом, то, для общего ускорения работы алгоритма, необходимо уменьшить количество исследуемых пар. Это сокращение выполняется путем разделения обработки столкновений нескольких объектов на две фазы: широкую фазу и фазу сужения. Широкая фаза определяет меньшие группы объектов, которые могут сталкиваться, и быстро исключает те, которые точно не сталкиваются. Фаза сужения представляет собой парные тесты внутри подгрупп. Алгоритмы фазы сужения отвечают за определение точных столкновений. Представим алгоритмы, применяемые для каждой фазы.

**2. Алгоритмы широкой фазы.** Все известные алгоритмы широкой фазы в той или иной степени основаны на использовании деревьев ограничивающих объемов (Bounding Volume Trees, BV-trees), представляющих собой аппроксимацию объемного тела набором непересекающихся канонических объемов (таких как параллелепипеды или сферы).

Простейшим примером BV-дерева является понятие октантного дерева, аппроксимирующего объем с помощью правильных кубов со сторонами, параллельными осям координат. Построив октантное дерево для каждого тела, можно с помощью простого алгоритма искать пересечение. Основным недостатком данного подхода является необходимость перестроения дерева при вращательном движении тел.

Деревья сфер (С-деревья), напротив, позволяют получить инвариантное относительно вращения представление. Окружив каждое тело сферой, центр которой совпадает с центром масс тела, можно проверять пересечения простым вычислением расстояний между центрами и сравнением их с радиусами. Для эффективного представления требуется дробить тело на части и окружать каждую из них своей сферой. С-деревья представляют собой смесь выпуклых многогранников и сфер, что позволяет более точно окружать объем тела. Однако строить такие деревья автоматически достаточно трудно.

AABB-деревья (AABB - Axis Aligned Bounded Boxes – ориентированные по осям параллелепипеды) окружают каждое тело параллелепипедом со сторонами, параллельными координатным осям [7]. Для поиска пересечения параллелепипедов используются их проекции на координатные оси (представляющие собой интервалы). Для каждой оси эти интервалы сортируются, что позволяет обнаружить пересечения. При обнаружении пересечения между двумя параллелепипедами по всем трем координатным осям алгоритм может разделить параллелепипед на четыре части и продолжить сравнение. Обычно используют два разных типа AABB-деревьев: параллелепипеды фиксированных и динамических размеров. Первые окружают тело вокруг его центра масс с учетом всех возможных вращений. Такие параллелепипеды могут быть построены заранее, а затем использованы на каждом шаге алгоритма динамической симуляции движения. Динамический размер подразумевает построение наименьшего параллелепипеда для данной ориентации тела, что требует дополнительных вычислений на каждом шаге симуляции.

OBV-деревья отличаются от AABB тем, что параллелепипеды допускают произвольную ориентацию (OBV - Oriented Bounded Boxes - ориентированный ограничивающий параллелепипед) [3], тем самым каждое тело окружается наименьшим параллелепипедом, который затем вращается вместе с телом. Проверка на пересечение для OBV-деревьев выполняется сложнее, чем для AABB.

K-DOPs (от DOP - Discrete Oriented Polytopes – дискретно-ориентированные многогранники) определяют семейства выпуклых многогранников, грани которых имеют только конечное число (K) ориентаций (нормалей) [4]. Например, AABB-деревья являются 6-DOP. В данном подходе подразумевается статическое построение многогранников до начала динамической симуляции движения, а на каждом шаге проверки столкновений вычисляется пересечение заранее построенных K-DOPs вокруг текущих центров масс тел.

Охватываемые сферой объемы (SSV - Swept Sphere Volumes) определяют семейство таких канонических объемов, как сфера, конечный цилиндр со скругленными окончаниями, параллелепипед со скругленными гранями. Сложность их обработки сопоставима со сложностью обработки OBV-деревьев, но данное представление во многих случаях позволяет провести более аккуратную проверку на столкновение.

Еще одним известным методом аппроксимации тел во время широкой фазы является окружение их эллипсоидами минимального объема. Данный способ также является улучшением представления в виде OBV-деревьев.

**3. Алгоритмы фазы сужения.** Многие алгоритмы фазы сужения основаны на нахождении расстояния между объектами, представленным в виде ограничивающих объемов. Однако при таком подходе уменьшается точность полученных результатов. Наиболее точно можно представить 3D-объекты в виде выпуклых многогранников. Существуют два основных подхода к выпуклым многогранникам: алгоритмы, основанные на признаках, и алгоритмы, основанные на симплексах.

