МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА

ЦЕНТР ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ

«ШАГ В БУДУЩЕЕ»

XXIII НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ МОЛОДЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

СБОРНИК ЛУЧШИХ РАБОТ

Москва 2020

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Вы держите в руках сборник, в который вошли лучшие статьи участников Научно - образовательного соревнования молодых исследователей «Шаг в будущее», проходившего с 10 по 16 марта 2020 года в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Статьи подготовлены школьниками в рамках конкурса проектных работ и публикуются в авторской редакции.

Основной задачей научно-образовательного соревнования «Шаг в будущее» является выявление и вовлечение в научно-исследовательскую работу, в сферу инженерного творчества учащихся образовательных учреждений, организация сотрудничества исследователей и ученых разных поколений, создание специальных условий в стенах МГТУ им. Н.Э. Баумана для воспитания профессионально-ориентированной, склонной к научной работе молодежи, осуществление комплексного подхода к оценке интеллектуального и творческого потенциала будущего студента. «Шаг в будущее, Москва» является уникальным методом профессиональной подготовки, которая осуществляется круглогодично в научно-исследовательских лабораториях школьников, созданных на базе кафедр Университета и ведущих предприятий Москвы, и индивидуально с преподавателями МГТУ им. Н.Э. Баумана, которые выступают в качестве научных руководителей в течение одного, двух и более лет.

Результатом такой подготовки становится научно-исследовательская работа, оформленная в соответствии с требованиями, соизмеримыми с требованиями на курсовые работы и отчеты по НИР, и представляемая для публичной защиты на научных секциях конференции, которые проводятся на кафедрах МГТУ им. Н.Э. Баумана при участии ведущих преподавателей, ученых и специалистов. Научными направлениями конференции являются: Машиностроительные технологии; Информатика и системы управления; Радио-опто-электроника; Биомедицинская техника; Специальное машиностроение, Энергетика и экология, Автоматизация, робототехника и механика; Инженерный бизнес и менеджмент; Фундаментальные науки; Образовательно-реабилитационные технологии.

В рамках ежегодного научно-образовательного соревнования проводится: Выставка - конкурс программных разработок, которая за многие годы своего существования стала традиционным смотром достижений школьников, увлеченных захватывающим процессом создания компьютерных программ, и доказала свою состоятельность оригинальностью и новизной программных продуктов, участвовавших в Выставке и использовавшихся в дальнейшем в научных работах, учебном процессе, коммерческой реализации. Также проводились региональные и окружные научные конференции, экскурсии на ведущие предприятия Москвы и в музей МГТУ им. Н.Э. Баумана, научно-методические совещания и семинары для профессиональных работников, другие интеллектуальные и творческие мероприятия.

Благодаря научно-образовательной и профессионально-ориентированной подготовке на базе научно-исследовательской работы молодежи в стенах МГТУ им. Н.Э. Баумана, наша страна получает целеустремленных и энергичных молодых специалистов, способных создавать высокие технологии, новую технику, проводить фундаментальные научные разработки.

Научно-образовательное соревнование «Шаг в будущее, Москва» носит не только научный, образовательный и социальный характер, но представляет собой соревнование, на котором выбираются победители в различных номинациях. Всем участникам вручаются свидетельства участника научно-образовательного соревнования. Победители на торжественном закрытии награждаются дипломами и ценными подарками от МГТУ им. Н.Э. Баумана, промышленных предприятий и спонсоров.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках работы Центра довузовской подготовки проводятся следующие мероприятия:

- Олимпиады для школьников 8-11 классов, такие как Олимпиада школьников «Шаг в будущее», олимпиада школьников по черчению и компьютерному моделированию, олимпиада по программированию для школьников «ТехноКубок» совместно с Компанией Mail.Ru Group и МФТИ, отраслевая олимпиада школьников «Газпром» совместно с ПАО
- «Газпром» и другими техническими университетами России;
- Экскурсии на предприятия ОПК проводятся совместно с организациями, сотрудничающими с Университетом по целевой подготовке кадров, на ведущие в своей области предприятий страны, с целью раскрытия связи профильного образования с овладением знаний для получения конкретной профессии и будущей трудовой деятельности. Создание системы взаимодействия между школами и предприятиями через учебные заведения высшего профессионального образования состоит в том, чтобы сформировать у молодежи полное представление об их профессиональном будущем, включая выбор будущей специальности, области деятельности, места работы и учебного заведения для получения соответствующего образования. Учащимся предоставляется возможность посетить музеи предприятий, увидеть производственные помещения, побывать на опытных площадках, а также задать все интересующие вопросы, касающиеся деятельности предприятия, условий работы, особенностей поступления и обучения по целевому набору и многое другое;
- Технический лабораторный практикум – школьным инженерным классам организуется в системе университетского образования для учеников 8-11-х классов с целью интеграции методики и технического оборудования университета в учебный процесс общеобразовательных учреждений; расширения и закрепления у обучающихся базовых знаний школьного курса физики, информатики и математики, получения навыков их использования на практике; приобретения опыта в обращении с техническим оборудованием и навыков проведения экспериментов, а также популяризации научно- технических знаний. Цикл лабораторных работ выполняется на действующих современных образцах техники и технологических машин 16-ти экспериментальных лабораторий и 5-ти Научно-образовательных центров: Центр управления полетами малых космических аппаратов; Молодежный космический центр; лабораторный комплекс Дома Физики; НУЦ «Робототехника», НИЦ «Биомедицинская техника». Лабораторные работы сгруппированы по 5-ти разделам физики (Физика твердого тела, Термодинамика и Молекулярно-кинетическая теория, Электродинамика, Оптика, Механика), информатике и математике.
- Летняя практика: Организация и проведение летней научно-образовательной практики для обучающихся 8-10 классов общеобразовательных организаций города Москвы с инженерными классами на базе научно-образовательных центров, Военного института, лабораторий и кафедр следующих факультетов: Машиностроительные технологии, Специальное машиностроение, Энергомашиностроение, Робототехника и комплексная автоматизация, Фундаментальные науки, Радиоэлектроника и лазерная техника, Информатика и системы управления, Биомедицинская техника, Инженерный бизнес и менеджмент МГТУ им. Н.Э. Баумана. Каждому школьнику предоставляется возможность прохождения практики по индивидуальной образовательной траектории, которую он выбирает из вышеназванных подразделений Университета в соответствии с собственными предпочтениями.
- «Ресурсный центр политехнического образования» начал свою работу в 2018-2019 учебном году для учащихся 8-11 классов общеобразовательных организаций города Москвы с инженерными классами, в рамках которого проходят политехнические кружки по четырем научным направлениям: Занимательная электроника; Колесные машины; Инструментальная техника и технологии; Занимательная робототехника. На основании полученных знаний учащиеся могут выполнять самостоятельную проектную работу и представлять результаты своей деятельности на научных конференциях вузовского и городского уровня с участием ведущих специалистов в области техники и технологий.

➢ Проект «Университетские субботы» проводится для вовлеченности в технические специальности более широкого круга школьников 8-11 классов и учащихся колледжей, техникумов, используя потенциал системы высшего профессионального образования. Обеспечивается управляемый доступ школьников к научно-техническим ресурсам университета и работе профессиональных научных коллективов. Интеграция основного и дополнительного образования создает благоприятные условия для взаимодействия педагогов разных специальностей, формирования у подростков и старшеклассников целостной картины мира, комплексного педагогического влияния на личность школьника. В проекте проводятся следующие мероприятия: лекции, практические занятия, творческие занятия, мастер-классы по следующим направлениям: техника и технологии, экономика и управление, физико-математические науки, общественные и гуманитарные науки.

Такая система непрерывных профессиональных образовательных технологий «школа-вуз-предприятие» направлена на решение проблем, стоящих перед сегодняшней системой образования:

- устойчивая мотивация к приобретению профессиональных знаний в выбранной области, основанная на практической деятельности под руководством преподавателей вузов;
- ранняя активная и осознанная профессиональная ориентация;
- развитие сопровождающей научно-исследовательской и профессиональной подготовки в общеобразовательных учреждениях;
- разработка новых методик и новых обучающих технологий для развития современного образования.

Организаторы программы и составители данного сборника надеются, что такая форма работы заинтересует учителей и преподавателей учебных заведений Москвы и Московской области и поможет успешному развитию творческих возможностей довузовской молодежи в сфере научно-технической деятельности.

СЕКЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ (ГУИМЦ) 7

Исследование доступности массовых открытых онлайн курсов для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Савкина Алиса Владимировна

СЕКЦИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ 27

Разработка манипулятора на подвижной платформе

Цыганков Дмитрий Сергеевич

СЕКЦИЯ БИОМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ 40

Исследование возможности применения 3D датчика в задаче оценки двигательной активности рук у пациентов с болезнью Паркинсона

Щербинина Екатерина Михайловна

СЕКЦИЯ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ... 77

Терменвокс с точки зрения эволюции электроники

Волынкина Мария Михайловна

СЕКЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ 144

Разработка тренажера реакции

Шестаков Ярослав Евгеньевич

СЕКЦИЯ ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ (ВЫСТАВКА-КОНКУРС ПРОГРАММНЫХ РАЗРАБОТОК) 174

Программа для визуализации звука с помощью векторов магнитной индукции

Марков Лука Ильич

СЕКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 192

Передача информации с применением технологии NFC в медицинских целях

Лучинкин Илья Алексеевич

СЕКЦИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ 243

Исследование характера разрушения вала топливного насоса автомобиля

Савин Алексей Александрович

СЕКЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 271

Система автоматизированного контроля соблюдения питьевого режима

Спектор Евгений Максимович

СЕКЦИЯ ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ 287

Расчет формирующей линзы светодиодного прожектора

Лях Мария Ильинична
СЕКЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МЕХАТРОНИКА 305

Разработка автономного беспилотного летательного аппарата для доставки малогабаритных грузов в складских помещениях

Лысов Владимир Сергеевич
СЕКЦИЯ ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА 344

Реализация алгоритма Pagerank и его тестирование на реальных данных

Матвеев Юрий Александрович
СЕКЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 372

Исследование возможности разработки и изготовления пневмо-гидравлической ракеты из композитных материалов с высотой полёта до 1000 м

Регуш Иван

СЕКЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ (ГУИМЦ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТУПНОСТИ МАССОВЫХ ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН КУРСОВ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Савкина Алиса Владимировна

ГБОУ ЛИЦЕЙ №1501 (СП№22), 12 «А»
Научный руководитель:
Мозговой Михаил Владимирович
заместитель директора по методической работе,
ГУИМЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы онлайн-обучение стало одним из ведущих трендов в образовании во многих странах мира. Российские вузы также в последние годы начинают активно выходить на рынок онлайн-курсов. Одни вузы используют их лишь для своих студентов (как правило, в виде SMOK – small private online courses), а другие открывают их для всех желающих и даже выдают сертификаты по итогам их освоения [1].

Цель данной работы – исследование доступности массовых открытых онлайн курсов для лиц с ограниченными возможностями здоровья.

В ходе работы планируется решить следующие задачи:

Провести опрос школьников на тему «Исследование доступности массовых открытых онлайн курсов для лиц с ограниченными возможностями здоровья».

Провести обзор наиболее популярных платформ массовых открытых онлайн курсов.

Проанализировать два первые онлайн курса для лиц с ОВЗ от Уральского федерального университета, созданные в конце 2019 года: какие особенности людей с ОВЗ учитываются, что не учтено.

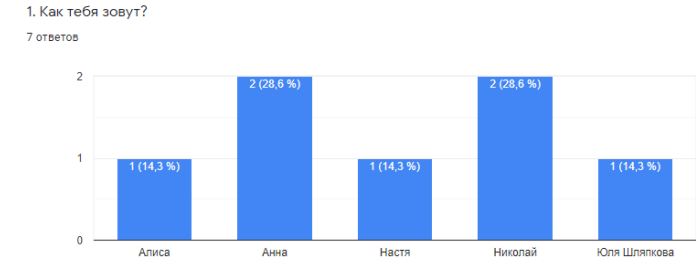
Проанализировать онлайн курсы по математике МГТУ им. Н.Э. Баумана (ГУИМЦ).

Сформулировать рекомендации авторам онлайн курсов по учёту особенностей лиц с ОВЗ.

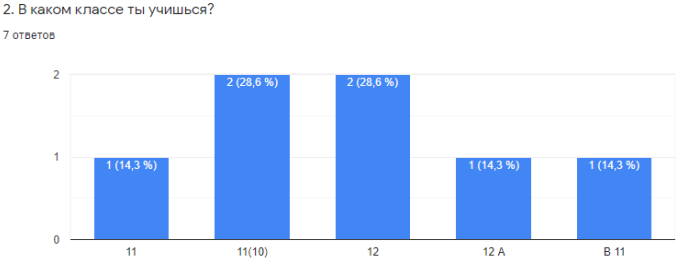
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Для того чтобы понять потребности интересуемой нас категории пользователей онлайн-курсов была составлена анкета, которая приведена ниже. Также приведены результаты анкетирования в виде диаграмм. Были опрошены ученики 11 и 12-го классов.

Как тебя зовут?



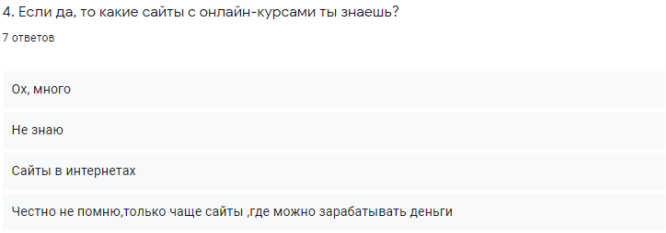
В каком классе ты учишься?



Ты слышал про онлайн-курсы (возможность бесплатно изучать интересующие предметы или области знаний в онлайн формате, просматривая видео-лекции и выполняя задания)?

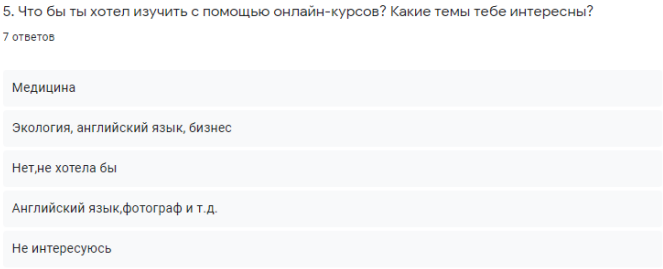
Как мы видим из результатов, большинство опрошенных слышали про онлайн-курсы. Не знают о них лишь 28,6 %.

Если да, то какие сайты с онлайн-курсами ты знаешь?

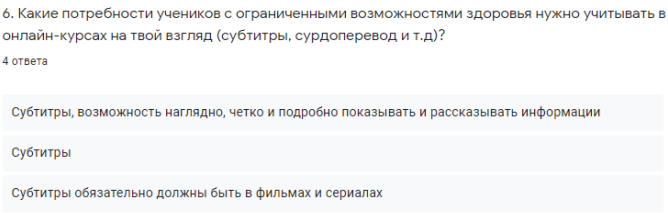


Как часто бывает, ребята слышали где-то об онлайн-курсах, но ничего конкретного вспомнить не смогли.

Что бы ты хотел изучить с помощью онлайн-курсов? Какие темы тебе интересны?



Какие потребности учеников с ограниченными возможностями здоровья нужно учитывать в онлайн-курсах на твой взгляд (субтитры, сурдоперевод и т.д)?



Все опрошенные отметили необходимость сопровождения любых видео-материалов субтитрами.

2 ОБЗОР НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ ПЛАТФОРМ МАССОВЫХ ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН КУРСОВ

Рассмотрим наиболее популярные платформы для разработки и размещения онлайн-курсов вузов в России на сегодняшний день:

Coursera.

Stepik.

Открытое Образование.

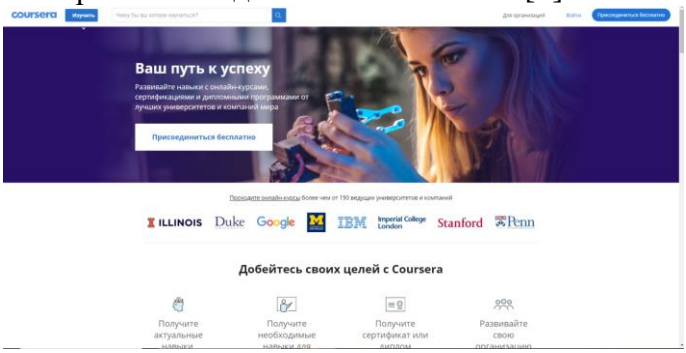
edX.

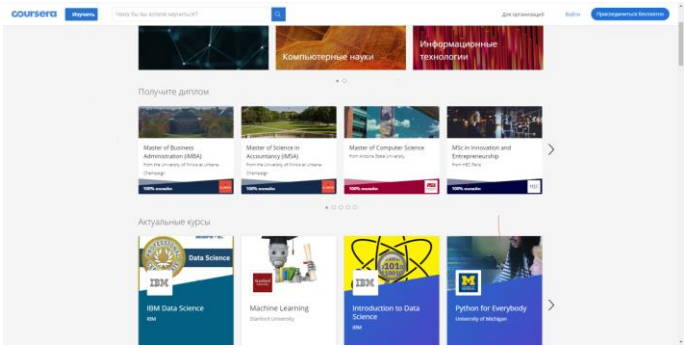
2.1 Coursera

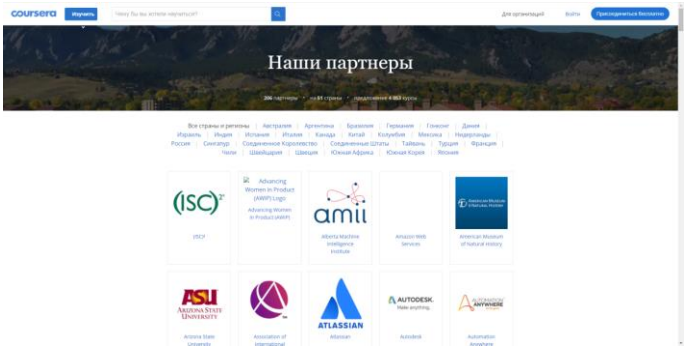
Coursera — проект в сфере массового онлайн-образования, основанный профессорами информатики Стэнфордского университета.

В проекте представлены курсы по физике, инженерным дисциплинам, гуманитарным наукам и искусству, медицине, биологии, математике, информатике, экономике и бизнесу. Продолжительность курсов примерно от шести до десяти недель, с 1-2 часами видеолекций в неделю, курсы содержат задания, еженедельные упражнения и иногда заключительный проект или экзамен.

Проект сотрудничает с университетами, которые публикуют и ведут в системе курсы по различным отраслям знаний. Слушатели проходят курсы, общаются с сокурсниками, сдают тесты и экзамены непосредственно на сайте Coursera, также распространяется официальное мобильное приложение для iPhone и Android [2].







2.2 Stepik

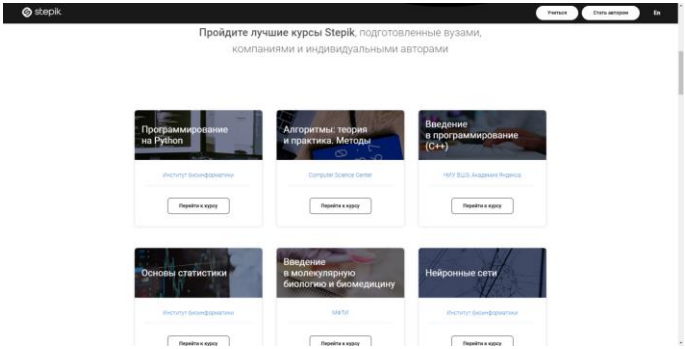
Stepik (Стэпик, до августа 2016 года — Stepic) — российская образовательная платформа и конструктор бесплатных открытых онлайн-курсов и уроков.

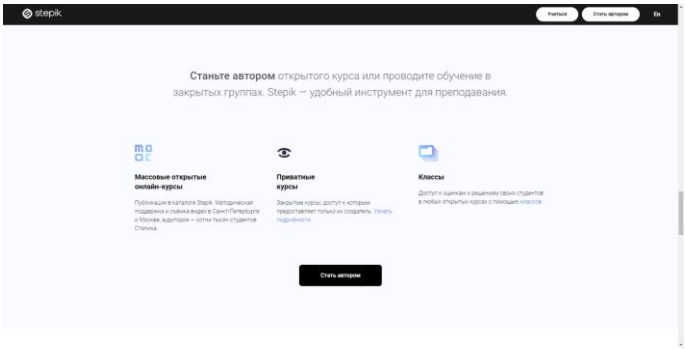
В процессе обучения студенты могут вести обсуждения между собой и задавать вопросы преподавателю на форуме. Основные охватываемые курсами дисциплины — программирование, математика, биоинформатика и биология, экономика; основной язык курсов — русский, есть курсы на английском языке.

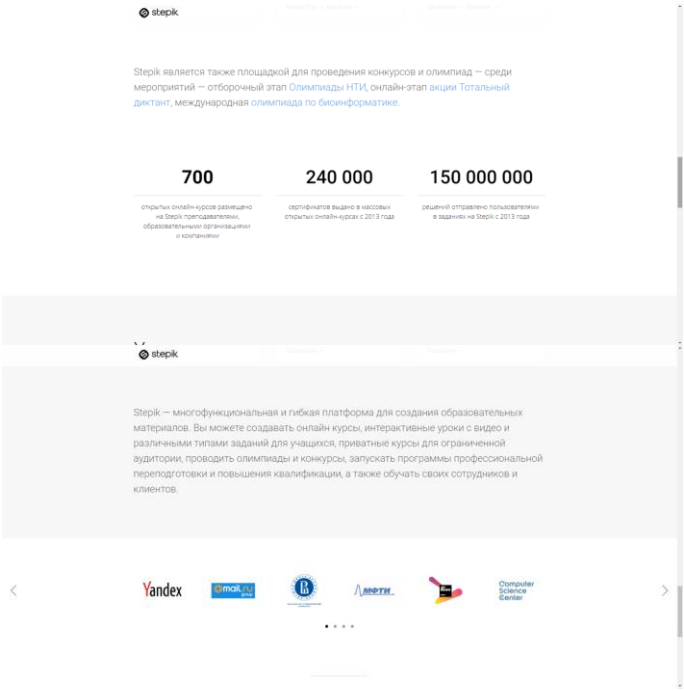
Уроки состоят из шагов, которые могут представлять собой текст, видео-лекцию или практическое задание. На платформе можно использовать 20 типов заданий, включая

тесты, числовые задачи, задания с математическими формулами и химическими уравнениями, пазлы, задачи на программирование.

Создатели курсов сохраняют за собой авторские права, могут без ограничений использовать созданные материалы в виде курсов или отдельных уроков, хранить их для самостоятельной подготовки студентов, встраивать на другие сайты и образовательные платформы, следить за статистикой и прогрессом студентов [3].

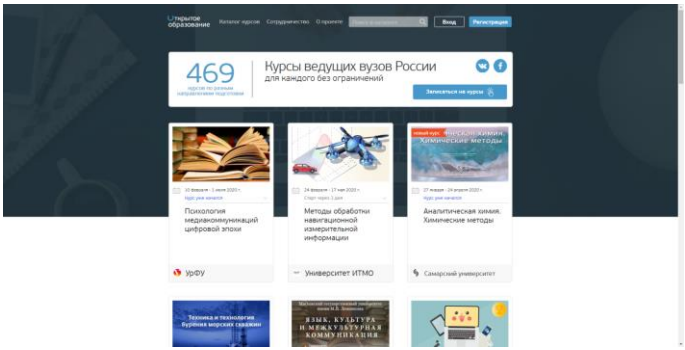


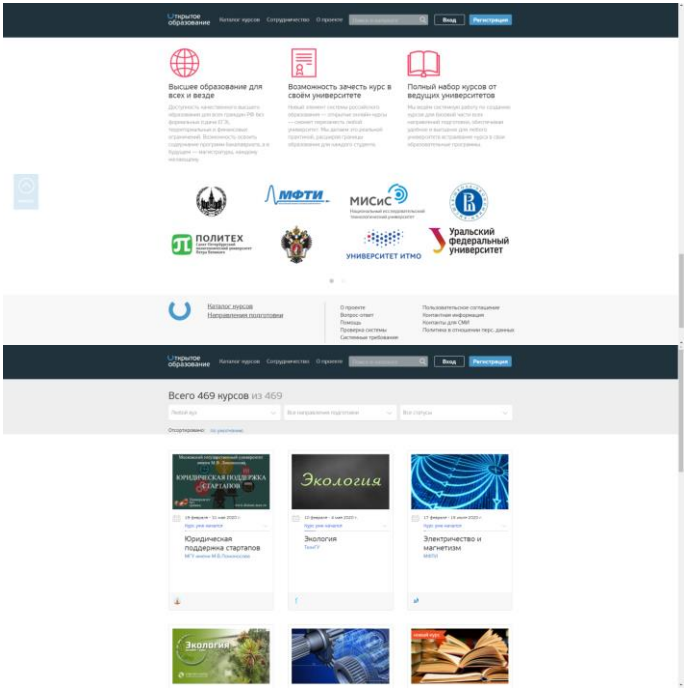


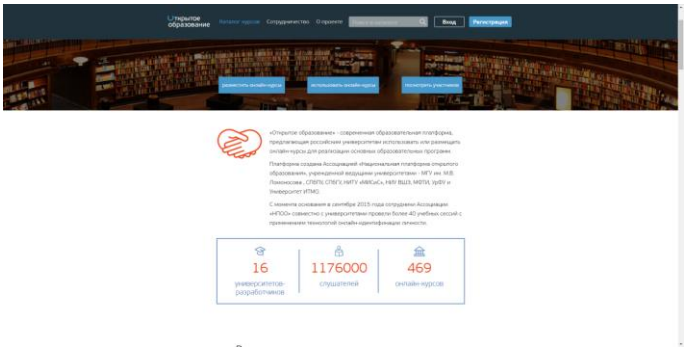


2.3 Открытое Образование

«Открытое образование» – это образовательная платформа, предлагающая массовые онлайн-курсы ведущих российских вузов, которые объединили свои усилия, чтобы предоставить возможность каждому получить качественное высшее образование. Любой пользователь может совершенно бесплатно и в любое время проходить курсы от ведущих университетов России, а студенты российских вузов смогут засчитать результаты обучения в своем университете [4].


Открытое образование
Каталог курсов
Сотрудничество
О проекте
Вход
Регистрация
469
Курсы ведущих вузов России
для каждого без ограничений
Записаться на курсы
Психология медиакоммуникаций цифровой эпохи
УрФУ
Методы обработки навигационной измерительной информации
Университет ИТМО
Аналитическая химия. Химические методы
Самарский университет


Открытое образование
Каталог курсов
Сотрудничество
О проекте
Вход
Регистрация
Высшее образование для всех и везде
Возможность зачесть курс в своём университете
Полный набор курсов от ведущих университетов
МФТИ
МИСИС
ПОЛИТЕХ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
Уральский федеральный университет
Каталог курсов
Направления подготовки
Всего 469 курсов из 469
Юридическая поддержка стартапов
Экология
Электричество и магнетизм

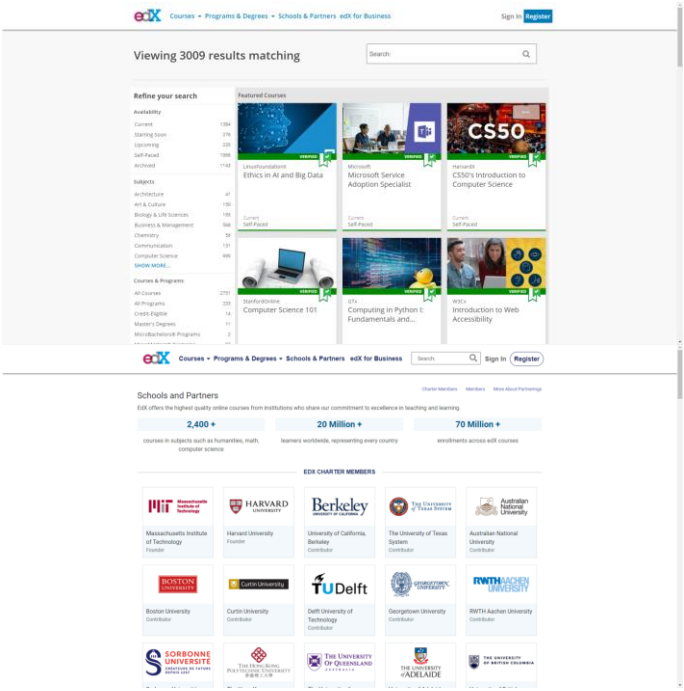


2.4 edX

EdX представляет собой самую сложную и академичную платформу бесплатного дистанционного образования, совместный проект MIT (Массачусетского технологического института), университета Гарварда и университета Беркли.

Методика обучения EdX мало чем отличается от других проектов: лекции, поделенные на модули продолжительностью до 10 минут, чередуются с упражнениями для лучшего усвоения материала. При получении неправильного ответа программа анализирует ошибку и выдает рекомендации для ее исправления.

Те студенты, которые показали в процессе учебы хорошие результаты и успешно сдали выпускные экзамены, могут получить подтверждающий сертификат. Он будет выдаваться под маркой того университета, откуда пришел курс, т.е. либо MIT, либо Harvard, либо Berkley [5].



3. АНАЛИЗ ПЕРВЫХ ОНЛАЙН КУРСОВ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ ОТ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

3.1 Курс «Основы личностного роста» от УрФУ

Курс «Основы личностного роста (для лиц с ОВЗ)» направлен на формирование гармоничной личности, адаптированной к социальному взаимодействию в высшем учебном заведении. Зрелость и гармоничность личности определяется адекватной реакцией на внешнее воздействие, а также умением эффективно взаимодействовать с окружающими. Для успешного взаимодействия с окружающими людьми, прежде всего, необходимо адекватно оценить собственные преимущества и недостатки.

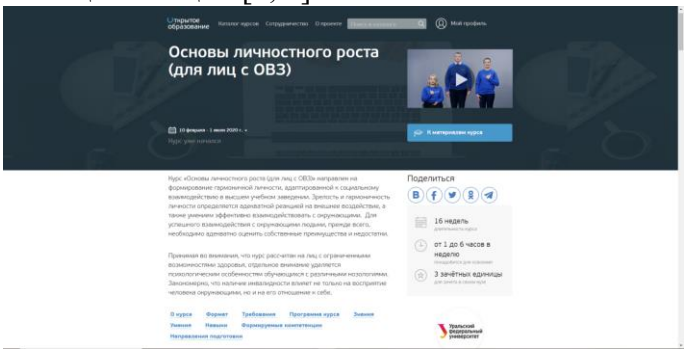
Принимая во внимания, что курс рассчитан на лиц с ограниченными возможностями здоровья, отдельное внимание уделяется психологическим особенностям обучающихся с различными нозологиями. Закономерно, что наличие инвалидности влияет не только на восприятие человека окружающими, но и на его отношение к себе [6].

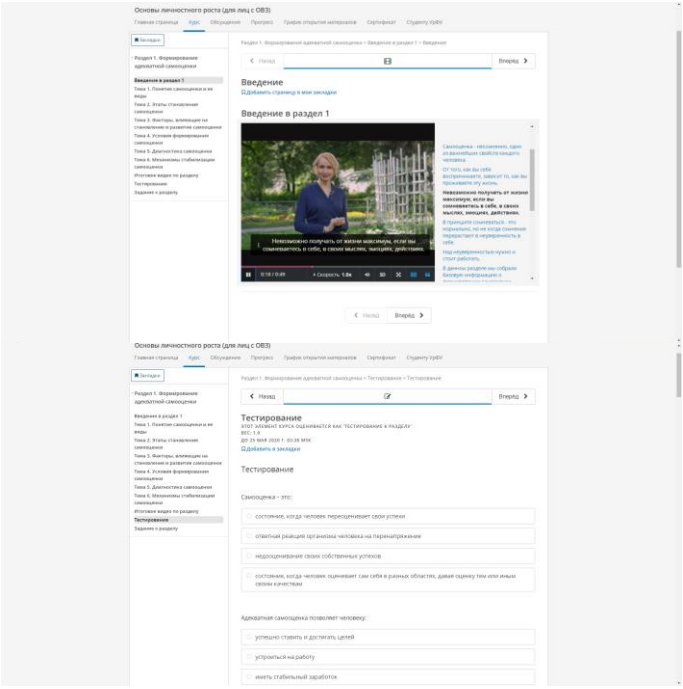
Каждая тема курса адаптируется под особенности студентов с нарушениями слуха и зрения:

1. Для слабослышащих и глухих студентов лекционный материал представлен в виде простых наглядных схем, коротких предложений. Все видеолекции сопровождаются субтитрами.

2. Для слабовидящих и слепых студентов лекционный материал представлены в виде аудиодорожек.

Для работы над курсом выбраны 6 экспертов в области адаптации лиц с ОВЗ и инвалидностью: дефектолог, клинический психолог, специалист по реабилитации и адаптивной физической культуре, специалист по трудоустройству лиц с ОВЗ, стилист, сурдопереводчик. Каждый эксперт ответил на актуальные вопросы студентов по своей специализации [6, 7].





3.2 Курс «Развитие ресурсов организма (для лиц с ОВЗ)» от УрФУ

Курс «Развитие ресурсов организма (для лиц с ОВЗ)» направлен на приобретение навыков мобилизации и оптимизации индивидуальных возможностей обучающегося. Во время взросления человек испытывает максимальное напряжение и стресс, которые могут привести к снижению мотивации, эффективности деятельности и нервному срыву. Процесс адаптации обучающихся является серьезным испытанием для организма [7].

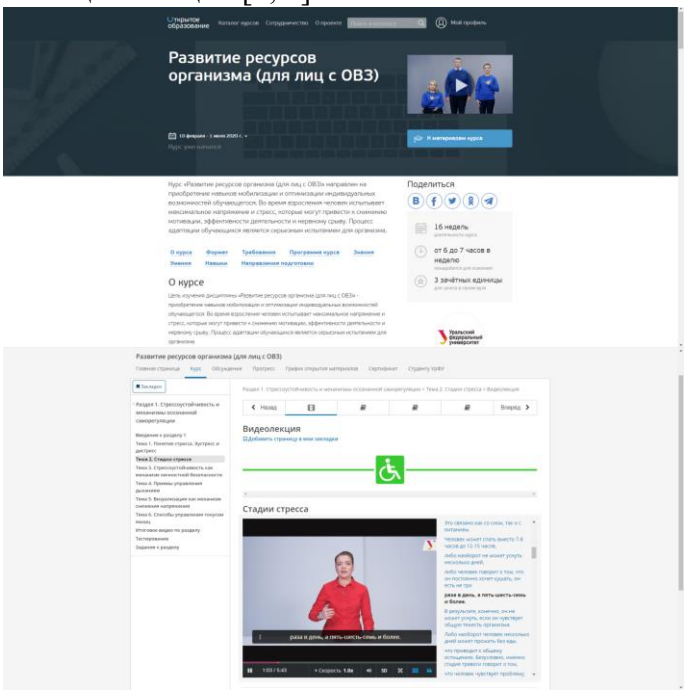
Каждая тема курса адаптируется под особенности студентов с нарушениями слуха и зрения:

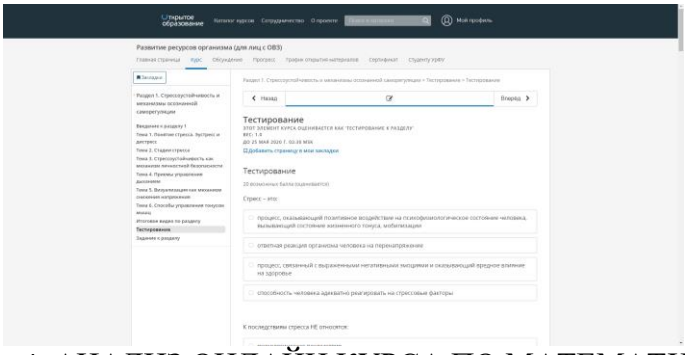
1. Для слабослышащих и глухих студентов лекционный материал представлен в виде простых наглядных

схем, коротких предложений. Все видеолекции сопровождаются субтитрами.

2. Для слабовидящих и слепых студентов лекционный материал представлены в виде аудиодорожек.

Для работы над курсом выбраны 6 экспертов в области адаптации лиц с ОВЗ и инвалидностью: дефектолог, клинический психолог, специалист по реабилитации и адаптивной физической культуре, специалист по трудоустройству лиц с ОВЗ, стилист, сурдопереводчик. Каждый эксперт ответил на актуальные вопросы студентов по своей специализации [6, 7].





4. АНАЛИЗ ОНЛАЙН КУРСА ПО МАТЕМАТИКЕ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

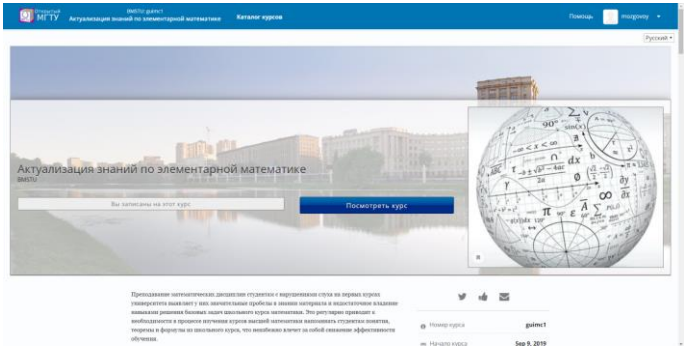
Онлайн-курс «Актуализация знаний по элементарной математике» состоит из 40 занятий, каждое из которых посвящено отдельному разделу школьного курса математики, среди которых разделы, посвященные алгебраическим операциям над степенями, операциям над многочленами, решению линейных, квадратных, рациональных и иррациональных уравнений, а также уравнений степени выше второй, свойства элементарных функций и ряд других.

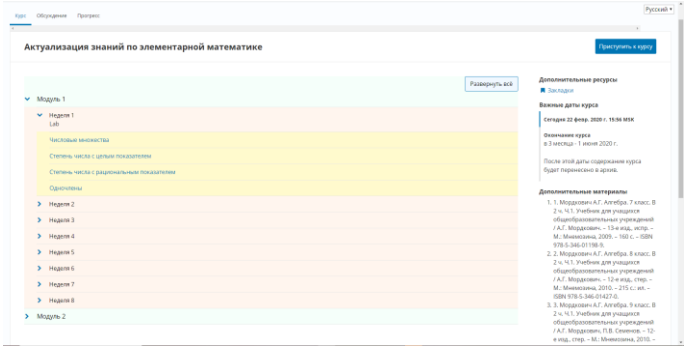
Каждое занятие включает в себя теоретическую и практическую части. Теоретическая часть представляет собой презентацию, которая наглядно, с использованием анимации, демонстрирует изучаемые понятия, формулы и их применение и сопровождается видеорядом с комментариями преподавателя, средняя продолжительность которого составляет 10 минут. Практическая часть представляет собой тест из 10 заданий, проверяющий запоминание, понимание и умение применять полученные знания.

Преподавание математических дисциплин студентам с нарушениями слуха на первых курсах университета выявляет у них значительные пробелы в знании материала и недостаточное владение навыками решения базовых задач школьного курса математики. Это регулярно приводит к необходимости в процессе изучения курсов высшей

математики напоминать студентам понятия, теоремы и формулы из школьного курса, что неизбежно влечет за собой снижение эффективности обучения.

Данная дисциплина предназначена для того, чтобы студенты могли самостоятельно восполнить существующие пробелы в базовых знаниях школьного курса математики и приобрести практические навыки решения основополагающих задач элементарной математики [8].





: рациональным показателем

Степень числа с рациональным показателем

Bookmark this page

Лекция 1.3

Корнем n-й степени из числа x называется такое число a, n-я степень которого равна x

корень степени эн из числа икс $\sqrt[n]{x} = a \Rightarrow a^n = x$ $n \geq 2$

$\sqrt[2]{x} = \sqrt{x}$ – квадратный корень из x $\sqrt[3]{x}$ – кубический корень из x

Примеры: $\sqrt{25} = 5$, т. к. $5^2 = 25$

$\sqrt[3]{216} = 6$, т. к. $6^3 = 216$

$\sqrt[4]{81} = 3$, т. к. $3^4 = 81$

$\sqrt[5]{-32} = -2$, т. к. $(-2)^5 = -32$

$\sqrt[n]{0} = 0$, т. к. $0^n = 0$ $\sqrt[n]{1} = 1$, т. к. $1^n = 1$

2:09 / 13:48 Скорость 1.0x HD

Логарифм положительного числа

Bookmark this page

Практическое задание по теме «Логарифм положительного числа»

1 point possible (ungraded)

1. По определению логарифма, $\log_a b = c$ тогда и только тогда, когда

- $a = b^c$
- $b = a \cdot c$
- $b = a^c$
- $a = \frac{b}{c}$

Отправить Вы использовали 0 из 1 попытки Сохранить

Практическое задание по теме «Логарифм положительного числа»

1 point possible (ungraded)

2. Вычислите $\log_2 32$

- 16
- 5
- 64
- $\frac{1}{16}$

5 РЕКОМЕНДАЦИИ АВТОРАМ ОНЛАЙН КУРСОВ ПО УЧЁТУ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛИЦ С ОВЗ

По итогам проанализированных ресурсов сформулируем рекомендации для авторов онлайн-курсов, которые необходимо учитывать при разработке материалов для лиц с ОВЗ:

Для слабослышащих и глухих студентов информацию следует дублировать в виде субтитров, для слабовидящих и слепых - в виде аудиодорожек.

Информацию, которая потенциально может меняться и нуждаться в актуализации, предпочтительнее давать в виде текста, сопровождающего курс, а не в презентацию, для того чтобы впоследствии не пришлось перезаписывать видео [1].

Вся информация в кадре должна быть различима при просмотре ролика с экрана смартфона. Избыточная информация выносится в дополнительные или текстовые материалы [1].

Необходимо следовать ритму речи лектора, постепенно выводя на экран новую информацию (особенно это важно для студентов с нарушенным слухом) [1].

Для текста важна грамотность (желательно привлечение редактора или корректора), структурированность и типографика (расположение, оформление текста, выбор шрифтов, цвета, отступы и т.д.) [1].

По возможности приводите оформление всех материалов в видео к единому стилю (толщина линий, цвета, шрифты и подписи), используйте единообразные приемы для выделения важной информации: увеличение, изменение цвета, анимационные эффекты и др. Не делайте их слишком разнообразными, чтобы студент привык к тому смыслу, который заложен в каждом визуальном эффекте или оформлении [1].

6 ВЫВОДЫ

В результате данной работы были решены следующие задачи:

Проведен опрос школьников на тему «Исследование доступности массовых открытых онлайн курсов для лиц с ограниченными возможностями здоровья».

Проведен обзор наиболее популярных платформ массовых открытых онлайн курсов.

Проанализированы два первые онлайн курса для лиц с ОВЗ от Уральского федерального университета, созданные в конце 2019 года.

Проанализированы онлайн курсы по математике МГТУ им. Н.Э. Баумана (ГУИМЦ).

Сформулированы рекомендации авторам онлайн курсов по учёту особенностей лиц с ОВЗ.

Данные материалы могут быть полезны для ознакомления широкому кругу преподавателей, которых может заинтересовать область разработки электронных образовательных ресурсов или онлайн-курсов. Приведенные рекомендации позволят при разработке таких материалов учитывать потребности лиц с ограниченными возможностями здоровья и делать курсы более доступными для всех категорий пользователей.

7 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Использование онлайн-обучения для преподавания математических дисциплин у слабослышащих и глухих студентов. Чирков Д.М. и др. Статья по итогам конференции ITEE-2019 в МГТУ им. Н.Э. Баумана (готовится к публикации).

Wikipedia Coursera - Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Coursera (дата обращения 29.01.2020).

Wikipedia Stepik - Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Stepik (дата обращения 26.01.2020).

Вконтакте Открытое Образование - Режим доступа : https://vk.com/openeduru (дата обращения 22.01.2020).

ВСЕОБУЧ edX - Режим доступа : https://vseobuch.org/resources/portals/edx.html (дата обращения 21.01.2020).

Курс «Основы личностного роста (для лиц с ОВЗ)» от УрФУ — Режим доступа: https://openedu.ru/course/urfu/Inclus_M1/ (дата обращения 26.01.2020).

Курс «Развитие ресурсов организма (для лиц с ОВЗ)» от УрФУ — Режим доступа: https://openedu.ru/course/urfu/Inclus_M2/ (дата обращения 26.01.2020).

Курс «Актуализация знаний по элементарной математике» от МГТУ имени Баумана —Режим доступа: https://online.bmstu.ru/courses/course-v1:BMSTU+guimc1+2019/about(дата обращения 03.02.2020).

СЕКЦИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

РАЗРАБОТКА МАНИПУЛЯТОРА НА ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЕ

Цыганков Дмитрий Сергеевич

г. Москва, ГБОУ Школа №1561, 8 класс

ВВЕДЕНИЕ

Планы по освоению и коммерческому использованию планет, спутников, астероидов Солнечной системы формируют спрос на роботизированные средства освоения небесных тел.

Увеличение спроса на роботизированные платформы для космических исследований может повторить ситуацию вокруг роботизированных платформ для применения в сложных для человека условиях на Земле1, например, в случае развития средств доставки2 и создания автоматизированных стационарных баз долговременного мониторинга3.

На сегодняшний день наиболее известными планетоходами являются Луноход-1 и Луноход-2, Curiosity, Юйту, Sojourner, Opportunity, Робот-Геолог. Данные

---

[1] А.В.Васильев, Исследование путей создания универсальной малогабаритной транспортной платформы, «Робототехника и мехатроника», Санкт-Петербург, 2015.

[2] https://www.nasa.gov/content/commercial-lunar-payload-services.

[3] Фундаментальные космические исследования. Книга 2 «Солнечная система», под научной ред. Профессора, д.т.н. Г.Г.Райкунова, Москва, 2014, стр. 113.

планетоходы разрабатывались для разных задач и применения на разных рельефах.

Все планетоходы должны соответствовать требованиям к надежности и автономности и учитывать:

- температуру окружающей среды;
- гравитацию;
- освещенность;
- рельеф местности, на которой планируется использовать планетоход;
- радиационное воздействие;
- влияние среды на конструкционные материалы и органы управления планетохода;
- удаленность от командного центра для дистанционно управляемых планетоходов.

Различия условий на разных планетах и спутниках пока не позволяют создать универсальный планетоход. Например, различия в весе на Марсе и Луне составляет 2,38 раза, температура может отличаться в 10 раз.

Тем не менее, современный уровень знаний и техники позволяет создавать наборы стандартизированных решений для разных температурных режимов использования, рельефов, сил тяготения, радиоактивной среды.

Особенности конструкции планетоходов в зависимости от среды и целей их использования влияют на конструкцию роботизированных средств исследования и используемого оборудования. Например, технические задания к разрабатываемым манипуляторам для использования на Марсе устанавливают дополнительные требования к термозащите и подогреву манипулятора.

В данной работе представлен обзор существующих роботизированных платформ исследования космических тел, а также описание самостоятельного изготовленного прототипа роботизированной платформы для исследования и освоения ресурсов космического тела – манипулятора для

установки на планетоходы (мобильная роботизированная платформа) или стационарного использования.

КРАТКИЙ ОБЗОР ПЛАНЕТОХОДОВ

Возможность установления средств исследования и манипуляторов на планетоход определяется его техническими характеристиками – грузоподъемностью, автономностью и мобильностью. Уже на стадии проектирования планетохода должны учитываться цели исследования или коммерческого освоения ресурсов космического тела, вес оборудования и способ его установки. Создание универсального планетохода для разных космических тел из-за различных условий поверхности, температуры, радиации, гравитации и т.п. пока невозможно, однако уровень науки в области машиностроения и робототехники позволяют классифицировать накопленные знания для определения конкретных наборов параметров планетохода под разные цели миссии.

ШАССИ

Шасси могут быть:

- колесными;
- гусеничными;
- шаговыми;
- гибридными (колесно-гусеничные, колесно-шаговые, лыжно-шагающие).

Выбор шасси зависит от следующих внешних условий[4]:

- несущей способности грунта космического тела;
- типа рельефа;
- температуры поверхности;
- веса планетохода;
- ускорения свободного падения.

[4] Планетоходы, под ред. А.Л.Кемурдиана, Москва, «Машиностроение», 1993.

С учетом вышеуказанных условий использования планетохода при его проектировании определяются следующие целевые параметры[5]:

- управляемость (курсовая устойчивость и поворачиваемость, которая в свою очередь может быть нейтральная, избыточная, недостаточная);
- маневренность (способность выполнять маневры на ограниченном пространстве);
- проходимость.

В случае установки тяжелого манипулятора, например, для проведения каротажно-буровых работ повышается нагрузка на шасси, что может негативно отражаться на курсовой устойчивости, проходимости планетохода. Гусеничные шасси в этом случае обеспечивают большую грузоподъемность и лучшую проходимость, однако тяжелее колесных и менее надежны. Так, разрыв гусеницы может привести к обездвижению планетохода.

Компромиссным вариантом, примененным на большинстве существующих планетоходов, является увеличенное количество осей колесных пар.

Колесные шасси в зависимости от формулы шасси 4х4, 6х6, 8х8 отличаются меньшим весом и большей надежностью. Колесные шасси, которые позволяют быстрее проходить исследуемые участки исследования, что может быть важно, например, для картографических работ и получение точных данных о местности (составе грунта, минерального сырья, газа, препятствий в форме кратеров и т.п.).

ТРАНСМИССИЯ И ТОРМОЗНАЯ СИСТЕМА

Электромеханическая трансмиссия планетохода может состоять из тяговых электродвигателей, передающих

[5] Ibid.

крутящий момент через цепные передачи, или из мотор-колес. Первый вариант обычно используется разработчиками NASA и позволяет избежать повреждения выносных движителей острыми частям грунта.

В качестве тяговых электродвигателей используются двигатели постоянного тока и, значительно реже, асинхронные двигатели, требующие сложного и тяжелого оборудования преобразования тока и управления.

Торможение планетохода осуществляется электромеханическим методом через затормаживание мотор-колес с помощью фрикционных дисковых тормозов с электромагнитными приводами (реализовано на Луноходах 1 и 2) или тормозных колодок (например, LRV), устанавливаемых на колесах.

ПОВОРОТНЫЙ МЕХАНИЗМ

Поворот планетохода может быть осуществляться:

- притормаживанием левых или правых колес (т.н. «бортовой поворот», реализован в Луноходе-1 и Луноходе-2);
- за счет управляемой оси (передней или задней);
- путем изменения скорости осей (одновременное ускорение одной и торможение другой);
- комбинированным использованием вышеприведенных способов.

Поворачиваемость планетохода создает дополнительные преимущества в условиях неопределенности маршрута и местности, на которой он эксплуатируется, и тесно связана с другим параметром использования планетохода – проходимостью.

КУЗОВ

Рамный (в том числе с кинематической сложно-сочлененной или «ломающейся» рамой) и несущий.

Несущий кузов наиболее пригоден для управляемых космонавтами планетоходов. Однако для отдельных автоматизированных миссий подойдет и рамная конструкция, которая отличается меньшей металлоемкостью и жесткостью, что предпочтительнее на сложных рельефах. Кроме того, рамная конструкция представляет больше возможностей для размещения оборудования, в том числе манипуляторов.

Перспективные модели планетоходов могут строиться на совершенно иных принципах, в которых нет места привычным понятиям кузова или шасси. Например, для венерианского проекта разрабатывался планетоход в форме двигающегося шара, внутри которого находился корпус с исследовательской аппаратурой[6].

ЭНЕРГОУСТАНОВКА

В настоящее время в качестве энергетических установок используют аккумуляторные батареи, солнечные батареи (Луноходы 1 и 2), радиоизотопные термоэлектрические генераторы (Voyager, Pioneer). Иногда используются комбинированные решения из-за условий эксплуатации планетохода. Например, для Марса солнечных батарей недостаточно из-за частых пылевых бурь на красной планете.

КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Наборы оборудования зависят от задач миссии. Например, на исследовательском марсоходе Opportunity установлены:

- панорамная камера,
- навигационная камера,

[6] Интервью с директором центра отработки космических аппаратов НПО им. С.А.Лавочкина Р. Камаевым в передаче «Планетоходы: прошлое настоящее, будущее», размещено на https://www.youtube.com/watch?v=Tx4zobS5VbA.

- тепловой эмиссионный спектрометр;
- камеры с 120-градусным полем зрения;
- несколько видов спектрометров;
- микрокамера высокого разрешения;
- бур.

Коммерческое освоение космического тела возможно только после разработки точных карт поверхности, проведения сейсморазведки, изучения химического состава грунта, радиационных условий, диэлектрической проводимости минералов на поверхности и т.д. Для таких исследований нужны сейсмометры, гравиметры, магнитометры, георадары, спектрометры и газоанализаторы, астродатчики и радиомаяки.

Установка радиомаяков на грунте, проведение активной сейсморазведки[7] с использованием взрывчатых веществ, бурение, захват проб грунта могут осуществляться как космонавтами, так и роботизированными средствами – манипуляторами, соответствующими условиям использования (температурным, радиационным и др.). Возможность дистанционного автоматизированного исследования планеты, создаваемая манипуляторами, значительно расширяет возможности освоения космических тел, допуская применение их в опасных для человека условиях.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА МАНИПУЛЯТОРА-РУКИ

Манипулятор-рука (МР) позволяет дистанционно и в автоматическом режиме проводить исследования, осуществлять сбор ресурсов на космическом теле, погрузку-

[7] Выпускная работа бакалавра Д.Т.Закруа Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, выполненная в 2017 год, http://elib.spbstu.ru/dl/2/v17-4869.pdf/download/v17-4869.pdf.

выгрузку в космические средства доставки, а также другие операции, обычно выполняемые человеком.

МР может быть мобильным, устанавливаемым на самом планетоходе, и стационарным, монтируемым в известных точках космического тела как для обслу живания планетохода на маршруте (замена оборудования, источников энергии, разгрузка образцов грунта, взятых планетоходом), так и для исследования получаемых образцов с планетохода.

В зависимости от места монтажа могут предъявляться различные требования к массово-габаритным характеристикам, источникам питания, температурной и радиационной защите.

Ключевым параметром МР является многопозиционность и простота управления им.

С учетом указанных параметров нами разработан прототип и частично изготовлен многопозиционной МР выполнен на базе электрических компонентов Arduino.

Прототип МР представляет собой манипулятор, который может управляться дистанционно (посредством управления через дальнюю космическую связь), либо работать по заранее заданным алгоритмам (при условии создания необходимых алгоритмов для системы управления МР).

Прототип МР может быть синхронизирован с другими видами оборудования (буры, камеры, средства анализа среды), которые помогут проводить исследование взятых планетоходом образцов и направление результатов исследования на Землю.

Прототип предполагает установку на подвижную платформу, передвигающуюся при помощи 4 моторов (находится в стадии создания). Сам МР (см. видеопрезентацию) имеет 6 степеней свободы.

Список использованных в МР компонентов:

- микроконтроллер (2);

- сервоприводы DS 3115mg (4);
- сервоприводы SG90 (2);
- датчик расстояния;
- датчик наклона;
- датчик температуры;
- приемник и передатчик;
- цветной дисплей;
- жидкокристалический экран;
- джойстик (1);
- потенциометры (6).

Конструкция МР также будет включать приемник и передатчик для управления, камеру FVP датчики: движения, препятствия, расстояния, наклона, температуры. Вторая часть (управление движением) будет состоять из голосового модуля, приемника, цветного дисплея, джойстика для направления движения, потенциометров для управления манипулятором, а также жидкокристаллический экран для показателей датчиков.

Список компонентов, которые планируется установить:

- голосовой модуль (для управления датчиками и выполнения готовых протоколов);
- приемник и передатчик (не поддержанный влиянию других компонентов);
- корпус (прочные композитные материалы, которые могут быть использованы в температурных и радиационных условий спутника Юпитера «Европа»);
- мощные двигатели;
- датчик препятствия;
- камера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

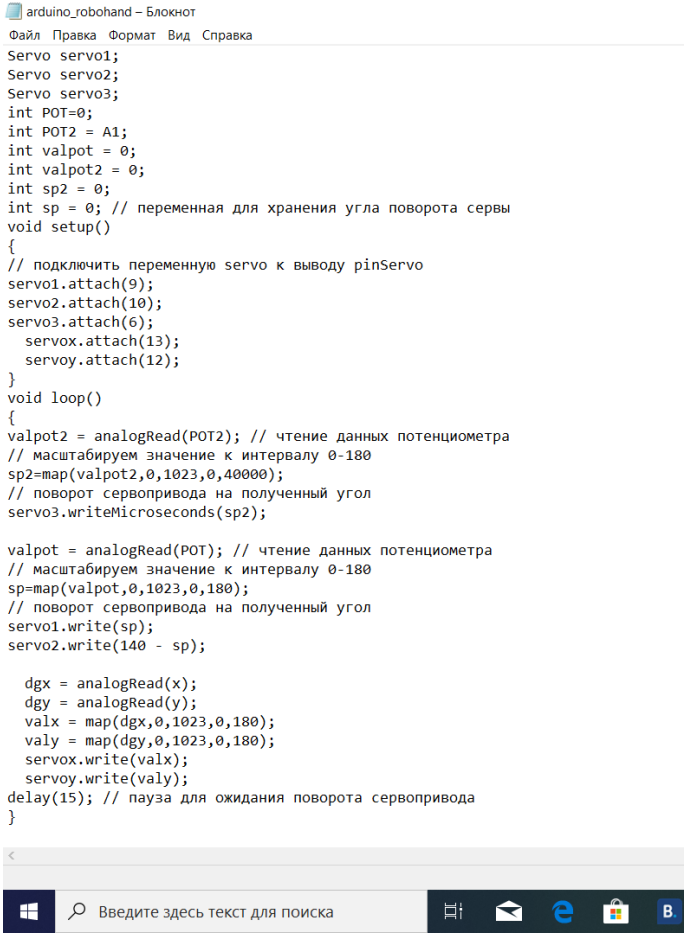
Дальнейшее исследование космоса потребует автоматизации и развития роботизированных средств

освоения космических тел. И если развитие транспортных систем для космических тел осуществляется с начала первых лунных миссий, использует давние разработки земного транспортного машиностроения, то разработка обитаемых станций и мобильных комплексов для освоения космических тел является относительно молодой и быстроразвивающейся отраслью исследований. При этом автоматизация и исследований, и жизнедеятельности в космосе даже более востребована, чем на Земле, и может стать локомотивом робототехники.

Предлагаемый многопозиционный прототип МР является началом долгосрочной опытно-конструкторской работы для создания базовой роботизированной системы, которая с некоторыми доработками может быть использована для медицинских, агротехнических, буровых и производственных целей на космических телах. МР позволит сократить время, необходимое для подготовки станции к пребыванию на ней людей, в том числе строительство объектов инфраструктуры, осуществлять исследования и освоение ресурсной базы космического тела. МР также может быть «поручено» выполнение рутинных операций по обслуживанию жизнедеятельности космической станции.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СКРИНШОТЫ ПРОГРАММЫ.
МОТИВАЦИОННАЯ ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИЯ И ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРОТОТИПА.



arduino_robohand – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```
int x = A3;
#include <Servo.h>
int y = A4;
Servo servox;
Servo servoy;
int dgx = 511;
int dgy = 511;
int valx = 90;
int valy = 90;
Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
int POT=0;
int POT2 = A1;
int valpot = 0;
int valpot2 = 0;
int sp2 = 0;
int sp = 0; // переменная для хранения угла поворота сервы
void setup()
{
// подключить переменную servo к выводу pinServo
servo1.attach(9);
servo2.attach(10);
servo3.attach(6);
  servox.attach(13);
  servoy.attach(12);
}
void loop()
{
valpot2 = analogRead(POT2); // чтение данных потенциометра
// масштабируем значение к интервалу 0-180
sp2=map(valpot2,0,1023,0,40000);
// поворот сервопривода на полученный угол
servo3.writeMicroseconds(sp2);

valpot = analogRead(POT); // чтение данных потенциометра
// масштабируем значение к интервалу 0-180
sp=map(valpot,0,1023,0,180);
// поворот сервопривода на полученный угол
servo1.write(sp);
servo2.write(140 - sp);
```

Введите здесь текст для поиска

Bluetooth Terminal HC-05
GP
Super

СЕКЦИЯ БИОМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D ДАТЧИКА В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РУК У ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА.

Щербинина Екатерина Михайловна

ГБОУ Школа 1598, 11 класс
Научный руководитель:
Самородов Андрей Владимирович
к. т. н., заведующий кафедрой, МГТУ им. Баумана

ВВЕДЕНИЕ

БП – это медленно развивающееся заболевание центральной нервной системы человека, одним из симптомов которого являются нарушения двигательной активности рук. Оценка двигательной активности рук пациентов с БП является одним из доступных для широкого применения методов получения информации о заболевании. В настоящее время данная оценка производится врачом вручную по унифицированной шкале оценки БП (UPDRS). Такая процедура занимает много времени, зависит от человеческого фактора, а также не предоставляет информации о динамике заболевания, поэтому задача диагностики и мониторинга заболевания автоматизированными методами является актуальной проблемой современной медицины.

Для решения задачи автоматизированной оценки двигательной активности рук должно быть подобрано устройство, позволяющее отслеживать положение рук в пространстве, а также регистрировать мелкую моторику рук с достаточной для фиксирования видимых отличий

точностью. В настоящее время существуют технологии и базирующиеся на них устройства, которые позволяют производить детектирование объектов в 3-мерном пространстве, и успешно применяются для решения задач детекции движения.

Цель работы: обосновать возможность применения 3D устройства регистрации данных в задаче оценки двигательной активности рук пациентов с БП.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Изучение особенностей болезни Паркинсона, а именно нарушений в движениях конечностей.
- Выбор упражнений на двигательную активность рук для оценки состояния пациента.
- Выбор 3D устройства регистрации данных.
- Разработка критериев применимости устройства для решения данной задачи.
- Разработка методики регистрации двигательной активности рук.
- Регистрация движений рук по выбранным заданиям с помощью 3D устройства.
- Написание программы обработки полученных данных.
- Анализ обработанных данных и полученных результатов.

Общие сведения о болезни Паркинсона

Болезнь Паркинсона

БП – это медленно прогрессирующее хроническое неврологическое заболевание, поражающее преимущественно дофамин-продуцирующие нейроны в определенной области мозга, называемой чёрной субстанцией, с накоплением в клетках белка альфа-синуклеина и особых внутриклеточных включений (телец

Леви). Заболевание характерно для лиц старшей возрастной группы [1].

Распространенность заболевания

Частота заболевания – 140 больных на 100 тыс. населения [1]. В возрастной группе старше 60 лет – 1% от населения; старше 85 лет - от 2,6 % до 4 %. Средний возраст начала заболевания – 57 лет.

Причины заболевания

Причины возникновения БП окончательно не выяснены. Предполагается, что на возникновение заболевания влияют генетические факторы, внешняя среда (возможное воздействие различных токсинов), процессы старения.

Основные признаки заболевания

Основными симптомами при болезни Паркинсона являются: повышение тонуса мышц, скованность и замедленность движений, тремор, постуральная неустойчивость [2].

Стадии болезни Паркинсона

БП классифицируется по шкале Хен–Яра, 1967 [1]:

1-я стадия: акинезия, ригидность и тремор выявляются в конечностях с одной стороны (гемипаркинсонизм);

2-я стадия: симптоматика становится двусторонней;

3-я стадия: появляется постуральная неустойчивость, но сохраняется способность к самостоятельному передвижению;

4-я стадия: обездвиженность, потребность в посторонней помощи. При этом больной способен ходить и/или стоять без поддержки;

5-я стадия: в результате дальнейшего прогрессирования заболевания больной оказывается прикованным к постели.

1.6 Диагностика

Отличительной особенностью в диагностике заболевания является преобладание клинических симптомов. Постановка диагноза начинается с общения пациента с врачом (выявление видимых признаков заболевания, сбор анамнеза). На приеме врачи пользуются методикой UPDRS, универсальной шкалой диагностики болезни Паркинсона. Также используются такие методы, как Л-ДОФА тестирование, КТ и МРТ, позитронно-эмиссионная томография мозга, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, транскраниальная сонография, электроэнцефалограмма и др. [3, 4, 5] Такие методы помогают исключить другие заболевания, но не диагностируют БП.

Оценка заболевания по UPDRS занимает длительный промежуток времени и является субъективной, то есть не является точной.

2. Двигательные нарушения при болезни Паркинсона

2.1 Изменения в походке

При заболевании БП у пациентов изменяется скорость походки (чаще в сторону замедления) и величина шагов (чаще в сторону уменьшения). Часто походка становится «шаркающей» (больной почти не отрывает ног от пола), возникает скользящий шаг. Больные начинают испытывать затруднения при поворотах во время ходьбы, реже наблюдается замедленный «старт-рефлекс» (симптом «прилипших к полу ног»), явления пропульсии (непреодолимое ускорение движения больного вперед при ходьбе или после легкого толчка), ретропульсии (ускорение движения назад). Перед началом ходьбы типично мелкое и быстрое топтание на месте. Наблюдается ахейрокинез (отсутствие содружественных движений рук во время ходьбы). Центр тяжести смещается вперед. [6]

2.2 Изменения в движениях рук/ног

Характерен тремор рук (непроизвольные, повторяющиеся, ритмичные синусоидальные движения), описывается как «катание пилюль» [7]. Присутствует в состоянии покоя и учащается при тревоге или стрессе, ходьбе, уменьшается или вовсе исчезает при активном движении. Больные испытывают затруднения при выполнении сложных моторных задач (одевание, бритье, письмо (почерк становится мелким)). Ригидность проявляется повышением сопротивления при выполнении пассивных движений вовлеченной конечностью [8]. Она ощущается как при сгибании, так и при разгибании. В исследовании [9] авторы делают вывод, что одними из самых доставляющих неудобства симптомов являются тремор и замедленность движений.

2.3 Нарушение мимики

Мимические нарушения в той или иной степени наблюдаются почти у всех больных. Происходит постепенное сглаживание индивидуальных мимических особенностей, выпадают наиболее тонкие мимические нюансы, теряются многогранность и гармоничность мимической игры. Прогрессирующее обеднение мимики приводит к «застывшему» выражению лица. Взгляд становится вялым и апатичным. При выраженной гипокинезии можно выявить тоническую фиксацию мимической реакции, когда мимика после того или иного аффекта медленно, с большим запозданием, возвращается в исходное положение. Появляется симптом Мари (редкое моргание). [10]

3. Задания на двигательную активность рук для выявления нарушения движений

Ниже приведены методы оценки двигательной активности рук по шкале UPDRS (Таблица 1). [11]

При выполнении упражнений каждая рука проверяется и оценивается отдельно. Каждое движение,

указанное в задании, выполняется 10 раз с максимально возможной скоростью и амплитудой. При оценивании учитываются скорость выполнения, амплитуда, задержки и остановки движений.

Таблица 1 – Задания на двигательную активность рук

Задание	Методика выполнения	Рисунок
Постукивание пальцами	Необходимо постучать указательным пальцем по большому.	
Кистевые движения	Необходимо крепко сжать кисть в кулак, при этом предплечье должно быть согнуто в локте таким образом, чтобы ладонь пациента была обращена к исследующему.	
Пронация-супинация кистей	Необходимо вытянуть руку перед собой ладонью вниз, затем поворачивать ладонь попеременно вверх и вниз.	

4. Датчики детектирования рук

Один из характерных симптомов болезни Паркинсона – это нарушения двигательной активности рук. Для фиксации моторных изменений используют технологии, способные отследить положение конечностей в пространстве, в

частности, основанные на оптических методах. Они представляют собой совокупность алгоритмов компьютерного зрения и отслеживающих устройств, в роли которых выступают камеры видимого или инфракрасного диапазона, стереокамеры и камеры глубины. В зависимости от выбора системы отсчёта выделяют два подхода для отслеживания положения:

outside-in подход подразумевает присутствие неподвижного внешнего наблюдателя (камера), определяющего положение движущегося объекта по характерным точкам;

inside-out подход предполагает наличие на движущемся объекте оптического сенсора, благодаря которому возможно отслеживать движение относительно неподвижных точек в окружающем пространстве. [12]

Рассмотрим датчики outside-in подхода, которые могут быть использованы для диагностики болезни Паркинсона (таблица 2). [13, 14]

Таблица 2 – Датчики детектирования рук

Технические характеристики	Realsense D435 (Intel, США)	Kinect (Microsoft, США)	Leap Motion (Leap Motion, США)
1) Диапазон глубины	0.11 – 10 м	1,2 – 3,5 м	0,25 – 0,6 м
2) Угол обзора	85 на 58 градусов	57 на 43 градуса	120 на 150 градусов
3) Частота кадров	90 кадров в секунду	30 кадров в секунду	120 кадров в секунду
4) SDK	+ Модуль отслеживания лица, модуль отслеживания рук по ключевым точкам.	+ Модуль распознания конечностей человека, определение нормальных движений тела.	+ Выделение составных частей рук, отслеживание координат пальцев, перемещения рук в пространстве.
5) Стоимость	15 т. руб.	8 т. руб.	10 т. руб.

4.1 Выбор датчика

Использование датчика, следящего за движениями рук и сохраняющего траекторию их движения, существенно сократит время оценки нарушений в движениях рук и, соответственно, время диагностики болезни Паркинсона. Сравнив технические характеристики вышеуказанных датчиков, мы пришли к выводу, что для нашей задачи более всего подходит датчик Leap Motion. Его выделяет высокая частота кадров, что важно для точности оценки двигательной активности рук. Также отметим его небольшие габариты, доступное, поддерживаемое программное обеспечение, низкую стоимость.

4.2 Принцип работы устройства

Внутри устройства находятся две камеры, способные улавливать инфракрасное (ИК) излучение, и три мощных инфракрасных светодиода. ИК диоды подсвечивают руки, а инфракрасные камеры захватывают изображение и передают его в цифровом виде в блок программной

обработки Leap Motion. На программном уровне математические алгоритмы выделяют контуры рук и отслеживают координаты пальцев. [15]

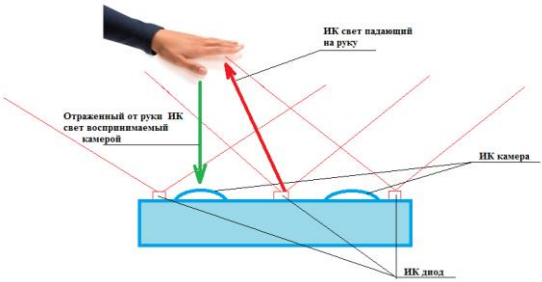


Рисунок 1 – Принцип работы Leap Motion

4.3 Формирование модели руки

С помощью SDK Leap Motion в режиме реального времени возможно отследить положение рук в пространстве. Для этого ПО датчика выделяет составные части рук, под каждую часть отводится своя конкретная точка. Всего таких точек 20. У каждой точки – 3 координаты по осям XYZ. Положение контрольных точек ладони представлено на рисунке 2. В таблице 3 представлены соответствия названий контрольных точек на русском и английском языке.

С помощью SDK устройства возможно получать информацию о двигательной активности рук с помощью различных модулей (HAND, ARM, FINGER) [16]:

HAND: угол сжатия, раскрытия ладони (кулак – прямая ладонь) (float GrabAngle0; величину сжатия руки в кулак (0 для раскрытой ладони, 1.0 для кулака) (float GrabStrength); определять, какая из рук отслеживается – левая или правая (bool IsLeft); угол поворота руки вокруг 3х осей (Vector PalmNormal); ширину ладони руки в раскрытом виде (float PalmWidth); время отслеживания руки (float TimeVisible);

ARM: середину фаланги (Vector Center); длину кости (float Length); толщину пальца (float Width);

FINGER: длину пальца (float Length); время отслеживания данного пальца (float TimeVisible); ширину пальца (float Width).

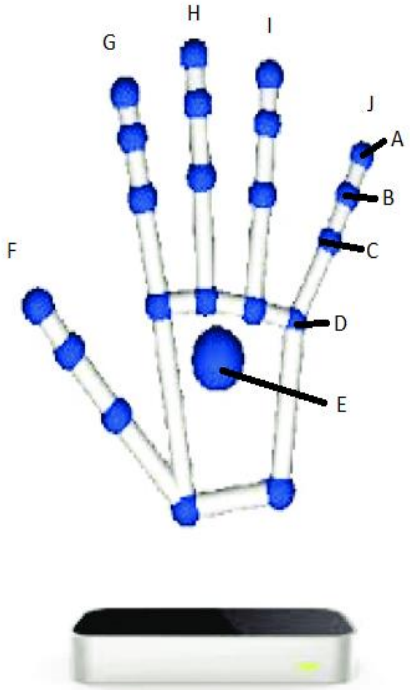


Рисунок 2 – Контрольные точки руки: A – DISTAL; B – INTERMEDIATE; C – PROXIMAL; D – METACARPAL; E – PALM; F – THUMB; G – INDEX; H – MIDDLE; I – RING; J – PINKY.

Таблица 3 – Соответствие названий на английском и русском языках.

Английское название	Русское название
DISTAL	Дистальная фаланга
INTERMEDIATE	Средняя фаланга
PROXIMAL	Проксимальная фаланга
METACARPAL	Пястная кость
PALM	Запястье
THUMB	Большой палец

INDEX	Указательный палец
MIDDLE	Средний палец
RING	Безымянный палец
PINKY	Мизинец

4.4 Выбор метрических характеристик движения

Для отслеживания движения рук создается json файл, который содержит координаты контрольных точек. По контрольным точкам возможно определить расстояние между ними, их перемещение, угол поворота. Выбор точек зависит от того, какое задание выполняется (по UPDRS):

1 задание – необходимо найти и отобразить амплитуду движений пальцев руки, изменение расстояния между большим и указательным пальцами. Для этого используются точки кончиков указательного (INDEX DISTAL) и большого пальцев (THUMB DISTAL). С помощью координат выбранных точек находим расстояние между ними в каждый момент времени;

2 задание – необходимо найти и отобразить амплитуду движений частей руки, изменение расстояния между кончиками пальцев и центром ладони. Для этого используются точки кончика среднего пальца (MIDDLE DISTAL) и ладони (PALM). С помощью координат выбранных точек находим расстояние между ними в каждый момент времени;

3 задание – необходимо найти и отобразить изменение угла поворота рук. Для этого используется угол поворота ладони вокруг оси Z (HAND ROLL), который определяется с помощью ПО датчика.

4.5 Критерии оценки применимости датчика

Для обоснования возможности использования датчика в данной задаче были разработаны следующие критерии:

линейная зависимость расстояния, измеренного с помощью линейки при регистрации данных, от расстояния, измеренного с помощью датчика;

правильное выделение и отслеживание руки;

непрерывность регистрации данных.

5. Практическая часть

5.1 Методика проведения испытаний

Для оценки точности характеристик движения рук при выполнении заданий, указанных в 3 главе UPDRS, которые позволяют определить стадию болезни Паркинсона по движениям рук, было проведено 3 серии измерений. Для каждого из заданий были выбраны разные амплитуды. Для оценки точности измерения расстояния между контрольными точками пальцев для 1 задания были выбраны 4 различных амплитуды: 25 мм, 50 мм, 100 мм, 150 мм, для 2 задания – 40 мм, 60 мм и 80 мм. Расстояние между точками задавалось перед началом движения и контролировалось с помощью линейки. Для оценки точности угла поворота ладони для 3 задания было выбрано 4 различных угла поворота: 45°, 90°, 135° и 180°. В каждом отдельном упражнении с каждой амплитудой выполнялось по 10 движений. Было произведено 3 серии измерений полного комплекта заданий. При регистрации данных использовался датчик Leap Motion, рука располагалась в диапазоне его видимости – в 50 см от его лицевой стороны – таким образом, чтобы датчик «видел» требуемые нам части руки, сам датчик располагался на столе.

5.2. Обработка полученных данных

Координаты, полученные в результате измерений, сохранялись в json файле. Далее данные, полученные в результате измерений, были обработаны при помощи языка программирования python и встроенных библиотек: matplotlib, jsonlib, numpy, statsmodels, scipy. Для визуализации полученных данных были построены графики движения, которые показывают зависимость амплитуды

движения от номера кадра. Для расчета амплитуды движения для 1 и 2 задания на каждом кадре было рассчитано Евклидово расстояние (1) между выбранными контрольными точками.

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}, \quad 1)$$

где d – искомое расстояние; x1, y1, z1 – координаты одной точки по осям x, y, z; x2, y2, z2 – координаты другой точки по осям x, y, z.

Для визуализации полученных данных по 3 заданию были построены графики зависимости угла поворота ладони от номера кадра. Пример графика угла поворота представлен на рис. 3. Построенные графики представлены в приложении А (Таблица А.1, А.2, А.3). Графики движений рук при выполнении задания 1, 2, 3 были построены с помощью соответствующих функций task1, task2, task3. Листинг кода представлен в приложении Б (листинг 1, листинг 2, листинг 3 соответственно).

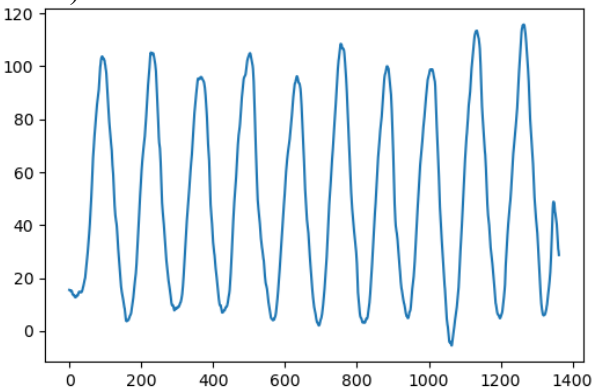


Рисунок 3 – График угла поворота руки для 3 задания с углом поворота 90º, где по горизонтали указан номер кадра, а по вертикали – значение угла поворота (в градусах)

Для более наглядного изображения движения рук графики были сглажены при помощи Savitzky–Golay_filter. Построенные графики отражают значение расстояния между контрольными точками / угла поворота. Для оценки точности измерения важны начальное и конечное расстояние между пальцами. Для этого на графиках были найдены и выделены точки максимума и минимума, где точка минимума – расстояние между контрольными точками в начальном положении, а точка максимума – максимальное расстояние между контрольными точками. Точки максимума и минимума были найдены с помощью функции maxmin, представленной в приложении Б (листинг 5). Графики были построены с помощью функции PlotFunction, представленной в приложении Б (листинг 4). Пример сглаженного графика с выделенными точками максимума и минимума для задания 1 приведен на рисунке 4. Сглаженные графики для трех заданий по каждому измерению с нанесенными точками максимумов и минимумов представлены в приложении В (Таблица В.1, В.2, В.3).

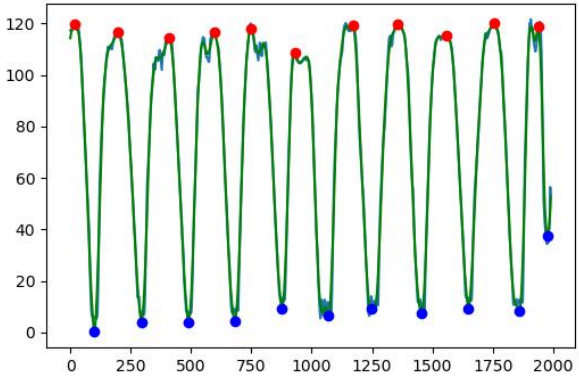


Рисунок 4 – Сглаженный график с указанными точками максимума и минимума для 3 задания с углом поворота 135º, где по горизонтали указаны значения номера кадра, а по вертикали – значения угла поворота (в градусах)

5.3 Расчет статистических значений

Значения координат по оси OY каждой точки максимума и минимума для каждого измерения каждого упражнения каждой амплитуды были занесены в таблицы. Таблицы для 1, 2 и 3 упражнений представлены в приложении Г.

Для оценки полученных результатов были рассчитаны следующие значения: среднее значение, стандартное отклонение и дисперсия. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Среднее значение (2) – среднее арифметическое значение всех значений выборки.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}, \qquad 2)$$

где x_i – значение элемента выборки; n – количество элементов.

Стандартное отклонение (3) – мера разброса значений выборки относительно среднего значения выборки.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (3)$$

где x_i – значение элемента выборки; n – количество элементов; $\bar{x}$ – среднее значение выборки.

Дисперсия (4) - мера разброса значений случайной величины относительно ее математического ожидания.

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}, \qquad (4)$$

где x_i – значение элемента выборки; n – количество элементов; $\bar{x}$ – среднее значение выборки.

Таблица 4 – Статистические значения, рассчитанные по точкам максимумов и минимумов на выборке в 30 измерений для каждого упражнения

Упражнение	Амплитуда	Значение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Дисперсия
1	25 мм	max	32,06	7,86	27,34
		min	7,75	3,55	10,87
	50 мм	max	48,46	9,90	17,61
		min	16,38	7,20	44,05
	100 мм	max	80,16	16,59	55,62
		min	17,94	7,54	47,32
	150 мм	max	112,75	21,23	13,36
		min	12,39	8,26	65,04
2	40 мм	max	42,64	1,71	2,92
		min	33,64	1,24	1,55
	60 мм	max	57,63	4,39	19,23
		min	35,29	1,81	3,28
	80 мм	max	78,13	1,38	1,91
		min	33,38	0,93	0,86
3	45°	max	52,75	3,51	12,31
		min	5,10	3,32	11,04
	90°	max	98,02	6,86	47,11
		min	4,43	6,38	40,69
	135°	max	136,09	6,66	44,36
		min	2,73	4,95	24,53
	180°	max	174,88	7,89	62,28
		min	3,94	5,08	25,76

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Основным критерием применимости устройства для данной задачи является линейная зависимость физического расстояния от расстояния, измеренного с помощью датчика. В excel были построены графики зависимости физического расстояния, измеренного при помощи линейки при регистрации упражнений, от расстояния, которое были измерено с помощью датчика. Графики представлены на рисунках 5 – 7. Для max по горизонтали указаны значения физического расстояния, по вертикали – значения расстояния, измеренного с помощью датчика. График min был построен, чтобы показать, что вне зависимости от того, с какой амплитудой выполнялось упражнение, при начальном положении значения измеренного с помощью датчика расстояния для 1 и 2 задания и угла поворота для 3 задания практически не изменяются, но не являются нулевыми при нулевом физическом расстоянии и угле.

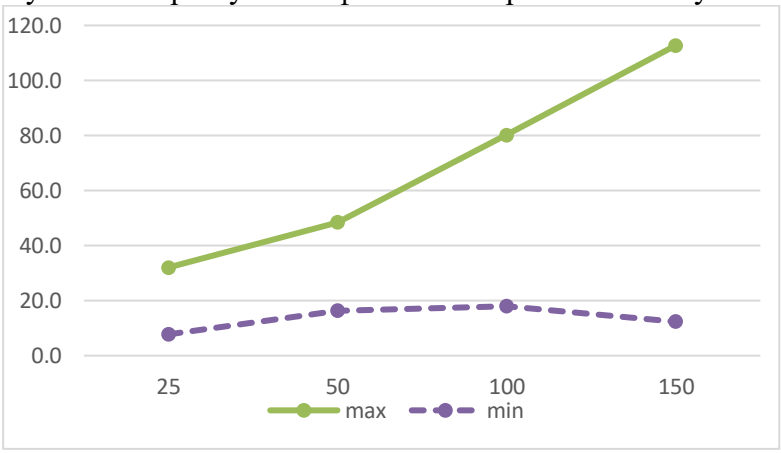


Рисунок 5 – График зависимости физического расстояния от расстояния, измеренного с помощью датчика для 1 задания

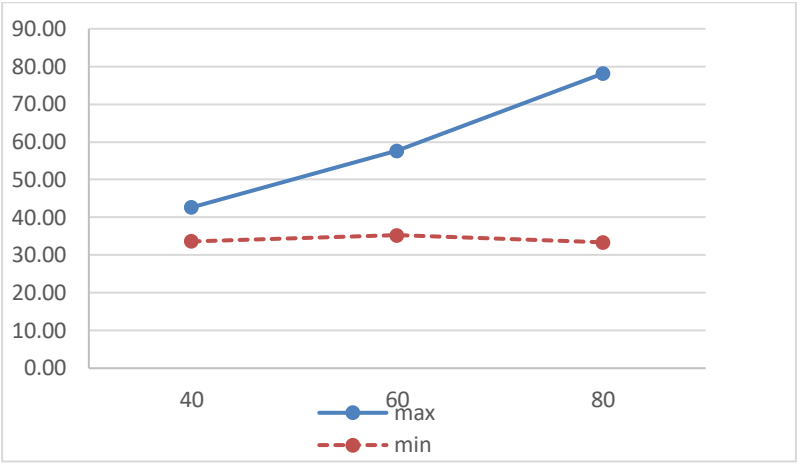


Рисунок 6 – График зависимости физического расстояния от расстояния, измеренного с помощью датчика для 2 задания

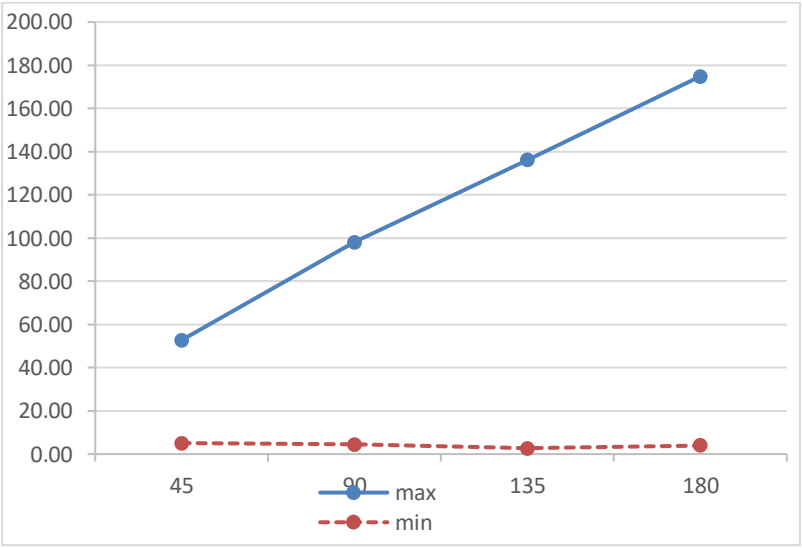


Рисунок 7 – График зависимости физического расстояния от расстояния, измеренного с помощью датчика для 3 задания

При анализе данных, полученных на графиках, мы видим, что изменение значений точки максимума линейно зависит от физически измеренного расстояния.

На графике для 1 задания (рис. 5) видно, что значения для меньших амплитуд измеряются точнее, чем для больших. Значение минимального расстояния между пальцами не является нулевым значением, но остается постоянным вне зависимости от амплитуды, с которой совершаются двигательные упражнения.

На графике для 2 задания (рис. 6) видно, что максимальное расстояние, измеренное датчиком, имеет близкое значение с физическим значением амплитуды, которое отслеживалось по линейке при регистрации данных. Минимальное расстояние же сохраняется, но превышает нулевое значение.

На графике для 3 задания (рис. 7) видно, что значения угла поворота отслеживаются близко к заданному значению. Начальное положение ладони, в котором значение угла поворота должно быть равным нулю, отслеживается с минимальной погрешностью.

Разброс данных показывает необходимость расширения выборки, т.е. проведение дополнительных измерений.

Итоговая оценка критериев приведена в таблице 5

№	Критерий	Выполнение
1	Линейная зависимость расстояния, измеренного с помощью линейки при регистрации данных, от расстояния, измеренного с помощью датчика	Выполнен.
2	Правильное выделение и отслеживание руки	Частично выполнен. При выполнении 3 задания при амплитуде 180 градусов датчик ошибочно интерпретирует правую или левую сторону руки. Значение расстояния в начальном положении при измерении его датчиком имеет значение, отличное от нуля, но при выполнении 1 и 2 упражнений сохраняет постоянное значение, а при выполнении 3 упражнения принимает значение, близкое к нулю.
3	Непрерывность регистрации данных	Выполнен.

Таблица 5 – Оценка критериев

ВЫВОДЫ

Проанализировав полученные зависимости физического расстояния от расстояния, рассчитанного на основе координат точек, полученных с помощью датчика Leap Motion, можно сделать вывод, что в целом датчик может быть использован для решения поставленной задачи, так как они имеют линейную зависимость.

Для принятия однозначного решения об использовании датчика в оценке двигательной активности рук у пациентов с болезнью Паркинсона нужны более точные дорогостоящие системы. Данное исследование показало, что

оценка точности датчика с помощью этих систем может быть произведена.

В открытом доступе есть исследования на данную тему. В одном из исследований для оценки точности датчика была использована оптико-электронная система Optotrak 3020. Авторы сделали вывод, что датчик может быть использован для решения поставленной мною задачи, но оценка точности датчика производилась с помощью упражнений, которые не являются ключевыми в оценке двигательной активности рук у пациентов с болезнью Паркинсона [17]. В другом исследовании для оценки точности датчика была использована оптико-электронная система DX400 [18]. Было выявлено, что Leap Motion способен отслеживать руки, но имеет погрешность. Это исследование не может быть эталонным, так как измерения производились только с одной, не указанной четко амплитудой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы была достигнута поставленная цель – была обоснована возможность использования 3D устройства в задаче оценки двигательной активности рук у пациентов с болезнью Паркинсона. Для этого мною были выполнены следующие задачи:

- Изучена болезнь Паркинсона, а именно нарушения в движениях рук.
- Выбраны упражнения на двигательную активность рук для оценки состояния пациента.
- Выбрано 3D устройство регистрации данных – Leap Motion.
- Разработаны критерии применимости устройства для решения данной задачи.
- Разработана методика регистрации двигательной активности рук.

- С помощью 3D устройства зарегистрированы движения рук по выбранным заданиям.
- Написана программа обработки полученных данных.
- Произведен анализ обработанных данных и полученных результатов.

Результаты данной работы показали, что в целом датчик может быть использован для решения поставленной задачи, и доказали целесообразность проведения более точной оценки датчика. В дальнейшем планируется произвести эту оценку, в результате чего может быть произведена автоматизация процесса оценки двигательной активности рук у пациентов с болезнью Паркинсона.

ИСТОЧНИКИ

1. Полякова Т. А. Болезнь Паркинсона: [Электронный ресурс] URL: https://probolezny.ru/bolezn-parkinsona. (Дата обращения: 21.11.2019)
2. Причины, симптомы и стадии болезни Паркинсона: [Электронный ресурс] URL: https://www.kp.ru/guide/bolezn-parkinsona.html. (Дата обращения: 21.11.2019)
3. Методы диагностики болезни Паркинсона: [Электронный ресурс] URL:http://golovalab.ru/inye-zabolevaniya/bolezn-parkinsona/diagnostika.html#osmotr-specialista. (Дата обращения: 21.11.2019)
4. Редакция Невралгия.ру 11 методов диагностики болезни Паркинсона: [Электронный ресурс] URL: https://nevralgia.ru/parkinson/metody-diagnostiki/. (Дата обращения: 21.11.2019)
5. Гладкая О. Диагностика болезни Паркинсона: [Электронный ресурс] URL: https://parkinson.su/diagnostika-bolezni-parkinsona. (Дата обращения: 21.11.2019)

6. Нарушения походки при паркинсонизме. Ахейрокинез у больных Паркинсоном: [Электронный ресурс] URL: https://meduniver.com/Medical/Neurology/1270.html. (Дата обращения: 28.11.2019)
7. Моканов К. Болезнь Паркинсона и другие двигательные расстройства: [Электронный ресурс] / Л. Гинсберг // Неврология для врачей общей практики URL: https://medbe.ru/materials/nevrologiya/bolezn-parkinsona-i-drugie-dvigatelnye-rasstroystva/. (Дата обращения: 28.11.2019)
8. Клинические проявления болезни Паркинсона: [Электронный ресурс] URL: https://parki.kg7.ru/двигательная-активность/page/3/ (Дата обращения: 28.11.2019)
9. Kit Wu, Sophie Molloy. Parkinson's disease symptoms: The patient's perspective: [Электронный ресурс] URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mds.23135. (Дата обращения: 11.12.2019).
10. Психомоторные функции при паркинсонизме. Мимика у больных при паркинсонизме: [Электронный ресурс] URL: https://meduniver.com/Medical/Neurology/1268.html. (Дата обращения: 28.11.2019)
11. Исследование двигательных функций: [Электронный ресурс] // USPDRS URL: https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/PDFs/MDS-UPDRS_Russian_Official_Translation_FINAL.pdf/. (Дата обращения: 28.11.2019)
12. Сайфуллин Д. Обзор методов и технологий отслеживания положения для виртуальной реальности: [Электронный ресурс] URL: https://habr.com/ru/post/397757/. (Дата обращения: 03.12.2019)

13. Гурылев В. Intel RealSense D400 — камеры цифровой реальности: [Электронный ресурс] URL: https://habr.com/ru/company/intel/blog/410047/. (Дата обращения: 03.12.2019)
14. Kinect for Windows SDK. Часть 1. Сенсор: [Электронный ресурс] URL: https://m.habr.com/ru/post/150955/. (Дата обращения: 03.12.2019)
15. Принцип работы устройства LeapMotion. Краткий обзор: [Электронный ресурс] URL: https://dvornichenko.com/2014/07/princip-raboty-ustrojstva-leap-motion-kratkij-obzor/. (Дата обращения: 03.12.2019)
16. [Электронный ресурс]: https://developer archive.leapmotion.com/documentation/csharp/api/Leap_Classes.html. (Дата обращения: 11.12.2019).
17. James Y Tung, Tea Lulic, Dave A Gonzalez. Evaluation of a portable markerless finger position capture device: accuracy of the Leap Motion controller in healthy adults: [Электронный ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/275343027_Evaluation_of_a_portable_markerless_finger_position_capture_device_Accuracy_of_the_Leap_Motion_controller_in_healthy_adults. (Дата обращения: 11.02.2020)
18. Claudia Ferraris, Roberto Nerino, Antonio Chimienti. A Self-Managed System for Automated Assessment of UPDRS Upper Limb Tasks in Parkinson's Disease: [Электронный ресурс] URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/18/10/3523. (Дата обращения: 11.02.2020)
19. Lee, W.-L., Sinclair, N. C., Jones, M., Tan, J. L. Objective evaluation of bradykinesia in Parkinson's disease using an inexpensive marker-less motion tracking system. Physiological Measurement.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Исходные графики движения рук

Таблица А.1 – Графики движения правой руки при выполнении упражнения 1, где по горизонтали указан номер кадра, а по вертикали – значения расстояния между ключевыми точками (мм)

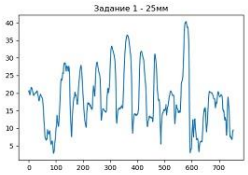
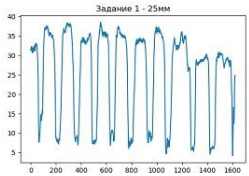
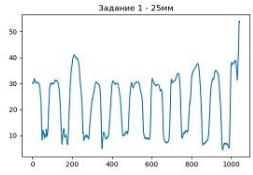
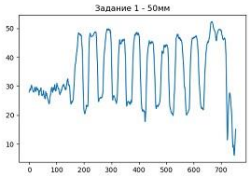
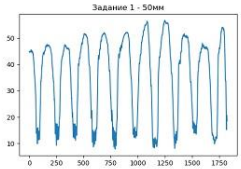
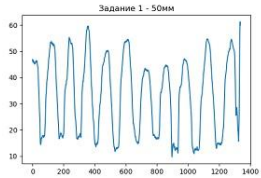
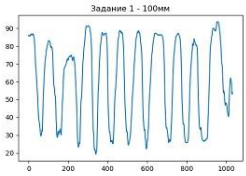
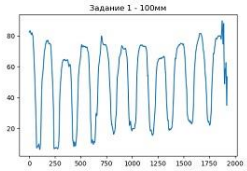
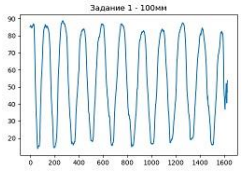
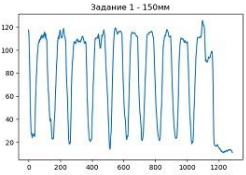
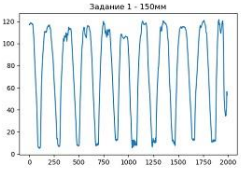
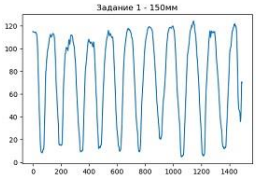
1 измерение	2 измерение	3 измерение
		
		
		
		

Таблица А.2 – Графики движения правой руки при выполнении упражнения 2, где по горизонтали указан номер кадра, а по вертикали – значения расстояния между ключевыми точками (мм)

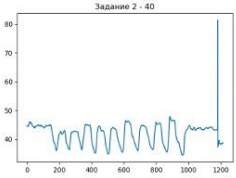
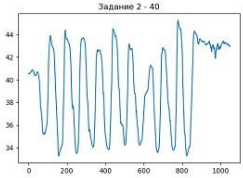
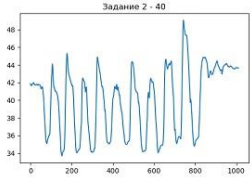
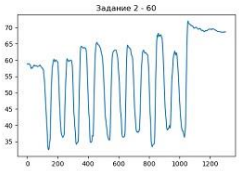
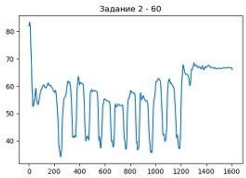
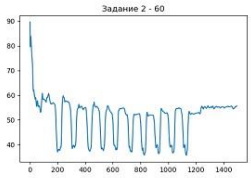
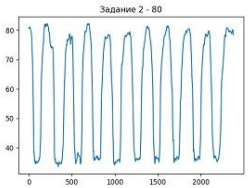
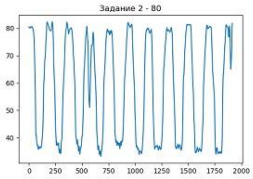
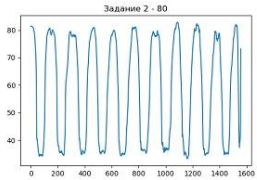
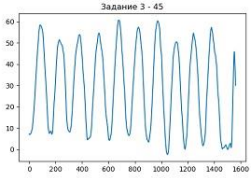
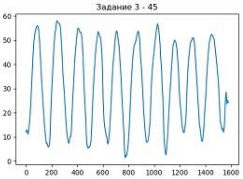
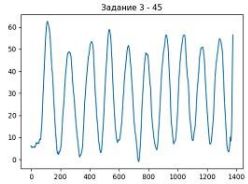
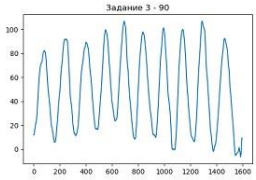
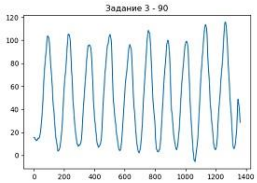
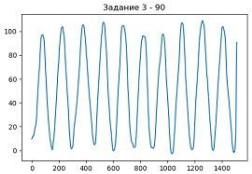
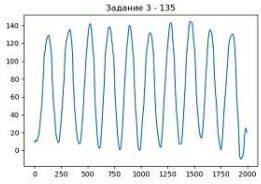
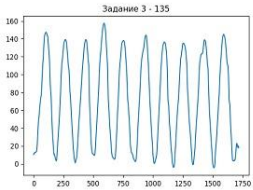
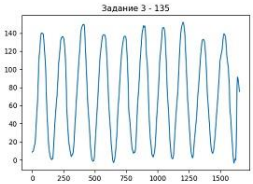
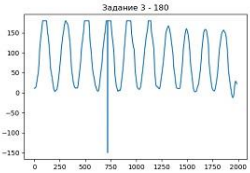
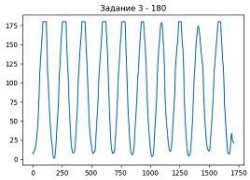
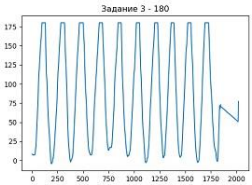
1 измерение	2 измерение	3 измерение
		
		
		

Таблица А.3 – Графики движения правой руки при выполнении упражнения 3, где по горизонтали указаны значения номера кадра, а по вертикали – значения угла поворота (в градусах)

1 измерение	2 измерение	3 измерение
		
		
		
		

Приложение Б

Листинг кода

Листинг 1 – Нахождение расстояния между контрольными точками для 1 задания

```
def task1(data):
    r=[]
    FrameStart=data[0]['frameId']
    ID=[]
    for k in range(len(data)):
        if data[k]['frameHandsCount'] > 0:
            ID.append(data[k]['frameId'] - FrameStart)
            for i in range(5):
                for j in range(4):
                    if data[k]['hand'][0]['finger'][i]['type']=='TYPE_THUMB':
                        if data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['type']=='TYPE_DISTAL':
                            x1=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['x'])
                            y1=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['y'])
                            z1=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['z'])
                    if data[k]['hand'][0]['finger'][i]['type']=='TYPE_INDEX':
                        if data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['type']=='TYPE_DISTAL':
                            x2=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['x'])
                            y2=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['y'])
                            z2=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['z'])
            r.append(((x1 - x2) ** 2 + (y1 - y2) ** 2 + (z1 - z2) ** 2) ** 0.5)
    return ID,r
```

Листинг 2 – Нахождение расстояния между контрольными точками для 2 задания

```
def task2(data):
    r=[]
    FrameStart=data[0]['frameId']
    ID=[]
    for k in range(len(data)):
        if data[k]['frameHandsCount'] > 0:
            ID.append(data[k]['frameId'] - FrameStart)
            x2=(data[k]['hand'][0]['palmPosition']['x'])
            y2=(data[k]['hand'][0]['palmPosition']['y'])
            z2=(data[k]['hand'][0]['palmPosition']['z'])
            for i in range(5):
                for j in range(4):
                    if data[k]['hand'][0]['finger'][i]['type']=='TYPE_MIDDLE':
                        if data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['type']=='TYPE_DISTAL':
                            x1=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['x'])
                            y1=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['y'])
                            z1=(data[k]['hand'][0]['finger'][i]['bone'][j]['prevJoint']['z'])
            r.append(((x1 - x2) ** 2 + (y1 - y2) ** 2 + (z1 - z2) ** 2) ** 0.5)
    return ID, r
```

Листинг 3 – Нахождение расстояния между контрольными точками для 3 задания

```
def task3(data):
    r=[]
    FrameStart=data[0]['frameId']
    ID=[]
    for k in range(len(data)):
        if data[k]['frameHandsCount'] > 0:
            ID.append(data[k]['frameId'] - FrameStart)
            if -data[k]['hand'][0]['roll'] < - 150:
                r.append(180)
            else:
                r.append(-data[k]['hand'][0]['roll'])
    return ID, r
```

Листинг 4 – Построение и сглаживание графика функции

```
def plotFunction(title,namefile,ID,r, exelname):
    plt.plot(ID,filtered, color='g')
    plt.title(title)
    plt.plot(np.reshape(maxTemp, (np.array(maxTemp).shape[1], )), filtered[maxTemp], 'ro')
    plt.plot(np.reshape(minTemp, (np.array(minTemp).shape[1], )), filtered[minTemp], 'bo')
    plt.savefig(namefile + '.png', format='png',dpi=100)
    plt.clf()
    exelfaile(["min","max"], [filtered[maxTemp],filtered[minTemp]], exelname)
```

Листинг 5 – Нахождение точек максимума и минимума