Первый метод, основанный на признаках, был предложен Лином и Канни [5]. Элементами выпуклого многогранника являются вершины, ребра и грани. Алгоритм Lin–Canny выполняет локальный поиск по этим объектам, используя предварительно вычисленную диаграмму Вороного. Выпуклость гарантирует, что удастся избежать локальных минимумов. Кроме того, алгоритм использует пространственную и временную согласованность между двумя различными запросами: обычно, объекты не перемещаются слишком сильно между двумя кадрами моделирования. Следовательно, ближайший объект в текущем кадре находится близко к ближайшему объекту из следующего кадра. Основным недостатком алгоритма является то, что он не может обрабатывать промежуточные сцены. В этом случае он выполняется в бесконечном цикле.

Более поздним, аналогичным алгоритмом, устраняющим некоторые серьезные недостатки в алгоритме Lin–Canny, является алгоритм Voronoi-Clip, или V-Clip [6]. V-Clip работает с многогранными объектами, которые могут быть невыпуклыми или даже разъединенными. Он возвращает ближайшие точки между объектами и расстояния между ними. Если объекты проникают внутрь, он возвращает глубину проникновения. V-Clip требует, чтобы приложение указывало невыпуклые или несвязанные объекты в виде иерархий выпуклых частей. При вызове для непересекающихся невыпуклых объектов V-Clip возвращает нижнюю границу фактического расстояния между объектами. Основными целями алгоритма V-Clip были надежность и эффективность. Реализация хорошо работает даже при наличии геометрических вырождений и не содержит допусков с плавающей запятой для настройки пользователем. Он отличается от других алгоритмов с точки зрения эффективности. В типичных приложениях V-Clip вычисляет ближайшие точки между объектами почти за постоянное время.

Наиболее известным, основанным на симплексе, алгоритмом является алгоритм Гилберта-Джонсона-Кирти, обычно называемый GJK [2]. Отличительной особенностью этого алгоритма является то, что он применим не только для выпуклых многогранников, но и для любых выпуклых фигур. В алгоритме GJK используется определение разности Минковского, которая обладает следующим свойством: если две фигуры пересекаются, то разность Минковского будет содержать точку начала координат. Вычисление разности Минковского может занять много времени, особенно если проверяется пересечение двух фигур, состоящих из множества точек. Чтобы избежать этого, GJK использует две ключевые концепции: вспомогательные функции и симплексы.

В рамках работы с помощью реализации алгоритма GJK в среде Matlab проверяется на коллизии семизвенный манипулятор. В качестве 3D-моделей звеньев были приняты цилиндры и найдены расстояния между последним и первым звеньями, между последним звеном и стенами рабочей зоны.

**4. Кинематика семизвенного манипулятора.** Для того, чтобы найти ближайшие расстояния между определёнными выше объектами, необходимо решить прямую задачу кинематики манипулятора [1]. На рис.1 показана кинематическая схема семизвенного манипулятора.

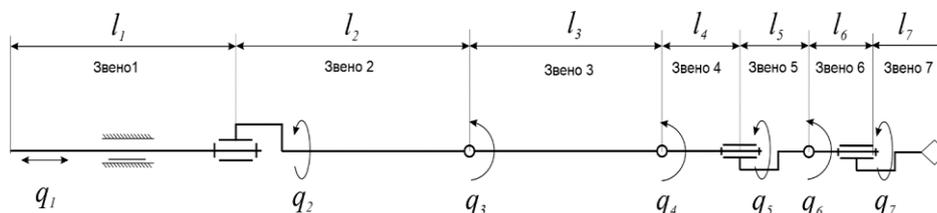


Рис.1 Кинематическая схема семизвенного манипулятора

Семизвенный манипулятор включает:

- звено 1 (блок приводов) длиной  $l_1$ ;
- звено 2 — телескоп длиной  $l_2$ ;
- звено 3 — плечо длиной  $l_3$ ;
- предплечье, состоящее из двух полуштанг звена 4 и звена 5, длиной  $l_4$  и  $l_5$  соответственно;
- кисть, состоящую из двух полуштанг звена 6 и звена 7, длиной  $l_6$  и  $l_7$  соответственно.

Кинематическая схема определяет манипулятор с 7 звеньями, последовательно соединенными шарнирами 5 класса.

Движение манипулятора характеризуется 7 обобщенными координатами, то есть 7 степенями подвижности:

- $q_1$  — линейное перемещение блока приводов относительно основания,
- $q_2$  — угловое перемещение — поворот звена 2 относительно продольной оси звена 1 блока приводов,
- $q_3$  — угловое перемещение — поворот звена 3 относительно звена 2,
- $q_4$  — угловое перемещение — поворот звена 4 относительно звена 3,
- $q_5$  — угловое перемещение — осевой поворот звена 5 относительно звена 4,
- $q_6$  — угловое перемещение — поворот звена 6 относительно звена 5,
- $q_7$  — угловое перемещение — осевой поворот звена 7 относительно звена 6.