```
def maxmin(line, max, min):
    filtered = savgol_filter(r, 51, line)
    maxTemp = argrelmax(filtered, order=max)
    minTemp = argrelmin(filtered, order=min)
    print('max count ',len(filtered[maxTemp]))
    print('min count ', len(filtered[minTemp]))
    return filtered, maxTemp, minTemp
```

Приложение В

Сглаженные графики движения рук

Таблица В.1 – Сглаженные графики движения рук для 1 задания, где по горизонтали указаны значения номера кадра, а по вертикали – значения расстояния между ключевыми точками (мм)

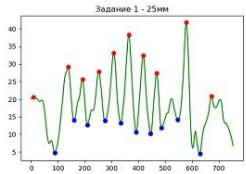
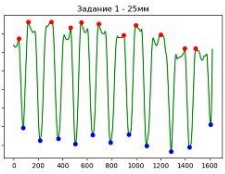
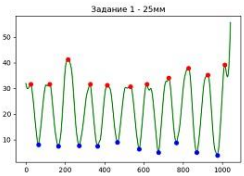
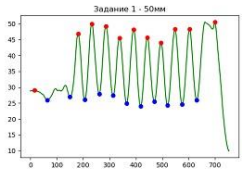
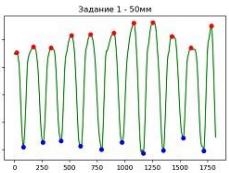
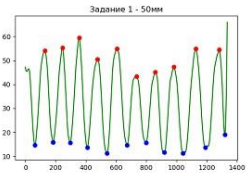
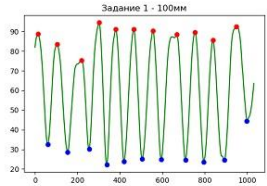
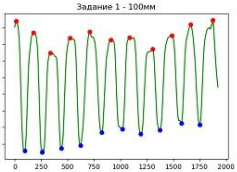
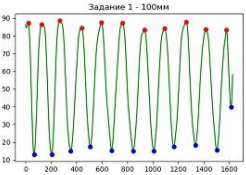
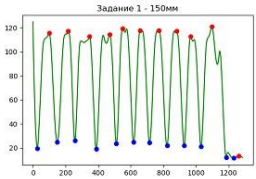
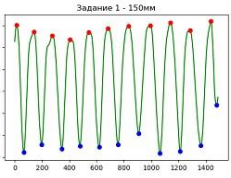
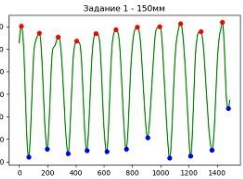
1 измерение	2 измерение	3 измерение
		
		
		
		

Таблица В.2 – Сглаженные графики движения рук для 2 задания, где по горизонтали указаны значения номера кадра, а по вертикали – значения расстояния между ключевыми точками (мм)

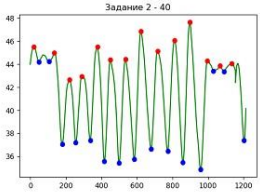
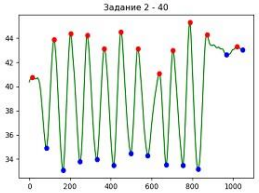
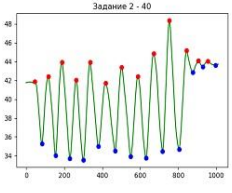
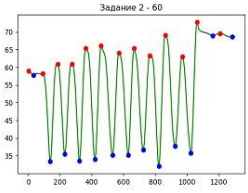
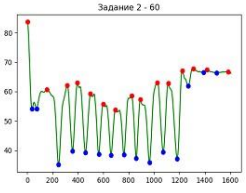
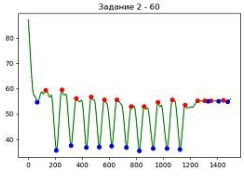
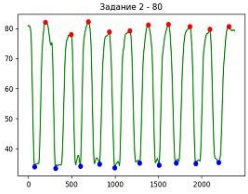
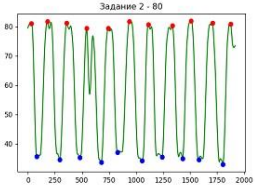
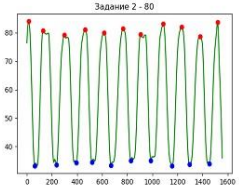
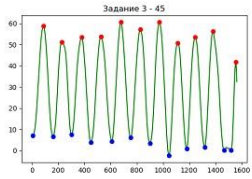
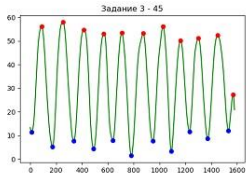
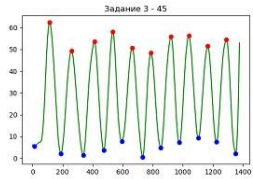
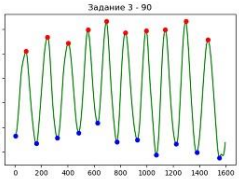
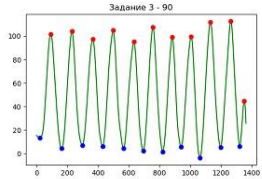
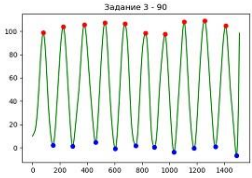
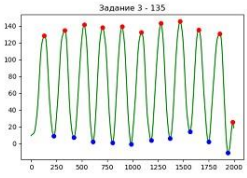
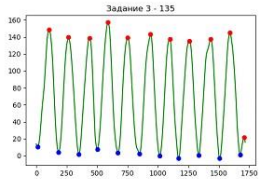
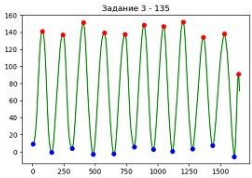
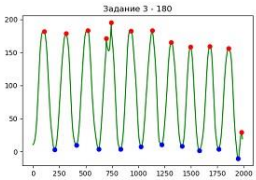
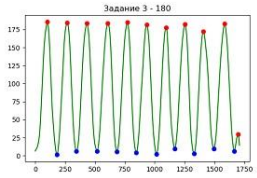
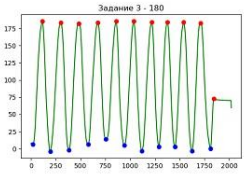
1 измерение	2 измерение	3 измерение
		
		
		

Таблица В.3 – Сглаженные графики движения рук для 3 задания, где по горизонтали указаны значения номера кадра, а по вертикали – значения угла поворота (в градусах)

1 измерение	2 измерение	3 измерение
		
		
		
		

Приложение Г

Статистические величины

Таблица Г.1 – Значения координат по оси OY каждой точки максимума и минимума для 1 задания.

Амплитуда, мм	Измерение	Расстояние	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	1	max	20,54	29,08	25,64	27,83	33,15	38,25	32,41	27,34	41,84	20,82
		min	4,73	14,04	12,67	13,91	13,24	10,64	10,22	11,86	14,14	4,44
	2	max	33,68	38,16	38,20	36,61	38,06	37,62	34,64	37,25	34,78	31,03
		min	9,68	6,19	6,68	5,32	7,74	5,72	7,87	4,77	3,25	4,40
	3	max	31,59	31,63	41,22	31,70	31,28	30,64	31,61	34,15	37,89	35,14
		min	8,09	7,54	7,71	7,53	8,94	6,35	4,97	8,79	4,99	3,82
50	1	max	46,77	49,95	49,24	45,56	48,12	45,66	43,99	48,38	48,30	50,59
		min	26,95	26,04	27,90	27,37	24,94	24,06	25,48	24,25	24,58	26,01
	2	max	45,25	47,36	47,01	51,62	51,89	52,40	56,10	56,32	51,31	47,08
		min	10,89	12,70	13,10	11,18	10,05	12,70	8,59	9,63	14,19	9,59
	3	max	54,08	55,38	59,47	50,61	54,88	43,41	45,04	47,33	54,79	54,50
		min	14,63	15,88	15,55	13,65	11,21	14,56	15,69	11,58	11,25	13,64
100	1	max	88,70	83,60	75,33	94,65	91,02	91,04	90,31	88,60	89,64	85,48
		min	32,50	28,68	30,08	22,14	23,86	25,10	24,83	24,51	23,61	24,71
	2	max	76,78	64,69	73,78	77,37	72,62	74,04	66,90	75,21	81,70	83,87
		min	4,89	7,43	8,96	16,96	18,90	15,95	18,35	22,47	21,51	5,86
	3	max	87,14	86,34	88,65	84,36	87,43	87,08	83,22	84,04	87,63	83,60
		min	12,93	13,03	14,98	17,49	15,27	15,03	15,05	17,44	18,17	15,37
150	1	max	115,72	117,02	112,51	114,44	119,17	117,60	117,59	117,14	112,53	120,99
		min	19,43	24,77	25,98	18,97	23,71	24,73	24,35	21,68	21,88	21,04
	2	max	119,87	116,55	114,42	116,50	117,76	108,72	119,24	119,72	115,27	120,28
		min	0,26	4,06	4,06	4,48	9,32	6,35	9,11	7,41	9,35	8,15
	3	max	120,24	114,35	110,89	107,17	113,81	117,52	119,77	120,07	122,78	115,49
		min	4,33	11,24	7,57	10,27	9,28	11,58	21,67	3,35	5,13	10,53

Таблица Г.2 – Значения координат по оси OY каждой точки максимума и минимума для 2 задания

Амплитуда, мм	Измерение	Расстояние	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	1	max	42,64	42,94	45,48	44,38	44,42	46,84	45,14	46,03	47,65	44,30
		min	37,08	37,21	37,39	35,55	35,45	35,77	36,66	36,47	35,49	34,87
	2	max	43,86	44,37	44,25	43,12	44,53	43,13	41,09	42,97	45,32	44,28
		min	34,91	33,07	33,78	33,96	33,50	34,45	34,30	33,53	33,50	33,16
	3	max	41,87	42,41	43,95	42,05	43,91	41,74	43,42	42,42	44,88	48,39
		min	35,24	34,02	33,72	33,52	34,99	34,52	33,92	33,74	34,45	34,68
60	1	max	58,29	60,84	60,95	65,31	66,10	64,09	65,38	63,31	69,14	62,98
		min	33,48	35,55	33,62	33,99	35,20	35,20	36,69	32,06	37,73	35,74
	2	max	60,69	62,08	62,95	59,29	55,69	53,83	58,57	57,29	63,09	62,76
		min	35,09	39,74	39,19	38,66	38,34	38,49	37,20	35,83	39,36	37,07
	3	max	59,68	56,18	56,78	55,69	55,60	53,04	52,99	54,71	55,72	53,63
		min	35,71	37,51	36,81	37,07	37,38	36,82	35,46	36,49	36,54	36,02
80	1	max	82,04	77,98	82,28	78,87	79,28	81,21	81,37	80,55	79,77	80,63
		min	34,10	33,47	34,28	34,88	33,67	35,32	34,66	35,34	35,18	35,48
	2	max	80,96	81,78	81,26	79,35	79,42	81,75	80,59	80,27	81,98	81,23
		min	35,66	34,56	35,21	33,76	37,10	34,16	35,53	34,95	34,51	32,91
	3	max	84,06	80,62	79,15	81,09	79,89	81,47	79,45	83,08	82,02	78,56
		min	33,17	33,55	34,32	34,46	33,43	35,16	35,04	33,20	33,82	33,92

Таблица Г.3 – Значения координат по оси OY каждой точки максимума и минимума для 3 задания

Амплитуда, мм	Измерение	Расстояние	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45	1	max	58,73	51,27	53,50	53,69	60,69	57,19	60,58	50,65	53,55	56,27
		min	7,00	6,59	7,52	3,88	4,41	6,19	3,47	-2,41	0,81	1,64
	2	max	56,18	58,03	54,74	53,05	53,34	53,28	56,10	50,16	51,27	52,38
		min	11,47	5,22	7,70	4,45	8,00	1,48	7,68	3,31	11,62	8,67
	3	max	62,42	49,28	53,54	58,18	50,72	48,45	55,77	56,20	51,48	54,55
		min	5,40	2,02	1,32	3,73	7,77	0,41	4,73	7,22	9,26	7,45
90	1	max	81,98	93,59	88,74	99,46	106,32	97,29	98,92	99,71	106,62	91,43
		min	13,10	6,79	11,17	15,54	23,32	8,25	9,57	-2,70	6,37	-0,65
	2	max	101,74	104,06	97,46	105,16	95,45	107,65	99,08	99,66	111,81	112,83
		min	13,20	4,32	7,13	6,31	4,38	2,38	1,55	5,69	-3,74	5,09
	3	max	98,72	104,02	105,68	107,05	106,48	98,24	97,65	108,16	109,01	104,70
		min	2,20	1,35	4,58	-0,64	1,90	0,66	-3,51	-0,42	1,02	-6,75
135	1	max	128,55	134,79	141,69	138,40	139,26	132,15	143,36	145,71	135,03	130,55
		min	8,95	6,92	1,99	0,94	-0,58	3,80	5,77	13,81	1,94	-11,28
	2	max	148,54	139,49	138,72	157,44	139,10	142,96	137,58	135,19	137,48	145,14
		min	10,22	4,04	1,83	7,76	3,66	2,07	0,10	-3,10	0,81	-3,07
	3	max	141,07	137,25	151,45	139,57	137,77	148,86	147,18	152,24	134,01	138,19
		min	9,07	-0,69	3,93	-2,75	-2,40	5,85	3,16	0,64	3,69	7,46
180	1	max	181,89	179,03	183,17	171,32	195,48	182,42	183,06	165,37	158,58	159,36
		min	3,16	10,08	3,68	3,55	7,57	10,59	8,60	1,53	4,16	-10,63
	2	max	185,87	184,17	183,98	183,78	184,78	181,73	177,37	182,22	172,40	182,78
		min	1,33	6,33	6,45	5,72	3,89	2,22	9,57	3,17	9,81	5,99
	3	max	185,45	183,54	182,34	183,39	185,76	185,81	184,28	184,33	184,45	183,11
		min	6,61	-4,17	-1,59	6,08	13,96	5,05	-3,28	3,27	2,65	-3,27

СЕКЦИЯ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ТЕРМЕНВОКС С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ЭЛЕКТРОНИКИ

Волынкина Мария Михайловна

Школа №1502 при МЭИ
Научный руководитель:
Цивинская Татьяна Анатольевна
МГТУ им. Н.Э.Баумана

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию, разработке и изготовлению электронных музыкальных инструментов типа терменвокс с использованием различной электронной компонентной базы.

Актуальность: Успех театрального представления с древних времён зависел от музыкального сопровождения. Музыка была и остаётся средой, которая объединяет исполнителей и слушателей, и чем богаче, гармоничнее мир звука, тем сильнее отзываются струны человеческой души. Ещё более востребовано музыкальное сопровождение в кинематографе. Погрузить человека в атмосферу фильма, заставить цепенеть от ужаса или плакать от радости – все это роль музыки. Отсюда очевиден интерес музыкантов к новым музыкальным инструментам, которые могли бы наполнить произведение новым звучанием. В акустических инструментах

обертоновая структура инструмента, созданная механическим путём, ограничивала тембр данного инструмента. Электричество предоставило возможность создавать тембр, используя только электрические колебания: теоретически стало возможным создавать любой тембр и манипулировать им. Изобретение в 1906 году электронной лампы способствовало ускорению развития радиофонии, электроакустики, записывающих и воспроизводящих устройств, в том числе и полуавтоматических и автоматических музыкальных инструментов. Из разработок данного периода можно выделить три электрических инструмента нашедшие широкое применение в музыкальном мире: терменвокс, волны Мартено и тратониум. В данных инструментах звук создавался по принципу звукового гетеродинного генератора, состоящего из двух генераторов. Один из них настроен на постоянную частоту, а на другом частоту можно изменять. В соответствии с изменением величины разности частот генераторов менялась частота комбинационных тонов (высота звука). Из множества возникших таким образом дифференциальных тонов (без обертонов) в музыке можно было использовать три - четыре октавы в зависимости от творческих задач. Хотя все три инструмента были разработаны на одном принципе, они явно имели различия в конструкциях, если судить по истории их использования. По- видимому, терменвокс имел преимущества в виде высокой чувствительности схемы и богатой звуковой палитры. Именно для терменвокса активно создавали свои произведения Богуслав Мартину, Дмитрий Шостакович, Эдгар Варез и представители академического авангарда. К возможностям терменвокса обращались в своём творчестве Жан-Мишель Жарр, Кит Эмерсон и др. А вот два остальных инструмента использовались в кинофильмах

для создания звуковых эффектов. Волны Мартено часто использовались в кинематографе. Звук данного инструмента встречается в фильмах «Лоуренс Аравийский» Дэвида Лина, «Амели» Жана-Пьера Жёне и др. А Альфред Хичкок использует в фильме «Птицы» электроимитацию на музыкальном инструменте «микстуртратониум»[1].

В настоящее время на волне развития технологий микроэлектроники активными темпами образовываются новые направления в мире музыки, кинематографии, образовательных программ с использованием приёмов мультимедиа. Возникла новая междисциплинарная сфера профессиональной деятельности, связанная с созданием и применением специализированных музыкальных программно-аппаратных средств, требующая знаний и умений как в музыкальной сфере, так и в области информатики – музыкально-компьютерные технологии (МКТ). В музыкальной практике большое распространение приобрел новый класс ЭМИ, куда входят клавишные синтезаторы, рабочие станции, музыкальные компьютеры и др. Область МКТ это одно из самых развивающихся направлений в развитии компьютерных наук. МКТ используются в процессе преподавания ряда новых учебных дисциплин: «Основы музыкального программирования», «Звукотембральное программирование», «Музыкальная звукорежиссура» и другие [2].

Постановка задачи: Одна из задач этой работы - рассказать о первом ЭМИ, изобретенном советским ученым Львом Сергеевичем Терменом сто лет назад. Этот аналоговый ЭМИ, который впоследствии был назван терменвоксом, используется и в наши дни в концертной деятельности. Вторая задача данной работы – изучить конструкции ЭМИ типа терменвокс с использованием различной электронной компонентной базы, рассмотреть

достоинства и недостатки существующих ЭМИ типа терменвокс с точки зрения технических и эргономических характеристик.

Цель: Разработать конструкцию ЭМИ типа терменвокс, которая бы была максимально удобной для исполнителя с точки зрения исполнения на ней музыки.

В рамках работы были решены следующие задачи:

Изучены схемы ЭМИ типа терменвокс, использующие различные компонентные базы.

Сконструирован и собран макет аналогового ЭМИ типа терменвокс.

Сконструирован и собран макет цифрового ЭМИ типа терменвокс на платформе Arduino с использованием УЗ-датчиков.

Выделены положительные и отрицательные технические и эргономические характеристики аналоговых и цифровых ЭМИ типа терменвокс.

Сконструирован и собран макет нового комбинированного ЭМИ типа терменвокс, состоящий из схемы для регулирования частоты звука с аналоговой работой электронных компонентов и цифровых устройств для регулирования громкости звука с целью исключить электромагнитное влияние схем частоты и громкости звука друг на друга.

Положения, выносимые на защиту:

- Сравнение принципов работы и технических характеристик ЭМИ типа терменвокс, собранных с использованием различных компонентных баз. Выделение положительных и отрицательных сторон их работы.
- Процесс разработки, сборки и отладки макетов аналогового и цифрового ЭМИ типа терменвокс.
- Процесс разработки, сборки и отладки комбинированного ЭМИ типа терменвокс с

учетом проведенного анализа технических и эргономических характеристик существующих ЭМИ.

Методы проведенных исследований: При настройке и отладке изготовленных печатных плат использовались мультиметр и осциллограф.

Научная новизна работы: В результате исследования публикаций, размещённых в сети, а также исследований патентов по базам Роспатента и https://yandex.ru/patents не найдено ни одного источника информации, в котором бы была описана предложенная конструкция комбинированного ЭМИ типа терменвокс, из чего можно сделать вывод о новизне предложенного решения.

Результатом работы является сконструированный и изготовленный действующий макет комбинированного ЭМИ типа терменвокс, в котором воплощена идея объединить достоинства аналоговых и цифровых ЭМИ.

Работа имеет практическую ценность. В сотрудничестве с людьми, обладающими музыкальными знаниями и навыками на основе макета комбинированного ЭМИ может быть создан профессиональный музыкальный инструмент для концертной деятельности.

Апробация работы. Апробация работы проведена в Лицее 1502 при МЭИ г.Москвы на открытом уроке физики.

Структура и объем работы: Работа состоит из четырех глав.

В первой главе описана история изобретения терменвокса, общие физические и технические принципы работы терменвокса на электронных лампах, достоинства и недостатки первого терменвокса.

Во второй главе описан процесс изготовления макета аналогового ЭМИ типа терменвокс на транзисторах, описаны достоинства и недостатки ЭМИ на транзисторах.

В третьей главе описан принцип работы цифрового ЭМИ типа терменвокс на УЗ-датчиках, изготовлен макет цифрового ЭМИ, описаны достоинства и недостатки цифровых ЭМИ.

В четвёртой главе описан процесс изготовления комбинированного ЭМИ, который включает в себя как аналоговый контур для образования и регулирования звука, так и цифровые устройства для регулирования громкости.

На основе полученных знаний и прикладной работы по изготовлению макетов аналогового, цифрового и комбинированного ЭМИ типа терменвокс сделано заключение о результатах проделанной работы.

Общий объем работы 63 страницы, 33 рисунков, список использованных источников из 20 наименований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

ЭМИ – электронный музыкальный инструмент МКТ – музыкально-компьютерные технологии НЧ – низкая частота

ВЧ – высокая частота

УНЧ – усилитель низкой частоты

УЗ-датчик – ультразвуковой датчик расстояния ЦП – цифровой потенциометр

Термин «аналоговый ЭМИ» используется в отношении электронного музыкального инструмента, в основе работы которого лежит аналоговый сигнал.

Термин «цифровой ЭМИ» используется в отношении электронного музыкального инструмента, в основе работы которого лежит цифровой сигнал.

Термин «комбинированный ЭМИ» используется в отношении электронного музыкального инструмента, в основе работы которого используется как аналоговый сигнал, так и цифровой сигнал.

Термин «устройство типа терменвокс» используется в отношении устройств, где регулирование частоты (высоты) и/или громкости звука осуществляется путём движения руки исполнителя вблизи конструктивных элементов устройства, не касаясь их.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРМЕНВОКСЕ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ

История создания первого терменвокса

В 1919 году Лев Сергеевич Термен (1896—1993) получил задание от физика Абрама Иоффе заняться радиоизмерением диэлектрической постоянной газов при переменной температуре и давлении [3]. В лаборатории Политехнического института Л.С. Термен придумал прибор: генератор электрических колебаний на радиоэлектронной лампе. В нем испытуемый газ между металлическими пластинами играл роль конденсатора в колебательном контуре и влиял на частоту электрических колебаний. В процессе работы над повышением чувствительности установки возникла идея объединения двух генераторов, один из которых давал бы колебания постоянной частоты. Сигналы от обоих генераторов подавались на катодное реле, на выходе которого формировался сигнал с разностной частотой. Таким образом, изменение конечной частоты от изменения параметров испытуемого газа было намного больше. При этом, в результате испытаний оказалось, что прибор издавал звук, высота и сила которого зависела от положения руки между обкладками конденсатора. Помимо занятий физикой, Л.С. Термен учился в консерватории. Такое сочетание интересов, натолкнуло его на идею

создать на базе разработанного прибора музыкальный инструмент. В результате испытаний в 1920 году был создан этеротон – первый в мире электронный музыкальный инструмент (ЭМИ). Впоследствии, инструмент переименовали в честь его создателя, назвав "терменвоксом". Принцип действия инструмента основан на том, что вокруг инструмента создаётся электрическое поле, на которое воздействует человек. Терменвокс воспринимает эти воздействия и преобразует их в слышимый человеком звук, высота и громкость которого зависит от манипуляций человека.

Внешний вид терменвокса на электронных лампах

За сто лет существования инструмента он имел и имеет разнообразные внешние формы – с большим количеством антенн, с одной антенной и ножной педалью для управления громкостью, профессиональные и игрушечные. Внешний вид классического терменвокса (Рисунок 1.2.1 взят из статьи [4]) – это корпус с регулирующими ручками и две антенны, расположенные в разных плоскостях.

Leon Theremin demonstrates his invention, c. 1928
Photo collection of Thomas Rhea

(а) (б)

(а) – фотография Л.С.Термена с музыкальным инструментом, на которой видно положение рук при игре на инструменте,

(б) – фотография Л.С.Термена с музыкальным инструментом на радиолампах.

Рисунок 1.2.1 – Внешний вид терменвокса на электронных лампах.

Первая антена обычно прямая и отвечает за высоту звука. Схема инструмента обычно настроена так, что движение руки у антенны изменяет звук в пределах 3-4 октав, причем чем ближе рука к антенне, тем выше звук. Вторая петлеобразная антенна отвечает за громкость звука – чем дальше рука от антенны, тем звук громче. Расстояние между двумя антеннами обычно соответствует размаху рук дирижера, то есть около 70–90 см. Расположение антенн в разных плоскостях позволяет избежать емкостных влияний одной руки исполнителя на аналогичные воздействия другой руки на антенну.

Особенности игры исполнителя на терменвоксе

Классический терменвокс требует от исполнителя виртуозного умения синхронно манипулировать двумя руками при игре стоя. При игре на терменвоксе требуются движения пальцев, кисти, предплечья, плеча и плечевого сустава обеих рук. Движение рук исполнитель осуществляет в разных плоскостях, правой – в горизонтальной, а левой – в вертикальной.

Радиоконструктор Лев Королёв так описывает игру исполнителя на классическом терменвоксе [5]: «Такая исполнительская школа из-за инерционности движения левой руки значительно обедняет терменвокс как ЭМИ. Здесь же следует отметить ещё один недостаток конструкции классического терменвокса – взаимную зависимость высоты и громкости звука при исполнении музыки, дополнительно затрудняющую работу исполнителя. Высота и громкость звука в таком

инструменте в равной степени взаимосвязаны, но поскольку разрешающая способность человеческого слуха по громкости значительно меньше, чем по частоте, изменения громкости при управлении высотой звука мы не замечаем».

Известно [6], что при проектировании систем «человек – машина» необходимо учитывать согласованность конструкции машин с психологическими и физиологическими характеристиками человека. Так известно, что существует оптимальная организация при выполнении различных движений:

- где требуется быстрая реакция, более предпочтительны движения к себе;
- в горизонтальной плоскости скорость рук быстрее, чем в вертикальной;
- наибольшая скорость руки сверху вниз, наименьшая – от себя и снизу вверх;
- скорость больше слева направо (для правшей);
- вращательные движения быстрее, чем поступательные;
- плавные криволинейные движения рук быстрее, чем прямолинейные с внезапным изменением направления (чем резкие и угловатые);
- там, где требуются более точные движения, рекомендуется учитывать, что более точные – в положении сидя (чем стоя);
- при движении в вертикальной плоскости ошибок меньше, чем в горизонтальной.

Для того, чтобы минимизировать указанные выше недостатки игры на классическом терменвоксе была разработана конструкция терменвокса (назовём её конструкция терменвокса типа К.И.Ковальского), в которой регулировка громкости осуществляется изменением сопротивления встроенного резистора при

нажатии ногой на педаль. Вот как описывает Лев Королёв такой терменвокс [5]: «Вторая школа игры – в положении сидя с кнопочной манипуляцией звуком и педальным регулятором громкости – предложена в начале 20-х годов первым солистом и мастером выразительной игры на терменвоксе К.И.Ковальским. Правая рука исполнителя определяет высоту звука, громкость управляется с помощью ножной педали, через которую проходит сформированный сигнал, а левая рука лежит на пульте управления инструментом и манипулирует кнопками, формирующими начальную (атака) и конечную (затухание) фазы звукового процесса. Всё это позволяет исполнителю оперативно переключать режимы работы, исполнять такие важные музыкальные приёмы, как, например, стакатто, трель, пиццикато, что, конечно, невозможно сделать, при игре на терменвоксе классического исполнения. Эта исполнительская школа полностью свободна от взаимной зависимости высоты и громкости звука, при исполнении музыки и позволяет исполнять музыку головокружительной виртуозности, а также различные музыкальные эффекты – свисты, вой ветра, пение птиц и многие другие, могущие найти применение при озвучивании фильмов, театральных постановок и в других случаях».

В результате изучения публикаций о терменвоксе, было отмечено почти полное отсутствие информации о концертной деятельности на терменвоксе типа К.И. Ковальского, что говорит о том, что такая конструкция не нашла широкого применения у исполнителей. Для концертной деятельности не используются и терменвоксы, в которых управление громкостью осуществляют вращением левой рукой ручки на корпусе. Специфика музыкального исполнения требует других приемов управления звуком, а именно, важны быстрота и одновременная плавность движений исполнителя.

Посещение мною концерта Олеси Ростовской, которая даёт концерты на классическом терменвоксе, полностью опровергло мнение Льва Королёва о том, что классический тип терменвокса позволяет исполнять на нём только мелодии кантильного (плавного, певучего) характера. Можно сделать вывод о том, что игра на описанных выше инструментах очень сложна и подвластна только личностям, обладающим определённым талантом.

ОБЩИЙ ПРИНЦИП ОБРАЗОВАНИЯ ЗВУКА В ТЕРМЕНВОКСЕ

Звук представляет собою колебания среды. При передаче колебаний по воздуху ухо человека способно воспринимать лишь колебания с частотой не ниже 16 Гц и до 20 000 Гц (колебаний в секунду). Радиочастота колебаний, которые производились электронными лампами, на которых был собран первый терменвокс, находилась значительно выше этого предела. Это были колебания порядка сотен тысяч и миллионов в секунду (колебания высокой частоты), которые ухом человека не ощущались. Для того чтобы перевести такие колебания в звук Л.С. Термен использовал интерференцию – сложение колебаний. Поясню это на примере (рисунок 1.4.1).

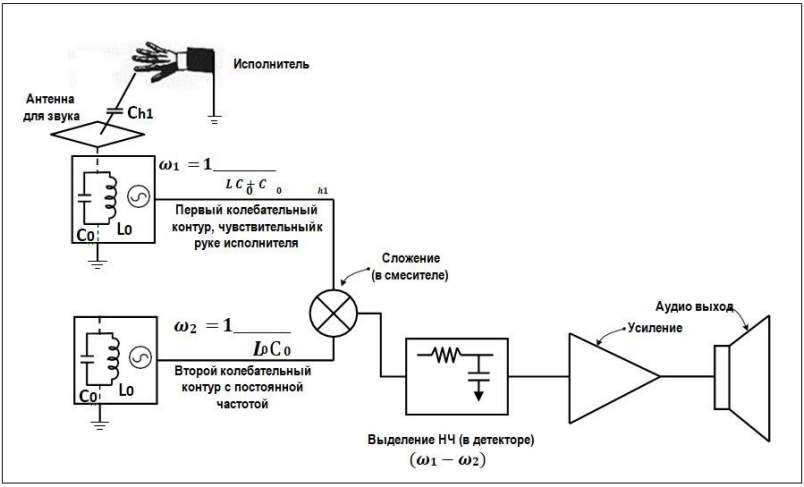


Рисунок 1.4.1 – Пример, поясняющий процесс образования звука в терменвоксе.

Известно, что собственная частота $\omega 0$, Герц (сокр.Гц) колебательного контура равна:

$\omega 0 = 1$, (1)

$L0\ C0$

где L0 – индуктивность катушки колебательного контура, Генри (сокр.Гн); C0 – емкость конденсатора колебательного контура, Фарад (сокр.Ф).

Предположим, у нас имеются два одинаковых высокочастотных колебательных контура, работающие с одинаковыми частотами ($\omega 1 = \omega 2$, например, 1 000 000 колебаний в секунду. Если частоты обоих колебательных контуров в точности одинаковые, мы ничего не слышим. Достаточно немного изменить настройку первого колебательного контура (разница должна находиться в пределах от 16 до 20 000 Гц), и мы услышим звук, явившиеся следствием интерференции. Для изменения настройки первого колебательного контура в его состав входит антенна «для звука». До тех пор пока исполнитель

находится на достаточном расстоянии от инструмента, мы ничего не слышим. Но стоит исполнителю поднести правую руку к антенне (изменить расстояние h1), человеческое тело становится отрицательной обкладкой, а антенна положительной обкладкой конденсатора, включенного в электрическую цепь первого контура, то есть емкость тела исполнителя начинает оказывать влияние на работу первого колебательного контура. В результате изменяется частота $\omega 1$ вырабатываемых им колебаний.

Следовательно, собственная частота $\omega 1$ первого контура, чувствительного к руке исполнителя (далее будем называть его колебательный контур с переменной частотой) равна:

$$\omega 1 = \frac{1}{L0\ C0 + Cи} \qquad (2)$$

где Си – емкость тела исполнителя.

А собственная частота $\omega 2$ второго опорного контура (далее будем называть его колебательный контур с постоянной частотой) равна:

$$\omega 2 = \frac{1}{L_0\ C_0} \qquad (3)$$

Теперь при сложении сигналов в смесителе возникают так называемые биения – колебания с частотой, равной разности частот обоих колебательных контуров. На рисунке 1.4.2 процесс возникновения биений иллюстрируется графически (рисунок 1.4.2 взят из книги [7]). Если мы имеем два незатухающих колебания – одно с частотой ω1 (рисунок 1.3.2.а), и второе – с частотой ω2, немного отличающейся от ω1 (рисунок 1.3.2.б), то при сложении таких колебаний будет происходить следующее: в некоторые моменты времени амплитуды обоих

колебаний будут совпадать по знаку, и поэтому напряжение обоих колебаний будут складываться. В другие же моменты амплитуды колебаний будут оказываться противоположными по знаку и, следовательно, результирующее напряжение будет представлять разность напряжений слагаемых колебаний.

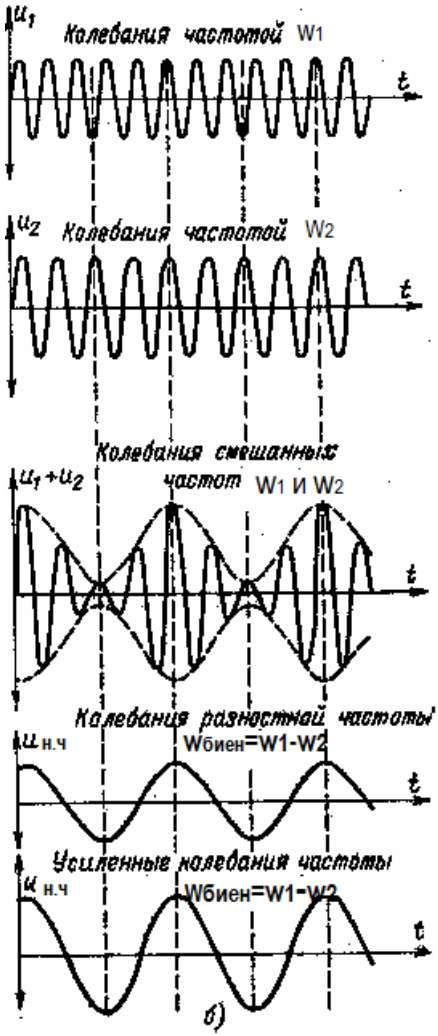

u1
Колебания частотой W1
t
а)
u2
Колебания частотой W2
t
б)
Колебания смешанных
u1+u2
частот W1 и W2
t
в)
Колебания разностной частоты
uн.ч
Wбиен=W1-W2
t
г)
Усиленные колебания частоты
uн.ч
Wбиен=W1-W2
t
д)
б)

Рисунок 1.4.2 – Графики, поясняющие процесс возникновение биений и выделение частоты биений с помощью детектора.

В течение же времени, отделяющего оба упомянутых момента, результирующее напряжение будет достигать различных промежуточных (между максимальным и минимальным) значений. Построив график, изображающий суммарное колебание, мы получим кривую, изображенную на рисунке 1.4.2.в. Эта кривая показывает, что амплитуда результирующего напряжения изменяется периодически и вначале оба слагаемых напряжения суммируются, потом происходит постепенный переход к вычитанию одного из другого, после чего – вновь переход к суммированию и т.д. Процесс этот повторяется периодически. Амплитуда результирующего напряжения оказывается уже не постоянной величиной, а изменяется также периодически: возрастает, затем убывает, снова возрастает и т.д. Результирующее колебание напоминает по виду моделированное. В колебаниях появляются как бы перебои, откуда и произошло название «биений». Частота, с которой происходит нарастание и ослабление колебаний, называется частотой биений и равняется разности частот складываемых колебаний. В случае сложения двух колебаний высокой частоты, например $\omega 1$ =1000 кГц и $\omega 2$ =1100 кГц, мы получаем новое колебание, амплитуда которого будет периодически меняться с частотой

ωбиения = $\omega 2 - \omega 1$ = 100 кГц. Подав это новое колебание на частотный детектор мы можем из суммарного колебания выделить частоту биений, т.е. в нашем случае 100 кГц (рисунок 1.4.2.г). Выделенное напряжение низкой (звуковой) частоты подвергается дальнейшему усилению (рисунок 1.4.2.д) в усилителе до

уровня, необходимого для нормальной работы громкоговорителя [7].

Общий принцип регулировки громкости в терменвоксе

Громкость звука – это субъективное восприятие силы звука. Громкость определяет уровень мощности, которая зависит от амплитуды звукового сигнала. Чем больше амплитуда колебаний, тем громче звук. Ухо воспринимает не мощность, а звуковое давление на барабанную перепонку, то есть звуковую энергию, приходящуюся на единицу площади, получаемую от источника, находящегося на расстоянии 1 метр. Единица громкости звука называется сон. В практических задачах громкость звука принято характеризовать уровнем звукового давления, измеряемым в белах (Б) или децибелах (дБ).

Для управления громкостью в классическом терменвоксе используется третий колебательный контур с переменной частотой $\omega 3$. Управление громкостью производится движением левой руки исполнителя в пространстве над антенной для «громкости» [8]. На (рисунке 1.5.1) показан канал управления громкостью, в состав которого входит антенна для громкости, третий колебательный контур, полосовой фильтр и амплитудный детектор.

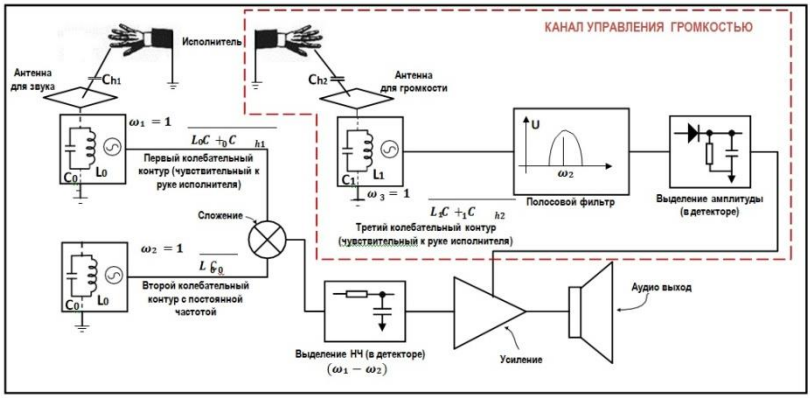


Рисунок 1.5.1 – Пример, поясняющий процесс регулирования громкости в терменвоксе.

Изменение частоты $\omega 3$ происходит аналогично изменению частоты $\omega 1$ в первом колебательном контуре. Полосовой фильтр пропускает сигналы только нужной частоты, а амплитудный детектор применяется для преобразования сигнала в напряжение, которое подаётся на усилитель и определяет громкость звука терменвокса.

Электронная схема терменвокса на электронных лампах

В 1921 году Л.С. Термен подал в патентное ведомство заявку «Музыкальный прибор с катодными лампами» на получение патента на изобретение [9]. В 1926 году Комитетом по делам изобретений был выдан патент №890, рисунок 1.6.1 из которого представлен ниже.

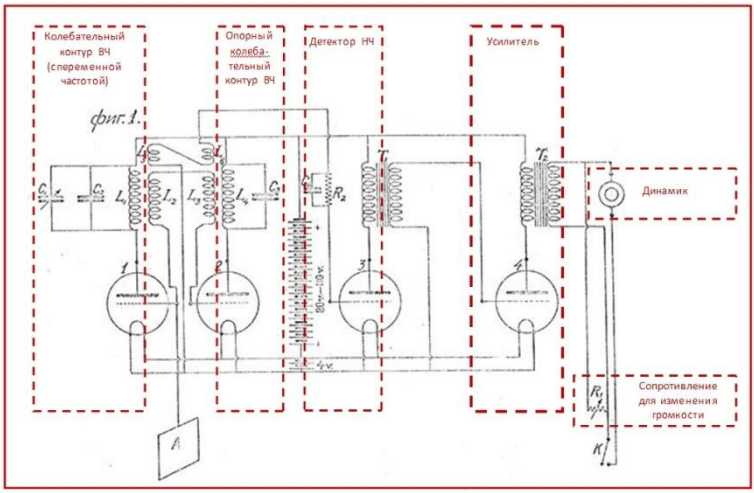


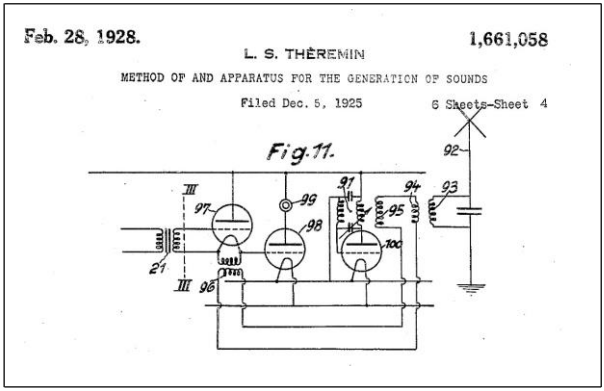
Рисунок 1.6.1 – схема музыкального инструмента из патента Л.С.Термена.

Вот как описывает Лев Сергеевич работу музыкального инструмента: «Контуры L1C2C1 и L4C3 питаемые током анодной батареи катодных реле (80 вольт) колеблются с соответствующими частотами: L2 и L3 – связь с сеткой реле для получения генерации. Изменяя C1, можно установить желаемую частоту интерференции и настроить прибор. Поднося руку к Антенне, изменяют емкость системы C1C2L1L2 вместе с ней частоту биений. Обе системы связаны с катодным реле 3 самоиндукциями L5 и L6. Колебания детектируются сопротивлением R2 с ёмкостью C4 в цепи сетки реле 3. Усиленный ток в анодной цепи этого реле через трансформат T1 возбуждает через реле 4 колебания ещё большеё мощности в трансформаторе T2.Телефон (динамик) подключен к его вторичной обмотке. Шунтируя телефон (динамик) изменяющимся от давления сопротивлением R1, можно

изменять силу тока, через него проходящего, и тем самым менять громкость».

На рисунке 1.6.1. музыкального инструмента Л.С.Термена автором проекта пунктирными линиями выделены основные функциональные контуры терменвокса. Видно, что для регулировки громкости используется переменный резистор.

Однако сам Л.С.Термен играл на музыкальном инструменте, который он изготовил со второй антенной, используемой для регулировки громкости звука. Такой способ регулирования громкости описан им в патенте, полученном в Америке «Метод и аппаратура для генерации музыки» [10]. На одном из рисунков этого патента (рисунок 1.6.2.) показана схема регулировки громкости.


Feb. 28, 1928. 1,661,058

L. S. THÈREMIN

METHOD OF AND APPARATUS FOR THE GENERATION OF SOUNDS

Filed Dec. 5, 1925 6 Sheets-Sheet 4

Fig. 11.

Рисунок 1.6.2 – схема регулирования громкости звука в музыкальном инструменте из патента Л.С.Термена

Антенна (92) индуктивно связана через катушки связи (93,94,95) с высокочастотным колебательным контуром (91) и через катушку связи (96) связана с катодом усилителя (97) постоянного тока. Усилитель (98) управляет динамиком (99).

Существует огромное количество электронных схем терменвоксов разного уровня сложности с использованием

различных электронных компонентов. Но принцип работы большинства из них совпадает с принципом работы первого терменвокса на электронных лампах.

Преимущества и недостатки терменвокса на электронных лампах

К преимущества терменвокса на электронных лампах можно отнести:

Устойчивость электронных ламп к электромагнитному излучению. Это преимущество электронных ламп позволило на базе терменвокса разработать Л.С. Терменом сигнализацию, реагирующую на движение.

Лампа имеет «шум» и звук воспринимается человеком как более приятный и «теплый».

К недостаткам терменвокса на электронных лампах можно отнести:

- Большие размеры устройства.
- Высокая электроемкость ламп.
- Усложнение разработки схемы и сборки из-за сложности подключения ламп (большое количество контактов).

Выводы по главе 1

Данная глава полностью посвящена исследовательской работе публикаций о терменвоксе. Изучена история создания терменвокса на электронных лампах, физические принцип работы и схемное решение терменвокса. Поскольку электронные лампы это уже история, то делать выводы о терменвоксе на электронных лампах можно только по единичным научно-техническим публикациям и патентам. К основным техническим недостаткам терменвокса на электронных лампах можно отнести большие размеры и высокую энергоёмкость

электронных ламп. Также выявлен такой недостаток аналогового терменвокса, как влияние каналов громкости и частоты (высоты) звука друг на друга.

Исследован внешний вид терменвокса, особенностью которого является две антенны, расположенные в разных плоскостях и особенности игры на терменвоксе, обусловленные таким расположением антенн. Изучив немногочисленные публикации людей, которые владели музыкальными знаниями и навыками игры на терменвоксе, можно сделать вывод, что звук терменвокса на электронных лампах воспринимался слушателями как приятный и привычный слуху человека звук музыкального инструмента.

РАЗРАБОТКА АНАЛОГОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ТИПА ТЕРМЕНВОКС НА ТРАНЗИСТОРАХ

Общие сведения о терменвоксе на транзисторах

К концу 1960-х годов появились опытные транзисторы, рабочие частоты которых достигли 10 ГГц, сравнявшись по быстродействию с лучшими СВЧ-радиолампами. Это привело к тому, что радиолюбители, при изготовлении терменвокса, заменили радиолампы на транзисторы. Для работы такого музыкального инструмента требуется значительно меньше энергии. Уменьшились и габаритные размеры терменвокса, но незначительно, так как остались требования к расположению и расстоянию в 70-90 см. между двумя антеннами для того, чтобы избежать емкостных влияний одной руки исполнителя на аналогичные воздействия другой руки на антенну. Именно на таких терменвоксах в настоящее время дают концерты исполнители (рисунок 2.1.1 взят из газеты Якутия [11]).

Рисунок 2.1.1. - Фотография исполнительницы Олеси Ростовской с терменвоксом.

Схема аналогового ЭМИ типа терменвокс на транзисторах

В ходе выполнения проекта была собрана схема электрической цепи для получения звука в терменвоксе на транзисторах, которая взята журнала «Юный техник» [12] рисунок 2.2.1).

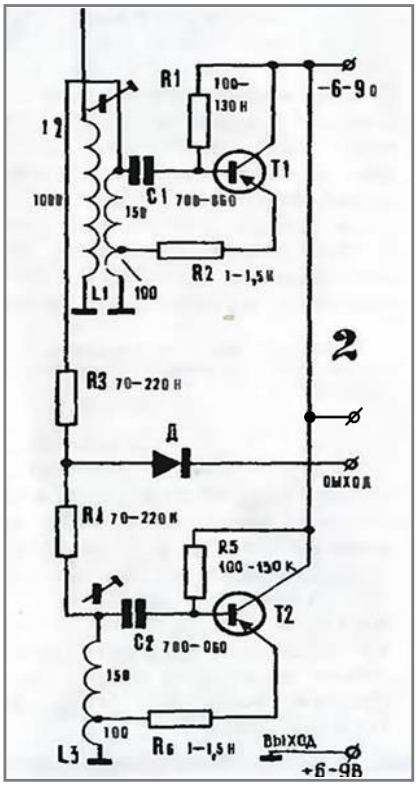


Рисунок 2.2.1 – Схема электрической цепи на транзисторах для получения звука в терменвоксе.

Принцип работы этой схемы совпадает с принципом работы первого терменвокса, но лампы заменены на транзисторы. Рука исполнителя является «отрицательной обкладкой конденсатора», а антена, подключенная к источнику питания, является «положительной обкладкой». Изменяя расстояние между рукой и антеной, исполнитель изменяет емкость «конденсатора» (его емкость складывается из емкости постоянного конденсатора и емкости тела исполнителя). Изменения емкости приводят к изменению частоты переменного контура. Катушки L1

(число витков 100) и L3 (число витков 150) обеспечивают необходимый режим генерации ВЧ-колебаний и совместно с конденсаторами C1 и C2 определяют ее частоту. Так как катушка L2 (число витков 1000) имеет в 4 раза больше витков, чем L1, то незначительное изменение расстояния между рукой и антенной оказывает существенное влияние на частоту колебательный контур с переменной частотой. Резисторы R1 и R5 совместно с R2 и R6 определяют режимы транзисторов T1 и T2 по постоянному току. Резисторы R3 и R4 обеспечивают малую связь по выходной цепи обоих генераторов. Разностная частота двух контуров детектируется диодом Д и подается на УНЧ, а затем на динамик.

Для сборки аналогового макета ЭМИ типа терменвокс были использованы следующие покупные электронные компоненты:

- Резисторы R1,R3,R4,R5 номиналом 1,3 кОм;
- Резисторы R2 и R6 номиналом 121 кОм;
- Конденсаторы C1 и C2 номиналом 820 пФ;
- Диод Д –диод Д9Б выпрямительный малой мощности, германиевой;
- PNP - транзисторы МП-41;
- Батарейка 9 В.

Катушки изготовлены самостоятельно, наматыванием медного провода 0,08 мм на покупные сердечники. После изготовления катушек была измерена их индуктивность:

- катушка L1 (100 витков) – 0,115 мГн;
- катушка L3 (150 витков) – 0,143 мГн;
- катушка L2 (1000 витков) – 8,21 мГн.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

В ходе работы была изготовлена печатная плата и смонтированы на ней катушки и электронные компоненты.

Разводка однослойной печатной платы (рисунок 2.3.1) по схеме (рисунок 2.2.1) была выполнена в программе EasyEDA. Печатная плата была изготовлена на одностороннем фольгированном стеклотекстолите методом фотолитографии. Дорожки облужены припоем вручную.

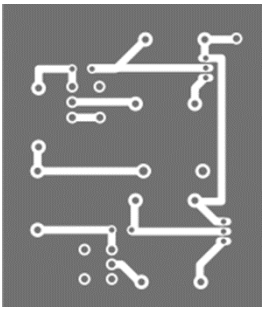


Рисунок 2.3.1 – Разводка печатной платы.

Компоненты смонтированы на плате навесным монтажом (рисунок 2.3.2).

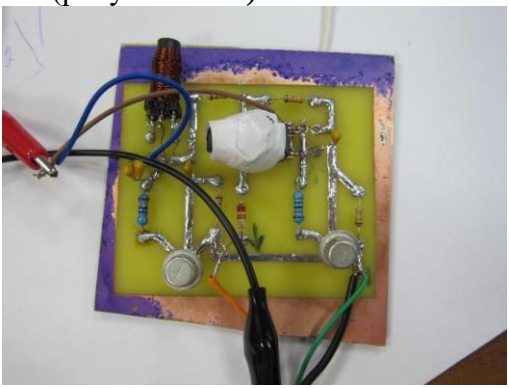


Рисунок 2.3.2 – Вид готовой печатной платы со смонтированными на ней катушками и электронными компонентами.

Изготовление аналогового ЭМИ типа терменвокс

Изготовленная печатная плата смонтирована в корпус (рисунок 2.4.1).

Рисунок 2.4.1. – Печатная плата, смонтированная в корпус.

Для макета аналогового ЭМИ автор проекта не стал изготавливать схему на транзисторах, отвечающую за регулировку громкости, так как из-за взаимного электромагнитного влияния колебательных контуров схемы частоты и схемы громкости значительно затруднилась бы отладка аналогового ЭМИ.

Для дискретного управления громкостью в аналоговом ЭМИ типа терменвокс была использована колонка (рисунок 2.4.2.). В состав колонки входит усилитель НЧ колебаний, динамик и кнопки для регулирования громкости. Громкость переключалась кнопками колонки. Число дискретных ступеней регулирования громкости 20.

На рисунке 2.4.3 показан готовый макет аналогового ЭМИ типа терменвокс.

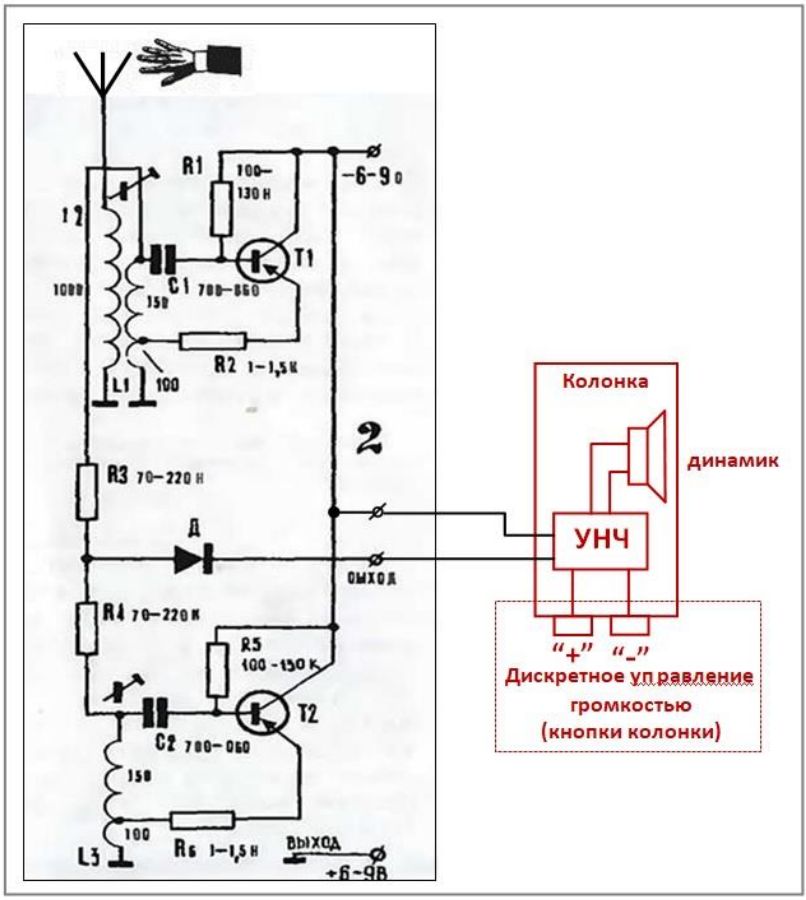


Рисунок 2.4.2 – Общая схема аналогового ЭМИ типа терменвокс на транзисторах.

Рисунок 2.4.3 – Изготовленный макет аналогового ЭМИ типа терменвокс.

ОТЛАДКА И ТЕСТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

После изготовления печатной платы и монтажа на ней катушек и электронных компонентов мультиметром были проверены напряжения в цепях между компонентами. Затем, с помощью осциллографа был проведён анализ работы печатной платы в динамике, а именно сняты осциллограммы контура с постоянной частотой ω2 и контура с переменной частотой ω1. В первоначальном виде наблюдалась большая разница в частотных характеристиках контуров прибора и, следовательно, не было слышно никаких звуков. Различными экспериментальными методами удалось вывести контуры на почти совпадающие показатели частот

(рисунок 2.5.1 и рисунок 2.5.2). При поднесении руки к антенне прибора (рисунок 2.5.3) стало видно, что характеристики осциллограммы контура с переменной частотой меняются. Макет начал издавать хорошо различимый звук и показывать устойчивую работу.

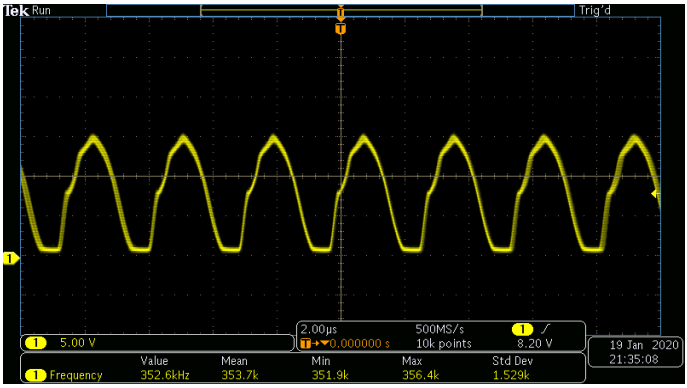


Рисунок 2.5.1 – Осциллограмма, снятая с эмиттера транзистора контура с постоянной частотой ω2. Частота равна 352,6 кГц.

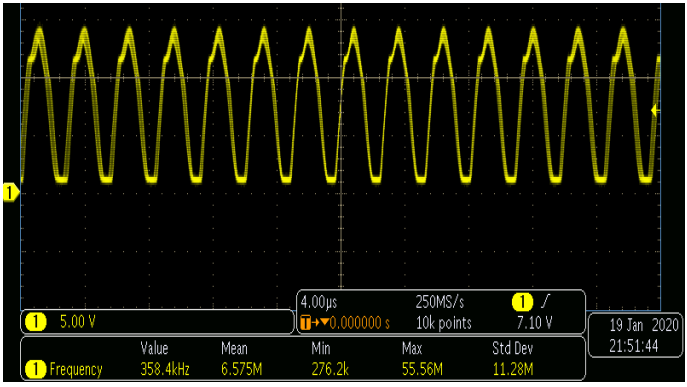


Рисунок 2.5.2 – Осциллограмма, снятая с эмиттера транзистора контура с переменной частотой ω1. Частота равна 358,4 кГц.

Рисунок 2.5.3 – Характеристики осциллограммы, снятой с эмиттера транзистора контура с переменной частотой после поднесения руки к антенне.

Из рисунка 2.5.3 видно, что частота ω1 изменилась и стала равна 347,7 кГц. Поставленная задача была решена – при изменении положения руки около антены изменяется частота звука контура переменной частоты.

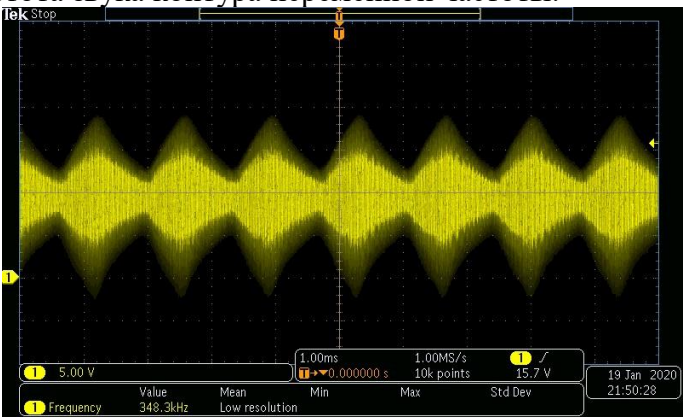


Рисунок 2.5.4 Осциллограмма, снятая до диода. При смешении частот переменного и постоянного контура возникают биения. Несущая частота – 348,3 кГц.

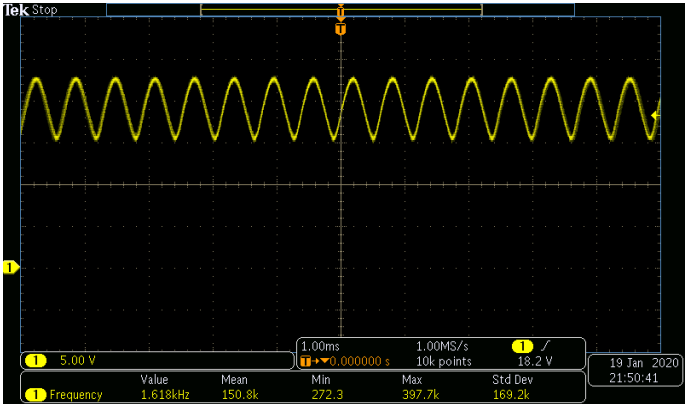


Рисунок 3.5.5 Осциллограмма, снятая после диода. Разностная частота колебаний – 1,6 кГц.

Преимущества терменвокса на транзисторах по сравнению с терменвоксом на электронных лампах

Уменьшение массогабаритных характеристик терменвокса на транзисторах по сравнению с терменвоксом на электронных лампах.

Снижение затрат электроэнергии почти в 10 раз.

Для работы терменвокса на электронных лампах требовалось напряжение около 90 В. Для работы терменвокса на транзисторах достаточно 9 В.

Выводы по главе 2

По результатам практической работы изготовлена схема, предназначенная для генерации колебаний низкой (звуковой) частоты, для чего изучены и осуществлены лабораторные методы изготовления печатной платы. С помощью осциллографа исследована работа схемы, а именно работа колебательных контуров с постоянной и переменными частотами. Собран макет аналогового ЭМИ типа терменвокс на транзисторах, который показывает устойчивую работу, а именно издаёт хорошо слышимый звук.

В результате изучения источников информации был выявлен существенный недостаток как терменвокса на электронных лампах, так и терменвокса на транзисторах, а именно влияние катушек схем, отвечающих за частоту и громкость звука через электрическое и магнитное поля друг на друга. При проработке конструкции макета аналогового ЭМИ типа терменвокс на транзисторах стало понятно, что возникнут трудности при отладке макета с двумя аналоговыми схемами, ответственными за регулировку частоты и громкости. Поэтому было принято решение не изготавливать для макета схему регулировки громкости с колебательным контуром, принцип работы которой бы был аналогичен схеме для регулировки громкости классического терменвокса. Для регулировки громкости в макете использована колонка. Регулировка громкости звука осуществлялась кнопками колонки. Число дискретных ступеней регулировки громкости равнялась 20, что неприемлемо для игры на музыкальном инструменте и является существенным недостатком изготовленного макета.

Выявлены преимущества терменвокса на транзисторах по сравнению с терменвоксом на электронных лампах, а именно уменьшение массогабаритных характеристик и снижение затрат электроэнергии. Но несмотря на то, что современные транзисторы, резисторы и конденсаторы всего несколько миллиметров в длину, нет возможности значительно уменьшить размеры современного аналогового терменвокса. Это связано с необходимостью расположения антенн, ответственных за регулировку частоты и громкости в разных плоскостях и на значительном расстоянии друг от друга для того чтобы избежать емкостных влияний одной руки исполнителя на аналогичные воздействия другой руки на антенну.

Что касается сравнения звучания аналоговых терменвоксов на электронных лампах и на транзисторах автор проекта может сделать вывод только на основании изученных публикаций авторов, имеющих музыкальные знания и навыки. Аналоговые терменвоксы обладают естественностью и мягкостью звучания – приятными и привычными слуху человеку.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ТИПА ТЕРМЕНВОКС

Общие сведения о цифровых ЭМИ

На рубеже XX и XXI в. возникло новое направление в музыкальном творчестве и музыкальной педагогике, обусловленное быстрым развитием ЭМИ музыкально-компьютерные технологии. С возникновением и развитием интегральных микросхем (чипов) оказалась перевернутой новая страница в истории развития музыкального искусства. В основе любого современного ЭМИ имеется микропроцессор (или микроконтроллер), с помощью которого по одной из известных технологий синтезируется звук. Микроконтроллер ЭМИ может синтезировать звуки скрипки, фортепиано, арфы, аккордеона, другого известного музыкального инструмента или синтезировать совершенно новый звук.

Основными отличительными особенностями программируемого ЭМИ от его аналоговых предшественников являются:

- возможность редактирования (обратная связь) исполняемого произведения как в процессе его исполнения и предварительных репетиций, так и при создании новых исполнительских вариантов (редакций);

- возможность изменения конфигурации музыкального инструмента (дополнительные возможности настройки) в зависимости от конкретных целей использования такого инструмента;
- возможность создания звукового образа всех предшествующих инструментов, как каждого в отдельности, так и звучание ансамблей инструментов и целых симфонических оркестров;
- его программируемость, то есть возможность создания предварительного музыкального материала, его запись, сохранение и использование при необходимости в процессе последующего исполнения;
- благодаря использованию цифровой микроэлектроники в ЭМИ сокращается путь к творческому постижению музыки [2].

Общая конструктивная схема цифрового ЭМИ типа терменвокс на УЗ-датчиках измерения расстояния.