Для определения параметров 3D-моделей звеньев в алгоритме GJK требуется решение прямой задачи кинематики, которое формировалось и реализовывалось в среде математического моделирования Matlab.

Системы координат, связанные со звеньями манипулятора, введены, как показано на рис. 2

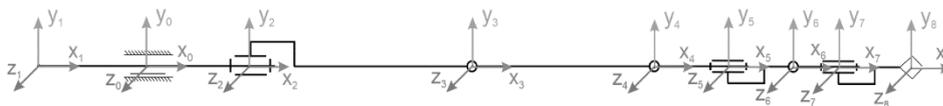


Рис. 2 Системы координат манипулятора

Абсолютная система координат  $O_0X_0Y_0Z_0$  определена как основание манипулятора.

Система координат  $O_1X_1Y_1Z_1$  связана с блоком приводов, её смещение вдоль оси  $O_0X_0$  характеризуется координатой  $q_1$ .

Система координат  $O_2X_2Y_2Z_2$  связана со звеном 2, её поворот относительно оси  $O_1X_1$  задается углом  $q_2$ .

Система координат  $O_3X_3Y_3Z_3$  связана со звеном 3, её поворот относительно оси  $O_3Z_3$  задается углом  $q_3$ .

Система координат  $O_4X_4Y_4Z_4$  связана со звеном 4, её поворот относительно оси  $O_4Z_4$  задается углом  $q_4$ .

Система координат  $O_5X_5Y_5Z_5$  связана со звеном 5, её поворот относительно оси  $O_4X_4$  задается углом  $q_5$ .

Система координат  $O_6X_6Y_6Z_6$  связана со звеном 6, её поворот относительно оси  $O_6Z_6$  задается углом  $q_6$ .

Система координат  $O_7X_7Y_7Z_7$  связана со звеном 7, её поворот относительно оси  $O_6X_6$  задается углом  $q_7$ .

Система координат  $O_8X_8Y_8Z_8$  связана инструментом, её положение задается относительно смещением на длину  $l_7$  относительно оси  $O_7X_7$ .

Однородные матрицы преобразования были найдены по формуле (1):

$${}^{i-1}A_i = T_{z,d} T_{z,\theta} T_{x,a} T_{x,\alpha} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i - \cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & \alpha_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & \alpha_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  ${}^{i-1}A_i$  – матрица преобразования от  $(i-1)$ -й к  $i$ -й системе координат;

$T_{z,d}$  – однородная матрица сдвига вдоль оси  $z_{i-1}$  на расстояние  $d_i$ ;

$T_{z,\theta}$  – однородная матрица поворота вокруг оси  $z_{i-1}$  на угол  $\theta_i$ ;

$T_{x,a}$  – однородная матрица сдвига вдоль оси  $x_i$  на расстояние  $a_i$ ;

$T_{x,\alpha}$  – однородная матрица поворота вокруг оси  $x_i$  на угол  $\alpha_i$ .

Решение прямой задачи кинематики было вычислено по формуле (2):

$${}^0T_i = {}^0A_1 {}^1A_2 \dots {}^{i-1}A_i = \prod_{j=1}^i {}^{j-1}A_j \quad (2)$$

Таблица 1 — ДХ-параметры манипулятора

Сочленение $i$	$\theta_i$ , рад	$\alpha_i$ , рад	$a_i$ , м	$d_i$ , м
1	0	0	0	$l_1 - q_1$
2	$q_2 + \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$l_2$
3	$q_3 + \frac{\pi}{2}$	0	$l_3$	0
4	$q_4 + \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	0
5	$q_5 + \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$l_4 + l_5$
6	$q_6 + \pi$	$\frac{\pi}{2}$	0	0
7	$q_7$	0	0	$l_6 + l_7$

**5. Оценка коллизий семизвеного манипулятора.** Цилиндры, которые были приняты в качестве геометрических 3D-моделей звеньев, имеют следующие параметры. Длины цилиндров:  $l_1 = 1,2$  м,  $l_2 = 0,1$  м,  $l_3 = 0,8$  м,  $l_4 = 0,4$  м,  $l_5 = 0,5$  м,  $l_6 = 0,2$  м,  $l_7 = 0,1$  м. Радиусы цилиндров:  $r_1 = 0,1$  м,  $r_2 = 0,08$  м,  $r_3 = 0,08$  м,  $r_4 = 0,05$  м,  $r_5 = 0,03$  м,  $r_6 = 0,02$  м,  $r_7 = 0,02$  м. На рис. 3 представлен результат работы программы.

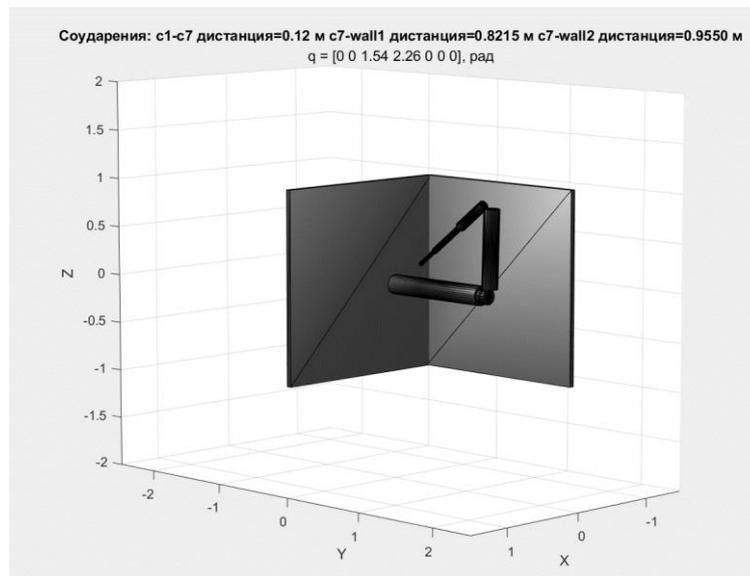


Рис. 3 Результат работы программы оценки коллизий

Как демонстрируется на рис.3, исследуемый алгоритм GJK успешно решает задачу коллизий в модели семизвеного робота и рабочей зоны. Оцениваются кратчайшие расстояния между тестируемыми парами 3D-объектов.

**6. Заключение.** В представленной работе представлен обзор методов решения задач обнаружения коллизий в системе управления РТК. Для реализации оценки соударений семизвеного манипуляционного робота предложен алгоритм Гилберта-Джонсона-Кирти (GJK). Решена прямая задача кинематики семизвеного робота, предложены 3D-модели объектов соударения рабочей зоны. В среде математического моделирования Matlab разработано программное обеспечение оценки решения задачи коллизий. Отмечено, что алгоритм GJK успешно решает проблему оценки коллизий с точностью, подходящей для реализации в программном обеспечении системы управления РТК. В будущем планируется развитие работы, реализация рассмотренных алгоритмов в целевой операционной системе РТК, оценка быстродействия и качества оценки коллизий в 3D-моделях разрабатываемого РТК.

#### Библиографические ссылки

1. Bruno Siciliano, Oussama Khatib. Springer Handbook of Robotics, 2016.
2. Gilbert, Elmer. Daniel Johnson. S. Sathiya Keerthi. A Fast Procedure for Computing the Distance Between Complex Objects in Three-dimensional Space // IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 4, no. 2, pp. 193–203, 1988.
3. Gottschalk, Stefan. Ming Lin. Dinesh Manocha. OBB-Tree: A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection // Computer Graphics (SIGGRAPH 1996 Proceedings), pp. 171–180, 1996.
4. Klosowski, James. Martin Held. Joseph Mitchell. Henry Sowizral. Karel Zikan. Efficient Collision Detection Using Bounding Volume References 565 Hierarchies of k-DOPs // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 4, no. 1, pp. 21–36, 1998.
5. Lin, Ming. John Canny. A Fast Algorithm for Incremental Distance Calculation // Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1008–1014, April 1991.
6. Mirtich, Brian. V-Clip: Fast and Robust Polyhedral Collision Detection, // ACM Transactions on Graphics, vol. 17, no. 3, pp. 177–208, July 1998.
7. van den Bergen, Gino. Efficient Collision Detection of Complex Deformable Models Using AABB Trees // Journal of Graphics Tools, vol. 2, no. 4.

УДК 629.78

#### РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*А.В. Кададова<sup>1</sup>, Н.А. Соловьев<sup>1</sup>, Д. М. Коновалов<sup>1</sup>, В.В. Уткин<sup>1</sup>*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

С каждым годом растет количество запускаемых малых спутников в формате CubeSat. Данный формат подразумевает размер одного юнита 10x10x11.35 см называемого "1U" (У-Юнит) весом до 1,33 кг [1]. CubeSat представляет собой скелетную металлическую раму, имеющую форму параллелепипеда. Внутри рама разделена специальными переборками, на которые устанавливаются

различные компоненты аппарата. Снаружи спутника находятся солнечные панели и антенны. Наибольшую популярность приобрел формат 3U, имеющие размеры 3 юнита соответственно.

Разрабатываемый малый космический аппарат (МКА) формата CubeSat 3U «Горизонт» в своем составе имеет четыре полезные нагрузки. Данные модули являются собственными разработками студентов нашего вуза, и обеспечивают работоспособность аппарата или же используемых для проведения экспериментов. Разработка полезных нагрузок ведется в рамках выигранного гранта проекта «Дежурный по планете» (6 очередь), организованного Фондом содействия инновациям.