Arduino – торговая марка аппаратно-программных средств для построения простых систем автоматики и робототехники позволяет собрать макет цифровой ЭМИ типа терменвокс. Собранный ЭМИ типа терменвокс (рисунок 3.2.1) состоит из платы Arduino Nano V 3.0, двух модулей HC-SR04 УЗ-датчиков измерения расстояния, первый из которых отвечает за изменение частоты звука, а второй за изменение громкости, и колонки с УНЧ.

Рисунок 3.2.1 – Конструктивная схема цифрового ЭМИ типа терменвокс.

Описание платы Arduino с микроконтроллером ATmega328P

Для сборки цифрового ЭМИ типа терменвокс использована плата Arduino Nano версия 3.0 (рисунок 3.3.1 взят из [13]).

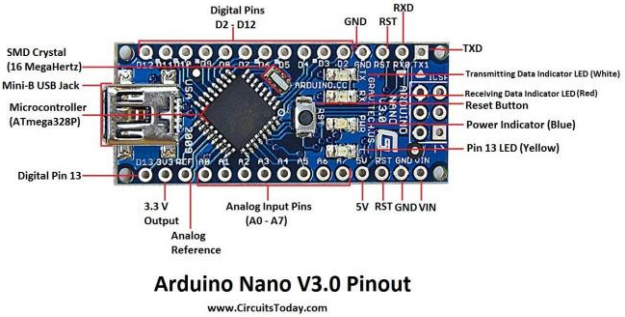


Рисунок 3.3.1 – Внешний вид платы Arduino Nano версии 3.0 и распиновка платы. Основа Arduino Nano версии 3.0 – микроконтроллер ATmega328P,

логическая микросхема для обработки данных с тактовой частотой 16 МГц, имеющая на борту 8 аналоговых и 14 цифровых контактов общего назначения, а также все необходимые интерфейсы: I2C, SPI и UART. Восьмибитный микроконтроллер ATmega328P принадлежит к семейству AVR.

Таблица 3.3.1 –Технические характеристики платы Arduino Nano версии 3.0:

Рабочее напряжение	5 В
Цифровые входы/выходы	14
Аналоговые входы	8
ШИМ (PWM) пины	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Flash-память	32 Кб
SRAM	2 Кб
EEPROM	1 Кб

Описание УЗ-датчика измерения расстояния HC-SR04

Для сборки цифрового ЭМИ использованы два УЗ-датчика измерения растояния HC-SR04 торговой марки Arduino (рисунок 3.4.1 взят из [14]).

Рисунок 3.4.1– УЗ-датчик измерения расстояния.

Передатчик (transmitter) и приемник (receiver), обозначены T и R соответственно (рисунок 3.4.1).

УЗ-датчик имеет четыре вывода:

Vcc (Voltage Collector Collector) – питание 5 В, подается с платы;

Trig – излучатель ультразвуковых импульсов;

Echo – приемник отраженных от препятствия импульсов;

Gnd (Ground) – «земля», точка нулевого потенциала.

Характеристики УЗ-датчика измерения расстояния:

Напряжение питание +5 В;

Потребление в режиме тишины 2 мА;

Потребление при работе 15 мА;

Диапазон измерений от 2 до 400 см;

Эффективный угол измерения 15°;

Размеры 45х20х15 мм.

Упрощённо, принцип работы УЗ-датчика можно представить следующим образом [15]. Излучатель генерирует звуковые волны на частоте 40 кГц. После того как эти волны отражаются от объекта и возвращаются на приёмник, модуль выдаёт информацию о времени, затраченном на прохождение звука от модуля до объекта и обратно. Сам УЗ-датчик ничего не рассчитывает самостоятельно, а лишь отправляет импульс определенной длительности на микроконтроллер.

Расчёт расстояния происходит на основании полученного времени и вычисляется по следующей формуле:

$S=Vt;\ t=T/2 \Longrightarrow S=VT/2,$ (1)

где V – скорость звука (≈ 340 м/с);

t – время движения волны от датчика до объекта;

T – время движения волны от датчика до объекта и обратно.

При создании ЭМИ типа терменвокс на УЗ-датчиках следует учитывать следующие особенности работы УЗ-датчиков:

Во-первых, на показания датчика влияет угол падения волны. Если датчик направлен перпендикулярно объекту, то измерения будут наиболее точными. А если, угол падения будет слишком большим, то волна, отразившись от объекта, не попадёт в приёмник, что приведет к неверному измерению.

Во-вторых, нужно учитывать температуру окружающей среды, в которой производятся измерения. Это объясняется тем, что скорость звука в газах увеличивается с повышением температуры. При повышении температуры воздуха на 1°C, скорость звука в нем увеличивается на 0,6 м/с.

В-третьих, на малых расстояниях измерения УЗ-датчиков производятся с большой погрешностью. Так, при измерении реальных 2 см до объекта, датчик покажет 2,5 см (погрешность 25%), а при измерении 400 см погрешность составит всего лишь 0,0007%.

К достоинствам УЗ-датчиков следует отнести то, что на показания УЗ- датчика практически не влияют солнечное излучение и электромагнитные шумы.

Сборка макета цифрового ЭМИ типа терменвокс на УЗ-датчиках измерения расстояния.

В ходе сборки макета цифрового ЭМИ типа терменвокс (рисунок 3.5.1) УЗ-датчики измерения расстояния и колонка были подключены к плате Arduino

Nano версии 3.0. Для подключения указанные устройства были спаяны на макетной плате.

Пины платы Arduino Nano V 3.0 для подключения устройств:

Пины платы Arduino Nano	Пины подключаемого устройства:
	Первый модуль УЗ-датчиков (отвечает за изменение частоты звука):
D2	Echo
D3	Trig
Gnd	Gnd
5V	Vcc
	Второй модуль УЗ-датчиков (отвечает за изменение громкости звука):
D4	Echo
D7	Trig
Gnd	Gnd
5V	Vcc
	Колонка
Gnd	Gnd
D5	Right

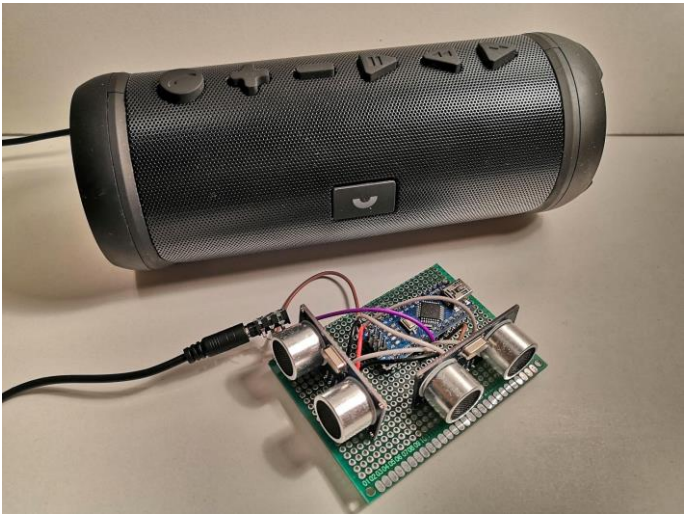


Рисунок 3.5.1 – Внешний вид макета цифрового ЭМИ типа терменвокс на УЗ- датчиках расстояния.

Программный код для макета цифрового ЭМИ типа терменвокс на УЗ-датчиках измерения расстояния.

Разработка программного обеспечения для цифрового ЭМИ типа терменвокс на УЗ-датчиках была осуществлена в среде программирования Arduino IDE. Основой среды разработки является язык Processing/Wiring – это фактический C++, дополненный простыми и понятными функциями для управления вводом/выводом на контактах микроконтроллера.

Далее представлен программный код цифрового ЭМИ типа терменвокс:

Таблица 3.5 –Листинг кода

1.Подключение библиотекиVolume.h.	#include <Volume.h> Volume vol;
2.Описание констант и переменных.	int echoPin1 = 2; int trigPin1 = 3; int echoPin2 = 4; int trigPin2 = 7; int duration1, cm1, duration2, cm2;

3.Описание контактов.	void setup() { vol.begin(); Serial.begin(9600);
	pinMode(trigPin1,OUTPUT);
	pinMode(echoPin1,INPUT);
	pinMode(trigPin2,OUTPUT);
	pinMode(echoPin2,INPUT); int duration1, cm1;
	int duration2, cm2;
	}

4. Получение показаний первого модуля с УЗ-датчиками и их запись в переменную cm1.	void loop() { digitalWrite(trigPin1, LOW); delayMicroseconds(2); digitalWrite(trigPin1, HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(trigPin1, LOW);
	duration1 = pulseIn(echoPin1,HIGH);
	cm1 = duration1/29; Serial.print(cm1);
	Serial.print(" cm1 "); delay(2);

5. Получение показаний второго модуля с УЗ-датчиками и их запись в переменную cm2.	digitalWrite(trigPin2,LOW); delayMicroseconds(2); digitalWrite(trigPin2,HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(trigPin2, LOW); duration2 = pulseIn(echoPin2,HIGH); cm2 = duration2/29; Serial.print(cm2); Serial.println(" cm2"); delay(2);
6. Условие продолжение работы: расстояние до руки, регулирующей громкость, меньше 30 сантиметров.	if (cm2<30) {
7. Передача значения частоты и громкости через функцию vol.tone.	vol.noTone();vol.tone(cm1*20,cm2*4);} else vol.noTone(); }

Принцип работы макета цифрового ЭМИ типа терменвокс на УЗ-датчиках измерения расстояния

Ультразвуковые волны, излучаемые из передатчика УЗ-датчика, отражаются от руки исполнителя и улавливаются приемником УЗ-датчика. Время прохождения звуковой волной расстояния до руки (время прохождения до руки и обратно деленое на 2) поступает на плату Arduino в виде импульса определенной длительности.

Длительность импульса, поступившего на один из входов платы (соединенном с пином "echo" УЗ-датчика), считывается микроконтроллером (функция "pulseIn") и записывается в переменную "duration". Расстояние в сантиметрах рассчитывается как время, затраченное на прохождения звуковой волной расстояния до руки, умноженное на скорость звука - 1/29 см/мкс. Полученные расстояния от рук исполнителя до первого и второго УЗ-датчиков записываются в переменные "cm1" и "cm2" соответственно.

На колонку передается широтно-импульсно модулированный сигнал (ШИМ-сигнал) – это цифровой сигнал постоянной частоты, но с изменяемой скважностью (рисунок 3.7.1 взят из [16]). Скважность это длительность состояния логической единицы в периоде сигнала. Среднее значение напряжения ШИМ-сигнала зависит от скважности. Чем скважность больше, тем выше напряжение будет у итогового сигнала, пропущенного через фильтр НЧ.

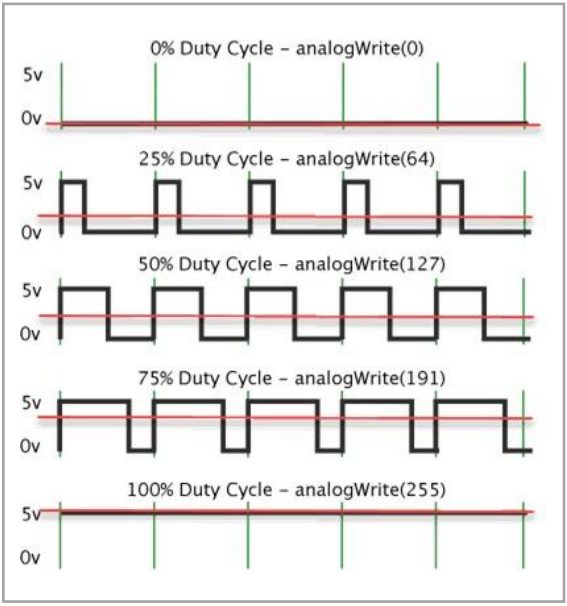


Рисунок 3.7.1 – Принцип работы широтно-импульсной модуляции (скважность ШИМ-сигнала увеличивается сверху вниз).

Для передачи на колонку звука определенной частоты и громкости используется функция "volume.tone" (<частота>,<громкость>). Частота передаваемого сигнала пропорциональна расстоянию от руки до первого УЗ-датчика и может изменяться в диапазоне от 1 Гц до 31 кГц (половина частоты модуляции ШИМ-сигнала). Громкость может изменяется в диапазоне от 0 до 255, где 0 – отсутствие звука, 255 –максимальная громкость. Значение громкости пропорционально расстоянию от руки до второго УЗ-датчика. ШИМ-сигнал заданной частоты и громкости передается на колонку, где преобразуется в

аналоговый с теми же характеристиками (рисунок 3.7.2 взят с сайта [17]).

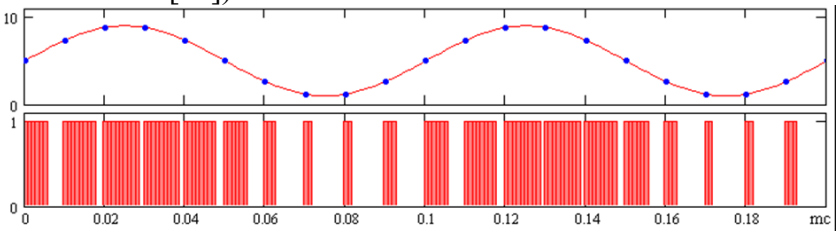


Рисунок 3.7.2 – ШИМ сигнал и соответствующий ему аналоговый сигнал.

В результате был собран работоспособный цифровой ЭМИ типа терменвокс, правильная работа которого была подтверждена экспериментально чем дальше рука исполнителя от первого дальномера, тем звук выше, и чем дальше рука от второго дальномера, тем звук громче.

С помощью осциллографа (рисунок 3.7.3) был снят цифровой сигнал, поступающий на колонку.

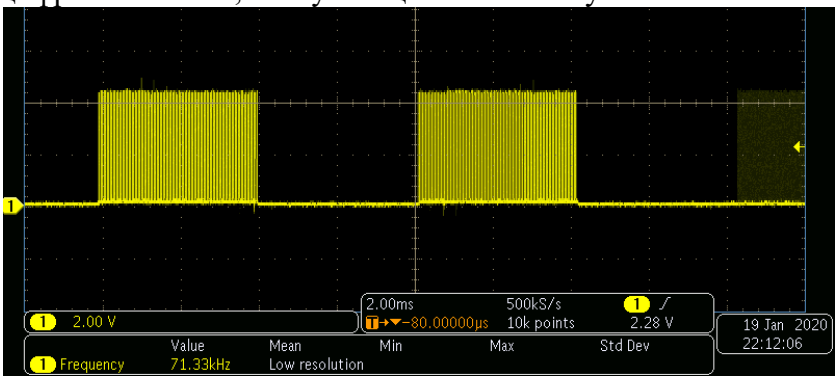


Рисунок 3.7.3 – Осцилограмма цифрового сигнала, поступающего на колонку.

Преимущества и недостатки цифрового ЭМИ типа терменвокс по сравнению с аналоговым терменвоксом.

К преимуществам цифрового ЭМИ типа терменвокс по сравнению с аналоговым терменвоксом можно отнести:

- При использовании уже готовых, промышленно изготовленых компонентов – микроконтроллера и датчиков расстояния, значительно упрощается процесс сборки инструмента.
- Компактность.
- При использовании микроконтроллера можно обеспечить имитацию звучания различных инструментов.
- Малая энергоемкость.
- Возможность записи музыки напрямую со схемы, без использования звукозаписывающей аппаратуры.
- Уменьшение влияния внешних факторов (высокая помехоустойчивость).
- Гарантированная стабильность выходных параметров, не требует настройки.
- Отсутствие электромагнитного поля.

К недостаткам цифрового ЭМИ типа терменвокс по сравнению с аналоговым терменвоксом можно отнести:

ЗВУЧАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕХ ЦИФРОВЫЕХ ЭМИ ОКОНЧАТЕЛЬНО УДАЛИЛОСЬ ОТ КЛАССИЧЕСКОГО ЗВУЧАНИЯ АНАЛОГОВОГО ТЕРМЕНВОКСА.

ОГРАНИЧЕНИЯ ПО СКОРОСТИ И ДИАПАЗОНУ РЕАГИРОВАНИЯ.

Выводы по главе 3

Исследованы возможности современных музыкально-компьютерных технологий. Собран цифровой ЭМИ типа терменвокс на базе платы Arduino с микроконтроллером ATmega328P и двух УЗ-датчиков

измерения расстояния, одни из которых отвечает за высоту звука, а другой за громкость звука, написана программа. Экспериментально подтверждена правильность работы макета. Число дискретных ступеней регулирования громкости 255. Звучание цифрового ЭМИ типа терменвокс окончательно удалилось от классического привычного для человека звучания.

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОННОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ТИПА ТЕРМЕНВОКС

Разработка комбинированного ЭМИ типа терменвокс

Учитывая полученные знания и сделанные в главе 2 и главе 3 выводы о достоинствах и недостатках аналогового терменвокса и цифрового ЭМИ типа терменвокс, автор проекта решил изготовить макет нового ЭМИ, в котором применены преимущества аналоговых и цифровых ЭМИ. Было решено для изменения частоты в ЭМИ использовать схему аналогового терменвокса, а для регулирования громкости использовать цифровые устройства – микроконтроллер, УЗ-датчик измерения расстояния и цифровой потенциометр (рисунок 4.1.1). Далее по тексту такой ЭМИ будет называться комбинированным. В комбинированном ЭМИ исполнитель регулирует частоту звука движениями правой руки у антенны, а громкость регулирует движением левой руки у УЗ-датчика измерения расстояния.

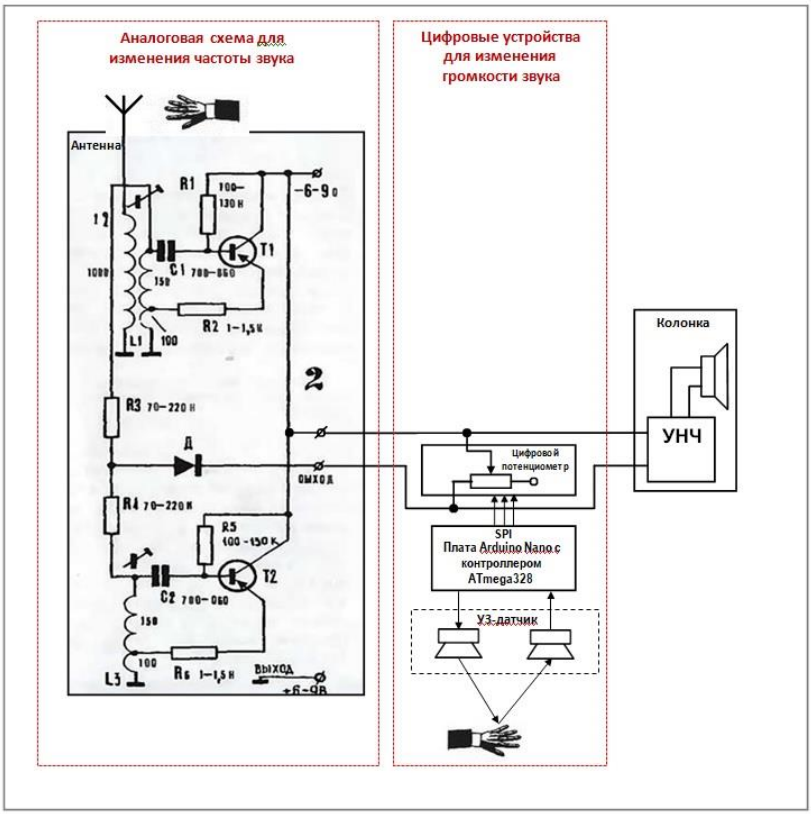


Рисунок 4.1.1 Принципиальная схема комбинированного ЭМИ типа терменвокс.

Для комбинированного ЭМИ типа терменвокс использованы:

- Печатная плата со смонтированными на ней катушками и электронными компонентами, изготовленная на этапе изучения аналоговых ЭМИ и описанная в главе 2 «Разработка аналогового

электронного музыкального инструмента типа терменвокс на транзисторах».

- УЗ-датчик, подключенный к плате Arduino Nano версии 3.0, основой которого является микроконтроллер ATmega328P (описаны в Главе 3 «Разработка цифрового электронного музыкального инструмента типа терменвокс»).
- Цифровой потенциометр (описание в подпункте 4.2).
- Колонка с динамиком и УНЧ.

Цифровой потенциометр

Традиционно для регулировки громкости звука используют переменный электромеханический резистор (потенциометр), в котором изменение сопротивления реализуется с помощью электрического контакта, который скользит по резистивному слою. Редко используют дискретные ступенчатые электромеханические регуляторы громкости звука, которые состоят из серии постоянных резисторов, которые переключаются по очереди. С развитием электроники помимо «классических» резисторов появились также цифровые потенциометры (ЦП). Такие ЦП представляют собой интегральные схемы, не имеющие подвижных частей и позволяющие программно регулировать собственное сопротивление с заданным шагом.

Структурная схема ЦП показана на рисунке 4.2.1. Структурная схема и описание принципа работы ЦП взяты из статьи [18].

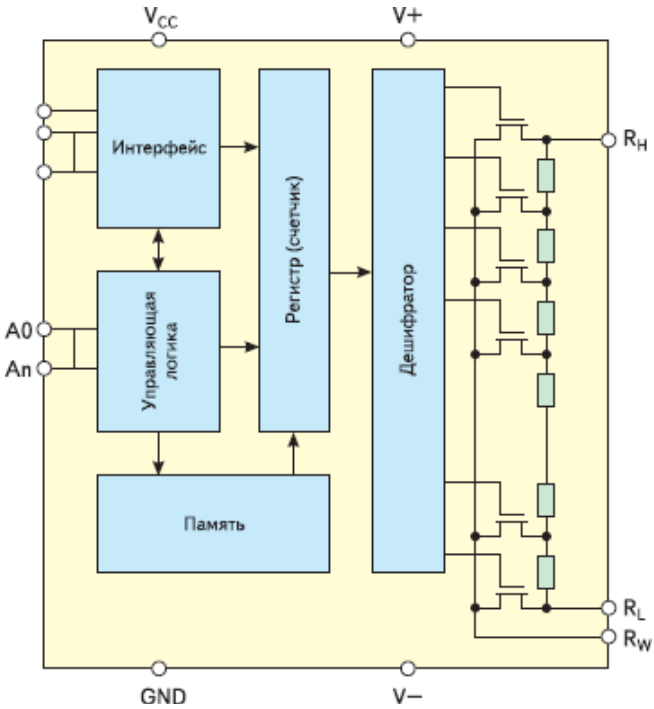


Рисунок 4.2.1. – Структурная схема ЦП.

Цепочка резисторов с отводами, коммутируемыми ключами, представляют собой собственно потенциометр с тремя выводами RH, RL и RW. Положение движка RW определяется позицией замкнутого ключа. В качестве ключей используются МОП-транзисторы, а сопротивление канала выступает в роли контактного сопротивления (сопротивление движка). Ключи управляются регистром (счетчиком) через дешифратор. Состояние счетчика изменяется через интерфейс входными логическими сигналами, либо непосредственно, либо считыванием

установленной в энергонезависимой памяти позиции. Управляющая логика обеспечивает заданный режим работы.

ЦП отличается от электромеханических резисторов дискретным характером изменения сопротивления. Поскольку резистивный элемент представляет собой цепочку резисторов с отводами, сопротивление изменяется скачками от ступени к ступени, а разрешающая способность зависит от количества ступеней, которых в разных моделях ЦП может быть от 8 до 1024.

Сборка комбинированного ЭМИ типа терменвокс

Для регулировки громкости звука в комбинированном ЭМИ опытным путём был подобран ЦП MCP41050 (рисунок 4.3.1 взят из [19]).

Рисунок 4.3.1 – ЦП MCP41050 в DIP корпусе.

ЦП MCP41050 имеет следующие характеристики:

НОМИНАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ 50 кОм;
КОЛИЧЕСТВО СТУПЕНЕЙ РЕГУЛИРОВКИ 256;
НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ 2,7 – 5,5V;
ИНТЕРФЕЙС SPI.

На рисунке 4.3.2 (взят из [20]), показано наличие соответствующих выводов микросхемы ЦП MC341050:

- CS, чипселект интерфейса SPI подключен к выходу D10 платы Arduino.
- SCK, тактовый вход интерфейса SPI, подключен к выходу D13 платы Arduino.
- SDI, MOSI вход интерфейса SPI, подключен к выходу D11 платы Arduino.
- Vss, минус питания.
- P0W, выход потенциометра, подключенный к выходу аналоговой схемы.
- P0A, P0B, выходы потенциометра.
- VDD, питание 2,7 — 5,5V.

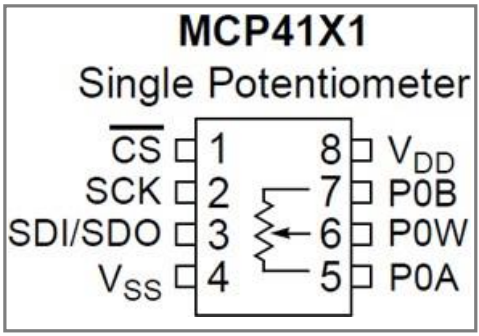


Рисунок 4.3.2. – Типы выводов микросхемы ЦП MCP41050.

У SPI интерфейса микросхемы потенциометра отсутствует вывод MISO, а значит невозможно прочитать состояние ползунка потенциометра, можно только установить значение, записав байт в регистр микросхемы.

На рисунке 4.3.3 показана схема подключения цифровых устройств, предназначенных для изменения громкости звука, аналоговой схемы, предназначенной для

генерации звука и изменения частоты звука, и колонки комбинированного ЭМИ типа терменвокс.

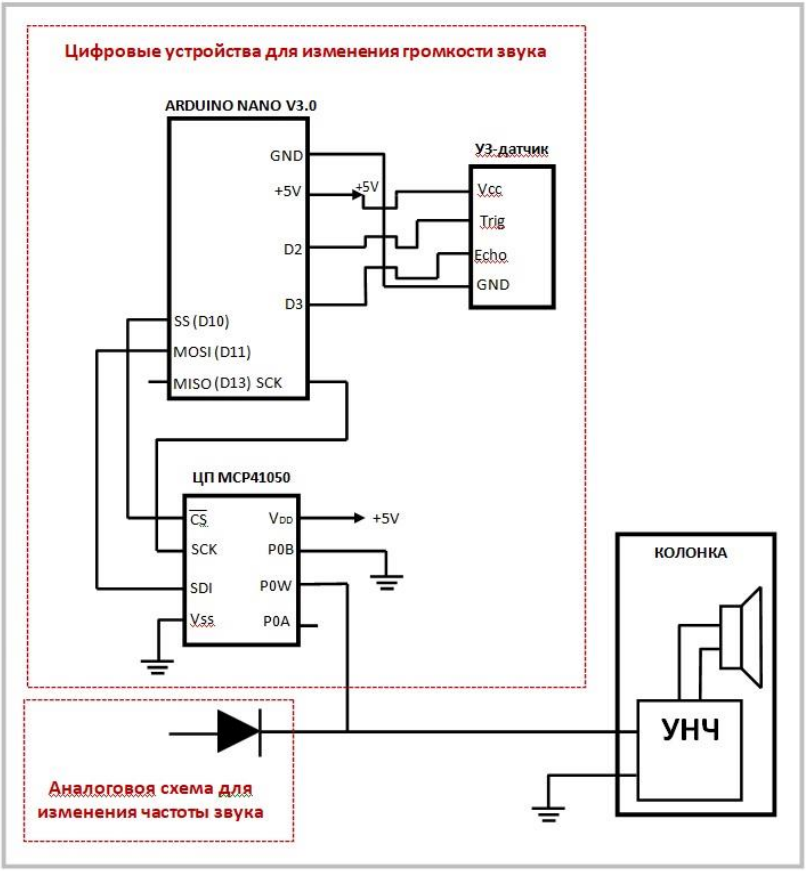


Рисунок 4.3.3 – Схема подключения устройств комбинированного ЭМИ типа терменвокс.

Для подключения ЦП к плате Arduino использован переходник – печатная плата SOIC-8 (рисунок 4.3.4), на которую был припаяна микросхема ЦП.

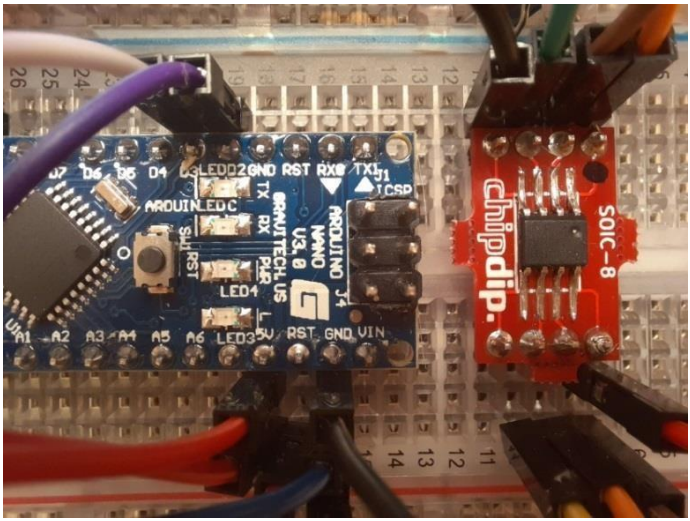


Рисунок 4.3.4 – Фотография ЦП на переходнике (печатной плате SOIC-8).

Поскольку аналоговая схема для изменения частоты звука была изготовлена и помещена в корпус (рисунок 2.4.1) (габариты корпуса 13x9,5x6,5), то цифровые устройства для изменения громкости звука были помещены в дополнительный корпус (габариты дополнительного корпуса 13x9,5x6,5). Оба корпуса соединены (рисунок 4.3.5). Готовый макет комбинированного ЭМИ имеет компактные размер 26x9,5x6,5 (без учета антенны). Можно соединить корпуса только за счет проводников. Это позволит размещать дополнительный корпус с УЗ-датчиком, предназначенным для регулировки громкости, в любом удобном для исполнителя месте и в любой плоскости относительно

корпуса с аналоговой схемой и антенной, предназначенной для регулировки частоты звука. Это окончательно решит проблему влияния левой руки исполнителя, которой он двигает у УЗ-датчика, на антенну. К тому же это позволит исполнителю так расположить корпуса ЭМИ, чтобы играть на инструменте было максимально удобно.

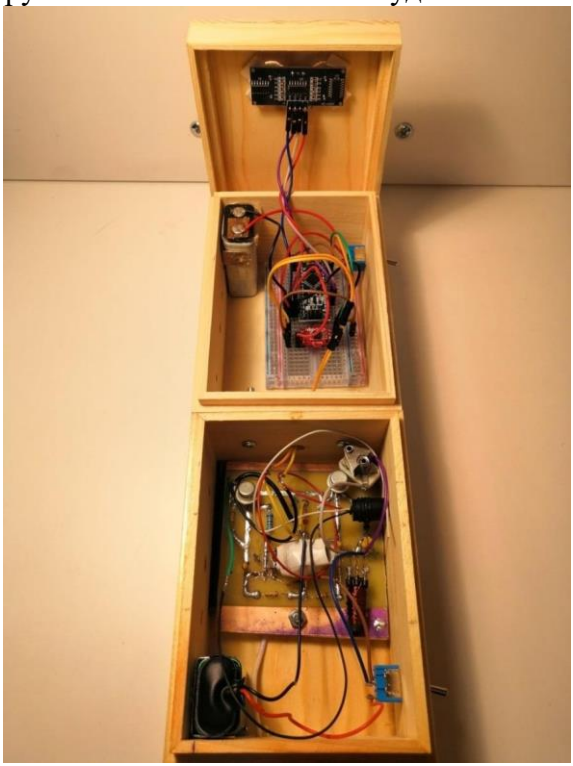


Рисунок 4.3.5 – Фотография макета комбинированного ЭМИ типа терменвокс, в котором аналоговая схема и схема из цифровых устройств для регулирования громкости объединены.

Работа комбинированного ЭМИ типа терменвокс

Разработка программного обеспечения для гибридного ЭМИ типа терменвокс была осуществлена в среде программирования Arduino IDE. Основой среды разработки является язык Processing/Wiring.

Далее представлен программный код для гибридного ЭМИ типа терменвокс:

#include <SPI.h>	Подключение библиотеки SPI.h для работы с цифровым потенциометром

#define CS 10
 	
byte val = 0;
int echoPin = 2; int trigPin = 3; int duration, cm;
 	
void setup() { Serial.begin(115200);
SPI.begin();
pinMode (CS, OUTPUT);
pinMode(trigPin,OUTPUT);
pinMode(echoPin,INPUT);
}
	Описание контактов и переменных

void loop() { digitalWrite(trigPin, LOW); delayMicroseconds(2); digitalWrite(trigPin, HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(trigPin, LOW); duration = pulseIn(echoPin,HIGH); cm = duration/29;	Получение показаний ультразвукового дальномера, полученное расстояние записывается в переменную cm
if (cm<100) val=cm*2; else val=255;	Проверка условия продолжения работы: расстояние до руки исполнителя меньше 100 см. Расстояние переводится в значение сопротивления потенциометра. В случае невыполнения условия сопротивление потенциометра максимальное. Звук прекращается
Serial.print(cm); Serial.print(" cm "); Serial.print(" val = "); Serial.print(val, BIN); Serial.print(" / "); Serial.println(val, DEC);	Вывод на монитор порта расстояния до руки и значения сопротивления в десятичном и двоичном виде
MCP41050Write(val); delay(18); } void MCP41050Write(byte val) { digitalWrite(CS, LOW); SPI.transfer(0b00010001); SPI.transfer(val); digitalWrite(CS,HIGH); }	Передача значения сопротивления в цифровой потенциометр

Таблица 4.4.1 –Листинг кода

Расстояние от руки исполнителя до УЗ-датчика, вычисленное микроконтроллером (раздел 3.4), передается на ЦП, между выводами P0W и P0B которого устанавливается соответствующее сопротивление. Сопротивление ЦП может изменяться в диапазоне от 0-100 Ом до 255-50 кОм. Возможно введение дополнительной переменной при вычислениях в микроконтроллере для расширения диапазона сопротивлений при отдалении руки на небольшое расстояние. В нашем случае при диапазоне измеряемых расстояний 2-100 см от руки исполнителя до УЗ-датчика, диапазон сопротивлений 0,8-39,2 кОм. Потенциометр подключен параллельно колонке, то есть между выходом аналоговой схемы и общим для колонки и аналоговой схемы минусом. Чем больше сопротивление потенциометра, тем тише звук.

В ходе практического испытания подтверждена работоспособность макета комбинированного ЭМИ типа терменвокс. На рисунке 4.4.1 дана фотография готового макета комбинированного ЭМИ типа терменвокс.

Рисунок 4.4.1 – Фотография макета комбинированного ЭМИ типа терменвокс.

Выводы по главе 4

В данной главе предложена схема нового ЭМИ типа терменвокс, в которой для изменения частоты звука использована схема аналогового терменвокса, а для регулирования громкости использованы цифровые устройства – микроконтроллер, УЗ-датчик измерения расстояния и цифровой потенциометр. Такая комбинация

аналоговых и цифровых устройств была предложена с целью устранить недостатки аналогового терменвокса на транзисторах и цифрового ЭМИ, типа терменвокс.

Собран работоспособный макет комбинированного ЭМИ типа терменвокс.

В сконструированном макете комбинированного ЭМИ типа терменвокс решены следующие физико-технические задачи:

устранено электромагнитное влияние схем, отвечающих за частоту и за громкость ЭМИ, друг на друга, что позволит исполнителю лучше контролировать звучание ЭМИ.

предложено конструктивное выполнение макета комбинированного ЭМИ типа терменвокс, состоящего из двух корпусов, соединённых только проводником, которое позволяет изменять расстояние между схемами и располагать УЗ-датчик в любой из плоскостей. Такое выполнение позволяет полностью исключить влияние руки исполнителя, которой он двигает у УЗ - датчика для управления громкостью, на антенну, и позволяет исполнителю расположить инструмент максимально удобным для исполнения образом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве объекта исследования данной проектной работы был взят первый ЭМИ – терменвокс. Стоит отметить, что в цели проектной работы не входило изучение музыкальных характеристик (тембра, длительности) терменвокса, так как для этого надо обладать музыкальными знаниями и навыками. Автора

проекта заинтересовал терменвокс с научно-технической точки зрения, а именно хотелось понять принцип образования звука в терменвоксе и его внутреннее устройство (схемное решение). К тому же автора интересовала возможность научиться играть обычному человеку на таком инструменте. Учитывая, что со дня создания первого терменвокса прошло сто лет, то и временной диапазон публикаций об этом ЭМИ оказался очень большим. Это привело к тому, что автором проекта были изучены конструкции терменвокса в разные промежутки времени, каждый из которых характеризует основные вехи в развитии электронной аппаратуры. В итоге автором были рассмотрены конструкции аналогового терменвокса на электронных лампах и на транзисторах, а также рассмотрена конструкция цифрового ЭМИ типа терменвокс на микроконтроллере с использованием УЗ-датчиков. В результате изучения публикаций авторов, обладающих музыкальными знаниями и навыками, был сделан вывод, что основным преимуществом аналогового терменвокса является то, что он обладает приятным и привычным слуху человека звучанием, что объясняет его использование в классической концертной деятельности и в наши дни. Звучание же цифрового ЭМИ напротив далеко от классического звучания, в нём отсутствует живость и полнота тембра. При этом автором были отмечены и многочисленные достоинства цифровых ЭМИ, одним из которых было отсутствие при работе электромагнитного поля. На основании полученных знаний в практической работе автором проекта были изготовлены три работоспособных макета ЭМИ.

Для первого макета ЭМИ типа терменвокс для получения звука были использованы электрические цепи на транзисторах, в точности повторяющие принципы работы и физические процессы, используемые в аналоговом терменвоксе. На основе платы Arduino с использование УЗ-датчиков измерения расстояния был изготовлен второй макет цифрового ЭМИ типа терменвокс. В работе предложена конструкция третьего макета комбинированного ЭМИ, в котором применены аналоговая схема для генерации звука и регулировки частоты звука и схема из цифровых устройств для регулировки громкости звука, в состав которой входит микроконтроллер, УЗ-датчик и ЦП. Проведённый поиск по общедоступным в сети публикациям и патентам России показал отсутствие такого технического решения ЭМИ типа терменвок, из чего можно сделать вывод о новизне предложенного решения комбинированного ЭМИ типа терменвокс. Был собран третий работоспособный макет комбинированного ЭМИ типа терменвокс. Автор полагает, что в предложенной им конструкции комбинированного ЭМИ типа терменвокс решена задача – устранить электромагнитное влияние аналоговой схемы для изменения частоты (высоты) звука и аналоговой схемы для громкости друг на друга, что позволит исполнителю лучше контролировать звучание ЭМИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Контрерас А. Из истории создания электронных инструментов, Вестник СПбГУ. Сен. 15. 2012, Вып. 4, с.58-67

Горбунова И.Б. Электронные музыкальные инструменты: к проблеме становления исполнительского мастерства, Музыкально-компьютерные технологии, Вып. II: Проблемы музыкального образования и воспитания с применением электронного музыкального инструментария: Сборник статей/ Сост. И. Б. Горбунова, Е.Н. Бажукова. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2017, с.235-236, URL: https://docplayer.ru/80122549-Muzykalno-kompyuternye-tehnologii.html

Статья «Сто лет терменвоксу», дата публикации 14.03.2019 13:17:41, URL: https://naukatv.ru/articles/487

Фотографии Л.С. Термена и его музыкального инструмента взяты из статьи

«Приручение музыки» Н. Хмелевская. Журнал: «Чудеса и Приключения», №11, 2015, с. 36-41, URL: http://trmvox.ru/magazines/taming-music-chipr-2015-11.html

Королёв Л.Д. Простой терменвокс, научно-технический журнал

«Схемотехника», №12 (38) декабрь, 2003, с.28-30 и №1 (39) январь 2004, с.35, 36

Фугелова Т.А. Инженерная психология, учебное пособие для вузов, 2-е издание, Москва, Юрайт, 2019, с16, 20, 132-133

Левитин Е.А. Супергетеродин, Государственное энергетическое издательство, 1954 год.
Королёв Л.Д. Бесконтактное управление громкостью в терменвоксе, научно-технический журнал «Схемотехника», №7 (45) июль 2004, с.40-43
Патент на изобретение СССР №890 «Музыкальный прибор с катодными лампами», автор Л.С. Термен, выдан 30.01.1926 г., заявлено 23 июня 1921 г.
Патент на изобретение Америки №1661058 «Метод и аппаратура для генерации музыки», автор Л.С. Термен, выдан 28.02.1928 г., заявлено 08.12.1924 г.
Фотография исполнительницы на терменвоксе Олеси Ростовской и её музыкального инструмента взята из статьи Куличкиной Варвары «Пение космоса», Республиканская общественно-политическая газета "Якутия", №164 от 6 сентября 2013г.
Варламов Р. Терменвокс Журнал: «Юный техник», №7, 1975, с. 72-73, URL: http://trmvox.ru/magazines/thereminvox-varlamov-ut-1975-07.html
Фото платы Arduino Nano версии 3.0. взято из статьи «Arduino Nano Tutorial – Pinout & Schematics», October 31, 2018, URL: http://www.circuitstoday.com/arduino-nano-tutorial-pinout-schematics#
Документация на ультразвуковой дальномер HCSR04: Ultrasonic Ranging Module HC –

SR04, URL: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

Жмудь В.А и другие Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC-SR04, Научно-технический журнал «Автоматика и программная инженерия», 2017, №4(22), URL: http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2017-2.pdf

Петин В.А. 77 проектов для Arduino, М, Издательство ДМК Пресс, 2020, с.83

Статья «Шим-сигнал» с официального сайта YouTube канала AlexGyver, URL: https://alexgyver.ru/lessons/pwm-signal/

Пушкарёв М. Цифровые потенциометры, журнал «Компоненты и технологии», №5, 2006, VRL:https://www.kit-e.ru/articles/measure/2006_5_74.php

Фото цифрового потенциометра MCP41050, URL:https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP41050

MCP41XXX/42XXX Single/Dual Digital Potentiometer with SPITM Interface, 2003 Microchip Technology Inc., URL:http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/11195c.pdf

СЕКЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА РЕАКЦИИ

Шестаков Ярослав Евгеньевич

Лицей № 1580 при МГТУ имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель:
Лобачев Александр Александрович

ВВЕДЕНИЕ

Тренажеры реакции используются для улучшения реакции, отработки координации глаз и рук, повышения выносливости, тренировки периферийного зрения, реабилитации. Эти тренажеры используют при тренировках пилоты формулы 1, футболисты, и другие спортсмены, тренера по фитнесу. Процесс тренировки это- поочередное нажатие кнопок на скорость. На данный момент существует несколько аналогов которые с использованием которых есть ряд проблем:

- сложно купить (так как продаются в 1 городе, напрямую у производителя) и они дорого стоят (минимальная цена в россии 118т.р за границей минимум 329$).
- Основная часть предназначена для использования спортивных центрах где много свободного места под тяжелое и большое оборудование и неудобна для использования дома или в школе.

Целью данного проекта является разработка современного спортинвентаря, пригодного для индивидуального и группового использования, с простой настройкой. Этот спортинвентарь выглядит как несколько кнопок с лампами.

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНАЛОГОВ

1. SPEED ATTACK

SPEED ATTACK [1] - тренажер для улучшения реакции, отработки координации глаз и рук, повышения выносливости, тренировки периферийного зрения, а также личный фитнес инструктор, работающий на все группы мышц одновременно (рисунок 1).

SPEED ATTACK от GameSTUL™ является отечественной реинкарнацией широко известных тренажеров реакции подобного типа: BATAK (батак), REACTA, Light Chaser, FitLight и многие др., которые хорошо зарекомендовали себя как в индустрии профессиональных спортсменов, так и среди корпоративных развлечений.

Простые правила: за определённое время, выбранное перед стартом (от 30 сек до 6 минут, шаг 30 сек) необходимо нажать на максимально возможное количество загорающихся лампочек, расположенных на конструкции. Лампы загораются в хаотичном порядке, что исключает возможность определения следующего хода. Борьба идёт на количество нажатий, за выбранное время.

Плюсы: русскоязычное меню, звуковое оповещение, устойчивый конструктив из настоящего металла, надёжные, вандалостойкие комплектующие, широкая область применения (спорт, медицина, учебные заведения, индустрия развлечений), таблица последних 3х результатов, работа от сети 220в и аккумулятора (опционально), игровые режимы от 30 до 300 сек. с шагом 30с. Возможность монтажа на стену, простые правила - максимальный эффект. Яркие светодиодные дисплеи, кронштейн под систему вибрации, регулировка опор по высоте.

Минусы: 1 режим, громоздкость, нет настройки, 1 положение кнопок.

Стоимость: 135 000 р

2. AGT-800

AGT-800[2] выполняет важную функцию разработки суставов верхних конечностей и улучшает ловкость пациента, что в купе позволяет выполнять активную реабилитацию в игровой или соревновательной форме (рисунок 2).

Форма тренажера выполнена в форме квадрата, на которой расположены девять кнопок с подсветкой. Кнопки загораются в произвольном режиме и пациент должен успеть нажать как можно больше загорающихся кнопок.

Устройство оснащено внутренней памятью, которая запоминает результат каждого пациента и заставляет каждое новое упражнение выполнять еще быстрее. Использование тренажера позволяет восстановить двигательную активность суставов и натренировать реакцию.

Тренажер для развития ловкости AGT-800 позволяет выполнять два разных типа тренировок «Реакция» и «Выбивание»: «Реакция» - первоначально закладывается значение времени и частоты срабатывания датчиков. При этом тренируемому необходимо за заранее обозначенное время нажать как можно больше подсвечиваемых кнопок. После окончания тренировки на экране можно увидеть результат «Выбивание» - первоначально вводится конкретное число срабатывания датчиков. Тренируемый нажимает с помощью рук на подсвечиваемые кнопки, пока не будет окончено время. Соответственно чем быстрее происходит нажатие всех загорающихся кнопок, тем частота срабатывания впоследствии будет выше. Результат отображается на экране после того, как тренировка будет закончена. И в первом и втором режиме, возможно записать упражнение, чтобы объективно оценивать динамику тренировок.

Плюсы: жесткая конструкция, несколько

пользователей, сохранение результатов.

Минусы: громоздкость, одно положение кнопок, питания только от сети.

Стоимость: 110 000 р

3. BATAK

2 версии большая и маленькая

BATAK LITE [3] улучшает реакцию, координацию рук и глаз и выносливость, позволяя пользователям тренироваться в условиях симуляции «спорт», а также обеспечивает элемент веселья и соревнований, которых так часто не хватает на тренировках (рисунок 3).

Рама BATAK LITE изготовлена из прочной и высокой полированной нержавеющей стали и может быть настенной или свободной, используя дополнительные опорные ножки.

Оборудование BATAK LITE можно транспортировать в любое подходящее место на хэтчбек среднего размера. Подходит для: спортивных залов,школы и спортивных колледжей, университетов, обучения полиции и армии, фитнес-тренеров, коррекционной лечебной физкультуры, физиотерапевтов

Конфигурация-восемь «визуально ярких» светодиодных нумерованных объектов поставлены под контроль выделенного микрокомпьютера.

В зависимости от выбранной программы цели могут быть подсвечены случайным или повторяющимся образом. Нажатия и промахи приурочены и забиты на двух центрально расположенных светодиодных дисплеях. Устные инструкции выдаются участвующему игроку во

время упражнения в зависимости от ситуации (например, «Get Ready» ... «Go» ... «Time Out» ... и т. Д.)

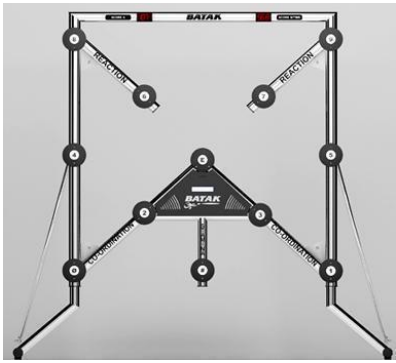
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Рама BATAK LITE изготовлена из прочной, полированной нержавеющей стали.

Оборудование весит около 45 кг, включая его свободные стопы (Только рамка 27 кг).

Питание от сети. 8 светодиодов высокой интенсивности. 2 LED (3 цифры)

Отображение и отображение времени (идеально подходит для просмотра зрителей).



Плюсы: жесткая конструкция, несколько пользователей, сохранение результатов

Минусы: нет настройки, громоздкость, 1 расположение кнопок, питание от сети.

Стоимость: 391$ за рабочий день

686$ за выходной

1270$ за неделю

BATAK Pro- улучшенная версия BATAK LITE с 12 кнопками (рисунок 4).

Минусы: громоздкость, питания от сети.

Плюсы: жесткая конструкция, несколько пользователей, сохранение результатов

Стоимость: нет информации

4. DYNAVISION D2

DYNAVISION D2[4]- устройство реакции легкой тренировки, разработанное для обучения сенсорной двигательной интеграции через визуальную систему (рисунок 5).

Предназначенный для высокопрофессионального обучения легкой атлетике, инструмент оценки травм головы, сотрясений мозга и дефицита зрительного поля. D2 имеет ряд функций, предназначенных для обучения спортсмена для активных и активных визуальных ответов. Кроме того, он предоставляет спортсмену возможность пройти тестирование, чтобы установить базовый уровень для ощутимого анализа улучшений.

Dynavision является инструментом для обучения и оценки способности спортсменов реагировать на различные ситуации, быть активными в отслеживании, принятии решений, периферийной осведомленности и когнитивной обработке. D2 записывает все данные и позволяет спортсмену и тренеру количественно оценивать результаты, тем самым создавая способность улучшать слабые области с помощью индивидуальных процедур.

Особенности продукта: Автоматическая регулировка высоты. Полностью компьютеризированная - ваша панель управления является реальным компьютером с сенсорным экраном.

Минусы: маленькие кнопки, громоздкость, питания от сети.

Плюсы: жесткая конструкция, несколько пользователей, сохранение результатов

Цена: нет информации

5. Reax lights

Reax lights[5] - беспроводная светодиодная световая система, созданная для проведения интерактивного сеанса тренировки (рисунок 7).

Гибкий, универсальный, полный аксессуаров, каждая кнопка оснащена магнитами для быстрого соединения с несколькими поверхностями. Контроллер планшета WIFI позволяет тренеру и пользователю выбирать индивидуальные обучающие программы (рисунок 6).

Reax Lights можно использовать для различных применений: от занятий спортом, небольшой группы, личного обучения и сеансов терапии, физической подготовки, спортивных лагерей.

Особенности продукта: Яркие, многоцветные светодиодные кнопки, гибкая система для многократного использования, Магнитная поддержка для размещения на нескольких поверхностях.

Длительное время автономной работы (1 день при полном использовании). Прочное мобильное решение. Можно использовать как в помещении, так и на открытой местности. От 6 до 24 кнопок.

Программируемая система.

Приложение для Android для планшета.

Одиночный, командный и многопользовательский режим.

Предустановленные программы и игры.

Возможность создания своей собственной программы. Можно отрегулировать свет, цвет, время, скорость, последовательность.

Беспроводной диапазон 40 м.

Минусы: заряда хватает только на 1 день.

Цена: 4000$

6. Reaction Pro Trainer

Reaction Pro Trainer[6] предназначен для тренировки рефлексов и реакции. Профессионалы используют Reaction Pro для усиления когнитивной способности и нейронной стимуляции. Reaction Pro отлично подходит для всех возрастов и уровней способностей (рисунок 8-9).

Особенности: Wi-Fi соединение.

10-дюймовый сенсорный экран с Gorilla Glass и множеством игр.

15 светодиодных кнопочных датчиков, оптимизированных для обеспечения точности и долговременной надежности.

Аэронавигационные материалы

используются для экстремальной долговечности, но легкие.

6 Предварительно запрограммированных обучающих программ для всех возрастов и способностей.

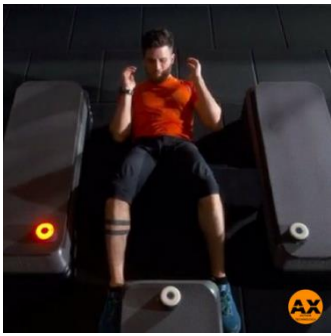
Пользовательские и групповые данные / показатели на месте и с удаленным доступом.

Минусы: Размеры,питания от сети.

Цена: 6000$

BlazePod

BlazePod[7]- это интерактивная программа обучения фитнесу, состоящая из сенсорных датчиков и приложений для смартфонов (рисунок 10).



BlazePod можно использовать для HIIT (High Intensity Training), спортивных соревнований, малой групповой подготовки, терапии и реабилитации, детских фитнес-программ.

Включает:6 кнопок BlazePod, 6 нейлоновых ремней, 6 присосок, 1 Чехол, приложение для iOS или Android, 100 упражнений в приложении

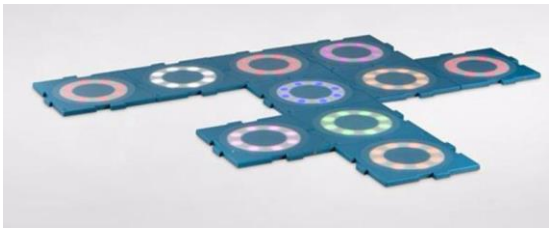
Особенности: Приложение, для планировки графика тренировок, яркие светодиоды RGB.Беспроводной диапазон: 45 метров.Прочная, устойчивая конструкция из ABS и поликарбоната. Долговечная батарея, 12 часов использования за заряд. От 12 до 24 кнопок

Цена:329$

7. Moto Tiles

Moto Tiles[8] - это портативные мозаичные плитки с LED и сенсорными датчиками. Плитки легкие, долговечные и могут быть настроены различными способами для пациентов, студентов и спортсменов (рисунок 11-12).

Выберите из множества предварительно настроенных игр на планшете и создайте свои собственные модификации, а затем сохраните данные для сравнения.



Каждая Moto Tile может ощущать давление и имеет 8 многоцветных огней. Плитки спроектированы как кирпичи Lego и могут быть собраны в разные формы (прямая, квадратная, подкова или разнесенная). Мото-плитка беспроводная и удерживает заряд до 20 часов,

Включает:10 блокировочных плит. Gриложение с 15 играми

Минусы: расположение только на полу.

Цена:7000$

8. T-Wall

Существует в разных комплектациях.

T-WALL[9] - это модель, предназначенная для медицинского и реабилитационного рынка. Он оснащен планшетом / смартфоном, инновационными сенсорными объективами и гигиеничной гладкой

поверхностью, отвечающей высоким требованиям в качестве учебного инструмента в области лечения и реабилитации(рисунок 13-17).

T-WALL - это интерактивная стена реакции, которая использует световые импульсы, чтобы выявить целенаправленные движения и предложить пользователям веселые учебные занятия, которые улучшают время реакции, координацию и мобильность.

Устройство использует до 15 различных цветов, что позволяет сочетать различные функции и познавательные задачи в обучении реакциям.

Применения: Инсульт / травматическая травма головного мозга / Аутизм / СДВГ / Поведенческая терапия / Особые потребности / Деменция и болезнь Альцгеймера / Сенсорная терапия / Сотрясение мозга / Спорт /

Преимущества: Координация / Реакция / Познавательные задачи / Точность

движений / Когнитивная и физическая выносливость / Координация глазных глаз / Визуальное обучение / Визуальная память / Гибкость и мобильность /

Минусы: размеры.

Цена:5,200$-22,000$

Сравнительный анализ существующих систем

	Speed attack	AGT-800	Batak	Dynavision	Reax lights	BlazePod	Reaction Pro Trainer	Moto Tiles	T-Wal
Независимые кнопки	-	-	-	-	+	+	-	+	-
Аккумулятор	+	-	-	-	+	+	-	+	-
Питание от сети	+	+	+	+	-	-	+	-	+
Крепление на стену	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Крепление на человека	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Настройка	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Количество кнопок	12	10	8.12	64	6-24	12-24	15	10	15-144
Цена	135 000р	110 000р	аренда	16000$	4000$	329$	6000$	7000$	5,200-22,000$

Итоги

Надо создать дешевый аналог с беспроводными кнопками, которые можно поставить на пол либо прикрепить к цилиндрической поверхности обычного спортинвентаря (шведская стенка брусья турник…), количество которых можно легко регулировать от 2 до 30.

Также он должен иметь возможность настройки программы тренировки владельцем без ручной

перепрошивки компонентов, и иметь функцию сохранения и визуализации результатов. Тренажер должен работать как от сети, так и от аккумулятора.

Подбор компонентной базы

Выбор микроконтроллера

Подбор платформы

Для удобства разработки были выбраны микроконтроллеры с готовыми печатными платами.

Arduino

Arduino применяется для создания электронных устройств с возможностью приема сигналов от различных цифровых и аналоговых датчиков, которые могут быть подключены к нему, и управления различными исполнительными устройствами.

Проекты устройств, основанные на Arduino, могут работать самостоятельно или взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере (напр.: Flash, Processing, MaxMSP). Среда разработки программ с открытым исходным текстом доступна для бесплатного скачивания.

Язык программирования Arduino является реализацией Wiring, схожей платформы для «physical computing», основанной на мультимедийной среде программирования Processing.

Ti MSP430 LaunchPad

MSP430 LaunchPad [10] можно адаптировать к использованию совместно с тремя версиями Ti, которые поддерживают IDEs – это Code Composer Studio, версия CCS Cloud и вариант Energia IDE.

Платформа LaunchPad, по аналогии с программной начинкой Arduino, имеет возможность использования различных шилдов, которые рассчитаны на расширение функциональной базы LaunchPad.

Для данного проекта данная платформа не подходит из-за большой печатной платы 6,6 см х 5,1 см.

Teensy

Платы Teensy [11] комплектуются микроконтроллером с рабочей тактовой частотой до 75 Mhz. Плата имеет небольшие размеры.

Но данный микроконтроллер стоит слишком дорого 2 490р .

Particle Photon

Данный аналог Arduino изначально был известен на рынке под именем Kickstarter, но позже стал использовать только одно обозначение Particle Photon[12]. Фирменные платы имеют встроенный модуль Wi-Fi, что особо актуально в наши дни.

Используемое ядро – ARM Cortex M3 при допустимой максимальной рабочей частоте 120 Mhz. Программирование выполняет при помощи облачного IDE.

Собственная линейка Photon расширяется за счет использования дополнительных шилдов. Доступен также и 3G вариант основной платы – версия «The Electron».

Данный микроконтроллер также стоит слишком дорого 2 190 р.

В итоге была выбрана платформа Arduino

Выбор модели микроконтроллера

Модель ардуино должна иметь маленькие размеры для удобного крепления в корпусе кнопки. Количество пинов в подходящих для подключения компонентов должно быть минимум 7.

Название	Процессор	Напряжение рабочее/входное	Аналоговый In/Out	Цифровой IO/PWM	USB	UART	Цена	Размер
Uno[13]	Atmega328	5V/7-12V	6/0	14/6	Regular	1	239 р	6,9 × 5,3 см
Due[14]	T91SAM3X8E	3.3V/7-12V	12/2	54/12	2 Micro	4	1 010 р	10,16 × 5,3 см
Leonardo[15]	Atmega32u4	5V/7-12V	12/0	20/7	Micro	1	512 р	6.9 × 5.3 см
Mega[16] 2560[16]	Atmega2560	5V/7-12V	16/0	54/15	Regular	4	746 р	10,16 × 5,3 см
Micro[17]	Atmega32u4	5V/7-12V	12/0	20/7	Micro	1	274 р	1.8 см x 3.3 см
Nano[18]	Atmega168/ Atmega328	5V/7-9V	8/0	14/6	Mini-B	1	200 р	1.85 см x 4.2 см
Ethernet[19]	Atmega328	5V/7-12V	6/0	14/4	Regular	0	440 р	6,9 × 5,3 см
Pro Mini(168)[20]	Atmega168	3.3V/3.35-12V	6/0	14/6	0	1	150 р	3,3 x 1,8 см
Pro Mini(328)[21]	Atmega328	5V/5-12V	6/0	14/6	0	1	200 р	3,3 x 1,8 см
LilyPad[22]	ATmega168V/ ATmega328V	2.7-5.5V/2.7-5.5V	6/0	14/6	0	0	213 р	d=5 см
LilyPad USB[23]	Atmega32u4	3.3V/3.8-5V	4/0	9/4	Micro	0	174 р	d=5 см
Zero[24]	ATSAMD21G18	3.3V/7-12V	6/1	14/10	2 Micro	2	1000 р	6,5 x 2,5см

Arduino Pro mini[21] самая маленькая и дешевая плата. Подходящая по размерам, и количеству пинов.

Выбор радиопередатчика

RF 315/433 [25]

Модули парные. Для передачи сигнала существует модуль-передатчик, а для приема его сигнала существует модуль-приёмник.

Никакого протокола передачи не предусмотрено: модуль просто передаёт восходящие и нисходящие фронты, поступающие на вывод «Data in».

Не подходит так как 1 модуль отвечает за передачу а 2 за прием, что не удобно в рамках данного проекта и будет занимать лишнее место в корпусе.

nRF24L01+ [26]

Этот трансивер выполнен на базе микросхемы nRF24L01+. Модуль поддерживает работу со скоростью 250 Кбит/с, 1 Мбит/сек или 2 Мбит/с, и может работать на 126 независимых каналах, поэтому сразу несколько устройств могут общаться между собой не мешая друг другу. Подключение датчика происходит по spi шине.

Лучший вариант из имеющихся, маленький, универсальный (передает и принимает сигнал), подключение занимает 5 пинов.

XBee [27]

Мощности передатчика хватает для общения на расстоянии до 120 м на улице и до 35 м в помещении. Скорость обмена данными: до 250 кбит/с. Устройство работает на частоте 2,4 ГГц. Возможны как простые

соединения «точка-точка», так и сети со сложной топологией.

Для подключения требуется отдельная плата которая сделана для большой Arduino uno использование данного модуля сильно увеличила размеры платы кнопки и сложность сборки.

bluetooth модуль

Был выбран модуль bluetooth HC-06[28] как единственный модуль с печатной платой и удобным подключением (2 сигнальных провода) .

Кнопка

Кнопка [29] большие кнопки от аркадных автоматов.

Питание

Для первого этапа питание выбрано от кроны для более удобной работы с макетной платой(схема приложение 1-2).

Линейный регулятор напряжения LM7805 для питания от кроны[30].

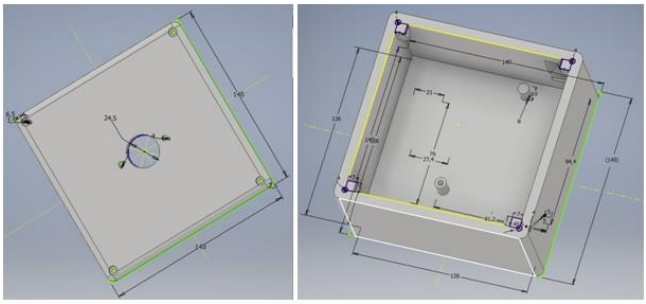
Далее была разработана, и приведена схема питания от аккумулятора 18650 [31].

Управление заряда батареи производится с помощью TP4056[32].

Напряжение повышается с помощью MT3608[33]. До 5 вольт и подается на плату.

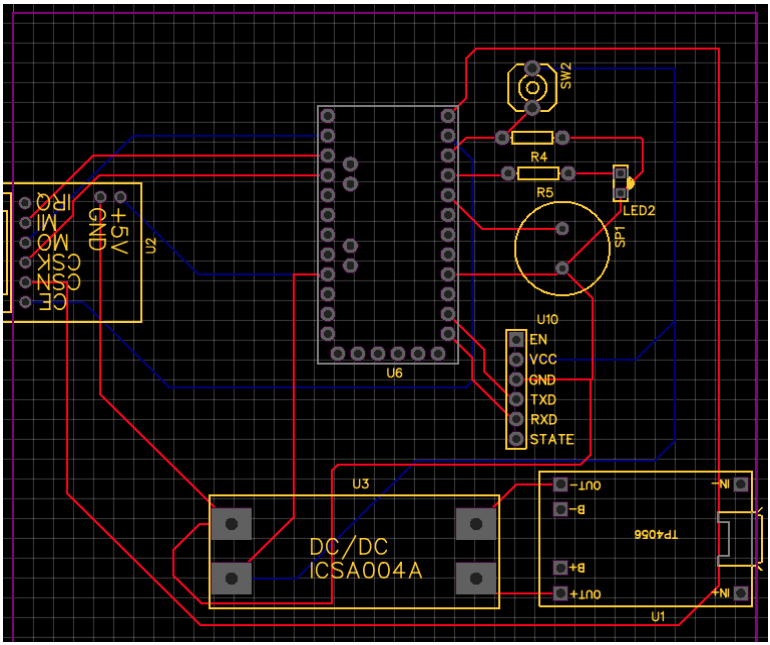
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