Первая нагрузка - модуль солнечных панелей. Он представляет собой блок, обеспечивающий раскрытие солнечных панелей спутника на орбите для увеличения площади покрытия сбора для преобразования солнечной энергии. Солнечные батареи снабжают электроэнергией аппаратуру космических аппаратов, а также обеспечивают зарядку электрохимических аккумуляторов, используемых на теневых участках орбиты [2]. Основная задача применения солнечных батарей – преобразование энергии солнца в постоянный электрический ток. Предназначение модуля раскрытия солнечных панелей – исследовать работоспособность подобных систем на МКА, протестировать возможность внедрения технологии разрывтия для аппаратов 6U и других.

Сам модуль представляет собой две симметричные относительно геометрической оси CubeSat солнечные панели. В сложенном положении эта нагрузка занимает объем не более 1U CubeSat. Модуль солнечных панелей осуществляет поворот на определенный угол относительно одного торца. Рисунок сборки модуля представлен на рис.1.

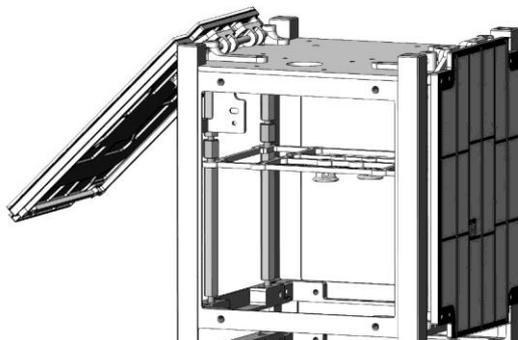


Рисунок 1. Сборка блока панелей, пружины условно не показаны

С противоположного торца юнита находится пережигатель нити, которая удерживает панели в нераскрытом положении. В сложенном положении, нить, проведенная поверх панелей и предварительно натянутая с помощью храповика, удерживает панель и не дает ей перемещаться внутри пускового контейнера. В крупных космических аппаратах, как правило, за раскрытие панелей отвечают кинематические модули, в разрабатываемом МКА для упрощения конструкции используется схема однократного раскрытия: пружина обеспечивает раскрытие, а натянутая поверх панели нить является предохранительным устройством [3]. При подаче команды на пережигатель, нить разрывается, и под действием пружины панель отклоняется на 90 градусов. Преимущество комбинации пережигателя и пружины заключается в простой реализации алгоритма раскрытия панели, что значительно повышает надежность. Модуль был спроектирован в системе автоматического проектирования, общий вид спутника с раскрытыми панелями представлен на рисунке 2.

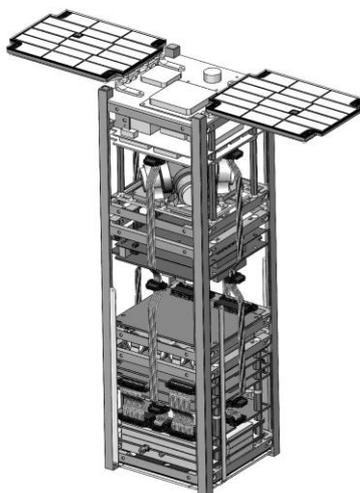


Рисунок 2 – Общий вид спутника с раскрытыми солнечными панелями

Для исследования деградации характеристик под воздействием факторов космического пространства, первая солнечная панель будет выполнена в космическом исполнении, вторая солнечная панель – из компонентов, использующихся для наземных солнечных панелей.

Следующий модуль – блок маховиков. Данный модуль отвечает за ориентацию аппарата на орбите – то есть за его положение относительно Земли. За счет данного устройства аппарат всегда можно расположить таким образом, чтобы имелась возможность для осуществления связи с центром управления полетами. Модуль основан на четырех маховиках, реализованных на базе электрических двигателей. При управлении системой маховиков выполняется ориентация спутника по трем осям. Применение четырех двигателей–маховиков позволяет увеличить надежность и безотказный период работы устройства [4]. Разрабатываемая маховичной системы обладает преимуществом по сравнению с аналогичными: меньшие габариты и себестоимость, возможно интеграции в другие платформы [5,6].

Для данного модуля были подобраны двигатели, спроектированы маховики и рассчитана прочность рама для крепления модуля. Основание блока выполнено из фрезерованного дюралюминиевого листа, стойки под электромоторы изготавливаются из технических пластиков методом 3д печати, массы маховиков выполняются из бронзы, свинца или любого другого плотного материала. Крепление массы маховика на вал электродвигателя осуществляется посредством посадки с натягом и при необходимости - использованием шлицевого соединения. Общий вид модуля представлен на рисунке 3.