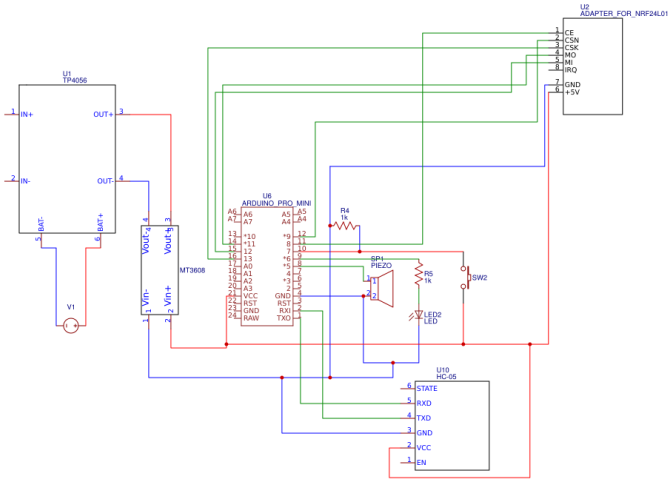
Корпус



После печати печатных плат, была спроектирована модель корпуса и напечатана на 3D принтере (рисунок 22-24). Модель разработана в autodesk inventor [34]. Код для принтера был создан в Cura[35]. Печать происходила на принтере Anet a6[36]

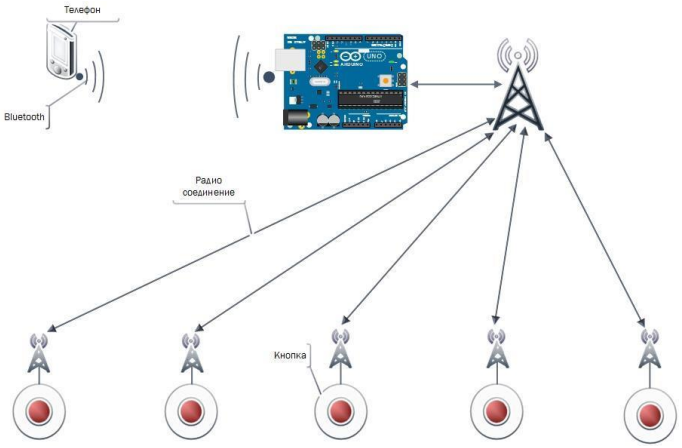
Плата главного блока и кнопки


SW2
R4
R5
LED2
SPI1
U10
EN
VCC
GND
TXD
RXD
STATE
U6
U3
DC/DC
ICSA004A
TP4056
U1
U2
+5V
GND



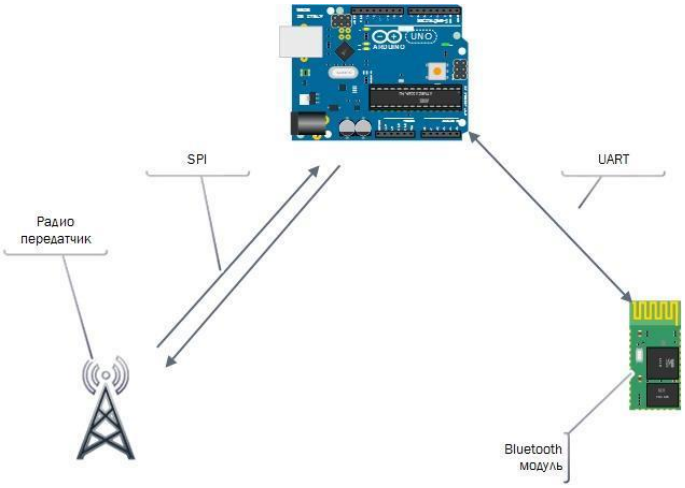
Мною была спроектирована и разведена печатная плата, которая подходит как для главного блока, так и для кнопки (рисунок 25-26). TP4056 питает аккумулятор 18650 и контролирует его заряд. TP4056 выдает напряжение аккумулятора которое повышается до 5В,которые необходимы плате Arduino,HC-05,Nrf 02401. НА кнопке установлен подтягивающий резистор.

Схема устройства тренажера



Тренажер состоит из 2 частей: главного блока и кнопок. Настройка происходит с помощью телефона через bluetooth (рисунок 19).

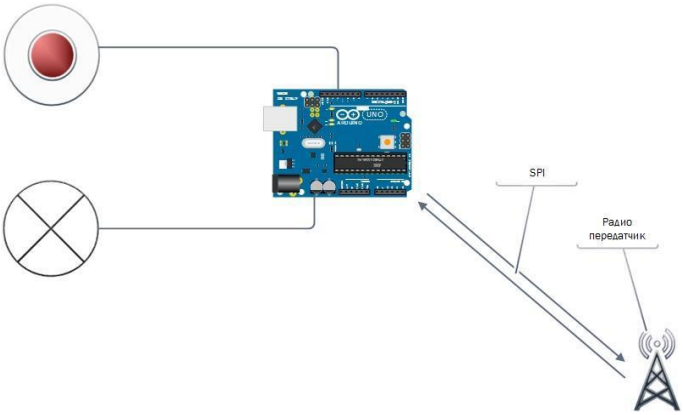
Устройство блока



Главный блок соединен с Bluetooth посредством UART порта. А с радио передатчиком через SPI шину(рисунок 20).

Главный блок получает информацию от телефона о последовательности и настройки режима. После чего главный блок начинает выполнять программу и отсылает полученные данные с кнопок телефону (Принципиальная схема №1 в приложении)

a. **Устройство кнопки**



К плате кнопки подключена лампочка которая сигнализирует пользователя о том что кнопку надо нажать. Механическая кнопка для нажатия. Радио модуль для передачи информации главному блоку.

Когда кнопка принимает радиосигнал включается светодиод и таймер с частотою 1 килоГерц для подсчета времени. При нажати на кнопку таймер выключается и отправляется информация о времени нажатия.

Схема передачи информации

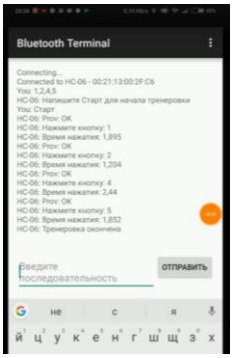
Телефон посылает строку с настройками и последовательностью кнопок. Главный блок ждет полной отправки строки ,посимвольно записывая строчку в память. Потом главный блок ждет строки “Старт”. После ее получения начинается тренировка.

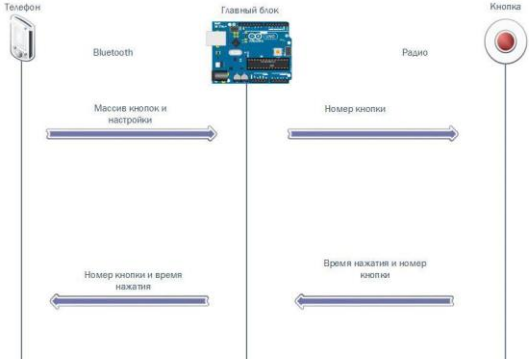
Главный блок посылает массив состоящий из двух integer-ов кнопке с ее номером и номером настройки.

Кнопка посылает обратно массив заменяя номер настройки номером ответа.

Отправив ответ главному блоку кнопка включается и ждет нажатия пользователя. А главный блок передает телефону строчку с номером включенной кнопки. После нажатия на кнопку. Кнопка посылает массив главному блоку с 1 элементом - номером кнопки и 2 элементом - временем нажатия пользователя.

Получив ответ о нажатии на кнопку, главный блок отправляет телефону информацию о времени нажатия на следующую кнопку. И так до конца последовательности. После последний кнопки главный блок посылает строку “Конец тренировки”.





ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Результате проделанной мной работы:

- Проанализирована предметная область (проанализированы и сравнены аналоги).

Сформулированы желаемые характеристики устройства.

- Проанализирован рынок микроконтроллеров. Создана сравнительная таблица микроконтроллеров на базе Arduino. Выбран подходящий микроконтроллер для проекта.
- Разработана принципиальная схема главного блока
- Разработана принципиальная схема кнопки.
- Разведена универсальная печатная плата.
- Разработан корпус главного блока и кнопки
- Напечатан корпус главного блока и кнопки
- Разработан протокол связи между телефоном и блоком
- Разработан протокол связи между кнопкой и главным блоком.
- Написана программа управления главного блока
- Написана программа для кнопки
- Написано приложение для телефона.

- Создан действующий прототип из 5 кнопок. С ручной настройкой последовательности срабатывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 http://www.gamestul.ru/speedattack.htm SPEED ATTACK

2 http://dostupsreda.ru/store/reabilitaciya-i-abilitaciya/trenazhery-1/trenazhery-dlya-reabilitacii/trenazher-dlya-razvitiya-lovkosti-agt-800 AGT-800

3 http://www.batak.com/ BATAK

4 https://www.motionfitness.com/Dynavision-D2-Vision-Training-System-p/dyn-d2.htm DYNAVISION D2

5 https://www.reaxing.com/reax-lights/ Reax lights

6 https://axtiontech.com/collections/rehab-therapy-seniors/products/reaction-

pro?variant=8125609541737 Reaction Pro Trainer

7 https://axtiontech.com/products/blazepod?variant=5081948356640 BlazePod

8 https://axtiontech.com/collections/rehab-therapy-seniors/products/moto-tiles?variant=51292164884 Moto Tiles

9 https://axtiontech.com/collections/vendors?q=T-Wall%20Fitness T-WALL

10 http://www.ti.com/tool/MSP-EXP430G2 MSP430 LaunchPad

11 https://www.pjrc.com/teensy/ Teensy

12 https://store.particle.io/ Particle Photon

13 http://ali.onl/160l Arduino Uno

14 http://ali.onl/160m Arduino Due

15 http://ali.onl/160n Arduino Leonardo

16 http://ali.onl/160o Arduino Mega

17 http://ali.onl/160p Arduino Micro

18 http://ali.onl/160q Arduino Nano

19 http://ali.onl/160r Arduino Ethernet

20 http://ali.onl/160s Arduino Pro Mini(168)

21 http://ali.onl/160t Arduino Pro Mini(328)

22 http://ali.onl/160u Arduino LilyPad

23 http://ali.onl/160w Arduino LilyPad USB

24 http://ali.onl/160x Arduino Zero

25 http://amperka.ru/product/rf-433-transmitter RF 315/433

26 http://amperka.ru/product/nRF24L01-wireless-module nRF24L01+

27 http://amperka.ru/product/xbee XBee

28 http://ali.onl/160y HC-06

29 http://ali.onl/160z Кнопка

30 http://ali.onl/160A LM7805

31 https://is.gd/4RNPx5 Акаммулятор 18650

32 https://is.gd/yq6tJ1 TP4056

33 https://is.gd/fG0Qak MT3608

34 https://is.gd/KUtdKo autodesk inventor

35 https://is.gd/wOX8ha Cura

36 https://is.gd/kVjtc3 Anet A6

СЕКЦИЯ ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ (ВЫСТАВКА-КОНКУРС ПРОГРАММНЫХ РАЗРАБОТОК)

ПРОГРАММА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗВУКА С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРОВ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Марков Лука Ильич

ГБОУ Школа № 1533 "ЛИТ"
Научный руководитель:
Завриев Николай Константинович
ГБОУ Школа № 1533 "ЛИТ", преподаватель дополнительного образования

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим следствием изменений, произошедших на музыкальном рынке в XXI веке, стало увеличение роли живого выступления музыкантов. Если раньше концертные туры были не более, чем промо-мероприятием в поддержку дисков, то теперь ситуация обратная и диски зачастую становятся не более, чем поводом отправиться в тур. В связи с этим, качество живого выступления (в том числе его визуальная составляющая) становится ключевой характеристикой музыканта, от которой, зачастую, во многом зависит его успех.

На концертах, где преобладает вокал и видно, что происходит на сцене, дополнительные эффекты не так нужны, можно ограничиться дымом и немного пиротехникой. Но на концертах электронной музыки все немного сложнее, одного дыма здесь будет недостаточно.

На сцене расположено много разной аппаратуры, за которой находится артист, который что-то делает. Слушателю не видно того, что происходит на сцене, музыкант в большинстве случаев не ведет диалог со своей аудиторией. То есть люди приходят и просто слушают музыку, даже не видя того, кто ее играет. Это конечно идет только в минус артисту, потому что выступления позволяют скучать слушателям, из этого следует, что количество людей на концерте уменьшается. Для того чтобы толпа на выступлении не была похожа на сонное царство, артисту электронной музыки приходится добавлять в свои выступления разнообразные эффекты и шоу.

На многих концертах, связанных с электронной музыкой, популярно использование видеоряда или визуализации звука. Многие артисты на своих выступлениях предпочитают использовать заранее заготовленное видео на заднем плане. Но из этого возникает еще пара проблем. Если крутить одно и то же каждое выступление, то слушателю это надоест, смысл приходить на концерт, если знаешь, что там будет? Второе – это то, что на одну композицию можно записать только один видеоряд, нельзя, изменив настройки, получить другую картинку.

За счет оригинальной идеи, связанной с магнитными линиями проводника с током, и множества различных визуализаций одной композиции эта программа поможет сгладить эту проблему и сделать так, чтобы выступление на долго отложилось в памяти аудитории.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ

Для разработки приложения использовались:

Среда программирования Microsoft visual studio была выбрана, потому что был достаточно большой опыт работы в этой среде.

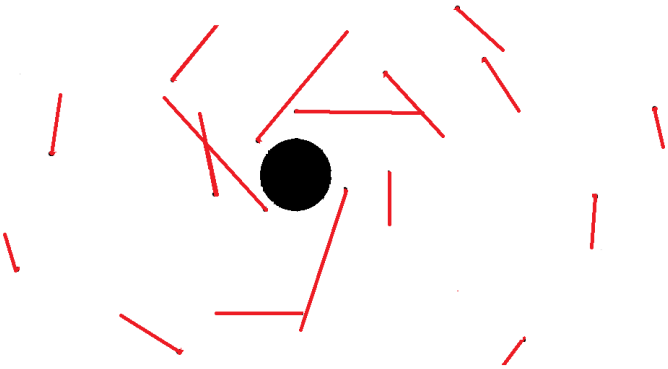
Библиотека Accord.NET Framework. Библиотека понадобилась для работы со звуковыми фрагментами. Прием аудиофрагментов, их конвертирование и фильтрация были реализованы с помощью методов и функций данной библиотеки.

Язык программирования C# был выбран, так как во время создания приложения мы проходили курс изучения этого языка. Также библиотека Accord.NET написана на языке C#.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Было необходимо создать приложение визуализации звука для использования на концертах, а также в домашних условиях в развлекательных целях.

Пользователь выбирает количество проводников с током и расставляет их на поле, устанавливает параметры (выбирает фильтры, направление тока в проводнике и т.д.). Далее начинается визуализация, которая представляет из себя построение векторов магнитной индукции проводника с током из точек, хаотично разбросанных на поле. Векторы магнитной индукции проводника с током являются касательными к магнитным линиям проводника (магнитные линии проводника с током - это концентрические расширяющиеся окружности). Когда программа получает звуковой фрагмент, каждый проводник фильтрует этот фрагмент по-своему и в зависимости от характеристик нового фрагмента задает величину вектора магнитной индукции.



У приложения есть три окна. В окне «меню» пользователь выбирает количество магнитов, цвет и ширину векторов, цвет поля, откуда будут браться данные (из файла или из внешних устройств), размер фрейма. Также при нажатии на кнопку одного из проводников открывается диалоговое окно, где можно выбрать и настроить фильтры для проводника, направление тока в нем. При нажатии на кнопку «редактор» открывается поле, на котором можно расставить проводники. При нажатии на кнопку «запуск» открывается основное поле и начинается работа приложения.

Программа предназначена в первую очередь для артистов, которые используют визуализацию в своих выступлениях и понимают, как работают фильтры. Но ничто не мешает использовать приложение людям, которые просто хотят увидеть визуализацию (можно не использовать фильтры).

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Частота дискретизации (или частота семплирования, англ. sample rate) — частота взятия

отсчётов непрерывного по времени сигнала при его дискретизации (в частности, аналого-цифровым преобразователем). Измеряется в герцах.

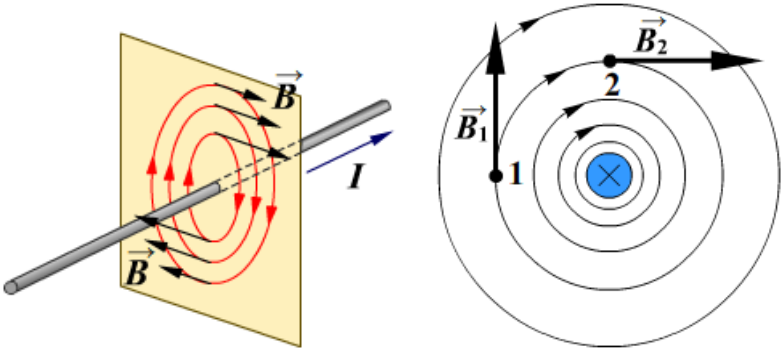
Фрейм – аудиофрагмент, на основе данных которого строится следующий шаг визуализации.

Семпл (англ. *Sample* — «образец») — относительно небольшой оцифрованный звуковой фрагмент.

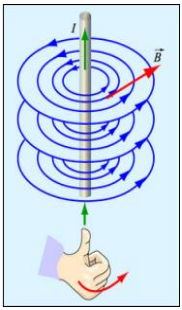
Магнитное поле проводника с током.

Магнитное поле существует не только вокруг магнита, но и вокруг любого проводника с током. Любой провод, например, шнур от лампы, по которому протекает электрический ток, является магнитом! Два провода с током взаимодействуют друг с другом.

Силовые линии магнитного поля прямого тока - это окружности вокруг проводника.



Направление линий магнитной индукции зависит от направления тока в проводнике. Определяется направление вектора индукции по правилу буравчика или правилу правой руки.



Индукция магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника с током на расстоянии r от него:

$\vec{B}$ – *вектор индукции магнитного поля*

μ_0 – *магнитная постоянная* $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Тл \cdot м}{А}$

I – *сила тока в проводнике*

r – *расстояние до проводника*

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$[B] = 1Тл$ $[I] = 1А$ $[r] = 1м$

$\pi = 3,14$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Тл \cdot м}{А}$

В данном приложении $\frac{\mu}{2\pi}$ была убрана для достижения наилучших визуальных результатов.

Если магнитное поле в данной точке пространства создается несколькими источниками поля, то магнитная индукция - векторная сумма индукций каждого из полей в отдельности.

АЛГОРИТМЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ

Функция построения векторов

$x1; y1$ – координаты точки, $x; y$ – координаты проводника с током, $y = k * x + b$ – уравнение прямой. Так как магнитные линии проводника образуют окружности, то вектор магнитной индукции B будет

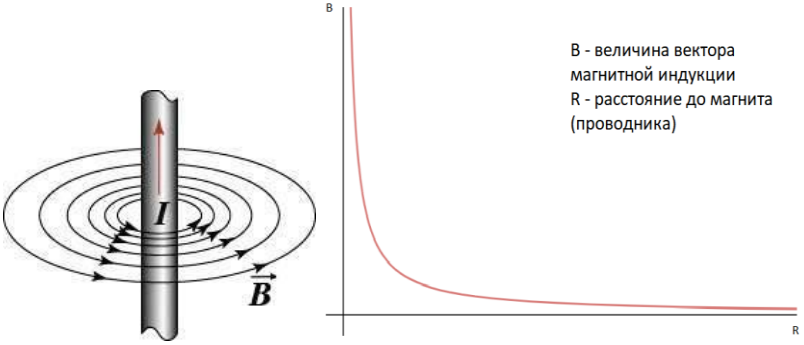
являться касательной к окружности с радиусом R, где R – расстояние от проводника до точки(радиус). Величина вектора B вычисляется по формуле $B = \frac{I*q*maxsample}{R}$, где maxsample – это функция нахождения максимального семпла, а q это коэффициент, добавленный для получения наилучших визуальных результатов. Координаты точки и магнита лежат на одной прямой. Далее находим k и b .

$y = -\frac{x}{k} + c$ – уравнение прямой, которая перпендикулярна $y = k * x + b$ (т.к. касательная к окружности перпендикулярна радиусу), находим c, подставляя $x1, y1$.

Теперь получаем систему из двух уравнений.

$B^2 = (x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2$ и $y2 = -\frac{x2}{k} + c$,

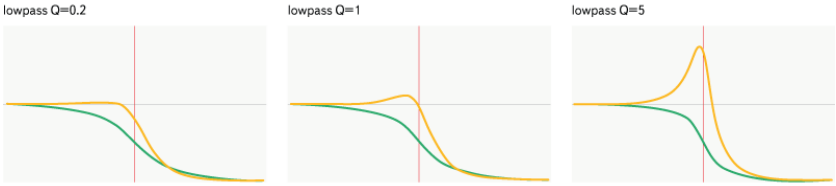
где $x2, y2$ – координаты конца вектора B, находим эти координаты, учитывая то, что направление вектора зависит от направления тока в проводнике. Теперь известны координаты начала и конца вектора B, если на плоскости несколько проводников, то действует принцип суперпозиции.



Фильтрация

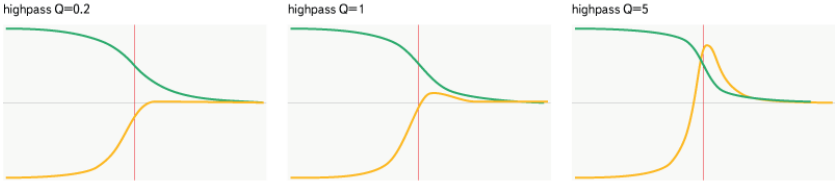
Программе подается звуковой фрагмент. Далее, если пользователем выбраны фильтры, то проводники, используя фильтры lowpass и hightpass из библиотеки Accord.NET framework, фильтруют фрагмент и получают новые. Далее из каждого нового фрагмента берется максимальный семпл, от которого зависят векторы магнитной индукции.

Lowpass



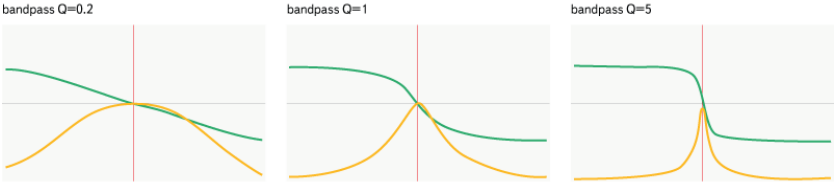
Пропускает только частоты ниже заданной частоты.

Highpass



Действует аналогично lowpass, за исключением того, что он пропускает частоты выше заданной, а не ниже.

Bandpass



Этот фильтр более избирателен — он пропускает только определённую полосу частот.

Пользователь в настройках проводников устанавливает параметры фильтров для каждого проводника.

Сначала пользователь выбирает размер фрейма. От этого зависит сколько раз в секунду будет обновляться изображение. Программа каждому проводнику подает оригинальный аудиофрагмент, а те фильтруют его. После этого у каждого проводника появляется свой отфильтрованный аудиофайл.

$$\frac{1000 * \text{размер фрейма}}{\text{частота дискретизации}} = \text{время(мс)}$$

Частота дискретизации установлена 44100. Каждые n мс программа принимает новые данные, проводники их фильтруют, ищут максимальный семпл, для каждой точки высчитываются векторы каждого проводника и складываются, далее обновляется изображение.

Функция для поиска максимального семпла на отрезке

Входные данные: сигнал, номер первого семпла, длина отрезка. Сигнал(Signal) – класс библиотеки Accord.NET, в котором хранится информация о звуковом фрагменте (частота дискретизации, семплы и др.). С помощью цикла for происходит поиск максимального

сампла. В целях экономии времени поиск максимального сампла осуществляется только на первом канале аудиофайла.

Класс magnet

Класс был написан для приложения. В объектах класса содержится информация о проводниках, например: частоты highpass и lowpass фильтров, значение $q * I$. Также есть несколько важных методов.

Метод filteredSignal

Является методом класса magnet. В качестве входных данных принимается объект класса Signal библиотеки Accord. Signal – это класс, служащий для хранения данных аудиофрагмента и для работы с этими данными. Далее с помощью объектов классов LowPassFilter и HighPassFilter метод фильтрует входной аудиофрагмент и получает новый.

Класс element

Класс также был написан для этого проекта. В объектах класса содержатся координаты начала и конца векторов, ширина векторов, их цвет, а также метод для их отображения на экране.

Функция maxsample

Функция была написана для поиска максимального сампла в аудиофрагменте. Сампл — относительно небольшой оцифрованный звуковой фрагмент. Функция ищет максимальный сампл по модулю, так как сампл может принимать значения от -1 до 1. От значения максимального сампла зависит величина вектора магнитной индукции.

Функция parallel_maglines

Одна из основных функций программы. Функция предназначена для изменения параметров объектов класса element. Входные данные: объект класса element, список объектов класса magnet(проводники). Функция рассчитывает величину вектора магнитной индукции и, используя данные проводников с током и векторов, получает новые координаты для векторов.

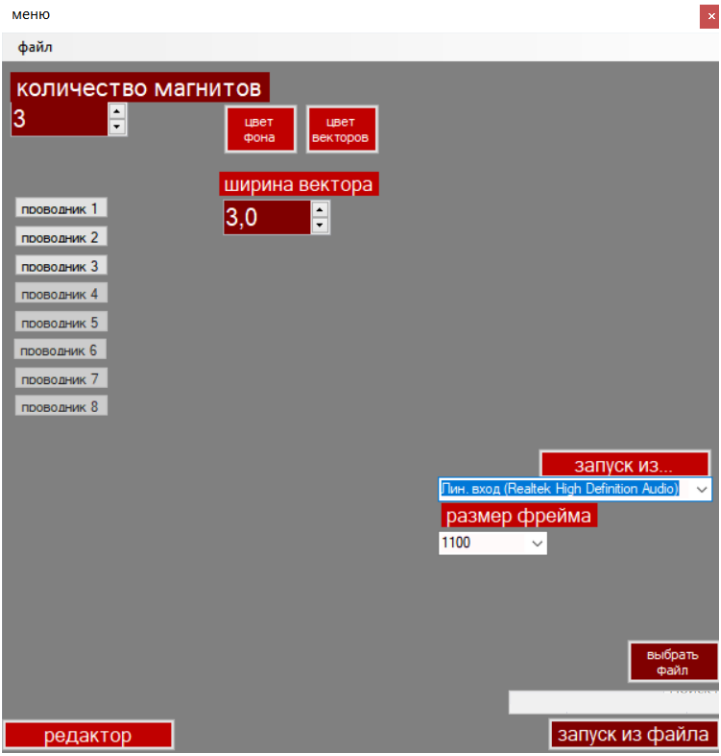
В процессе разработки стало понятно, что программа не справляется с обработкой большого количества данных за малое количество времени. Было принято решение заменить несколько циклов for на Parallel.For для обеспечения быстроты работы программы. Цикл Parallel.For отличается от for тем, что использует для работы все ядра процессора, а не одно. Это позволяет выполнять несколько шагов цикла одновременно.

РЕЗУЛЬТАТ

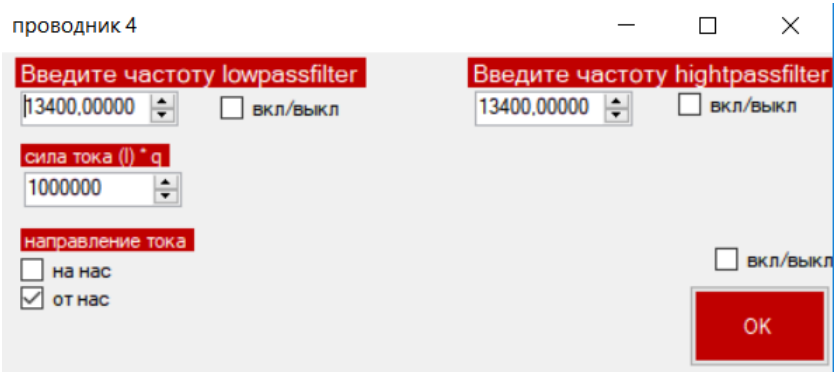
В итоге проделанной работы получены следующие результаты.

Создано приложение с работающим режимом визуализации звука из линейного входа.

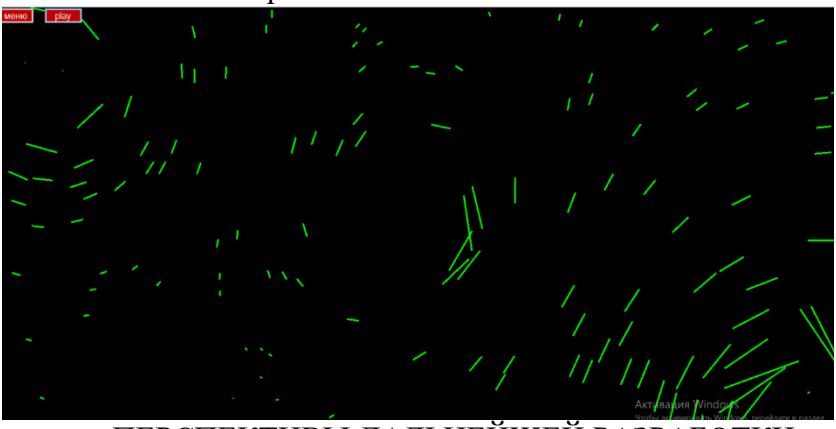
Экран «меню»



Окно проводника



Основной экран



ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ

Так как использование визуализации на концертах актуально на данный момент, то стоит совершенствовать и продвигать данное приложение.

Планируется доработка текущей версии программы, добавление режима визуализации с помощью MIDI, а также добавление других способов визуализации.

На данный момент в процессе разработки находится функция, которая обеспечит изменение

направления тока в проводнике. Функция предназначена для увеличения динамичности визуализации.

Также планируется разработка функции динамического изменения цветов векторов.

АНАЛОГИ

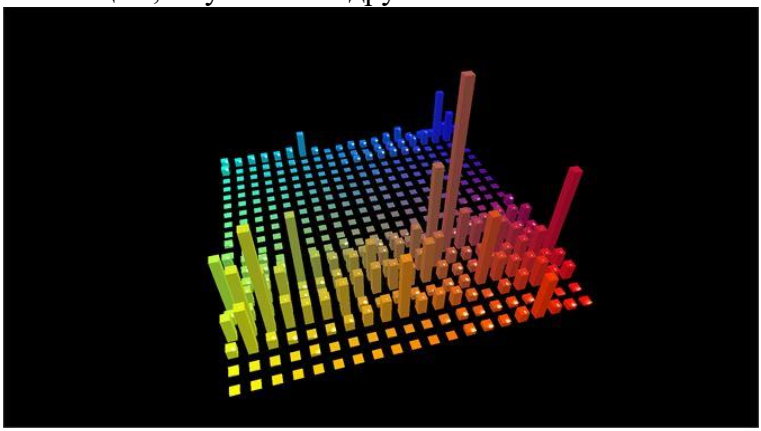
Полных аналогов программы найдено не было. Существует множество приложений для визуализации звука, которые работают так: пользователь выбирает аудиофайл, а программа выдает видео.

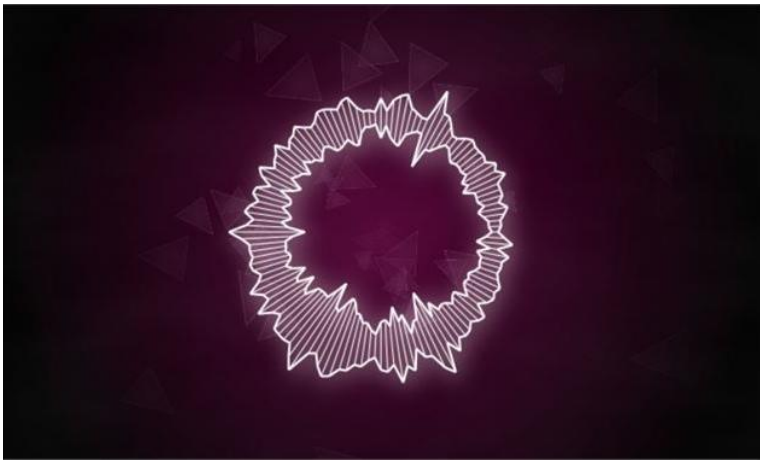
Примеры:

Kauna

«Kauna - это музыкальный визуализатор. Kauna визуализирует любое воспроизведение звука в системе. Также она может захватывать звук с микрофона. Доступны разные динамичные и красивые визуализации…»

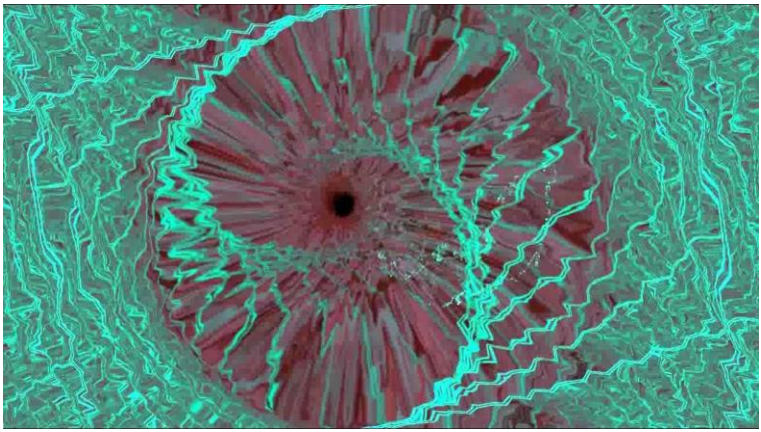
Приложение доступно в Microsoft store, визуализирует звук с микрофона и из файла. Для выбора доступно множество визуализаций: «Вихрь», «Волна», «Столбцы», «Туннель» и другие.





Визуализаторы для Winamp(MilkDrop)

Является одним из лучших визуализаторов для универсального медиа проигрывателя Winamp.



	Визуализация в реальном времени	Использование линейного входа	Использование микрофона	Дополнительные настройки
Kauna	+	-	+	+-
Milkdrop	+	-	-	-
Наша разработка	+	+	+	+

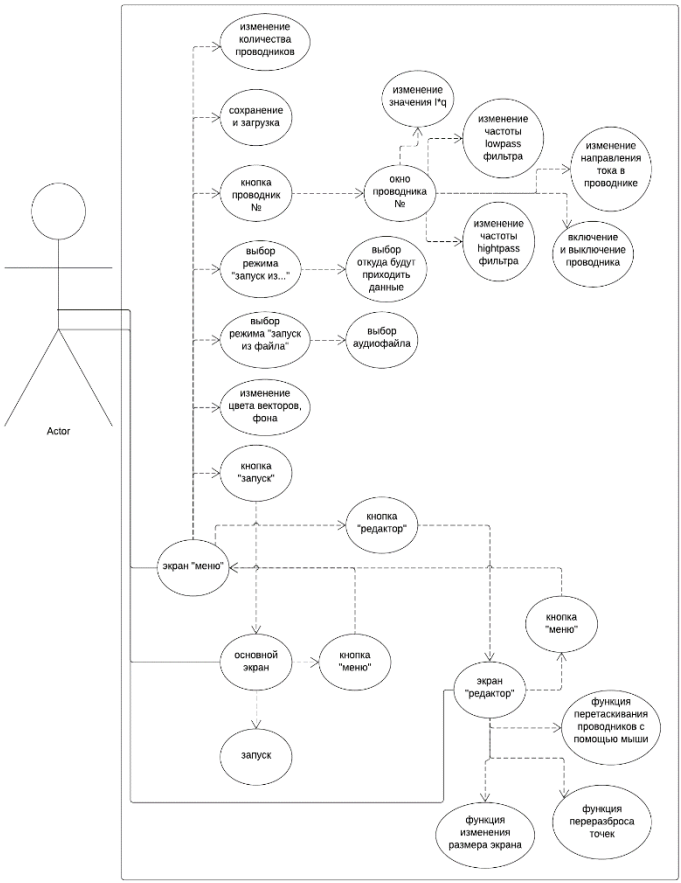
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Теория звука. Что нужно знать о звуке, чтобы с ним работать. Опыт Яндекс.Музыки – URL: https://habr.com/ru/company/yandex/blog/270765/ (дата обращения: 16.06.2019)

Магнитное поле – URL: http://fizmat.by/kursy/magnetizm/magnit_pole (дата обращения: 16.06.2019)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Use case диаграмма



СЕКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NFC В МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЯХ

Лучинкин Илья Алексеевич

ГБОУ «Московская международная школа», 11 «А» класс
Научный руководитель:
Медведев Николай Викторович
МГТУ им. Баумана, к. т. н., доцент

ВВЕДЕНИЕ

За последние два десятилетия в Российской Федерации отмечается рост частоты выездов скорой медицинской помощи с 323,9 до 332,2 на 1000 населения, числа госпитализированных больных бригадами скорой медицинской помощи – с 52,4 до 71,8 на 1000 населения (1/3 от числа госпитализированных в больничные учреждения). Скорая, в том числе скорая специализированная, медицинская помощь оказывается при заболеваниях, несчастных случаях, травмах, отравлениях и других состояниях, требующих срочного медицинского вмешательства.

Факторы, представляющие угрозу жизни человека, связанные с необходимостью вызова скорой медицинской помощи в экстренной форме:

нарушения сознания;
нарушения дыхания;
нарушения системы кровообращения;

психические расстройства, сопровождающиеся действиями пациента, представляющими непосредственную опасность для него или других лиц;
внезапный болевой синдром;
внезапные нарушения функции какого-либо органа или системы органов;
травмы любой этиологии;
термические и химические ожоги;
внезапные кровотечения;
роды, угроза прерывания беременности.

Структура вызовов скорой медицинской помощи
внезапные заболевания и состояния – 66,8%
неотложная помощь – 10,5%
несчастные случаи – 9,3%
перевозка – 8,7%
безрезультатные вызовы – 4,1%
роды и патология беременности – 0,6%

Люди, находящиеся в бессознательном состоянии, не могут сообщить данных о себе и своих диагнозов, что в большинстве случаев является необходимой информацией для успешного оказания скорой медицинской помощи. Уменьшить время на идентификацию, особенно в экстренных случаях, можно путем внедрения технологии NFC (Near field communication - «коммуникация ближнего поля», «ближняя бесконтактная связь»). Технология NFC обладает рядом преимуществ. NFC метки не требуют питания, они могут быть перепрограммированы, не обладают высокой стоимостью и имеют различные способы защиты информации.

В работе ставится задача провести обоснование необходимости внедрения системы идентификации с использованием меток NFC, веб-интерфейса отображения данных. Предложить варианты отображения и хранения информации о пациенте.

Целью работы является создание системы идентификации человека, находящегося в бессознательном состоянии, и рабочей модели, состоящей из метки NFC, базы данных для хранения данных о носителях метки и веб-интерфейса для взаимодействия с этими данными.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

анализ и сравнение беспроводных технологий для передачи данных;

рассмотрение преимуществ технологии NFC;

создание базы данных с информацией о пациентах;

программирование веб-сайта для взаимодействия с базой данных;

программирование метки NFC для соединения с веб-сайтом и дальнейшего вывода информации о конкретном пациенте;

создание работоспособной модели.

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Беспроводные технологии — подкласс информационных технологий, служат для передачи информации между двумя и более точками на расстоянии, не требуя проводной связи. Для передачи информации

могут использоваться радиоволны, а также инфракрасное, оптическое или лазерное излучение.

Существует множество беспроводных технологий. Каждая технология обладает определёнными характеристиками, которые определяются её областью применения. Но у всех есть две объединяющих характеристики: среда передачи данных и мобильность абонентов.

Рассмотрим несколько технологий, подходящих для выполнения целей, поставленных в данной работе.

Технология "Bluetooth"

- Логотип Bluetooth

Bluetooth (от слов англ. blue — синий и tooth — зуб; блюту́с — производственная спецификация беспроводных персональных сетей (Wireless personal area network, WPAN). Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами, как персональные компьютеры, мобильные телефоны, интернет-планшеты, принтеры, цифровые фотоаппараты, мышки, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитуры и акустические системы на надёжной, бесплатной, повсеместно доступной радиочастоте для ближней связи. Bluetooth позволяет этим устройствам сообщаться, когда они находятся в радиусе до 10 м друг от друга (дальность сильно зависит от преград и помех) даже в разных помещениях.

Принцип действия основан на использовании радиоволн. Последовательность переключения между

частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известна только передатчику и приёмнику, которые каждые 625 мкс синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Таким образом, если рядом работают несколько пар приёмник-передатчик, то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации: переход происходит по случайному алгоритму и определяется отдельно для каждого соединения. При передаче цифровых данных и аудиосигнала (64 кбит/с в обоих направлениях) используются различные схемы кодирования: аудиосигнал не повторяется (как правило), а цифровые данные в случае утери пакета информации будут переданы повторно.

Инициализацией bluetooth-соединения принято называть процесс установки связи. Её можно разделить на три этапа:

генерация ключа Kinit,

генерация ключа связи (он носит название link key и обозначается, как Kab),

аутентификация.

Первые два пункта входят в так называемую процедуру паринга. Паринг (pairing), или сопряжение, — процесс связи двух (или более) устройств с целью создания общего секретного значения Kinit, которое они будут в дальнейшем использовать при общении. Перед началом процедуры сопряжения на обеих сторонах необходимо ввести PIN-код.

Уязвимости передачи данных по технологии Bluetooth.

В июне 2006 года Авишай Вул и Янив Шакед опубликовали статью, содержащую подробное описание атаки на устройства Bluetooth. Материал содержал описание как активной, так и пассивной атаки, позволяющей заполучить PIN-код устройства и в дальнейшем осуществить соединение с данным устройством. Пассивная атака позволяет соответствующе экипированному злоумышленнику «подслушать» (sniffing) процесс инициализации соединения и в дальнейшем использовать полученные в результате прослушки и анализа данные для установления соединения (spoofing). Естественно, для проведения данной атаки злоумышленнику нужно находиться в непосредственной близости и непосредственно в момент установления связи. Это не всегда возможно. Поэтому родилась идея активной атаки. Была обнаружена возможность отправки особого сообщения в определённый момент, позволяющего начать процесс инициализации с устройством злоумышленника. Обе процедуры взлома достаточно сложны и включают несколько этапов, основной из которых — сбор пакетов данных и их анализ. Сами атаки основаны на уязвимостях в механизме аутентификации и создания ключа-шифра между двумя устройствами.

Также возможны атаки на передачу данных по технологии Bluetooth:

Атака на сопряжение - Если злоумышленнику удалось прослушать эфир и во время процедуры сопряжения он перехватил и сохранил все сообщения, то далее найти PIN можно используя перебор.

Атака на пересопряжение - Если процесс сопряжения уже начат и данные упущены, провести атаку невозможно. Но если устройства уже успели связаться, сохранили ключ Kab и приступили к взаимной аутентификации, можно заставить устройства заново инициировать процесс сопряжения, чтобы провести вышеописанную атаку на сопряжение.

Подбор PIN может быть произведен в реальном времени. Результаты, полученные на Pentium IV (3 ГГц):

Длина (знаков)	Время (сек)
4	0,063
5	0,75
6	7,609

Увеличение длины PIN-кода не позволяет избавиться от этой уязвимости. Только сопряжение устройств в безопасном месте может частично защитить от описанных атак. Отладка и контроль соответствия стандарту осложняется активными соседями по диапазону (например, Wi-Fi).

Технология "RFID"

- Логотип RFID

RFID (англ. Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация) — способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках. Любая RFID-система состоит из считывающего устройства (считыватель, ридер) и транспондера (он же RFID-метка, иногда также применяется термин RFID-тег).

По дальности считывания RFID-системы можно подразделить на системы:

ближней идентификации (считывание производится на расстоянии до 20 см);

идентификации средней дальности (от 20 см до 5 м);

дальней идентификации (от 5 м до 300 м).

С введением RFID-меток в повседневную жизнь связан ряд проблем. Например, потребители, не обладающие считывателями, не всегда могут обнаружить метки.

По типу источника питания RFID-метки делятся на:

Пассивные

Активные

Полупассивные

Пассивные RFID-метки не имеют встроенного источника энергии. Электрический ток, индуцированный в антенне электромагнитным сигналом от считывателя, обеспечивает достаточную мощность для функционирования кремниевого чипа, размещённого в метке, и передачи ответного сигнала. Компактность RFID-меток зависит от размеров внешних антенн, которые по

размерам превосходят чип во много раз и, как правило, определяют габариты меток.

Активные RFID-метки обладают собственным источником питания и не зависят от энергии считывателя, вследствие чего они читаются на дальнем расстоянии, имеют бóльшие размеры и могут быть оснащены дополнительной электроникой. Однако, такие метки наиболее дороги, а у батарей ограничено время работы. Активные метки обычно имеют гораздо больший радиус считывания (до 300 м) и объём памяти, чем пассивные, и способны хранить больший объём информации для отправки приёмопередатчиком.

Полупассивные RFID-метки, также называемые полуактивными, очень похожи на пассивные метки, но оснащены батареей, которая обеспечивает чип энергопитанием. При этом дальность действия этих меток зависит только от чувствительности приёмника считывателя и они могут функционировать на большем расстоянии и с лучшими характеристиками.

Виды считывателей:

- Стационарные:

- MOTOROLA ZEBRA FX9500

Стационарные считыватели крепятся неподвижно на стенах, дверях, движущихся складских устройствах. Они могут быть выполнены в виде замка́, вмонтированы в

стол или закреплены рядом с конвейером на пути следования изделий.

- Мобильные:

-CLOU CL7202G1

Обладают сравнительно меньшей дальностью действия и зачастую не имеют постоянной связи с программой контроля и учёта. Мобильные считыватели имеют внутреннюю память, в которую записываются данные с прочитанных меток (потом эту информацию можно загрузить в компьютер) и, как и стационарные считыватели, способны записывать данные в метку (например, информацию о произведённом контроле).

Преимущества радиочастотной идентификации:

Возможность перезаписи. Данные RFID-метки могут перезаписываться и дополняться много раз, тогда как данные на штрих-коде не могут быть изменены — они записываются сразу при печати.

Отсутствие необходимости в прямой видимости. RFID-считывателю не требуется прямая видимость метки, чтобы считать её данные.

Большее расстояние чтения. RFID-метка может считываться на значительно большем расстоянии, чем штрих-код. В зависимости от модели метки и считывателя, радиус считывания может составлять до нескольких сотен

метров. В то же время подобные расстояния требуются не всегда.

Больший объём хранения данных. RFID-метка может хранить значительно больше информации, чем штрих-код.

Поддержка чтения нескольких меток. Промышленные считыватели могут одновременно считывать множество (более тысячи) RFID-меток в секунду. Устройство считывания штрих-кода может единовременно сканировать только один штрих-код.

Считывание данных метки при любом её расположении. В целях обеспечения автоматического считывания штрихового кода, комитеты по стандартам разработали правила размещения штрих-меток на товарной и транспортной упаковке. К радиочастотным меткам эти требования не относятся. Единственное условие — нахождение метки в зоне действия считывателя.

Устойчивость к воздействию окружающей среды. Существуют RFID-метки, обладающие повышенной прочностью и сопротивляемостью жёстким условиям рабочей среды, а штрих-код легко повреждается (например, влагой или загрязнением). Пассивные RFID-метки имеют практически неограниченный срок эксплуатации.

Многоцелевое использование. RFID-метка может использоваться для выполнения других задач, помимо функции носителя данных. Штрих-код же не программируем и является лишь средством хранения данных.

Высокая степень безопасности. Уникальное неизменяемое число-идентификатор, присваиваемое метке при производстве, гарантирует высокую степень защиты меток от подделки. Также данные на метке могут быть зашифрованы. Радиочастотная метка обладает возможностью закрыть паролем операции записи и считывания данных, а также зашифровать их передачу. В одной метке можно одновременно хранить открытые и закрытые данные.

Недостатки радиочастотной идентификации:

Работоспособность метки утрачивается при частичном механическом повреждении;

Высокая стоимость системы;

Сложность самостоятельного изготовления;

Подверженность помехам в виде электромагнитных полей.

Эксперты по безопасности настроены против использования технологии RFID для аутентификации людей, основываясь на риске кражи идентификатора. Например, атака «человек посередине» делает возможным атакующему в реальном времени украсть идентификатор личности. На данный момент, из-за ограничений в ресурсах RFID меток, теоретически не представляется возможным защитить их от таких моделей атак, поскольку это потребует сложных протоколов передачи данных.

Технология "NFC"

- Логотип NFC

Near field communication, NFC («коммуникация ближнего поля», «ближняя бесконтактная связь») — технология беспроводной передачи данных малого радиуса действия, которая дает возможность обмена данными между устройствами, находящимися на расстоянии около 10 сантиметров; анонсирована в 2004 г.

Эта технология — простое расширение стандарта бесконтактных карт (ISO 14443), которое объединяет интерфейс смарт-карты и считывателя в единое устройство. *ISO/IEC 14443 — стандарт, описывающий частотный диапазон, метод модуляции и протокол обмена бесконтактных пассивных карт (RFID) ближнего радиуса действия (до 10 см) на магнитосвязанных индуктивностях.

NFC нацелена прежде всего на использование в цифровых мобильных устройствах.

Конструкция: NFC — это беспроводная короткодистанционная технология, которая работает на расстоянии не более 10 сантиметров. NFC работает на частоте 13,56 МГц. NFC всегда включает инициатор и цель; инициатор активно генерирует радиочастотное поле, которое может влиять на пассивную цель. Также возможна NFC-связь между двумя устройствами при условии, что оба устройства включены.

Технология NFC в настоящее время главным образом нацеливается на использование в мобильных телефонах и планшетах. Существует три основных области применения NFC:

эмуляция карт: устройство NFC ведет себя как существующая бесконтактная карта;

режим считывания: устройство NFC является активным и считывает пассивную RFID-метку, например, для интерактивной рекламы;

режим P2P: два устройства NFC вместе связываются и обмениваются информацией.

В настоящее время существует некоммерческая ассоциация "NFC Forum", основанная 18 марта 2004 года компаниями NXP Semiconductors, Sony и Nokia, чтобы продвигать использование NFC в бытовой электронике, мобильных устройствах и персональных компьютерах.

Главные плюсы технологии NFC:

быстрота установки связи между объектами (процесс занимает доли секунды);

малый размер устройства;

низкий уровень энергопотребления.

Благодаря этим особенностям NFC-датчики можно интегрировать в небольшие по размеру гаджеты.

Стоит отметить, что скорость передачи информации по этому протоколу связи достаточно низкая, а объем данных невелик.

Стандарт связи NFC позволяет передавать следующие виды информации:

ссылки на веб-страницы;

координаты местоположения и маршрут на карте;

контакты;

ссылки на приложения.

Обоснование выбора технологии NFC для создания системы идентификации человека, находящегося в бессознательном состоянии

Преимущества технологии NFC

Исходя из рассмотренных выше беспроводных технологий передачи данных, технология NFC обладает рядом преимуществ.

Технология NFC прежде всего нацелена на использование в цифровых мобильных устройствах.

Продажи смартфонов, поддерживающих технологию NFC, в 2017 г. по сравнению с 2016 г. выросли в России на 60%. В 2017 г. на руках у пользователей в России было около 18 млн смартфонов с NFC. Продажи NFC-смартфонов растут, поскольку производители по умолчанию устанавливают в новые модели NFC-модули. Таким образом, смартфон с установленным модулем NFC, является наиболее простым, удобным и оперативным способом считывания информации, заложенной в метке NFC.

Как и в случае со стандартом ISO/IEC 14443, дальность действия NFC всего 5–10 см, но разница в том, что чип NFC способен выполнять функцию тега и считывателя одновременно.

Благодаря тому, что чип NFC способен передавать данные в обе стороны и не требует аутентификации устройств, как в случае применения технологии Bluetooth, достаточно просто приложить смартфон к носителю метки, что сильно упрощает взаимодействие с NFC меткой.

Низкая стоимость NFC меток и возможность установки метки в различные носители такие, как: карточки, браслеты, наклейки и т.п.

В случае применения в качестве носителя метки силиконового браслета, метка защищена от внешних

воздействий и неблагоприятных погодных условий (механическое воздействие, снег, дождь).

Технически NFC метка - это микрокомпьютер. В нем есть процессор, оперативная и постоянная память, однако нет источника питания. Питания он получает при помощи электромагнитной индукции, которая возникает между антеннами считывателя и метки. Антенна занимает около 99% площади метки и передает данные на частоте 13,56 МГц со скоростью 106, 212, или 424 Кбит/с.

Безопасность передачи данных при использовании технологии NFC

Метки NFC подвержены следующим видам угроз.

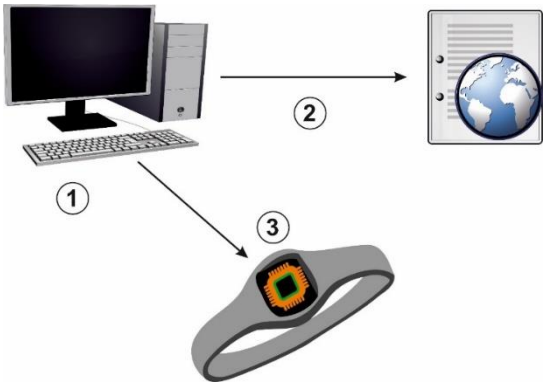
Уязвимость	Атака	Методы снижения риска	Влияние на стоимость конечного продукта
Модификация данных	Замена метки на другую с измененными данными	Цифровая подпись NFC Forum RTD	Не влияет на стоимость
Разрушение	Физическая порча или разрушение	Использование физической защиты, например силиконовый браслет	Меры физической защиты увеличивают стоимость
Ограничение доступа к данным	Получение доступа к конфиденциальной информации	Шифрование данных или защита паролем	Использование алгоритма шифрования увеличивает стоимость
Перехват данных	Перехват при передаче данных	Шифрование данных, крипто-механизмы, цифровая подпись	Использование алгоритма шифрования увеличивает стоимость

2.3 Идентификация пациента с использованием NFC метки и веб-сайта

Наряду с явными преимуществами технологии NFC есть и существенный недостаток – изначальное отсутствие программ для обработки информации, полученной с метки. Однако, для цели идентификации человека, находящегося в бессознательном состоянии, технология NFC позволяет задействовать веб-интерфейс, что в данном случае является наиболее удобным способом отображения

информации на считывателе (смартфоне). Также использование веб-интерфейса позволяет уменьшить количество информации, записанной в метке, что ведет к применению NFC меток с малым количеством памяти. Таким образом, данный способ обеспечит меньшую стоимость NFC тегам.

Схема внесения данных для взаимодействия с меткой NFC



Рабочее место врача, принявшего решение о выдаче пациенту NFC браслета.

Внесение данных пациента в базу через личный кабинет врача на веб-сайте.

Внесение уникальной ссылки WEB страницы пациента в браслет NFC.

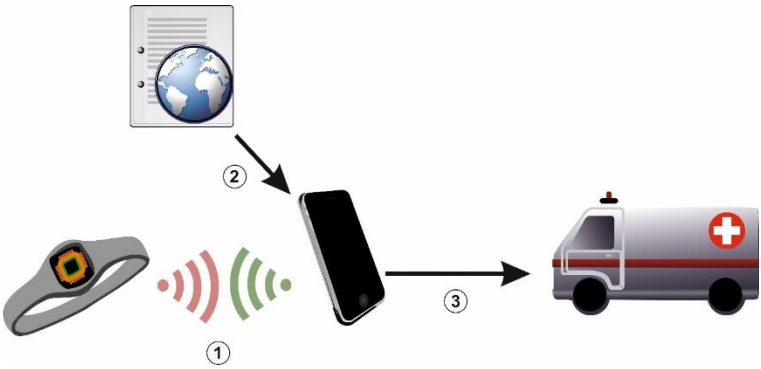
Предложен следующий алгоритм действий для выполнения поставленной цели.

Врач, который по показаниям пациента принимает решения для выдачи ему браслета NFC, заносит данные о пациенте через специальную форму на веб-сайте. Ссылка

на личную страницу имеет уникальный номер. Личные данные состоят из:

ФИО пациента
Год рождения
Диагноз
Контактные данные родных и близких лиц пациента, которым можно сообщить информацию
ФИО, должность врача
Дата выдачи браслета NFC

Схема организации идентификации пациента с помощью метки NFC



1) Считывание данных смартфоном с метки NFC (на смартфоне должен быть включен NFC и мобильный трафик передачи данных).
2) Отображение личной страницы пациента с данными о нем браузером, установленным на смартфоне.

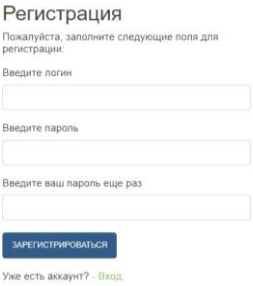
3) Вызов скорой помощи и сообщение необходимых данных о найденном пациенте.

Создание веб-сайта и программирование метки для взаимодействия с ним

Веб-сайт был написан на PHP (скриптовый язык общего назначения, применяемый для разработки веб-приложений). Используемая СУБД (система управления базами данных) – MySQL.

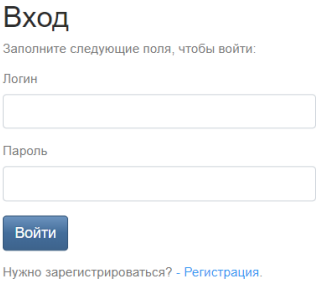
Структурно сайт состоит из: системы регистрации и входа врачей, личного кабинета врача, базы данных пациентов, страницы отображения данных конкретного пациента.

Система регистрации для доступа врачей в личный кабинет



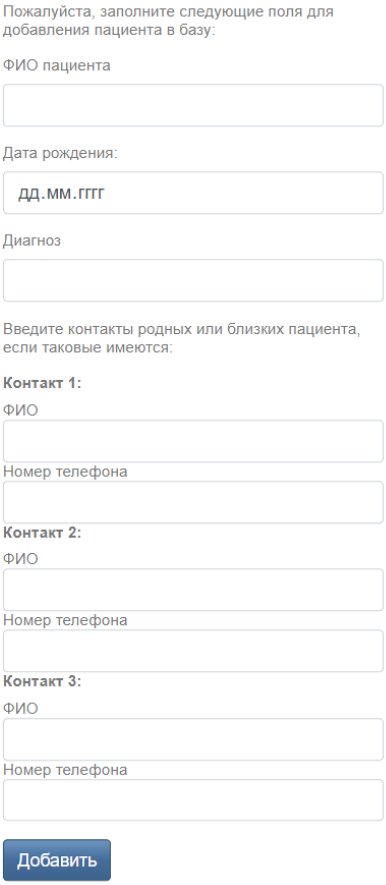
Код страницы регистрации (см. приложение А).

3.2 Система входа врачей в личный кабинет



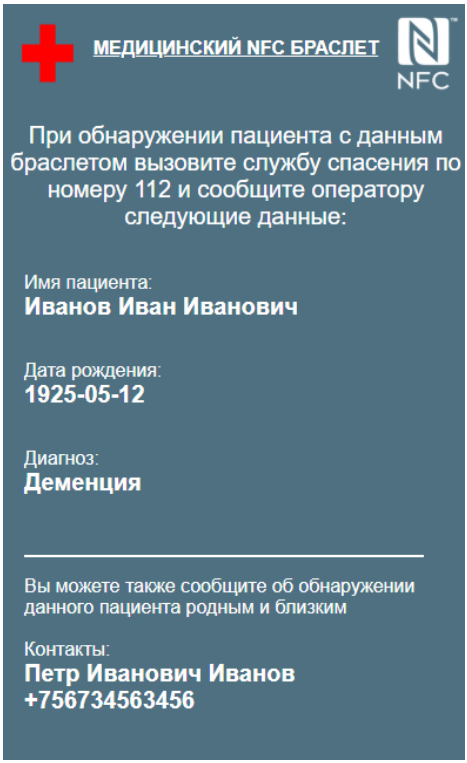
Код страницы входа в личный кабинет (см. приложение Б).

3.3 Личный кабинет врача



Код страницы личного кабинета врача (см. приложение В).

3.4 Пример страницы, отображающей данные о конкретном пациенте (носителе браслета NFC) на смартфоне



Блок-схема скрипта страницы, отображающей данные пациента:

Код страницы, отображающей данные пациента (см. приложение Г).

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

Целью практической части работы являлось тестирование корректного вывода данных пациента на экран смартфона при его взаимодействии с меткой NFC.

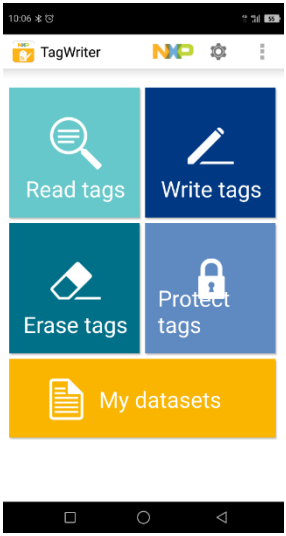
Для выполнения поставленной цели, были приобретены 2 браслета NFC (стандарта ISO/IEC 14443

Type A) производителя NXP Semiconductors (Germany), зарегистрирован домен med-nfc.ru и размещен веб-сайт с базой данных.

В качестве устройства для программирования метки NFC был использован смартфон с установленной программой "TagWriter"

После входа с персонального компьютера на страницу личного кабинета врача, был осуществлен ввод демонстрационных данных двух виртуальных пациентов. Каждому пациенту автоматически был присвоен уникальный идентификационный номер и созданы web-страницы с их данными.

Далее при помощи программы "TagWriter" было осуществлено программирование браслетов NFC.



Скриншот программы "TagWriter"

В результате, при сканировании браслетов смартфоном с включенным модулем NFC и модулем передачи данных, на смартфоне автоматически включался браузер установленный в системе по умолчанию, осуществлялся переход по ссылке считанной с метки NFC, и браузер отображал данные о виртуальном пациенте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Получение первичных идентификационных данных о человеке, страдающем какими-либо хроническими заболеваниями и оперативная передача их в службу спасения является в большинстве случаев информацией необходимой для оказания качественной медицинской помощи.

На основе проведенного анализа беспроводных технологий для передачи данных был сделан вывод о целесообразности применения технологии NFC для задачи идентификации людей, находящихся в бессознательном состоянии.

Использование смартфонов, оборудованных модулем NFC, в качестве универсального средства получения данных является актуальным методом в связи с дальнейшим развитием беспроводных сетей. А использование веб-интерфейса позволяет получать информацию без использования какого-либо дополнительного программного обеспечения.

Данный метод получения идентификационных данных может быть применен не только для оказания срочной медицинской помощи, но и для идентификации

пожилых людей, страдающих потерей памяти. По данным поисково-спасательного отряда "Лиза Алерт" ежегодно в Российской Федерации пропадает без вести около 100000 человек, большинство из которых пожилые люди. В данном случае использование технологии NFC позволит идентифицировать человека и передать информацию о его обнаружении спасателям и родственникам.

Использование веб-интерфейса в дальнейшем может позволить организовать онлайн вызов спасателей и автоматическую передачу данных о носителе NFC браслета. В России в мае 2017 года вступил в силу Приказ Минкомсвязи России "Об утверждении Правил определения места нахождения пользовательского оборудования(оконечного оборудования), с которого были осуществлены вызов или передача сообщения о происшествии по единому номеру вызова экстренных оперативных служб "112", и Порядка предоставления и объёма информации, необходимой для обеспечения реагирования по вызову или сообщению о происшествии по единому номеру вызова экстренных оперативных служб "112" ".

Данную систему постепенно вводят в различных регионах – с первого июня 2017 года она уже была запущена в Московской области, а, например, в Воронеже работает с декабря 2017.

После звонка абонента мобильной связи на номер службы спасения "112" система получает идентификатор оператора связи, шлет ему запрос о локации позвонившего абонента, и оператор передает в систему координаты с учетом погрешности. Информационная подсистема 112 визуализирует полученные данные на карте.

Система идентификации с помощью меток NFC и использовании информационной подсистемы 112 позволит значительно снизить время реагирования служб спасения.

Веб интерфейс взаимодействия с меткой NFC и введение электронных медицинских карт позволит в дальнейшем сообщать медикам всю необходимую информацию о носителе метки NFC. Таким образом, дальнейшие исследования могут быть связаны с вопросами надёжной защиты передаваемой информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Скорая медицинская помощь : национальное руководство / под ред. С. Ф. Багненко, М. Ш. Хубутия, А. Г. Мирошниченко, И. П. Миннуллина. — М. : ГЭОТАР-Медиа, 2018. — 888 с.: ил. — (Серия «Национальные руководства»),

Bluetooth: технология и ее применение https://www.ixbt.com/mobile/review/bluetooth-2.shtml

Все, что вы хотели узнать о RFID-технологии

http://www.rst-invent.ru/faq/

https://nfc-forum.org.

Н.Елисеев Технология NFC – возможности и применения

http://www.electronics.ru/journal/article/2954

Технология NFC в смартфонах и ее практическое использование

https://www.ixbt.com/mobile/nfc-2013.shtml

Изучаем PHP 7: руководство по созданию интерактивных веб-сайтов.

: Пер. с англ. — СпБ. : ООО “Альфа-книга”, 2017. — 464 с. : ил. — Парал. тит. англ.

https://lizaalert.org

Приказ Минкомсвязи России №607 от 01.12.2016

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Код страницы регистрации.