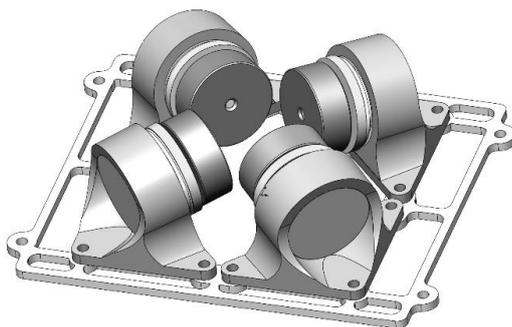


Рисунок 3 – Общий вид блока. Шлейфы электродвигателей не показаны

Контроль за работой и состоянием системы маховиков осуществляется с помощью микроконтроллера STM32 печатной платы управления. После информация о системе передается в блок управления полезными нагрузками.

Перейдем к электронным компонентам – модуль памяти. Любым электронным системам необходима память для надёжного хранения данных. Это особенно актуальный вопрос в космической технике, используемой в исследовательских миссиях. По этой причине было решено разработать именно модуль магниторезистивной памяти в качестве полезной нагрузки. Он позволит протестировать передовой вид отказоустойчивых, энергонезависимых и быстродействующих запоминающих устройств на пригодность применения в космосе. Модуль предназначен для исследования влияния космической радиации на электронные компоненты. Модуль представляет собой электронный блок, на котором размещены микросхемы памяти одного типа. Различная степень физической защиты от радиации, устанавливаемая набором экранов, позволит исследовать устойчивость микросхем к радиации. На рисунке 4 представлена разработанная плата с описанием компонентов.

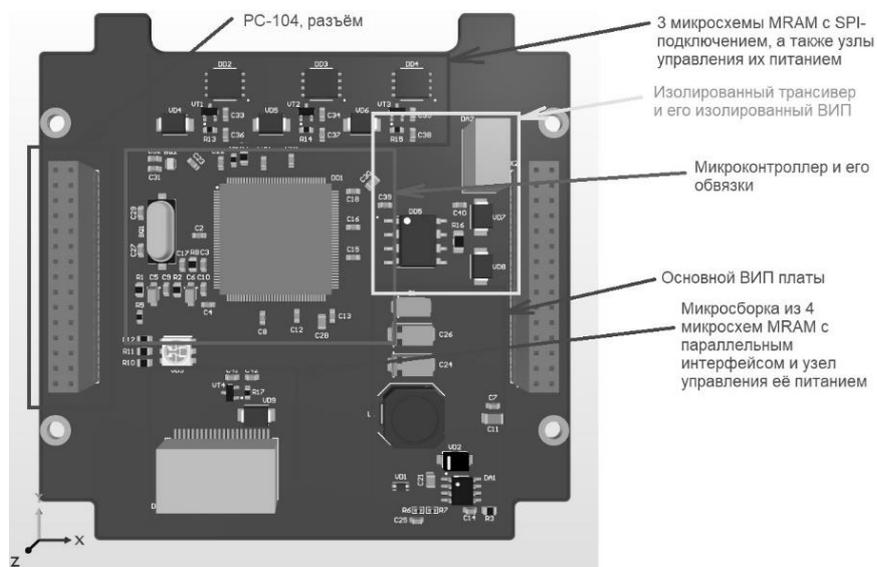


Рисунок 4 – Общий вид платы модуля исследования электронных компонентов

Совместно с блоком памяти разрабатывается универсальный модуль связи, который позволит осуществлять полный цикл действий с аппаратом – управление полезными нагрузками, получение данных о состоянии спутника – телеметрии, ориентация аппарата в пространстве. Оснащенный большим количеством разнообразных антенн, данный модуль жизненно необходим для контроля за космическим аппаратом. Модуль радиоканала объединяет в себе приёмопередатчики 2-ух диапазонов частот - 436 и 2400 МГц. Оба канала используют линейно-частотную модуляцию для повышения помехозащищенности и улучшения энергетического бюджета радиолинии борт-земля. Расчетная скорость передачи данных по ультракоротким волнам (УКВ) каналу составляет 4800 бит/с, а по каналу S-диапазона до 32 кбит/с при использовании слабонаправленных антенн. Такая радиолиния поможет получать данные с аппарата с большей скоростью и за схожее время передавать больший объем данных, нежели традиционный УКВ радиоканал. Структурная схема модуля представлена на рис.5.