```
<?php
require_once "config.php";

$username = $password = $confirm_password = "";
$username_err = $password_err = $con-
firm_password_err = "";

if($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POS
T"){
   $current_username =
trim($_POST["username"]);

   if(empty($current_username)){
      $username_err = "Please enter a username.";
   } else{
      $sql = "SELECT id FROM users WHERE
username = ?";

      if($stmt = mysqli_prepare($connection, $sql)){
         mysqli_stmt_bind_param($stmt, "s",
$param_username);

         $param_username =
trim($_POST["username"]);

         if(mysqli_stmt_execute($stmt)){
            mysqli_stmt_store_result($stmt);

            if(mysqli_stmt_num_rows($stmt) == 1){
```

```
                $username_err = "Такой логин уже
существует.";
            } else{
                $username =
trim($_POST["username"]);
            }
        } else{
            echo "Something went wrong.";
        }
    }

    mysqli_stmt_close($stmt);
}

$current_password = trim($_POST["password"]);

if(empty($current_password)){
    $password_err = "Вы должны ввести
пароль.";
} elseif(strlen(trim($_POST["password"])) < 6){
    $password_err = "Минимальное количество
символов в пароле: 6";
} else{
    $password = trim($_POST["password"]);
}

$current_confirm_password =
trim($_POST["confirm_password"]);
// Validate confirm password
if(empty($current_confirm_password)){
    $confirm_password_err = "Пожалуйста
```

```
подтвердите ваш пароль.";
    } else{
        $confirm_password =
trim($_POST["confirm_password"]);
        if(empty($password_err) && ($password !=
$confirm_password)){
            $confirm_password_err = "Введененные
пароли не соответствуют друг другу";
        }
    }


        // Проверка всех строк с ошибками на
    заполненность перед отправкой запроса в
    базу данныхе
        if(empty($username_err) && emp-
    ty($password_err) && emp-
    ty($confirm_password_err)){

            $sql = "INSERT INTO users (username,
    password) VALUES (?, ?)";
            if($stmt = mysqli_prepare($connection,
    $sql)){
                mysqli_stmt_bind_param($stmt, "ss",
    $param_username, $param_password);

                $param_username = $username;
                $param_password = $password;

                if(mysqli_stmt_execute($stmt)){
                    header("location: login.php");
```

```
            } else{
                echo "Something went wrong. Please
try again later.";
            }
        }
        mysqli_stmt_close($stmt);
    }

    // закрываем соединение с базой данных
    mysqli_close($connection);
}
?>

<!DOCTYPE html>
<html lang="ru">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Регистрация</title>
    <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.
boot-
strapcdn.com/bootswatch/4.2.1/sandstone/bootst
rap.min.css">
    <style type="text/css">
        body{ font: 14px sans-serif; }
        .wrapper
        {
            width: 380px;
            padding: 20px;
            margin: auto;
            position: absolute;
            top: 50%;
```

```
            left: 50%;
            margin-right: -50%;
            transform: translate(-50%, -50%);
        }
    </style>
</head>
<body>
    <div class="wrapper">
        <h2>Регистрация</h2>
        <p>Пожалуйста, заполните следующие поля для регистрации: </p>
        <form action="<?php echo htmlspecialchars($_SERVER["PHP_SELF"]); ?>" method="post">
            <div class="form-group <?php echo (!empty($username_err)) ? 'has-error' : ''; ?>">
                <label>Введите логин</label>
                <input type="text" name="username" class="form-control" value="<?php echo $username; ?>">
                <span class="help-block"><?php echo $username_err; ?></span>
            </div>
            <div class="form-group <?php echo (!empty($password_err)) ? 'has-error' : ''; ?>">
                <label>Введите пароль</label>
                <input type="password" name="password" class="form-control" value="<?php echo $password; ?>">
                <span class="help-block"><?php echo $password_err; ?></span>
```

```
            </div>
            <div class="form-group <?php echo
(!empty($confirm_password_err)) ? 'has-
error' : ''; ?>">
                <label>Введите ваш пароль еще
раз</label>
                <input type="password"
name="confirm_password" class="form-
control" value="<?php echo $con-
firm_password; ?>">
                <span class="help-block"><?php echo
$confirm_password_err; ?></span>
            </div>
            <div class="form-group">
                <input type="submit" class="btn btn-
primary" value="Зарегистрироваться">
            </div>
            <p>Уже есть аккаунт?
<a href="login.php"> - Вход</a>.</p>
        </form>
    </div>
</body>
</html>
```

Приложение Б. Код страницы входа в личный кабинет.

```
        <?php
// Инициализация сессии
session_start();

// Проверка на сессию
```

```
if(isset($_SESSION["loggedin"]) &&
$_SESSION["loggedin"] === true){
    header("location: personal_area.php");
    exit;
}

// Инклуд файла с информацией о базе данных, чтобы
использовать их ввиде констант
require_once "config.php";

// Инициализация переменных
$username = $password = "";
$username_err = $password_err = "";

if($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST"){
    $current_username = trim($_POST["username"]);
    // Проверка поля логина на заполненость
    if(empty($current_username)){
        $username_err = "Пожалуйста, введите логин.";
    } else{
        $username = trim($_POST["username"]);
    }

    $current_password = trim($_POST["password"]);
    // Проверка пароля из поля на заполненость
    if(empty($current_password)){
        $password_err = "Пожалуйста, введите ваш пароль.";
    } else{
        $password = trim($_POST["password"]);
    }
```

```
    // Проверка строк с ошибками
    if(empty($username_err) && empty($password_err)){
        // Запрос в базу данных
        $sql = "SELECT id, username, password FROM users
WHERE username = ?";

        if($stmt = mysqli_prepare($connection, $sql)){

            mysqli_stmt_bind_param($stmt, "s",
$param_username);

            $param_username = $username;

            if(mysqli_stmt_execute($stmt)){

                mysqli_stmt_store_result($stmt);

                // Проверка на логин в базе данных
                if(mysqli_stmt_num_rows($stmt) == 1){

                    mysqli_stmt_bind_result($stmt, $id, $username,
$hashed_password);
                    if(mysqli_stmt_fetch($stmt)){
                        if($password == $hashed_password){
                            // Инициализация сессии
                            session_start();

                            $_SESSION["loggedin"] = true;
                            $_SESSION["id"] = $id;
                            $_SESSION["username"] =
$username;
```

```
                        // Редирект в личный кабинет
                        header("location: personal_area.php");
                    } else{
                        // Пароль неверный
                        $password_err = "Пароль, введенный вами
неверный.";
                    }
                }
            } else{
                // Логина нет в базе данных
                $username_err = "Аккаунт с таким логин не был
найден.";
            }
        } else{
            echo "Oops! Something went wrong. Please try again
later.";
        }
    }

    mysqli_stmt_close($stmt);
  }

  mysqli_close($connection);
}
?>

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
```

```
    <title>Вход</title>
    <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootswatch/4.2.1/spacelab/bootstrap.min.css">
    <style type="text/css">
        body{ font: 14px sans-serif; }
        .wrapper
        {
            width: 380px;
            padding: 20px;
            margin: auto;
            position: absolute;
            top: 50%;
            left: 50%;
            margin-right: -50%;
            transform: translate(-50%, -50%);
        }
    </style>
</head>
<body>
    <div class="wrapper">
        <h2>Вход</h2>
        <p>Заполните следующие поля, чтобы войти:</p>
        <form action="<?php echo htmlspecialchars($_SERVER["PHP_SELF"]); ?>" method="post">
            <div class="form-group <?php echo (!empty($username_err)) ? 'has-error' : ''; ?>">
                <label>Логин</label>
                <input type="text" name="username" class="form-control" value="<?php echo $username; ?>">
                <span class="help-block"><?php echo $username_err; ?></span>
```

```
        </div>
        <div class="form-group <?php echo (!emp-
ty($password_err)) ? 'has-error' : ''; ?>">
            <label>Пароль</label>
            <in-
put type="password" name="password" class="form-control">
            <span class="help-block"><?php echo $pass-
word_err; ?></span>
        </div>
        <div class="form-group">
            <input type="submit" class="btn btn-
primary" value="Войти">
        </div>
        <p>Нужно зарегистрироваться?
<a href="registration.php"> - Регистрация</a>.</p>
    </form>
  </div>
</body>
</html>
```

Приложение В. Код страницы личного кабинета врача.

```
<?php
require_once "config.php";

// Инициализация сессии
session_start();

$full_name = "";
$birthday = "";
$diagnosis = "";
```

```
$contact1_name = "";
$contact1_phone = "";

$contact2_name = "";
$contact2_phone = "";

$contact3_name = "";
$contact3_phone = "";

$full_name_error = "";
$birthday_error = "";
$diagnosis_error = "";
$result_id = 0;

// Проверка на сессию
if(isset($_SESSION["loggedin"]) &&
$_SESSION["loggedin"] === true){
if($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST"){
if($result_id > 0)
{
header("location: personal_area.php");
    exit;
}

$full_name = trim($_POST["full_name"]);
    if(empty($full_name)){
    $full_name_error = "Пожалуйста, введите имя пациента";
    }
    $birthday = trim($_POST["birthday"]);
    if(empty($birthday)){
```

```
    $birthday_error = "Пожалуйста, введите дату рождения пациента";
    }
    $diagnosis = trim($_POST["diagnosis"]);
    if(empty($diagnosis)){
    $diagnosis_error = "Пожалуйста, введите Диагноз пациента";
    }

    if(empty($full_name_error) && empty($birthday_error) && empty($diagnosis_error)){
    $sql = "INSERT INTO patients (name, birthday, diagnosis, contact1_name, contact1_phone, contact2_name, contact2_phone, contact3_name, contact3_phone) VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?)";

    if($stmt = mysqli_prepare($connection, $sql)){
        mysqli_stmt_bind_param($stmt, "sssssssss", $param_name, $param_birthday, $param_diagnosis, $param_contact1_name, $param_contact1_phone,
         $param_contact2_name, $param_contact2_phone, $param_contact3_name, $param_contact3_phone);

        $contact1_name= trim($_POST["contact1_name"]);
$contact1_phone= trim($_POST["contact1_phone"]);
$contact2_name = trim($_POST["contact2_name"]);
$contact2_phone = trim($_POST["contact2_phone"]);
$contact3_name = trim($_POST["contact3_name"]);
$contact3_phone = trim($_POST["contact3_phone"]);

        // Set parameters
```

```
            $param_name = $full_name;
            $param_birthday = $birthday;
            $param_diagnosis = $diagnosis;
            $param_contact1_name = $contact1_name;
            $param_contact1_phone = $contact1_phone;
            $param_contact2_name = $contact2_name;
            $param_contact2_phone = $contact2_phone;
            $param_contact3_name = $contact3_name;
            $param_contact3_phone = $contact3_phone;

            // Attempt to execute the prepared statement
            if(mysqli_stmt_execute($stmt)){
             $sql = "SELECT id FROM patients WHERE name =
?";

        if($stmt2 = mysqli_prepare($connection, $sql)){
            // Bind variables to the prepared statement as parame-
ters
            mysqli_stmt_bind_param($stmt2, "s",
$param_username);

            // Set parameters
            $param_username = $full_name;

            // Attempt to execute the prepared statement
            if(mysqli_stmt_execute($stmt2)){
                // Store result
                mysqli_stmt_store_result($stmt2);
                mysqli_stmt_bind_result($stmt2, $temp_id);
                if(mysqli_stmt_fetch($stmt2)){
               $result_id = $temp_id;
```

```
            }
           }
        }
           } else{
              echo "Something went wrong. Please try again lat-
er.";
           }
       }
       else
       {
       mysqli_close($connection);
       }
    }
        // закрываем соединение с базой данных
   mysqli_close($connection);
}
}
else{
header("location: login.php");
    exit;
}
?>
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Личный кабинет</title>
    <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.c
om/bootswatch/4.2.1/spacelab/bootstrap.min.css">
    <style type="text/css">
        body{ font: 14px sans-serif; }
```

```
        .wrapper
        {
            width: 380px;
            padding: 20px;
            margin: auto;
            position: absolute;
            top: 50%;
            left: 50%;
            margin-right: -50%;
            transform: translate(-50%, -50%);
        }
    </style>
</head>
<body>
    <div class="wrapper">
    <?php if($result_id > 0) {?>
     <div class="form-group">
     <form action="<?php echo htmlspecial-
chars($_SERVER["PHP_SELF"]); ?>" method="post">
     <label>Пациент успешно добавлен. Уникальный номер:
<?php echo $result_id; ?></label>
            <input type="submit" class="btn btn-
primary" value="Вернуться в личный кабинет">
        </form>
     </div>
    <?php } else {  ?>
     <p>Пожалуйста, заполните следующие поля для
добавления пациента в базу: </p>
     <!-- ФИО, дата рождения, диагноз, контакты родных
или близких пациента-->
     <form action="<?php echo
```

```
htmlspecialchars($_SERVER["PHP_SELF"]); ?>"
method="post">
<!-- ФИО -->
<div class="form-group">
            <label>ФИО пациента</label>
            <input type="full_name" name="full_name"
class="form-control" value="<?php echo $full_name; ?>">
        </div>
<!-- Дата рождения -->
<div class="form-group">
    <label>Дата рождения: </label>
    <input type="date" id="birthday" name="birthday"
class="form-control" value="<?php echo $birthday; ?>">
</div>

    <!-- Диагноз -->
<div class="form-group">
    <label>Диагноз</label>
    <input type="diagnosis" name="diagnosis" class="form-
control" value="<?php echo $diagnosis; ?>">
</div>

<p>Введите контакты родных или близких пациента, если
таковые имеются: </p>
<!-- Контакты -->
<div class="form-group">
<b><label>Контакт 1:</label></b>
<br>
    ФИО
    <input type="contact1_name" name="contact1_name"
class="form-control" value="<?php echo $con-
```

```
tact1_name; ?>">
        Номер телефона
        <input type="contact1_phone" name="contact1_phone"
class="form-control" value="<?php echo $con-
tact1_phone; ?>">

        <b><label>Контакт 2:</label></b>
        <br>
        ФИО
        <input type="contact2_name" name="contact2_name"
class="form-control" value="<?php echo $con-
tact2_name; ?>">
        Номер телефона
        <input type="contact2_phone" name="contact2_phone"
class="form-control" value="<?php echo $con-
tact2_phone; ?>">

        <b><label>Контакт 3:</label></b>
        <br>
        ФИО
        <input type="contact3_name" name="contact3_name"
class="form-control" value="<?php echo $con-
tact3_name; ?>">
        Номер телефона
        <input type="contact3_phone" name="contact3_phone"
class="form-control" value="<?php echo $con-
tact3_phone; ?>">

</div>

        <div class="form-group">
```

```
            <input type="submit" class="btn btn-
primary" value="Добавить">
        </div>
    </form>
  <?php }?>
  </div>
</body>
</html>
```

Приложение Г. Код страницы, отображающей данные пациента.