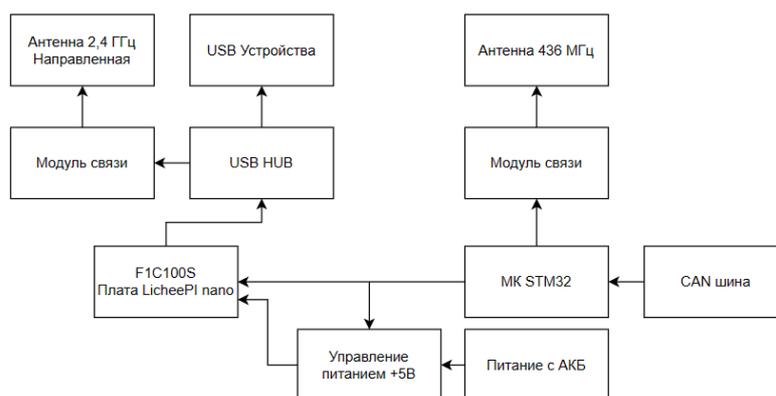


Рисунок 5 –Структурная схема модуля связи

Условно плата разделена на 2 подсистемы: 433 МГц и 2400 ГГц. Для работы первой подсистемы используется микроконтроллер (МК) STM32, к которому подключен трансивер с антенной. Он подключен к общей CAN шине аппарата и используется для передачи и приема команд в общую шину. Модуль связи отвечает за преобразование данных в радиосигнал в обратную сторону: преобразование радиосигнала в данные. По требованию активируется вторая часть, которая состоит из МК F1C100S, трансивера с антенной и USB UUB для подключения иных USB устройств, требующих скоростной шины данных. Питания платы с LicheePI nano происходит по линии 5 В с питания аккумуляторных батарей (АКБ). В нормальном состоянии эта часть выключена для сохранения электроэнергии. Через подключение двух микроконтроллеров может быть осуществлена прямая передача данных из низкоскоростной шины данных в высокоскоростную и обратно. Такое соединение может потребоваться для получения данных от бортовой шины данных.

Также в состав модуля входит одноплатный компьютер на базе процессора Alwinner F1C100s, который возьмёт на себя задачи обработки данных с радиоканалов, получения изображения с камеры, а также позволит оперативно перепрограммировать микроконтроллеры на других платах полезных нагрузок спутника.

В данной работе были описаны полезные нагрузки для спутника формата CubeSat 3U, обоснована их актуальность. В статье приведены промежуточные расчеты и результаты работы. На сегодняшний день продолжается работа по созданию полезных нагрузок. Запуск МКА запланирован на декабрь 2023 года.

#### Библиографический список

1. Nanosats Database [Электронный ресурс] // Электрон. дан. URL: <https://www.nanosats.eu> (дата обращения: 18.12.2022)
2. Анализ конструкций солнечных батарей космических аппаратов / З. А. Казанцев, А. М. Ерошенко, Л. А. Бабкина, А. В. Лопатин // Космические аппараты и технологии. – 2021. – Т. 5, № 3(37). – С. 121-136. – DOI 10.26732/j.st.2021.3.01.
3. Немчанинов, С. И. Механическое устройство многоразового раскрытия/складывания батареи солнечной / С. И. Немчанинов // . – 2014. – Т. 1. – С. 92-94.
4. Васильев В.Н. Системы ориентации космических аппаратов / В.Н. Васильев. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 310 с.
5. Блок маховиков Электрон. дан. URL: <https://sputnix.ru/ru/priboryi/pribory-cubesat/blok-maxovikov/> (дата обращения: 18.12.2022).
6. CubeADCS 3-Axis | CubeSpace Электрон. дан. URL: <https://www.cubespace.co.za/products/integrated-adcs/3-axis/> (дата обращения: 18.12.2022).

## Авторы сборника

<i>Авдиенко А.И.</i>	137	<i>Кучков А.В.</i>	60
<i>Авдиенко А.И.</i>	182	<i>Кушов В.В.</i>	77
<i>Авдонин Д.А.</i>	137	<i>Лестенко Н.А.</i>	74
<i>Авдонин Д.А.</i>	159	<i>Логинов Д.Д.</i>	144
<i>Агаркова Ю.С.</i>	148	<i>Лужков Д.А.</i>	142
<i>Аксенов А.А.</i>	83	<i>Лясковская Л.Н.</i>	96
<i>Аникин Г.С.</i>	122	<i>Макеев И.А.</i>	110
<i>Арутюнян В.В.</i>	178	<i>Мануйленко А.А.</i>	182
<i>Бабанин Г.А.</i>	127	<i>Минина А.А.</i>	156
<i>Байсалямов В.Р.</i>	77	<i>Минина А.А.</i>	166
<i>Баленко Н.А.</i>	53	<i>Миронова Е.А.</i>	101
<i>Бармина А.А.</i>	5	<i>Мишина О.А.</i>	83
<i>Бойко А.Ю.</i>	159	<i>Молчанов Е.Г.</i>	83
<i>Бойко А.Ю.</i>	171	<i>Надежин М.И.</i>	53
<i>Вальштейн К.В.</i>	5	<i>Надежин М.И.</i>	162
<i>Гадасин Д.В.</i>	14	<i>Никитин В.В.</i>	26
<i>Гибадуллин Е.А.</i>	137	<i>Николаев Р.Е.</i>	156
<i>Гладевич А.А.</i>	5	<i>Одинцов Э.А.</i>	45
<i>Глухов А.Р.</i>	66	<i>Омелехин Н.В.</i>	108
<i>Голубев Э.В.</i>	166	<i>Оробченко С.В.</i>	104
<i>Гончаров В.О.</i>	53	<i>Панина Е.П.</i>	87
<i>Гончаров В.О.</i>	153	<i>Пантелеева К.А.</i>	14
<i>Горчаков Н.Д.</i>	12	<i>Патлахов В.А.</i>	137
<i>Грагерт В.Д.</i>	162	<i>Петров С.М.</i>	133
<i>Данилевич Ф.Д.</i>	98	<i>Петров Ю.В.</i>	110
<i>Данилевич Ф.Д.</i>	115	<i>Петухов Н.И.</i>	104
<i>Доронина П.Д.</i>	171	<i>Польских А.М.</i>	57
<i>Евсевичев Д.А.</i>	45	<i>Попов А.С.</i>	45
<i>Евсеев А.Д.</i>	104	<i>Пушнякова Е.В.</i>	144
<i>Егоров В.В.</i>	122	<i>Рыжков И.С.</i>	74
<i>Егоров В.В.</i>	131	<i>Рычкова Д.А.</i>	91
<i>Ельчинский В.С.</i>	98	<i>Ряхина М.Ю.</i>	101
<i>Ельчинский В.С.</i>	115	<i>Савков В.П.</i>	166
<i>Жигулина Ю.В.</i>	153	<i>Семёнова Е.Г.</i>	26
<i>Жуков Ю.А.</i>	162	<i>Сементин В.В.</i>	19
<i>Жуков Ю.А.</i>	184	<i>Сементин В.В.</i>	80
<i>Землянская Е.Р.</i>	74	<i>Сертаков В.В.</i>	117
<i>Зиновьева М.А.</i>	37	<i>Слободзян Н.С.</i>	162
<i>Иванова О.Ю.</i>	33	<i>Слободзян Н.С.</i>	53
<i>Ильин С.А.</i>	72	<i>Смелов Д.А.</i>	184
<i>Ионов Д.А.</i>	41	<i>Соловьев Н.А.</i>	188
<i>Кададова А.В.</i>	30,188	<i>Спирин А.Е.</i>	47
<i>Кадочников Д.М.</i>	30	<i>Споданейко В.С.</i>	93
<i>Каппанен И.А.</i>	22	<i>Степанов Г.С.</i>	178
<i>Кашлаков И.В.</i>	153	<i>Субботин В.М.</i>	98
<i>Кашлаков И.В.</i>	159	<i>Субботин В.М.</i>	115
<i>Кикина А.Ю.</i>	148	<i>Суров М.Д.</i>	9
<i>Ким А.А.</i>	77	<i>Сухов Т.М.</i>	60
<i>Киселев А.А.</i>	171	<i>Тагаев Т.И.</i>	127
<i>Ковтун А.А.</i>	74	<i>Талабанова Н.Е.</i>	159
<i>Комкин А.К.</i>	174	<i>Талабанова Н.Е.</i>	182
<i>Коновалов Д. М.</i>	188	<i>Тимофеева В.И.</i>	153
<i>Коноплев Ю.В.</i>	41	<i>Уткин В.В.</i>	30,188
<i>Кормицикова Э.А.</i>	33	<i>Фирсанов Г.А.</i>	178
<i>Корнеев Н.А.</i>	156	<i>Хлымов И.А.</i>	19
<i>Корнесев Н.А.</i>	182	<i>Хлымов И.А.</i>	80
<i>Коротков А.Д.</i>	178	<i>Чаева М.О.</i>	140
<i>Костромитина К.В.</i>	19	<i>Чеботарев Ю.С.</i>	148
<i>Костромитина К.В.</i>	80	<i>Шевчик А.А.</i>	72
<i>Кочка К.В.</i>	104	<i>Ширишов А.Д.</i>	41
<i>Крылова М.А.</i>	93	<i>Шматок А.Н.</i>	131
<i>Крылова М.А.</i>	108	<i>Штеренберг С.И.</i>	94
<i>Кузьмин Э.Е.</i>	156		

К печати сборник подготовлен Д.К. Дмитриевым.  
 Подписано в печать 10.08.2023. Формат 60×84/16. Бумага документная.  
 Печать цифровая. Усл. печ. л. 3,2. Тираж 15 экз. Заказ № —  
 Балтийский государственный технический университет  
 Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1