```
        <?php
require_once "config.php";
$id = $_GET['id'];
$got_user_data = false;
$sql = "SELECT name, birthday, diagnosis, contact1_name,
contact1_phone, contact2_name, contact2_phone, con-
tact3_name, contact3_phone FROM patients WHERE id = ?";
if($stmt = mysqli_prepare($connection, $sql)){
mysqli_stmt_bind_param($stmt, "s", $id);
$param_username = $full_name;
if(mysqli_stmt_execute($stmt)){
mysqli_stmt_store_result($stmt);
mysqli_stmt_bind_result($stmt, $name, $birthday, $diagnosis,
$contact1_name, $contact1_phone, $contact2_name, $con-
tact2_phone, $contact3_name, $contact3_phone);
if(mysqli_stmt_fetch($stmt)){
$got_user_data = true;
}
}
```

```
}
mysqli_close($connection);
?>
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-
8" name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1" />
   <title>Информация о пациенте</title>
   <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.c
om/bootswatch/4.2.1/spacelab/bootstrap.min.css">
   <style type="text/css">
      body{
       font: 14px sans-serif;
       background: #4E7081;
      }
      .wrapper
      {
         width: 380px;
         padding: 20px;
         margin: auto;
         position: absolute;
         top: 50%;
         left: 50%;
         margin-right: -50%;
         transform: translate(-50%, -50%);
         background: #4E7081;
         color: #FFFFFF;
         font-size: 12pt;
      }
```

```
        .wrapper2
        {
        top: 2%;
        left: 50%;
        padding: 32px;
           text-align: center;
           color: #FFFFFF;
           font-size: 12pt;
        }
        .wrapper3
        {
        left: 50%;
           text-align: center;
           color: #FFFFFF;
           font-size: 15pt;
        }
        p {
font-size: 15pt;
font-weight: bold;
}
#logo1
{
right: 80%;
position: absolute;
border: 0px #000000 solid;
padding: 0px 0px 0px 0px;
top: 2%;
width: 20%;
height: 5%;
}
#logo2
```

```
{
left: 80%;
position: absolute;
border: 0px #000000 solid;
padding: 0px 0px 0px 0px;
top: 1%;
width: 20%;
height: 10%;
}
br2 {
  display: block;
  margin: 22px 0;
}
hr {
  border: none;
  color: white;
  background-color: white;
  height: 2px;
}
   </style>
</head>
<body>
<div class="wrapper2">
<strong><u>МЕДИЦИНСКИЙ NFC
БРАСЛЕТ</u></strong>
</div>
<br2>
<div class="wrapper3">
При обнаружении пациента с данным браслетом вызовите
службу спасения по номеру 112 и сообщите оператору
следующие данные:
```

```
</div>
<img src="img/logo1.png" id="logo1" alt=""></div>
<img src="img/logo2.png" id="logo2" alt=""></div>
<br>
<div class="wrapper">
Имя пациента:<br><p><?php echo $name ?></p>
<br>
Дата рождения:<br><p><?php echo $birthday ?></p>
<br>
Диагноз:<br><p><?php echo $diagnosis ?></p>
<br>
<hr>
Вы можете также сообщите об обнаружении данного
пациента родным и близким
<br><br>
Контакты:
<p>
<?php echo $contact1_name ?> <?php echo $contact1_phone
?>
<br>
<?php echo $contact2_name ?> <?php echo $contact2_phone
?>
<br>
<?php echo $contact3_name ?> <?php echo $contact3_phone
?>
</p>
</div>
</body>
</html>
```

СЕКЦИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ВАЛА ТОПЛИВНОГО НАСОСА АВТОМОБИЛЯ

Савин Алексей Александрович

ГБОУ школа 1501
Научный руководитель:
Шевченко Светлана Юрьевна
МГТУ им. Баумана, Доцент кафедры материаловедения «МТ8»

ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования является топливный насос высокого давления (ТНВД) автомобиля.

Предметом исследования являются причины и характер разрушения вала ТНВД.

Целью работы является изучение характеристик, свойств втулки и вала ТНВД, характер их разрушения для объяснения причин и выдачи рекомендаций к эксплуатации.

Во время работы были исследованы физические и химические свойства данных деталей с помощью создания шлифа с образцами этих деталей в месте деформации. Были получены данные о твѐрдости каждой детали до поломки и после, на основе чего были построены графики, из которых можно было видеть, что в местах взаимодействия деталей твѐрдость каждой из них увеличилась по сравнению с нормальной твѐрдостью.

Была исследована микроструктура каждого образца с возможностью точечно определить химический анализ. В результате было получено, что гальваническое покрытие с вала после взаимодействия перешло частично и на втулку.

Так же было проведено исследование характера излома в месте отлома вала от втулки, после чего можно утверждать, что он является хрупким.

После всех исследований вала и втулки ТНВД можно сказать, что данный тип деформации произошел из-за трения, произошедшего в результате попадания в рабочую часть посторонних частиц. А при следующем пуске вал не смог провернуться и его отломало, о чѐм говорит хрупкий тип излома.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Виды ТНВД

Существует несколько типов ТНВД, но все они выполняют одну задачу - доставка в нужное время и под нужным давлением топлива в камеру сгорания (КС).

ТНВД бывают:

-рядные;

-распределительные;

-магистральные.

Все эти типы имеют основные детали – это плунжер с втулкой (плунжерная пара) и форсунки.

1. Рядный ТНВД

В данном типе ТНВД каждой форсунке соответствует своя плунжерная пара, которая нагнетает в неѐ топливо. Количество таких соединений равно количеству цилиндров у двигателя и все они располагаются в один или несколько рядов. Каждый плунжер совершает поступательные движения, приводясь в действие кулачками, которые расположены на коленчатом валу, а обратное его возвращение обеспечивает пружина. Регулировка подачи топлива здесь происходит за счѐт поворота плунжера, в котором имеется винтообразная проточка, а во втулке находятся два отверстия - впускное и выпускное, причѐм первое находится ниже второго. При сжатии топлива до определѐнного значения отверстие на втулке совпадает с отверстием на плунжере, при этом падает давление, и топливо перестаѐт подаваться в форсунки.

2. Распределительный ТНВД

В данном виде ТНВД количество плунжерных пар может быть разным (от 1 до 2) . Они обеспечивают подачу топлива ко всем форсункам.

Распределительные ТНВД разделяют на 2 вида:

2.1.торцевые;

2.2.роторные.

2.1. Торцевой Распределительный ТНВД

Из его главных частей можно выделить плунжерную пару и дозирующую муфту(6) (рис.1). Подсасывающий насос напрямую соединѐн с топливным баком, откуда закачивается топливо в топливную трубку (магистраль). Это топливо проходит через фильтр, тем самым очищаясь от крупных частичек парафина для того, чтобы эти частички не загрязняли ТНВД. После очистки топливо идѐт в плунжер(4), в котором имеется пространство для топлива. Плунжер совершает поступательно-вращательные движения за счѐт того, что прикреплѐн к специальной шайбе с кулачками, количество которых напрямую зависит от количества цилиндров в двигателе. При одном движении топливо под небольшим давлением заходит внутрь плунжера, а при следующем (обратном) движении плунжера это топливо сжимается, тем самым достигается нужное давление для распыления топлива в камеру сгорания автомобиля.

Водитель может управлять количеством впрыскиваемого топлива в камеру сгорания путѐм нажатия педали газа. В месте, где плунжер входит в дозирующую муфту, расположено отверстие. Когда плунжер находится внутри дозирующей муфты, оно закрыто и давление внутри плунжера остаѐтся нужным для подачи его в форсунки, но при выходе плунжера из дозирующей муфты отверстие открывается, давление резко падает и топливо перестаѐт подаваться в форсунки. Расстояние, которое проходит плунжер до того момента, как выйдет из дозирующей муфты, называется «эффективный ход плунжера». Чем эффективный ход плунжера больше, тем больше топлива подается в камеру сгорания. Этим параметром и управляет водитель.

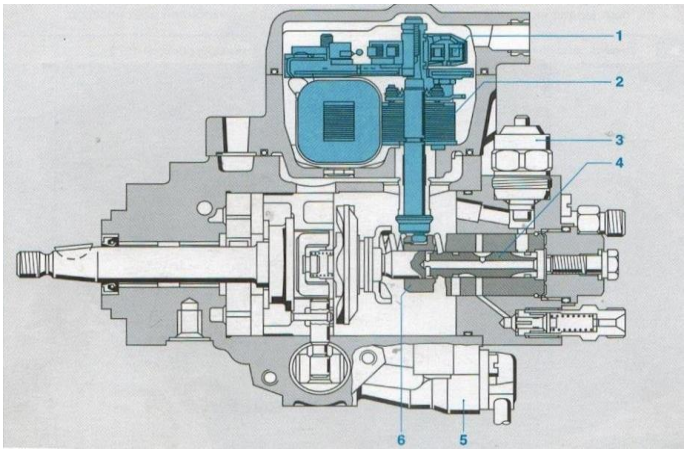


Рис.1 Торцевой распределительный ТНВД

2.2. Роторный Распределительный ТНВД

Здесь используется несколько плунжерных пар, которые располагаются радиально, друг напротив друга. В центре такой системы располагается пространство, куда закачивается топливо. Надплунжерное пространство объединено в единую камеру высокого давления. Во время вращения выступающие части плунжеров вдавливаются внутрь за счѐт набегания на выступы. Так происходит сжатие топлива, которое подаѐтся на форсунки.

3. Магистральный ТНВД

В данном случае нагнетательный насос качает топливо под большим давлением в специальную камеру, к которой подсоединены форсунки. В насосе располагаются плунжерные пары (1-3), которые выполняют функцию накачки топлива, а регулирование количества топлива и моменты впрыска берѐт на себя обязанность электронный блок управления автомобилем.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

Стали подразделяют по следующим признакам:

- химическому составу;
- качеству;

- назначению;
- способу раскисления;
- структуре.

По химическому составу стали делятся на углеродистые и легированные.

Углеродистые стали – стали, которые содержат железо, углерод и ряд примесей, например, кремний, марганец, никель, медь (в небольших количествах). Углеродистые стали делят на:

- низкоуглеродистые (<0,3 % C);
- среднеуглеродистые (0,3 % - 0,6 % C);
- высокоуглеродистые (>0,6 % C).

Легированные стали содержат, помимо железа, углерода и примесей, дополнительные легирующие элементы (хром, никель, марганец, ванадий, титан и др.). Такие элементы вводятся в процессе плавки для достижения более высоких прочностных свойств стали.

Качество стали определяется содержанием в ней вредных примесей (S, P, H, O, N), которые отрицательно влияют на физико-химические свойства стали.

По качеству стали подразделяются на:

- СТАЛИ ОБЫЧНОГО КАЧЕСТВА (0,045 - 0,065 % S, 0,04 - 0,07 % P)
- КАЧЕСТВЕННЫЕ СТАЛИ (<=0,04 % S , 0,035 - 0,04 % P)
- ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ СТАЛИ (<= 0,02% S, <= 0,025 % P)
- ОСОБОВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ СТАЛИ (<=0,015 % S, <= 0,025 % P)

По назначению стали делят на:

- КОНСТРУКЦИОННЫЕ;
- ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ;
- СПЕЦИАЛЬНЫЕ.

Конструкционные стали используют для изготовления деталей машин и приспособлений. К ним предъявляются требования по их составу, технологическим, эксплуатационным и механическим свойствам.

По технологическим признакам стали разделяют на:

- СТАЛИ ДЛЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ;
- ЛИТЕЙНЫЕ;
- ШТАМПУЕМЫЕ;
- ВЫСОКОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РЕЗАНИЕМ (АВТОМАТНЫЕ СТАЛИ).

Инструментальные стали должны удовлетворять высоким требованиям по прокаливаемости, красностойкости и прочности. Такие стали идут на изготовление режущего инструмента, штампов для деформирования в горячем или холодном состоянии и ударного инструмента.

Специальные стали должны обладать особыми характеристиками, например, существуют нержавеющие стали, магнитные, жаростойкие, с высоким электрическим сопротивлением, теплостойкие. Такие стали являются высоколегированными, то есть содержание в них легирующих элементов превышает 10 %.

По способу раскисления стали делят на:

- -КИПЯЩИЕ
- -СПОКОЙНЫЕ
- -ПОЛУСПОКОЙНЫЕ

При раскислении из стали, находящейся в жидком состоянии, удаляется оксид железа, который придаѐт стали склонность к коррозии , также удаляется азот и водород. Для этого в разливочный ковш добавляются кремний, марганец и алюминий в зависимости от степени раскисления. Спокойные стали раскисляют алюминием, марганцем и кремнием, кипящие стали раскисляют

марганцем, полуспокойные раскисляют марганцем и алюминием.

В отожжѐнном состоянии стали по структуре делятся на 4 типа:

1. перлитные, такие стали в зависимости от содержания углерода бывают доэвтектоидные (содержат в структуре феррит и перлит), эвтектоидные со структурой перлита, заэвтектоидные (содержат перлит и цементит);
2. ледебуритные (содержат ледебурит и первичные карбиды);
3. аустенитные (содержат в большом количестве никель или марганец, из-за чего решетка железа при любых температурах остается гранецентрированной кубической (ГЦК) и не превращается в объѐмноцентрированную кубическую (ОЦК));
4. ферритные (содержат в большом количестве хром и другие элементы с ОЦК решеткой, в таких сталях не происходит изменения типа решетки железа на ГЦК).

В нормализованном состоянии стали бывают:

- ферритные;
- мартенситные;
- аустенитные;
- перлитные.

ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛИ

Термическая обработка – обработка изделий из металлов и сплавов путем термического воздействия с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении.

Существуют следующие виды термообработки:

- закалка;
- отпуск;

- отжиг.

Закалка стали выполняется для увеличения прочности стали, повышения износостойкости. Операция закалки состоит из трѐх этапов:

1. нагрев до критической температуры;
2. выдержка при этой температуре;
3. резкое охлаждение.

При нагреве до определѐнной температуры кристаллическая решѐтка железа изменяет свою структуру, то есть из ОЦК переходит в ГЦК. В ОЦК решетке железа растворяется ничтожно малое количество углерода (до 0,02 %, такой твердый раствор называют ферритом), поэтому остальной углерод в стали при комнатной температуре присутствует в составе карбидов (например, цементита F_3C). ГЦК решетка железа способна растворить в себе весь углерод, который присутствует в стали. Такой твердый раствор называют аустенитом. После нагрева и выдержки сталь резко охлаждают в воде или же в масле. Быстрое охлаждение используют для того, чтобы атомы углерода, растворившиеся при нагреве в ГЦК решетке, не успели выделиться из нее при обратной перестройке решетки железа. В результате при закалке образуется мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в решетке железа, которая из-за присутствия избыточного углерода становится искаженной - не кубической, а тетрагональной (ОЦТ). Мартенсит имеет высокую твердость и прочность, но при его образовании объем стали изменяется (увеличивается), из-за чего после закалки в детали остаются внутренние напряжения (их называют остаточными), сталь становится более хрупкой.

Для решения этой проблемы используют операцию, называемую отпуском. После закалки деталь нагревают до определѐнной температуры, меньшей, чем температура закалки, и выдерживают определѐнное время. Во время

отпуска снимаются остаточные напряжения внутри стали, она становится более вязкой и менее твѐрдой.

Существует ещѐ одна операция, называемая отжигом. Еѐ применяют в тех случаях, когда сталь требуется обработать режущим инструментом. Сталь нагревают до температуры 800-900 градусов Цельсия, и после медленно охлаждают. После этого сталь хорошо поддаѐтся механической обработке.

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

Если при закалке стали изменяется структура всей закаливаемой детали, то при цементации происходит увеличение прочности только небольшого слоя на стали за счѐт обогащения его атомами углерода. Примечательно, что такую химико-термическую обработку обычно применяют для сталей с низким содержанием углерода (менее 0,2 %).

Для того чтобы насытить сталь углеродом, нужна среда, способная на выделение свободных атомов С, такие среды называют карбюризаторами. Они бывают твѐрдыми, жидкими или газообразными.

ЦЕМЕНТАЦИЯ В ТВѐРДОМ КАРБЮРИЗАТОРЕ

Смесь из древесного угля и солей угольной кислоты (только с щелочными металлами) засыпается в специальный ящик, куда помещают детали. После чего ящики герметизируют и совершается предварительный нагрев (800 °С), а затем нагрев до 950 °С. В таком состоянии ящики выдерживают длительное время (до 10 ч), после чего охлаждают. При выдержке атомы углерода высвобождаются из древесного угля и проникают в поверхностный слой детали.

ЖИДКАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ

Здесь в роли среды выступают расплавленные карбонаты щелочных металлов с низкой температурой плавления. Детали помещают в расплав, нагретый до 850 °С, после чего выдерживают и охлаждают.

ГАЗОВАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ

При газовой цементации детали, помещѐнные в печь, нагреваются до 950 °С, а затем в печь подают газ, содержащий углерод (метан или эндогаз). Иногда капельным путем подают во внутреннее пространство печи керосин или бензол. В процессе выдержки деталей происходит их диффузионное насыщение углеродом.

НАНЕСЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Гальваническое покрытие – слой покрытия одного металла на другом. Используется для увеличения прочности, износостойкости, коррозионной стойкости, иногда гальванические покрытия наносят в качестве декоративных.

В ванну с подогретым раствором электролита погружают два анода и деталь, на которую требуется нанести покрытие. Деталь является катодом. При включении в цепь аноды становятся избыточно положительно заряженными, а катод избыточно отрицательно заряженным. Так положительно заряженные ионы с анодов движутся через электролит к отрицательно заряженному катоду, оседая на нѐм поверхностным слоем. Схема гальванического хромирования приведена на рис. 2.

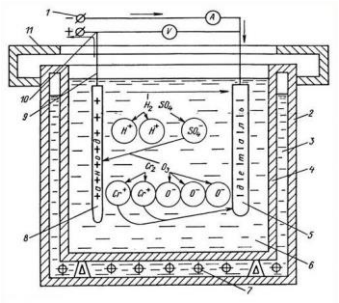


Рис. 2. Схема хромирования:

1 — электрическая шина катода; 2 — наружная стенка ванны; 3 — вода для подогрева электролита в ванне; 4 — внутренняя стенка ванны; 5 — катод (деталь); 6 — электролит; 7 —электроподогреватель; 8 — анод (свинцовая пластина); 9 — подвеска детали; 10 — электрическая шина анода (+); 11 — крышка ванны

ВИДЫ ИЗЛОМОВ

Излом - разрушение детали, вызванное низким качеством материала, дефектами изготовления, нарушением правил эксплуатации, случайными механическими повреждениями.

Виды изломов:

- Хрупкий излом (рис. 3)

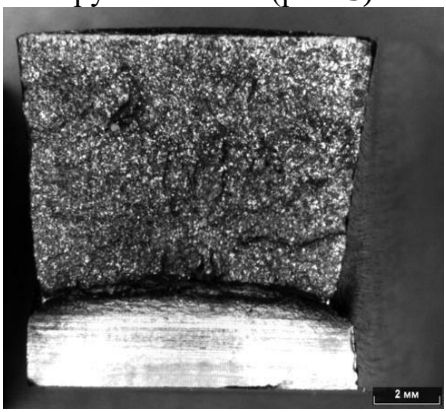


Рис.3 Хрупкий излом

Хрупкое разрушение характеризуется малыми затратами подводимой энергии. Начавшееся разрушение является самопроизвольным процессом, осуществляемым за счет накопленной в системе упругой энергии. Скорость распространения хрупкой трещины составляет около 0,4 от скорости звука в металле ($\sim 2 \cdot 10^3$ м/с).

- Хрупкая трещина — «острая», имеет малый угол раскрытия. В зоне разрушение практически не наблюдается следов пластической деформации.

Возникновению хрупкого разрушения способствуют наличие поверхностных дефектов, конструкционные просчеты (резкое изменение сечения, толстостенность деталей), низкая температура и ударные нагрузки при работе, крупнозернистость металла, выделение по границам зерен хрупких фаз, межзеренная коррозия.

- Вязкий излом (рис. 4)

Вязкое разрушение сопровождается значительной пластической деформацией и большой работой, затрачиваемой на разрушение. Необходим непрерывный внешний подвод энергии для преодоления пластической деформации. Образуется «тупая» трещина с большим углом раскрытия. Прочность межзеренных границ меньше прочности самих зерен. Поэтому при повышенных температурах разрушение обычно имеет межкристаллитный характер. Низкая скорость распространения вязкой трещины определяется скоростью приложения нагрузки.

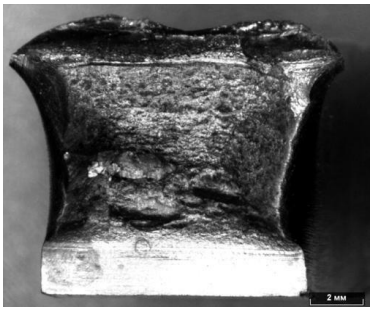


Рис.4 Вязкий излом

Излом имеет матовый волокнистый характер без металлического блеска. Электронно-микроскопическое исследование обнаруживает

«чашечное» строение излома (рис. 5).

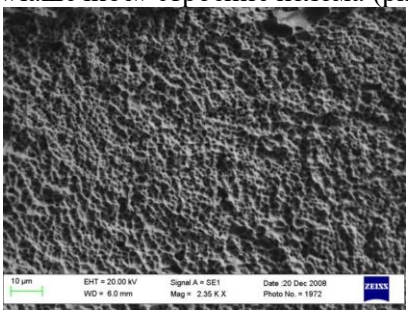


Рис.5

- Усталостный излом

Усталость – процесс постепенного накопления повреждений под действием циклической нагрузки, приводящий к уменьшению срока службы

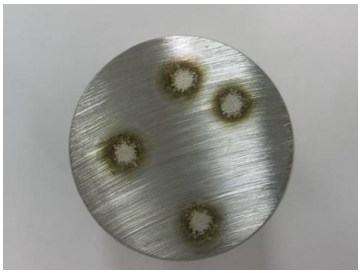
Усталостный излом образуется в результате длительного воздействия на металл циклически изменяющихся во времени напряжений и деформаций. Разрушение начинается на поверхности (или вблизи нее) локально, в местах концентрации напряжений (деформации). Усталостная трещина возникает в местах, где имеются концентраторы напряжений или дефекты.

Излом состоит из очага разрушения и двух зон – развития трещины и долома.

Зарождение усталостной трещины происходит, как правило, на поверхности или вблизи поверхности образцов или деталей, где напряжения от внешней нагрузки достигают максимальных значений. Трещины могут зарождаться на совершенно гладких полированных поверхностях, однако их возникновение в значительной степени облегчается при наличии концентраторов напряжения: неровностей от механической обработки, включений, точечной коррозии, локального износа и т. д.

ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для определения химического состава используется атомно- эмиссионный спектральный анализ. Основой спектрального анализа является свойство каждого химического элемента излучать характерный линейчатый спектр. Эмиссионный спектральный анализ проводят по спектрам испускания атомов, ионов или молекул, возбужденных различными способами. Задача качественного спектрального анализа сводится к отысканию линий определяемого элемента в спектре пробы. Доказательством того, что линия принадлежит данному элементу, являются длина волны и интенсивность линии.



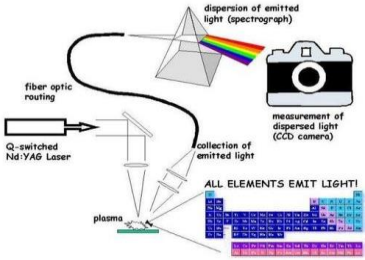


Рис.6 Следы спектрального анализа Рис.7 Принцип работы спектрометра

Принцип работы (рис. 7): для возбуждения эмиссионного спектра исследуемых элементов в пробе используется искровой электрический разряд между стержневым электродом и поверхностью исследуемого образца. Образуется плазма – совокупность возбужденных атомов, ионов и электронов. В ней последовательно проходят следующие процессы:

- испарение пробы;
- атомизация первоначальных продуктов испарения (молекул или ионов);
- возбуждение образовавшихся атомов; испускание света возбужденными атомами

Возникающее в ходе анализа полихроматическое излучение пробы фокусируют и направляют на входную щель прибора, где оно разлагается в спектр и регистрируется детектором.

МЕТОДИКИ И МАТЕРИАЛЫ

Объекты исследования

Объектами исследования являются вал и втулка ТНВД (рис.8 и рис.9)

Рис.8,9 Объекты исследования

Определение химического состава

Определение химического состава образцов проводили на искровом спектрометре Bruker Q4 Tasman(рис.10).

Рис.10

Исследование излома

Исследование излома проводилось на цифровом стереомикроскопе Olympus SZ61(Рис.11).

Рис.11

Подготовка образцов

Изготовление шлифов проводилось по стандартной методике с помощью оборудования из линейки пробоподготовки Struers:

- отрезной станок Discotom-6(Рис.12);

Рис.12

- пресс CitoPress-20 (Рис.13);

Рис.13

- полировальный станок Tegramin-30 (рис.14).

Рис.14 Травление образцов проводили в 3%-ном спиртовом растворе HNO_3.

Исследование микроструктуры

Исследование микроструктуры проводили с помощью микроскопа Olympus GX-51 при увеличениях 200 и 500 крат.

Измерение микротвѐрдости

Измерение микротвѐрдости проводили на микротвердомере DuraScan- 70 при нагрузке 100 г (рис.15).

Рис.15

Микрорентгеноспектральный анализ

Микрорентгеноспектральный анализ проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Phenom ProX (рис.16).

Рис.16

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение химического состава деталей

В таблицах 1 и 3 представлены результаты химического анализа деталей ТНВД.

Таблица 1. Химический состав материала вала

C,%	Si,%	Mn,%	P,%	S,%	Cr,%	Mo,%	Ni,%	Cu,%	Al,%
1.124	0.221	0.300	0.203	<0.150	1.493	0.039	0.113	0.150	0.025
1.120	0.216	0.301	0.307	<0.150	1.493	0.039	0.113	0.151	0.023
1.102	0.214	0.301	0.243	<0.150	1.499	0.039	0.108	0.146	0.025
1.100	0.188	0.294	0.278	<0.150	1.491	0.038	0.097	0.137	0.019
1.111	**0.210**	**0.299**	**0.258**	**<0.150**	**1.494**	**0.039**	**0.108**	**0.146**	**0.023**

После сравнения химического состава вала с марками отечественных сталей было определено, что материал вала по составу близок к стали ШХ15. В таблице 2 представлен химический состав стали ШХ15.

Таблица 2. Химический состав стали ШХ15 по ГОСТ 801-78

C,%	Cr,%	Cu,%	Mn,%	Ni,%	P,%	S,%	Si,%
0.95-1.05	1.30-1.65	? 0.25	0.20-0.40	? 0.30	? 0.027	? 0.020	0.17-0.37

Таблица 3. Химический состав материала втулки

C,%	Si,%	Mn,%	P,%	S,%	Cr,%	Mo,%	Ni,%	Cu,%	Al,%
0.237	0.209	0.676	0.215	<0.150	0.987	0.147	0.069	0.071	0.033
0.234	0.203	0.674	0.220	<0.150	0.982	0.146	0.064	0.069	0.030
0.226	0.200	0.668	0.227	<0.150	0.977	0.144	0.065	0.067	0.029
0.232	**0.204**	**0.673**	**0.221**	**<0.150**	**0.982**	**0.146**	**0.066**	**0.069**	**0.031**

Химический состав втулки схож с химическим составом стали 20Х (таблица 4).

Таблица 4. Химический состав стали 20Х по ГОСТ 4543-71

C,%	Cr,%	Cu,%	Mn,%	Ni,%	P,%	S,%	Si,%
0.17-0.23	0.7-1	до 0.3	0.5-0.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	0.17-0.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛОМА

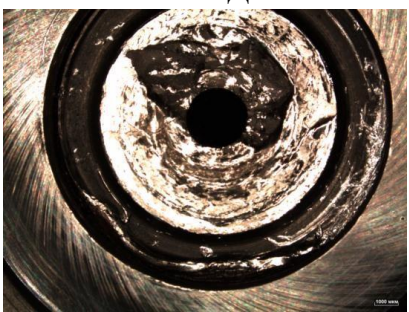


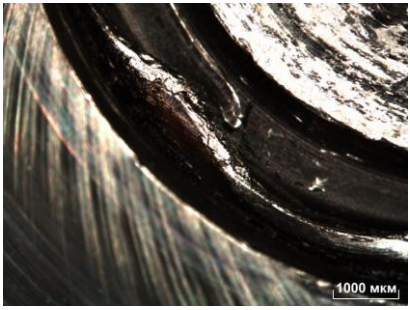
Рис.17 Макроструктура излома вала

Рис.18 Макроструктура излома вала при большем увеличении

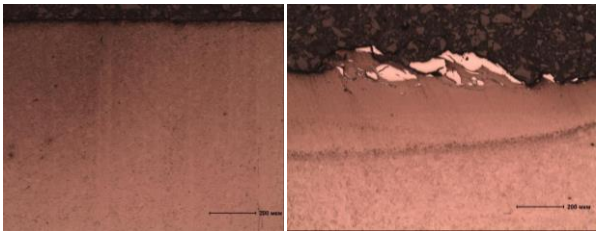
На фотографиях 18 и 19 представлено место отлома вала от плунжерной головки. Как можно заметить на фотографии, излом имеет чѐткие границы, а значит, его можно определить как хрупкий.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

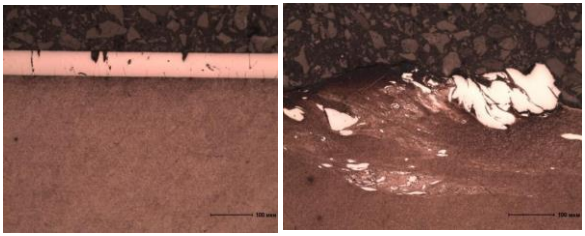
На рис. 19 представлены фотографии, сделанные на



участках вала и втулки, где между ними не происходило взаимодействия (рис. 19 а, в), а также в зоне трения (рис. 19 б, г). Структура втулки - мелкоигольчатый мартенсит - характерна для закалки и низкого отпуска. На поверхности втулки виден более темный слой, скорее всего, деталь из низкоуглеродистой стали подвергалась цементации. Микроструктура вала представляет собой мартенсит с избыточными карбидами, такая структура обычно наблюдается после закалки и низкого отпуска высокоуглеродистой стали. На поверхности вала имеется покрытие толщиной около 50 мкм. В зоне трения наблюдаются следы интенсивной пластической деформации – вытянутые волокна металла и прослойки деформированных участков покрытия как на валу, так и на втулке.



а) б)



в) г)

Рис.19 Микроструктура образцов вала и втулки: а) втулка вне зоны трения, б) втулка в зоне трения, в) вал вне зоны трения, г) вал в зоне трения.

ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЁРДОСТИ

Далее представлены графики изменения твѐрдости втулки (рис.20) и вала (рис.21).

На поверхности втулки действительно имеется цементованный слой – твердость сердцевины втулки составляет примерно 460 HV, а поверхности – порядка 800 HV, и по мере удаления от поверхности микротвердость снижается. Можно определить эффективную толщину слоя – расстояние от поверхности, на котором микротвердость становится равна 550 HV. Распределение микротвердости в зоне трения отличается тем, что на поверхности втулки твердость выше (около 950 HV), а далее твердость резко снижается и практически достигает твердости сердцевины уже на глубине 0,2 мм. Повышение твердости вблизи поверхности может быть связано с наклепом – упрочнением стали в результате пластической

деформации. Снижение твердости под наклепанным слоем можно объяснить тем, что этот слой не подвергался значительной пластической деформации, но подвергался нагреву от трения, и сталь разупрочнилась вследствие отпуска.

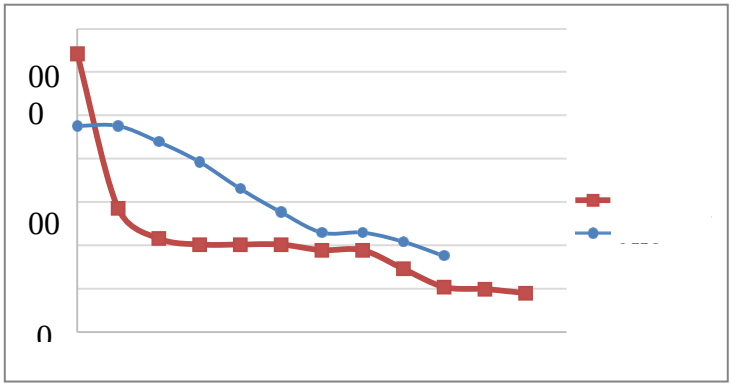


Рис.20 Изменение твѐрдости втулки от края к сердцевине в зоне трения и не в ней

На рис.21 приведено распределение микротвердости в зоне трения вала. В результате пластической деформации участок вала вблизи самой поверхности стал более твердым – твердость повысилась с 600 до 900 HV в результате наклепа. На расстояниях 0,7 – 1 мм от поверхности детали наблюдается снижение твердости – видимо, как и вблизи поверхности втулки, этот слой не подвергался значительной пластической деформации, но подвергался нагреву от трения, и произошло разупрочнение стали. На расстоянии 1,5 мм от поверхности твердость стали становится такой же, как в сердцевине вала, следовательно, в этой зоне влияние нагрева и трения заканчивается.

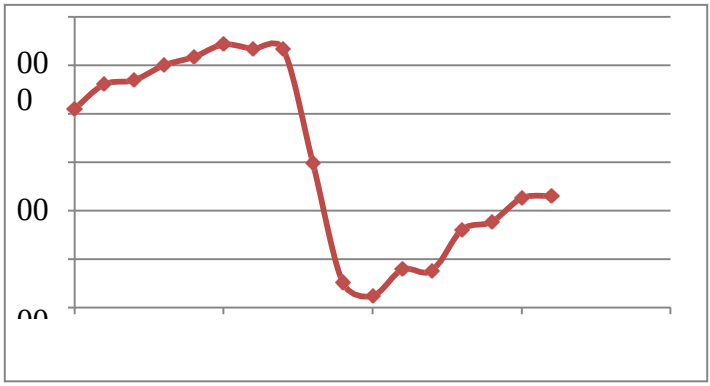


Рис.21 Изменение твѐрдости вала в зоне трения

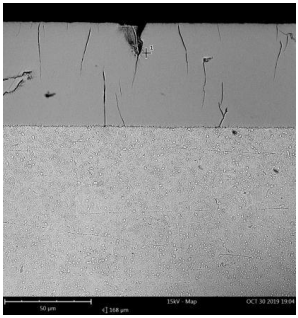
Также была измерена микротвердость покрытия на валу. Она составила около 1000 HV.

МИКРОРЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

На рис.22 приведена микрофотография участка поверхности вала с покрытием. Крестиком обозначено место проведения локального химического анализа. В таблице 5 и на рис.23 приведен химический состав материала покрытия. Покрытие однородное, состоит из хрома. Граница между покрытием и деталью четкая, отсутствует диффузионная зона, отсутствуют изменения в микроструктуре материала вала вблизи покрытия, следовательно, покрытие получено методом электролитического осаждения (гальваническое). В покрытии наблюдаются трещины и сколы, что говорит о его высокой твердости и хрупкости (подтверждено результатами измерения микротвердости).

Таблица 5 Химический состав материала покрытия вала

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
24	Cr	Chromium	91.89	95.04
26	Fe	Iron	3.36	3.73
6	C	Carbon	4.48	1.07
14	Si	Silicon	0.28	0.15



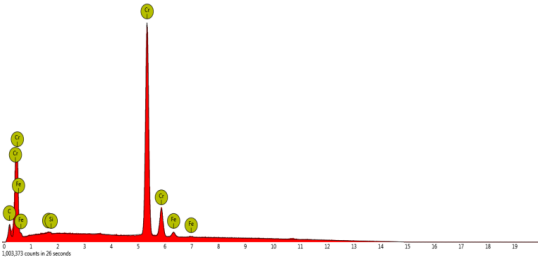


Рис.22 Микрорентгеноспектральный Рис.23 анализ покрытия вала вне зоны трения

На рис.24 и рис.25 представлены результаты микрорентгеноспектрального анализа деформированных включений в зоне трения на вале и втулке. Это раздробленные участки покрытия. Несмотря на высокую твердость, они сильно деформированы, что говорит об интенсивном взаимодействии поверхностей вала и втулки, которое привело к переносу частиц покрытия с вала на втулку.

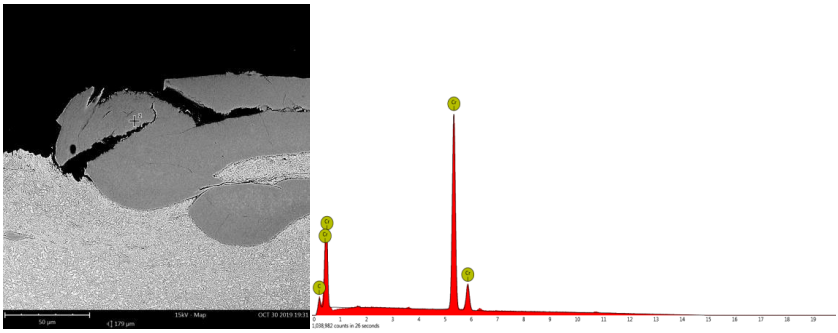


Рис.24 Микрорентгеноспектральный анализ покрытия вала в зоне трения

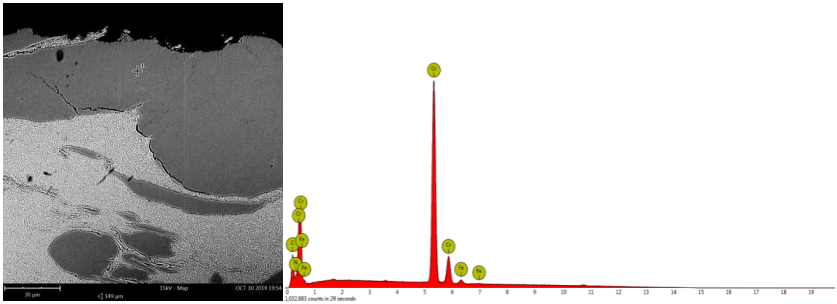


Рис.25. Микрорентгеноспектральный анализ втулки в зоне трения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причиной поломки топливного насоса автомобиля стало попадание в его рабочую часть посторонних частиц, которые затруднили свободное вращение вала во втулке, чем создали между ними трение. При повторном пуске вал, который приварился к втулке не смог в ней вращаться, из-за чего он отломался в месте крепления к хвостовику.

Причинами попадания посторонних частиц могут быть как использование некачественного топлива, так и плохая система очистки топлива.

Все эти детали требуют полной замены. В дальнейшем во избежание таких ситуаций стоит ставить дополнительные фильтры на ТНВД и использование более качественного топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

4. Арзамасов Б. Н., Макарова В. И., Мухин Г. Г., Рыжов Н. М., Силаева В. И. Материаловедение: Учебник для вузов. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 8-е изд., стереотип. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.- 648 с.
5. Термическая обработка стали / Вязников Н. Ф. – Металлургиздат, 1961.- 349 с.
6. Прогрессивные технологические процессы нанесения гальванических, химических и анодизационных покрытий : Автоматизация и механизация процессов нанесения покрытий / В. И. Вадачкория, А. М. Шония; Центр. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-экон. исследований "ЦНИИТЭИЛегпищепром". - Москва : [б. и.], 1969. - 120 с.
7. https://scart-avto.ru/remont/ustroystvo-i-printsip-raboty-toplivnogo- nasosa-vysokogo/
8. https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/institut_fakul_kaf_shkoly/ips/novye_vozmozhnosti_dlya_kazhdogo/materialoved_term_obr_i_met_issl_met_i_spl/tema9/vidy_razrusheniy_izlomy.pdf

СЕКЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ ПИТЬЕВОГО РЕЖИМА

Спектор Евгений Максимович

ГБОУ Школа № 1537, 11 класс
Научный руководитель: Минченко Михаил Михайлович,
к.э.н., учитель информатики, Школа № 1537

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – разработка и апробация автоматизированной системы, реализующей контроль соблюдения питьевого режима в зданиях, использующих питьевые диспенсеры, путем объединения их в сетевую информационную систему.

Предмет работы – аппаратная и программная обработка сигналов от входящих в состав автоматизированной системы датчиков, фиксирующих уровень заполненности емкости с водой и количество емкостей-носителей, серверная обработка поступающих данных и предоставление необходимой информации обслуживающему персоналу, а также потребителям воды.

Основная задача реализации автоматизированной системы в данном

проекте – разработка программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего автоматизированный контроль показателей уровня жидкости и емкостей-носителей в каждом отдельно взятом питьевом диспенсере, а также объединение и обработка всей доступной информации в единой информационной системе, с

предоставлением соответствующей актуальной информации обслуживающему персоналу и потребителям воды.

Актуальность работы. Часто из-за медленного оповещения обслуживающего персонала расходники в питьевых диспенсерах не пополняются своевременно, и перед тем, как обнаружить диспенсер с необходимыми расходниками, приходится их вручную обходить несколько штук или ждать пополнения ближайших. Такая ситуация приводит к нарушению питьевого режима в той или иной организации – например, в образовательном учреждении.

Согласно п.10 СанПиН 2.4.5.2409-08 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации питания обучающихся в общеобразовательных учреждениях, учреждениях начального и среднего профессионального образования» и п.9 СанПиН 2.4.4.3172-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы образовательных организаций дополнительного образования детей», в образовательных учреждениях должен быть организован питьевой режим с использованием питьевой воды, расфасованной в емкости, или бутилированной. При использовании установок с дозированным розливом питьевой воды, расфасованной в емкости, предусматривается замена емкости по мере необходимости, но не реже, чем это предусматривается установленным изготовителем сроком хранения вскрытой емкости с водой.

Также нельзя забывать об организации питьевого режима на предприятиях. Соблюдение питьевого режима на предприятии позволяет повысить работоспособность и улучшить общее самочувствие работников. Поэтому на предприятиях должно уделяться особое внимание вопросу

снабжения сотрудников чистой питьевой водой (Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ (ред. от 19.07.2018) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ст.19). Питьевой режим в организации – это один из важнейших факторов соблюдения требований охраны труда.

В соответствии с п. 18 Приказа Минздравсоцразвития России от 01.03.2012 №181н, приобретение и монтаж установок (автоматов) питьевой воды входит в список надлежащих мероприятий по охране труда.

Исходя из вышесказанного, возникает необходимость централизованного контроля соблюдения питьевого режима в организации. В связи с этим актуальным представляется создание автоматизированной системы контроля за соблюдением питьевого режима. Такая система призвана обеспечить возможность контроля параметров всех подключенных устройств и предоставление необходимой информации потребителям и обслуживающему персоналу.

Разрабатываемая система рационализирует работу обслуживающего персонала путем предоставления актуальных данных о показателях наполнения питьевого диспенсера, а также способствует соблюдению санитарных норм, оповещая обслуживающий персонал о необходимости обслуживания устройств или замены расходных материалов. Также данная система помогает потребителям, сокращая время, потраченное на поиск питьевого диспенсера со всеми необходимыми расходниками.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методы, средства и технологические принципы разработки

Разработка автоматизированной системы контроля за соблюдением питьевого режима выполнена в соответствии со следующими основными этапами:

- сбор данных о скорости реагирования обслуживающего персонала на отсутствие расходных материалов;
- выделение недостатков имеющихся средств предоставления актуальной информации;
- формулирование принципов построения сетевой информационной системы;
- создание прототипа устройства контроля диспенсера;
- создание сетевой информационной системы;
- подключение устройства контроля диспенсера к общей информационной сети;
- оценка эффективности созданной системы;
- получение выводов о практической значимости разработанной системы;
- разработка мобильного приложения, взаимодействующего с разработанной системой.

Методологической и технологической основой реализации проекта послужили:

- основы и особенности работы микроконтроллера;
- особенности цифровых сигналов;
- особенности обработки сигналов микроконтроллером;
- особенности приёма и передачи сигналов микроконтроллером;
- особенности приема и передачи сигналов по беспроводной сети.

Основные требования к техническим и программным средствам реализации проекта:

- предпочтительность датчиков с цифровым выходом;
- сочетаемость разрядности основных узлов системы;
- простота применения датчиков;
- возможность индивидуальной настройки на разрабатываемое устройство;
- обеспечение связи разрабатываемой системы и сервера посредством беспроводной сети.

Аппаратная часть

Выбор конечных составляющих автоматизированной системы опирается на сформулированные выше требования. Для достижения поставленной цели было решено воспользоваться тензометрическим датчиком для измерения уровня жидкости в емкости для воды и ультразвуковым датчиком для измерения примерного количества емкостей-носителей.

Технической основой разработанной автоматизированной системы является плата Arduino Uno на основе микроконтроллера ATmega328. К портам ввода-вывода подключены:

- датчик нагрузки HX711 (см. рис. 1 в Приложении);
- ультразвуковой сенсор SE04 (см. рис. 2 в Приложении);
- плата подключения к беспроводной сети ESP8266 (см. рис. 3 в Приложении).

Схема соединения основных аппаратных элементов представлена на рис. 4 в Приложении. Общий вид устройства мониторинга диспенсера представлен на рис. 5 в Приложении. Электропитание обеспечивается электрической сетью здания или встроенным аккумулятором.

Работоспособность схемы обеспечивается внутренней программой микроконтроллера. Микроконтроллер получает от датчиков данные о заполненности контролируемой емкости и количестве емкостей-носителей. Взаимодействие микроконтроллера и сервера происходит через беспроводную сеть. При подключении к сети контроллер получает индивидуальный номер, и, в свою очередь, передает на компьютер данные самодиагностики, а также данные об уровне жидкости и количестве емкостей-носителей (“стаканов”).

Принцип действия устройства мониторинга диспенсера

Работа устройства мониторинга диспенсера основана на приёме сигналов от датчиков нагрузки и расстояния, их обработки и передаче на сервер посредством беспроводной сети.

Уровень жидкости в емкости диспенсера измеряется с использованием датчика нагрузки. При изменении уровня воды вес емкости уменьшается, и сигналы об изменениях передаются в микроконтроллер. В программе микроконтроллера задаются начальные и конечные параметры веса, что позволяет вычислить количество воды в процентном отношении. После вычисления данные сразу передаются на сервер.

Уровень емкостей-носителей (наличие “стаканов”) измеряется с помощью ультразвукового датчика. При изменении расстояния от верхнего “стакана” до датчика сигналы об изменениях передаются в микроконтроллер. В программе микроконтроллера заданы начальные и конечные расстояния, что позволяет вычислить количество емкостей-носителей в процентном отношении. После вычисления данные сразу передаются на сервер.

Работа устройства мониторинга диспенсера осуществляется по следующему алгоритму (см. рис. 6 в Приложении):

- при изменении уровня жидкости датчик нагрузки посылает цифровые сигналы в микроконтроллер с данными об изменении веса;
- при изменении количества емкостей-носителей ультразвуковой датчик посылает цифровые сигналы в микроконтроллер с данными об изменении расстояния;
- микроконтроллер принимает и обрабатывает сигналы;
- выполняется передача данных на сервер;
- выполняется обработка и занесение полученных сигналов в базу данных;
- при необходимости выполняется оповещение обслуживающего персонала;
- выполняется отображение данных в пользовательском интерфейсе.

Программная часть

Интеллектуализация автоматизированной системы реализована за счет использования программируемого логического контроллера (ПЛК), представляющего собой устройство на основе микропроцессора, основная задача которого – сбор информации с датчиков, последующая её обработка и передача на сервер.

Программа для микроконтроллера в данном проекте составляется на С-подобном языке для Arduino, программирование было выполнено в среде Arduino IDE. Эта программа обеспечивает обработку сигналов с датчиков и передачу полученной обобщенной информации на сервер посредством беспроводной сети.

Серверная программа тесно связана с пользовательским интерфейсом, реализованным в форме динамического Web-сайта, на языке программирования Python, интерфейс взаимодействия с базой данных реализован на основе MySQL, в качестве фреймворка для Python выбран Django.

Серверная программа принимает сигналы с устройств и после обработки распределяет их по базе данных, используемой пользовательским интерфейсом, а также оповещает обслуживающий персонал о необходимости пополнить расходники. Пользовательский интерфейс отображает информацию в доступном виде на сайте. Также посредством пользовательского интерфейса пользователи могут использовать ряд полезных функций, таких как: расчет маршрута до ближайшего питьевого диспенсера с расходниками, написание отзывов о работе обслуживающего персонала и других.

Общая схема передачи данных между элементами автоматизированной системы представлена на рис. 7 в Приложении.

Для улучшения удобства использования автоматизированной системы в обозримом будущем планируется выполнить разработку мобильного приложения – для обеспечения более удобного пользовательского интерфейса для обслуживающего персонала и потребителей воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте, в рамках разработки системы автоматизированного контроля за соблюдением питьевого режима, была проведена работа в следующих направлениях:

рассмотрены задачи создания автоматизированной системы контроля уровня жидкостей и емкостей-носителей

подтверждена актуальность данной задачи

произведен выбор метода автоматизации

создана экспериментальная установка контроля за соблюдением питьевого режима

выполнена программная реализация пользовательской оболочки автоматизированной системы контроля за соблюдением питьевого режима

разработана базовая программа для функционирования микроконтроллера в автоматизированной системы контроля за соблюдением питьевого режима

В аппаратной части проекта был разработан прототип устройства автоматической системы контроля за соблюдением питьевого режима, произведен выбор элементной базы и разработана электрическая принципиальная схема соединения элементной базы с микроконтроллером.

В программной части работы была написана программа микроконтроллера, позволяющая автоматизированной системе осуществлять мониторинг показателей наполнения каждого отдельного питьевого диспенсера. Также была реализована серверная программа обрабатывающая и сохраняющая поступающую от устройств информацию в базу данных. Кроме того, был разработан удобный как для специализированных сотрудников так и для простых потребителей интерфейс, совмещенный с серверной программой, который позволяет пользователям осуществлять просмотр актуальных данных о заполненности питьевых диспенсеров, а также оставлять отзывы о работе обслуживающего персонала.

Выполненная разработка имеет существенное практическое значение: она может быть использована в учреждениях дополнительного и общего образования, на

промышленных предприятиях и в офисных помещениях, а также в частных домах.

В конечном счете, применение автоматизированной системы контроля соблюдения питьевого режима позволит рационализировать работу обслуживающего персонала, повысить производительность труда путем увеличения комфорта пребывания на рабочем месте, позволит производить контроль за соблюдением санитарных норм и облегчит потребителям задачу поиска питьевого диспенсера, обеспеченного необходимыми расходниками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дронов В.А. Django. Практика создания веб-сайтов на Python. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016.

Иго Т. Arduino, датчики и сети для связи устройств. 2-е издание. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015.

Петин В. Проекты с использованием контроллера Arduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014.

Семенов Б.Ю., Шелестов И.П. Путеводитель в мир электроники. – М.: Солон-Пресс, 2004.

Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012.

СанПиН 2.4.5.2409-08 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации питания обучающихся в общеобразовательных учреждениях, учреждениях начального и среднего профессионального образования».

СанПиН 2.4.4.3172-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы образовательных организаций дополнительного образования детей».

Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ (ред. от 19.07.2018) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

ПРИЛОЖЕНИЕ

Рис. 1. Датчик нагрузки HX711

Рис. 2. Ультразвуковой сенсор SE04

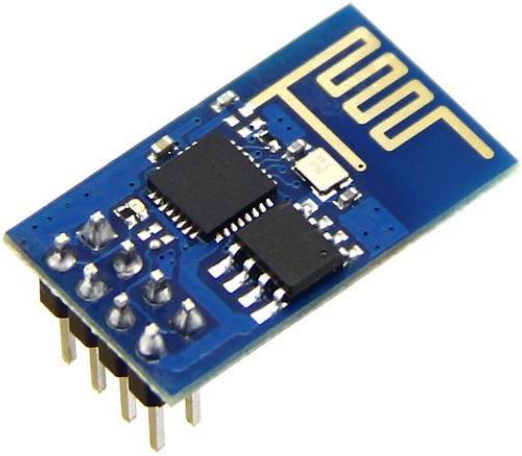


Рис 3. Плата подключения к беспроводной сети ESP8266

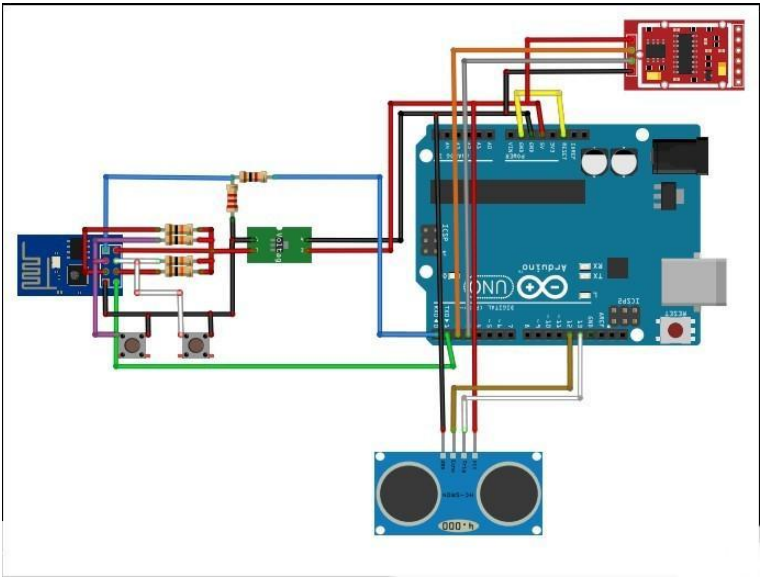


Рис. 4. Схема соединения аппаратных элементов

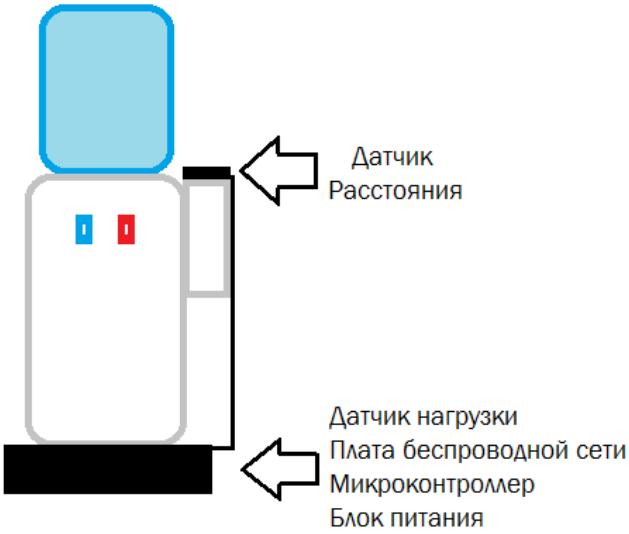


Рис. 5. Общий вид устройства мониторинга диспенсера

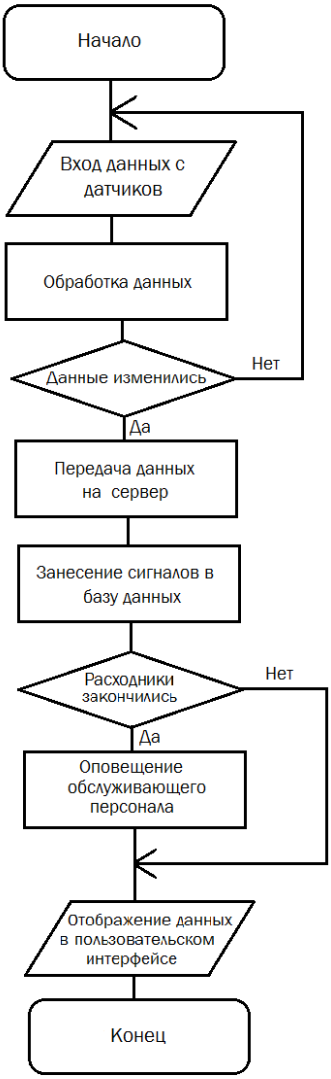


Рис. 6. Алгоритм обработки данных устройства мониторинга диспенсера

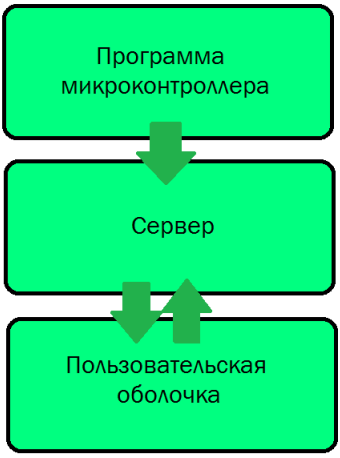


Рис. 7. Общая схема передачи данных

СЕКЦИЯ ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

РАСЧЕТ ФОРМИРУЮЩЕЙ ЛИНЗЫ СВЕТОДИОДНОГО ПРОЖЕКТОРА

Лях Мария Ильинична

ГАОУ СОШ ШИК 16, 11 Б
Научный руководитель:
Ширанков Александр Фёдорович
кафедра РЛ2 МГТУ им. Н.Э. Баумана, доцент, с.н.с.

ВВЕДЕНИЕ

Прожектором называют осветительный прибор, состоящий из источника излучения и линзы, формирующей концентрированную кривую силы света [1] (световой поток источника сосредотачивается в достаточно малых телесных углах), и предназначенный для подсветки объектов, находящихся на расстояниях, значительно превышающих размеры самого прибора (в 20 раз и больше). Прожекторы находят широкое применение в быту, в сфере развлечений, в декоративном оформлении, в торговле, в промышленности, а также в военной и специальной технике.

В настоящее время в прожекторах активно применяют светодиоды — полупроводниковые источники света. К неоспоримым преимуществам светодиодов относятся:

1. высокая яркость;
2. малый размер тела свечения;
3. низкое энергопотребление;
4. длительный срок службы;
5. высокая механическая прочность;

6. высокая скорость срабатывания;
7. экологичность (отсутствие ртутьсодержащих компонентов).

Указанные преимущества светодиодов способствуют уменьшению световых потерь и конечных габаритов прибора, уменьшению затрат на эксплуатацию прибора, увеличению срока автономной работы прибора, позволяют размещать прибор на энергозависимых объектах.

Светотехнические особенности светодиодных источников обуславливают необходимость разработки адаптированной под них формирующей оптики. Таким образом, задача разработки такой оптики является актуальной.

Цель работы — расчёт формирующей линзы светодиодного прожектора для обеспечения заданной угловой расходимости. В ходе работы решаются следующие задачи:

1. разработка методики расчёта формирующей линзы светодиодного прожектора;
2. расчёт и анализ формирующей линзы.

Первая задача заключается в разработке способа и алгоритма построения профиля формирующей линзы. Соответствующий способ разрабатываем с применением законов геометрической оптики, методов векторной алгебры и аналитической геометрии.

Вторая задача заключается в расчёте линзы по исходным данным и проведении анализа рассчитанной линзы с целью оценки соответствия характеристик формируемого излучения требуемым. Расчёт линзы и проводим с применением разработанной методики, строим трёхмерную модель линзы с применением системы автоматизированного трёхмерного моделирования, осуществляем анализ характеристик формируемого линзой

излучения с применением программного обеспечения для моделирования оптических систем.

В первом разделе работы разрабатываем методику и алгоритм расчёта линзы светодиодного прожектора.

Во втором разделе подтверждаем работоспособность разработанной методики расчётом линзы светодиодного прожектора по исходным данным и анализом световых характеристик сформированного излучения.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ЛИНЗЫ ПРОЖЕКТОРА

Расчёт формы профиля линзы светодиодного прожектора

В данной работе будем рассчитывать осесимметричную формирующую линзу светодиодного прожектора, имеющую две рабочие поверхности (в соответствии с рисунком 1): первая, входная, плоская поверхность, расположенная в непосредственной близости от светоизлучающей площадки светодиода; вторая, выходная, поверхность, направляющая лучи вдоль оптической оси линзы. При расчёте будем считать источник точечным.

Исходные данные для расчёта формы профиля:

– показатели преломления $n_1 = n_3 = 1$, n_2 (материал линзы);

– высота линзы h;

– вектор направления лучей на выходе линзы $\vec{g}_{3.i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ (все выходящие лучи должны быть направлены вдоль оптической оси линзы).

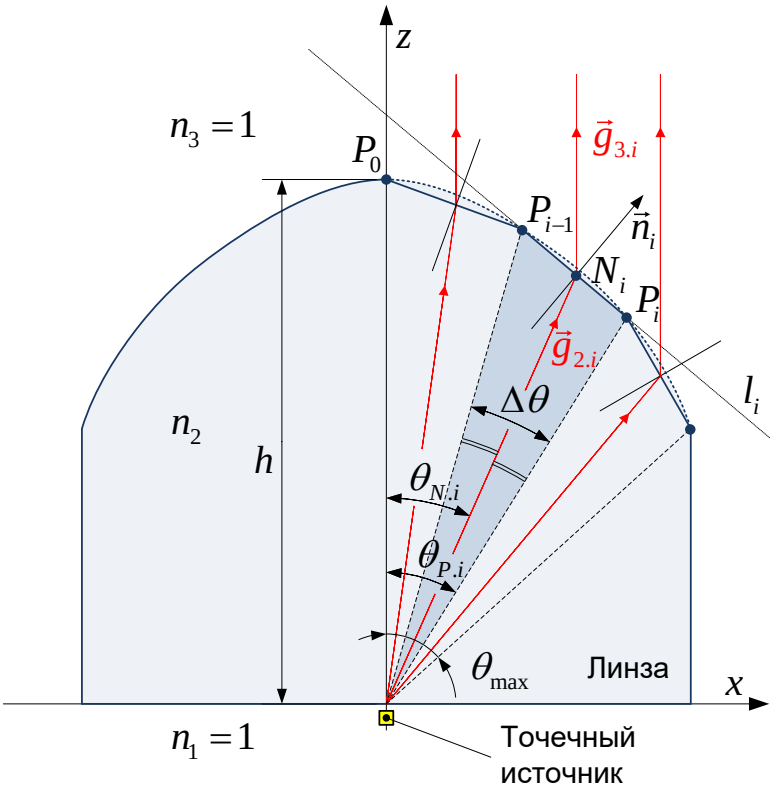


Рисунок 1 — К расчёту формы профиля линзы прожектора

Так как первая поверхность выбрана плоской, то все лучи, вошедшие в линзу из светодиода, будут распространяться внутри неё под углами, не превышающими угол $\theta_{\max}$, который определяется из условия полного внутреннего отражения (ПВО) [2] по формуле

$$\theta_{\max} = \arcsin\frac{n_1}{n_2} = \arcsin\frac{1}{n_2},$$

где n_2 — показатель преломления материала линзы.

Профиль второй поверхности линзы будем строить в форме кусочно-линейной функции. Для этого разобьём угол $\theta_{\max}$ на N равных частей, задав тем самым границы линейных участков профиля:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{\max}}{N}.$$

Начальной точкой, от которой строится профиль, является точка $P_0(0;h)$ — вершина линзы. Для определения остальных точек профиля для каждого *i*-ого участка проделаем следующие шаги.

Угол, определяющий положение искомой точки профиля $P_i(x_i;z_i)$:

$$\theta_{P.i} = i\Delta\theta.$$

Вектор направления лучей из центра координат в искомую точку профиля $P_i(x_i;z_i)$:

$$\vec{g}_{P.i} = \begin{pmatrix} \sin\theta_{P.i} \\ \cos\theta_{P.i} \end{pmatrix}.$$

Угол, определяющий положение точки профиля N_i, для которой определяется нормаль:

$$\theta_{N.i} = (i-0{,}5)\Delta\theta.$$

Вектор направления лучей из центра координат в точку профиля N_i:

$$\vec{g}_{2.i} = \vec{g}_{N.i} = \begin{pmatrix} \sin\theta_{N.i} \\ \cos\theta_{N.i} \end{pmatrix}$$

Нормаль к рассчитываемому профилю в точке N_i определяется из закона преломления в векторной форме:

$$\vec{n}_i = n_2\vec{g}_{2.i} - n_3\vec{g}_{3.i}.$$

Запишем уравнение прямой l_i, содержащей прямолинейный участок $P_{i-1}P_i$ профиля, в общем виде [3]:

$$a_i x_i + b_i z_i + c_i = 0,$$

где a_i и b_i — координаты вектора нормали $\vec{n}_i = \{n_{x.i}; n_{y.i}\}$ к прямой; c_i — коэффициент.

Неизвестный коэффициент c_i определяется из условия, что прямая l_i проходит через точку $P_{i-1}(x_{i-1}; z_{i-1})$:

$$c_i = -(n_{x.i}x_{i-1} + n_{z.i}z_{i-1}) = -\vec{n}_i \cdot \begin{pmatrix} x_{i-1} \\ z_{i-1} \end{pmatrix}.$$

Искомая точка $P_i(x_i; z_i)$ находится как точка пересечения прямой l_i с лучом $\vec{g}_{P.i}$:

$$\begin{cases} n_{x.i}x_i + n_{z.i}z_i + c_i = 0; \\ \begin{pmatrix} x_i \\ z_i \end{pmatrix} = K_i\vec{g}_{P.i} = K_i \begin{pmatrix} \sin\theta_{P.i} \\ \cos\theta_{P.i} \end{pmatrix}, \end{cases} \quad 1)$$

где K_i — расстояние от центра координат до точки $P_i(x_i; z_i)$.

Из решения системы уравнений (1) получаем:

$$K_i = -\frac{c_i}{n_{x.i}\sin\theta_{P.i} + n_{z.i}\cos\theta_{P.i}} = \frac{n_{x.i}x_{i-1} + n_{z.i}z_{i-1}}{n_{x.i}\sin\theta_{P.i} + n_{z.i}\cos\theta_{P.i}} = \frac{\vec{n}_i \cdot \begin{pmatrix} x_{i-1} \\ z_{i-1} \end{pmatrix}}{\vec{n}_i \cdot \vec{g}_{P.i}}.$$

Тогда координаты точки $P_i\left(x_i; z_i\right)$ равны [3]

$$\begin{pmatrix} x_i \\ z_i \end{pmatrix} = K_i \vec{g}_{P.i} = \frac{n_{x.i} x_{i-1} + n_{z.i} z_{i-1}}{n_{x.i} \sin\theta_{P.i} + n_{z.i} \cos\theta_{P.i}} \begin{pmatrix} \sin\theta_{P.i} \\ \cos\theta_{P.i} \end{pmatrix} = \frac{\vec{n}_i \cdot \begin{pmatrix} x_{i-1} \\ z_{i-1} \end{pmatrix}}{\vec{n}_i \cdot \vec{g}_{P.i}} \vec{g}_{P.i} .$$

Расчёт высоты линзы светодиодного прожектора

Так как в действительности СД не является точечным источником, учтём конечный размер d его светоизлучающей площадки следующим образом. Поскольку профиль линзы рассчитываем таким образом, что все лучи, выходящие из центра СД, на выходе линзы идут строго вдоль оптической оси, то можно считать, что угловая расходимость пучка лучей на выходе линзы $2\beta_3$ определяется лучами, идущими от краёв светоизлучающей площадки СД и проходящими через вершину P_0 . Схема хода лучей для расчёта высоты линзы представлена на рисунке 2.

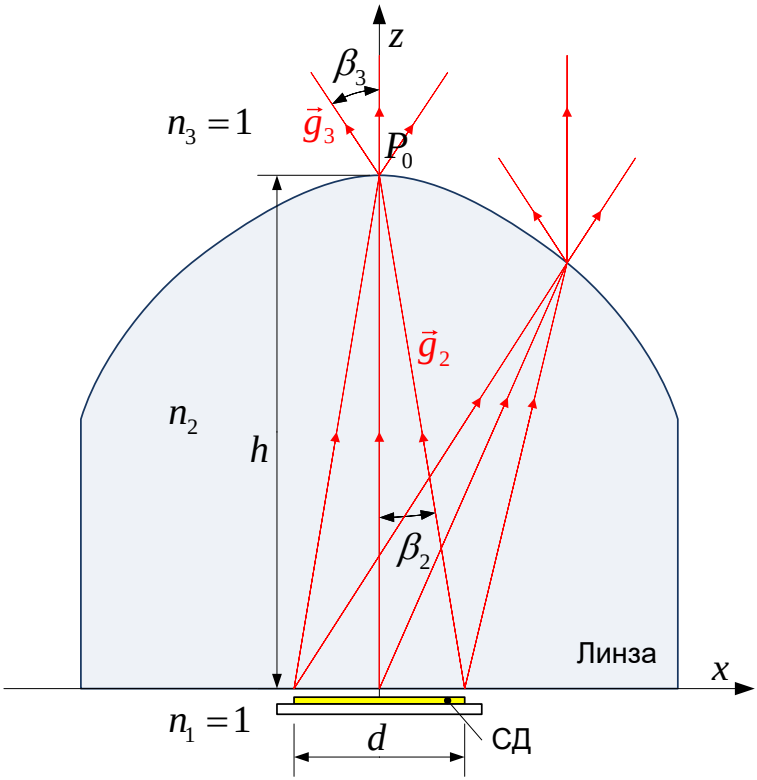


Рисунок 2 — Схема хода лучей для расчёта высоты линзы

С учётом закона преломления лучей на границе раздела сред [2] при вершине линзы получаем:

$$h = \frac{d}{2\,\mathrm{tg}\left(\arcsin\left(\frac{\sin\beta_3}{n_2}\right)\right)},$$

где d — размер светоизлучающей площадки СД.

Следовательно, задав допустимую угловую расходимость $2\beta_3$ на выходе линзы, можно рассчитать необходимую высоту линзы. В таблице 1 представлена зависимость высоты линзы от требуемой угловой расходимости.

Таблица 1 — Зависимость высоты линзы от требуемой угловой расходимости (при $n_2 = 1{,}59$ и $d = 1$ мм)

$2\beta_3$, °	10	5	3	1	0,5
h, мм	9,1	18,2	30,4	91,1	182,2

Оценим фокусное расстояние будущей линзы. Поскольку линза рассчитывается таким образом, что все лучи, проходящие через центр светодиода первой плоской поверхности, на выходе линзы идут строго вдоль оптической оси, то указанный центр можно считать передним фокусом линзы. На рисунке 3 представлена схема хода лучей для расчёта фокусного расстояния линзы. Здесь f — переднее фокусное расстояние; F — передний фокус; H — передняя главная плоскость.

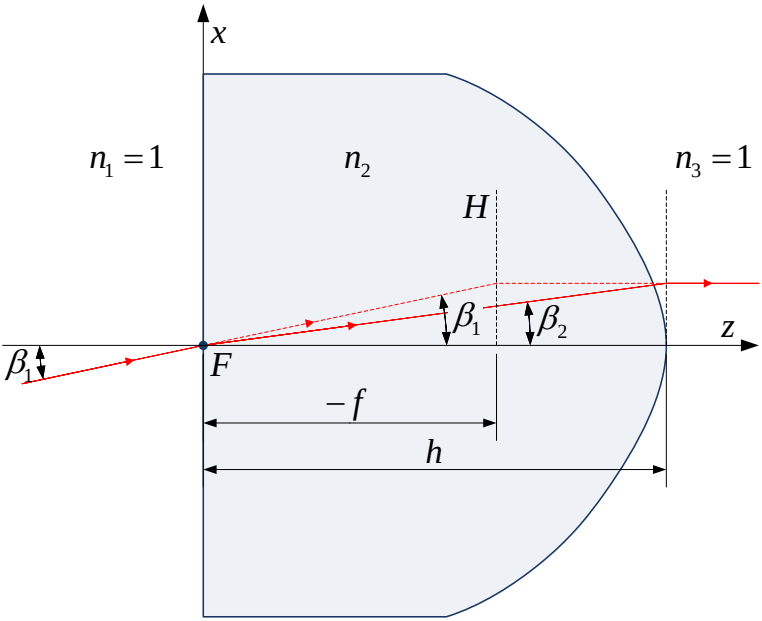


Рисунок 3 — К расчёту фокусного расстояния

Из представленной на рисунке геометрии и с учётом закона преломления лучей в точке F, получаем:

$$-f\ \mathrm{tg}\,\beta_1 = h\,\mathrm{tg}\,\beta_2;$$

$$n_1 \sin\beta_1 = n_2 \sin\beta_2.$$

Так как фокусное расстояние является параксиальной характеристикой, т.е. определяется для лучей, идущих близко к оптической оси, т.е. углы распространения лучей $\beta \to 0$, то $\sin\beta \approx \beta$, $\mathrm{tg}\,\beta \approx \beta$; следовательно, можно записать:

$$-f\beta_1 = h\beta_2;$$

$$n_1\beta_1 = n_2\beta_2.$$

Тогда для фокусного расстояния получаем:

$$-f = h\frac{\beta_2}{\beta_1} = h\frac{n_1}{n_2},$$

или при $n_1 = n_3 = 1$

$$f' = -f = \frac{h}{n_2},$$

где f' — заднее фокусное расстояние линзы.

Разработка алгоритма расчёта линзы светодиодного прожектора

Для реализации изложенной методики расчёта профиля линзы был разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рисунке 4. Данный алгоритм был реализован в ПО «MathCAD».

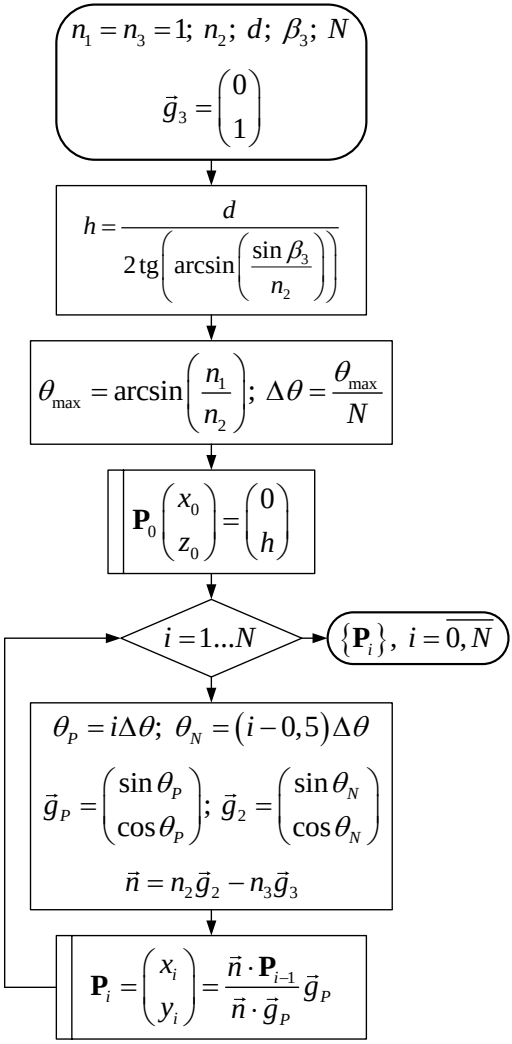


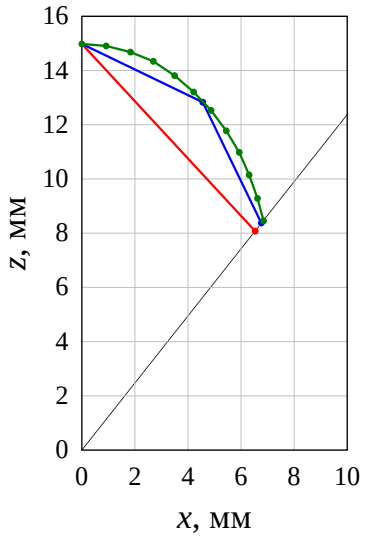
Рисунок 4 — Блок-схема алгоритма для расчёта формы профиля линзы

Исходный код алгоритма представлен на рисунке 5.

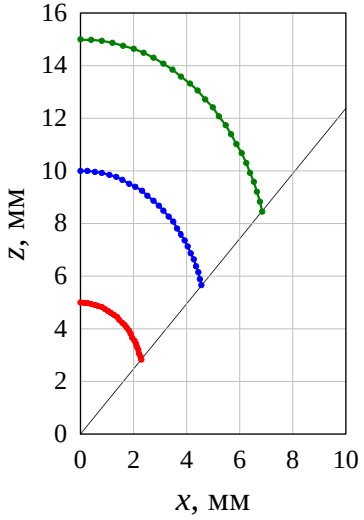
$$
\begin{aligned}
&\text{LensProfile}(d, \beta_3, n_2, N) := \\
&\quad h \leftarrow \frac{d}{2\cdot\tan\left(\operatorname{asin}\left(\frac{\sin(\beta_3)}{n_2}\right)\right)} \\
&\quad \theta_{max} \leftarrow \operatorname{asin}\left(\frac{1}{n_2}\right) \\
&\quad \Delta\theta \leftarrow \frac{\theta_{max}}{N} \\
&\quad \begin{pmatrix} X_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ h \end{pmatrix} \\
&\quad g_3 \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
&\quad \text{for } i \in 1..N \\
&\qquad \theta_P \leftarrow i\cdot\Delta\theta \\
&\qquad \theta_N \leftarrow (i - 0.5)\cdot\Delta\theta \\
&\qquad g_2 \leftarrow \begin{pmatrix} \sin(\theta_N) \\ \cos(\theta_N) \end{pmatrix} \\
&\qquad g_p \leftarrow \begin{pmatrix} \sin(\theta_P) \\ \cos(\theta_P) \end{pmatrix} \\
&\qquad n \leftarrow n_2\cdot g_2 - g_3 \\
&\qquad \begin{pmatrix} X_i \\ Z_i \end{pmatrix} \leftarrow \frac{n\cdot\begin{pmatrix} X_{i-1} \\ Z_{i-1} \end{pmatrix}}{n\cdot g_p}\cdot g_p \\
&\quad \begin{pmatrix} X \\ Z \end{pmatrix}
\end{aligned}
$$

Рисунок 5 — Исходный код алгоритма для расчёта формы профиля линзы

С помощью разработанного алгоритма было рассчитано несколько профилей. На рисунке 6, слева представлены профили, полученные для следующих исходных данных: размер светоизлучающей площадки СД $d=1$ мм; угловая расходимость излучения на выходе линзы $2\beta_3=6°$; показатель преломления материала $n_2=1{,}59$; количество разбиений $N=\{1;2;11\}$. На рисунке 6, справа представлены профили, полученные для следующих исходных данных: размер светоизлучающей площадки СД $d=1$ мм; угловая расходимость излучения на выходе линзы $2\beta_3=\{18°;9°;6°\}$; показатель преломления материала $n_2=1{,}59$; количество разбиений $N=25$.



$d=1$ мм; $2\beta_3=6°$;



$d=1$ мм;

$n_2 = 1{,}59$; $N = \{1;2;11\}$ $\quad 2\beta_3 = \{18°;9°;6°\}$;

$n_2 = 1{,}59$; $N = 25$

Рисунок 6 — Примеры рассчитанных профилей

РАСЧЁТ ЛИНЗЫ СВЕТОДИОДНОГО ПРОЖЕКТОРА

Расчёт и построение трёхмерной модели линзы

Проведём расчёт линзы для следующих исходных данных:

– полная расходимость на выходе линзы — 3 °;

– параметры материала линзы— $n_2 = 1{,}59$; $\rho = 1{,}2$ г/см^3;

– размер светоизлучающей площадки СД, мм — 1,0;

– световой поток СД Φ, лм— 100.

С применением разработанного алгоритма рассчитан профиль линзы. По данному профилю в САПР «КОМПАС» была построена трёхмерная модель линзы, представленная на рисунке 7. Она имеет следующие массогабаритные параметры:

- высота h, мм — 30,4;
- фокусное расстояние f', мм — 19,1;
- диаметр D, мм — 27,8;
- масса m, г — 48.

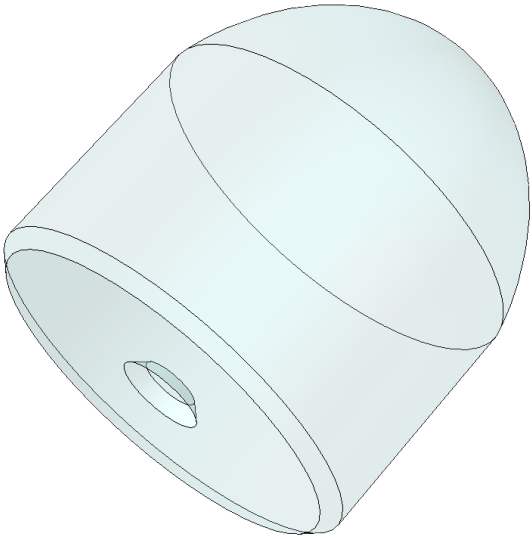


Рисунок 7 — Трёхмерная модель линзы

Анализ рассчитанной линзы

Анализ рассчитанной линзы проведём в ПО для расчёта и анализа оптических систем «Zemax». На рисунке 8 представлена трассировка лучей через анализируемую линзу, что демонстрирует работу прожектора. На рисунке 9 представлен график кривой силы света (КСС) излучения на выходе светодиода и на выходе линзы.

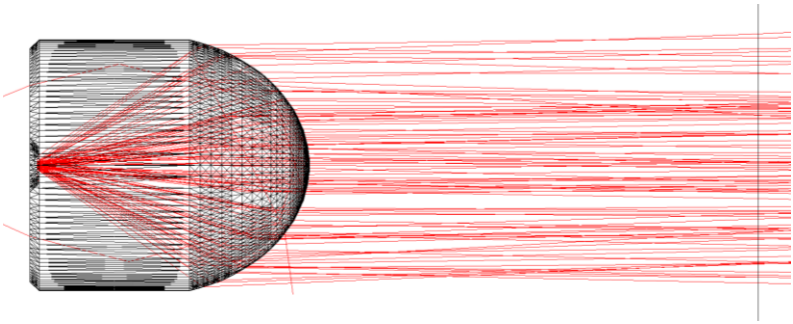


Рисунок 8 — Трассировка лучей

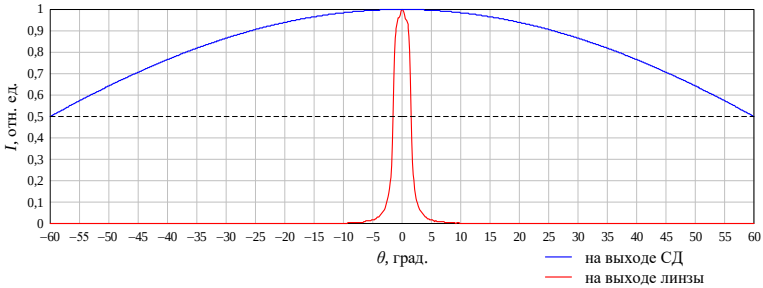


Рисунок 9 — Кривые сил света

В таблице 2 представлены параметры кривой силы света. Здесь I_0 — осевая силы света; $2\theta_{0,5}$ — расходимость по уровню $0,5I_0$.

Таблица 2 — Параметры кривых силы света

Параметр кривой силы света	I_0, кд	$2\theta_{0,5}$, град
на выходе светодиода	31,8	120,0
на выходе линзы	$2,1 \cdot 10^4$	3,2

В результате максимальный коэффициент усиления силы света равен 660.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы разработаны методика и алгоритм расчёта формирующей линзы светодиодного прожектора, обеспечивающей требуемую угловую расходимость.

В дальнейшем предполагается доработать данную методику с целью расчёта линзы, формирующей кривую силы света требуемой формы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний.

2 Мякишев Г.Я, Буховцев Б.Б., Чаругин В.М. Физика: 11 класс, учебник для общеобразовательных учреждений. / Базовый и профильный уровни; под ред. проф. В.И. Николаева, проф. Н.А. Парфеньтевой. 19-е издание. М: Просвещение, 2010. 409 стр.

3 Канатников А.Н., Крищенко А.П. Аналитическая геометрия: учебник. 7-е изд. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 392 стр.

СЕКЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МЕХАТРОНИКА

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ДОСТАВКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ В СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Лысов Владимир Сергеевич

ГБОУ ШКОЛА №1502 «ЭНЕРГИЯ»,
КЛАСС 11-К
Научный руководитель:
Воротников Сергей Анатольевич
к.т.н., доцент кафедры СМ7 МГТУ им. Баумана

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

1. Граф пути – граф, описывающий траекторию движения робота, в котором вершины – положения робота в заданный момент времени.
2. Нода – node – отдельный компонент ROS, выполняющий конкретную функцию, взаимодействующий с другими компонентами по средствам сообщений.
3. Пакет – отдельный компонент ROS, объединяющий в себе несколько нод, имеющих общую функциональность.
4. Скан – scan – набор сенсорных данных, полученных с лазерного дальномера, представляющий из себя массив расстояний из точки наблюдения до окружающих препятствий.

5. ROS – Robot Operating System – фреймворк с открытым исходным кодом для разработки роботов.
6. SLAM – Simultaneous Localization and Mapping – алгоритм одновременной локализации и построения карты.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время деятельность коммерческих компаний практически не возможна без использования складов в своей работе. Склады представляют собой разнообразные помещения для хранения товаров, и различные устройства, специально предназначенные для их приемки, размещения и хранения. Существуют различные склады, которые можно разделить на группы в зависимости от их конструкции, месторасположения, габаритов, назначения, типа продукции, находящейся на складе и так далее. Для увеличения производительности организации используют различные методы оптимизации. Одним из таких методов является использование автономных роботов для работы на складе. В настоящее время уже существует много различных устройств, которые выполняют эти функции (см. Таблица 1).

Таблица 1. Примеры роботов, предназначенных для работы на складе

Название	Фотография	Страна	Описание
RoboCV X-MOTION NG		Россия	Система, предназначенная для автоматизации всех типовых напольных перемещений паллетных грузов на складе
Ronavi H1500		Россия	Представляет собой компактную подвижную платформу для перемещения грузов весом до 1500 кг, сложенных на паллеты или стеллажи.

Данные роботы предназначены для доставки грузов внутри склада. Компаниям выгодно использовать данные устройства, так как роботы не чувствуют усталости и им не надо платить зарплату в отличие от человека. Однако у представленных устройств есть один недостаток – они передвигаются по полу. Это накладывает ограничения на их использование, если задача состоит в том, чтобы взять груз с верхних полок стеллажа. В такой ситуации разумнее использовать летающие роботы – дроны. Несмотря на небольшую грузоподъёмность, они обладают высокой манёвренностью, а также они способны облетать препятствия сверху, в отличии от роботов, описанных выше. Таким, образом, использование дронов для оптимизации работы склада крайне эффективно.

Стоит отметить, что склад, на котором будут использованы такие роботы, должен быть предназначенным для хранения малогабаритных грузов с небольшой массой. По сути, это товары, которые предназначены для продажи в розницу. Это требование

очень важно, так как было отмечено ранее – дроны не обладают высокой грузоподъёмностью.

Значит главная задача такого дрона состоит в том, чтобы доставить груз из точки А в точку Б. Однако стоит учитывать, что полёт происходит в закрытом помещении, в котором находятся различные объекты, поэтому дрону необходимо знать о всех препятствиях на складе, чтобы с учётом их месторасположения строить маршрут до конечной точки. Помимо этого, дрон должен выполнять все действия автономно, то есть без управляющего воздействия со стороны человека.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

Цель данной работы заключалась в разработке автономного беспилотного летательного аппарата для доставки малогабаритных грузов в складских помещениях.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Создание системы автономного полёта;
2. Разработка системы построения карты;
3. Создание алгоритмов построения маршрута и обхода препятствий;
4. Разработка системы позиционирования относительно груза;
5. Разработка системы захвата груза.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Обзор аналогов

Оптимизация работы склада является очень актуальной темой. С этой целью различные компании прибегают к использованию летающих роботов. Для определения рациональной структуры и функционала автономного дрона для доставки грузов был проведен обзор аналогов.

Для определения структуры автономного дрона-доставщика был проведен обзор существующих аналогичных устройств. Анализ проводился по следующим параметрам: устройство системы захвата груза и цена робота.

Таблица 2. Обзор аналогичных автономных БПЛА для доставки грузов

Название	Способ захвата	Цена	Примечание
DHL Parcelcopter	Устройство для захвата специально оборудованного контейнера	~25 000 $	Используется система спутниковой навигации для позиционирования.
Линейка БПЛА PrimeAir	Устройство для захвата специально оборудованного контейнера	~50 000 $	Используется система спутниковой навигации для позиционирования. Используется механизм для спуска и подъёма грузов.

На основании данных, полученных при обзоре аналогов, было выявлено, что все представленные устройства используют систему спутниковой навигации для определения положения в пространстве. Это накладывает существенные ограничения на использование БПЛА в помещении, так как сигнал со спутников искажается, а иногда теряется. Это ведёт к потере ориентации устройства. По этой причине необходимо создать собственную систему позиционирования для

проектируемого устройства. В первую очередь надо учитывать тот факт, что полёт дрона будет осуществляться в помещении, а именно на складе

Определение структуры автономного дрона-доставщика

Структурная схема устройства

Для решения задачи доставки товаров на складе дрон должен быть оборудован:

- Системой автономного управления
- Системой позиционирования, предоставляющей роботу данные обо всех; препятствиях, которые его окружают;
- Системой захвата груза;
- Системой создания маршрута.

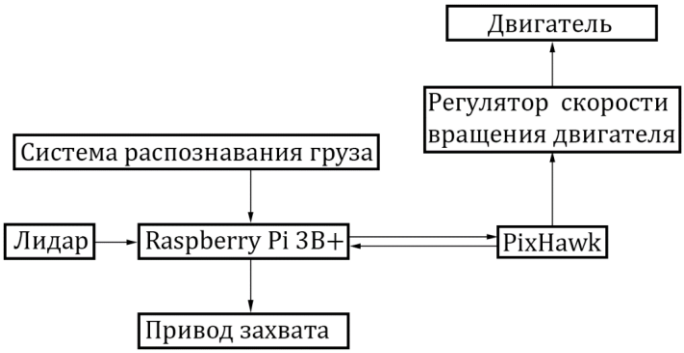


Рисунок 1. Структурная схема автономного дрона-доставщика

Определение системы автономного полёта

Для создания системы автономного полёта необходимо определить какие функции должна выполнять данная система. Их можно выделить в отдельные пункты:

1. Получать и полностью самостоятельно обрабатывать информацию об окружающей среде;
2. Передвигаться полностью автономно, то есть без управляющего воздействия со стороны человека;
3. Автономно определять препятствия и облетать их.

Таким образом, для создания системы автономного полёта можно воспользоваться робототехнической операционной системой Robot Operating System [4]. Данная система является платформой для разработки программного обеспечения роботов.

Систему автономного управления дроном можно разделить на верхний и на нижний уровни. Верхний уровень управления отвечает за сбор и анализ данных об окружающей среде с помощью сенсоров. В зависимости от результата, полученного в ходе обработки данных, поступает команда на нижний уровень управления. Нижний уровень служит для управления исполнительными механизмами робота.

Для решения поставленной задачи по созданию автономного дрона доставщика разумно выбрать одноплатный компьютер Raspberry Pi 3B+ в качестве исполнителя верхнего уровня. Данный компьютер хорошо себя зарекомендовал в различных робототехнических проектах. При невысокой стоимости он обладает четырёхъядерным процессором с частотой ядра 1.4ГГц и оперативной памятью 1Гб. На роль исполнителя нижнего уровня подойдёт полётный контроллер PixHawk. он является продуктом с открытым кодом доступа, что облегчает его настройку.

Определение системы позиционирования

Как уже было сказано ранее, существующее дроны для доставки грузов не способны выполнять свои функции в помещении. По этой причине необходимо создать

собственную систему позиционирования, которая позволяла бы дрону летать в помещении. Соответственно бортовой компьютер робота должен получать на вход данные о всех препятствиях, которые встречаются на маршруте дрона. Один из методов представления данных обо всех объектах помещения является карта препятствий. Такая карта может быть представлена как в виде двумерной сетки занятости, так и трёхмерной модели пространства. Основным различием данных типов карт является способ их построения. Для создания двумерной карты препятствий не требуется больших вычислительных ресурсов. Алгоритмы построения двумерной карты препятствий в качестве входящей информации об окружающей среде используют данные, полученные с помощью лазерного дальномера. Для создания трёхмерной визуализации препятствий используются алгоритмы, которые в качестве исходной информации используют данные с RGB-D камеры или одной камеры, так называемые монокулярные методы. Данный метод имеет одно существенное отличие: данные о препятствиях предоставляются сразу в трёх плоскостях, то есть в отличии от карты препятствий, которая представлена только в плоскости лазерного дальномера, дрон имеет возможность получить информацию об объектах на различных высотах. Однако метод, основанный на построении трёхмерной модели помещения, является, во-первых, сложным в реализации, во-вторых, он требователен к вычислительным ресурсам устройства, на котором запущен.

Таким образом, алгоритмы для построения двумерной карты препятствий выглядят более привлекательными для использования на дроне. Это связано с тем, что данный метод не требователен к вычислительным ресурсам, а значит может быть запущен

на одноплатном компьютере Raspbrry Pi 3B+. Помимо этого, некоторые реализации методов построения двумерных карт существуют в ROS, что также выглядит привлекательным для использования.

Определение системы захвата груза

Для создания системы захвата груза необходимо определить на каком складе должен работать дрон. Это должен быть склад, на котором хранятся малогабаритные грузы. Это связано с тем, что дрон не обладает высокой грузоподъёмностью.

После определения того, каким должен быть переносимый груз, необходимо провести анализ существующих складов, которые используются для хранения такого типа грузов.

Таблица 3. Обзор существующих складов для хранения малогабаритных грузов

Компания	Фото	Тип хранящихся грузов
ЧИП и ДИП		Радиодетали, оптоэлектроника, инструменты, провода, кабели, кнопки, переключатели, разъёмы.
Самарафармация		Лекарственные препараты
Детский мир		Детские игрушки

На основании полученных данных можно сделать вывод, что средние размеры груза составляют 150x200x150 миллиметров. Наиболее распространённая масса переносимого груза на этих складах составляет: 300 грамм Среднее оценочное расстояние, которое должен проходить дрон от места захвата груза до его выгрузки составляет 80 метров. Также стоит отметить, что все грузы имеют форму параллелепипеда. Данный факт стоит учитывать при создании конструкции схвата. Также стоит отметить, что информация о расположении груза будет в себя включать порядковый номер ряда стеллажа, номер полки, а также уникальный идентификатор этого груза. То есть дрону заранее не известно, где находится груз на указанной

полке. С этой целью необходимо создать такую систему, которая позволяла бы дрону определять нужный груз, при этом не изменяя конструкцию стеллажа. Это нужно для того, чтобы данный дрон можно было легко интегрировать в работу склада без каких-либо его изменений.

Определение системы создания маршрута

Для того, чтобы дрон смог беспрепятственно летать на складе, необходимо создать систему, позволяющая строить маршрут в построенной карте. Такая система должная определять траекторию полёта не только с учетом существующих препятствий, но и также предотвращать столкновения дрона с объектами, которых нет на карте. Реализации алгоритмов построения маршрута существуют в ROS в виде различных пакетов. Также стоит отметить, что такая система построения маршрута позволит интегрировать данный дрон в работу склада.

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной главе описываются все этапы создания алгоритмов, позволяющее автономно управлять дроном, локализовать робота в построенной карте и строить в ней маршрут, а также автономно захватывать груз.

Разработка системы автономного полёта

Концепция ROS

Разработку алгоритмов автономного управления необходимо начать со знакомства с операционной системой ROS [1]. Данная система является платформой для разработки программного обеспечения роботов. ПО основано на архитектуре графов, где обработка данных происходит в узлах (node), которые могут получать и передавать сообщения (topic) между собой. Также ROS имеет набор различных инструментов и библиотек

(пакетов), которые реализуют различные функции робототехники и находятся в открытом доступе. Помимо этого, в данной операционной системе реализована 3D симуляция, в которой возможно протестировать различные алгоритмы на своём роботе на наличие ошибок, прежде чем использовать реальный макет.

Описание работы автономного управления БПЛА

Как было сказано ранее, для реализации автономного полёта необходимо использовать Raspberry Pi 3B+ и PixHawk. Для того чтобы система работала, необходимо, чтобы эти два устройства обменивались друг с другом данными.

В качестве прошивки полётного контроллера используется ПО PX4 [4]. PixHawk поддерживает протокол MAVLink. Этот протокол служит для информационного взаимодействия с дронами. Каждый пакет MAVLink имеет следующий формат:

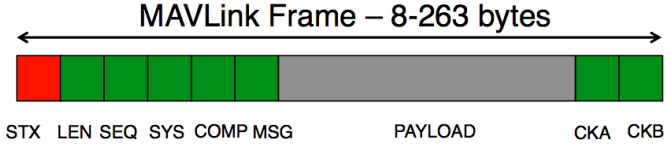


Рисунок 2. Формат сообщения MAVLink.

1. **STX** – первый байт пакет. Это символ начала сообщения;
2. **LEN** – длина полезной нагрузки;
3. В **SEQ** находится счётчик пакета, который служит для выявления потери сообщения;
4. **SYS** (System ID) служит для идентификации отправляющей системы;
5. **COMP** (Component ID) – это идентификатор отправляющего компонента;

6. В **MSG** (Message ID) хранится тип отправляемого сообщения;
7. **PAYLOAD** – это полезная нагрузка пакета;
8. **CKA** и **CKB** содержат контрольную сумму пакета.

Отправлять и принимать такие сообщения можно с помощью различных аппаратных и программных средств. Конкретно в данном проекте используется интерфейс USB.

Для того, чтобы бортовой компьютер мог получить информацию с полётного контроллера, Raspberry Pi 3B+ должен уметь обрабатывать сообщения по этому протоколу. Для этого разумно использовать готовый пакет MAVROS, который создаёт топики в ROS, через которые можно взаимодействовать с PX4.

Пример создаваемых топиков:

1. **/mavros/local_position/pose** – топик для получения локальной позиции робота в системе координат ENU и его ориентация.
2. **/mavros/global_postion/pose** – топик для получения данных о глобальной позиции робота (широта, долгота, высота)
3. **/mavros/vision_position/pose** – топик для публикации координат робота, полученных с помощью визуальных методов позиционирования.

Пример отправки сообщения по протоколу MAVLink на языке Python:

```
import rospy
from std_msgs.msg import String

rospy.init_node('my_ros_node')

call_pub = rospy.Publisher('/call', String, queue_size=1)

call_pub.publish(data='Hello, world!')
```

Рисунок 3. Пример программного кода.

Разработка системы позиционирования

Позиционирование робота с помощью двумерной карты препятствий можно разделить на два этапа:

1. Построение карты препятствий;
2. Позиционирование в построенной карте препятствий.

Создание системы построения карты препятствий

Для того, чтобы было легче интегрировать дрон в работу склада, необходимо, чтобы он самостоятельно строил карту склада. Это сильно экономит время, по сравнению со временем, которое бы затратил на это человек.

На данный момент существует множество подходов в решении задачи построения двумерной карты препятствий. Однако бóльшую популярность среди них получили методы SLAM [7].

Стоит заметить, что к используемому методу предъявляются особые требования. В виду того, что дрон является динамически-нестабильным устройством [1], то есть его позиция, углы по крену и тангажу в пространстве не зафиксированы, следовательно, в процессе построения карты будут возникать так называемые артефакты, то есть препятствия, которых нет в помещении. Поэтому используемый метод построения карты должен предоставлять карту с наименьшим количеством ошибок.

Рассмотрим самые популярные методы, реализованные в ROS, и сравним.

Таблица 4. Сравнение методов SLAM

Название	Тип карты	Оценочная точность	Примечание
Hector-SLAM	Сеточный	Отлично	Существует реализация в ROS
GMapping	Сеточный	Хорошо	Существует реализация

			в ROS
Fast SLAM	Граф пути	Удовлетворительно	Отсутствует реализация в ROS

Учитывая тот факт, что карта будет строится в процессе полёта дрона, то на основе данных таблицы можно сделать вывод, что метод Hector-SLAM выглядит более привлекательным для использования на дроне.

Рассмотрим детальнее работу данного метода. На вход алгоритм получает массив точек с лазерного дальномера. Принцип измерения расстояния до объекта основан на измерении угла между лазерным лучом, попадающим на объект, и объективом дальномера. Зная расстояние лазер-объектив (h) и измеренный угол, можно вычислить расстояние до объекта — чем меньше угол, тем больше расстояние.

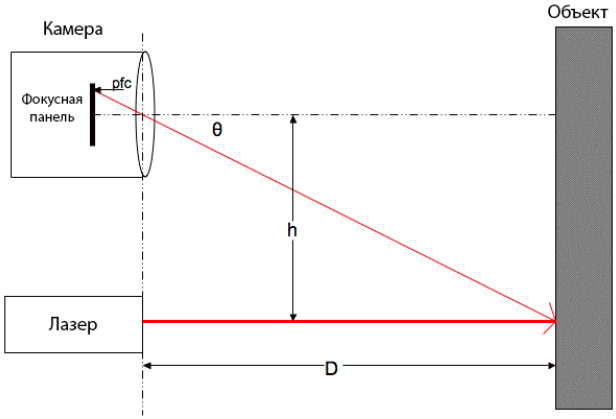


Рис. 4. Схема вычисления лидаром растояния до объекта.

Алгоритм получает на вход данные с лазерного дальномера (скан). Для определения положения БПЛА в пространстве необходимо выполнить преобразование из

системы координат лазерного дальномера (полярной системы координат) к системе координат поверхности движения робота. Преобразование между системами координат лазерного дальномера /laser_link и плоскости движения /base_link реализуется с помощью узла static_transform_publisher из пакета tf.

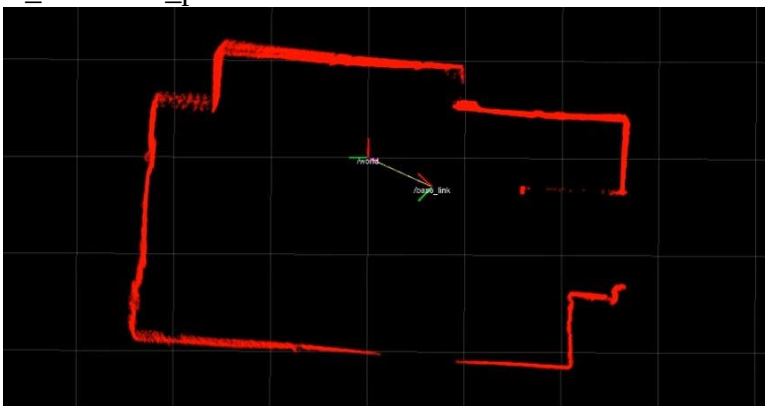


Рисунок 5. Визуализация данных с лидара.

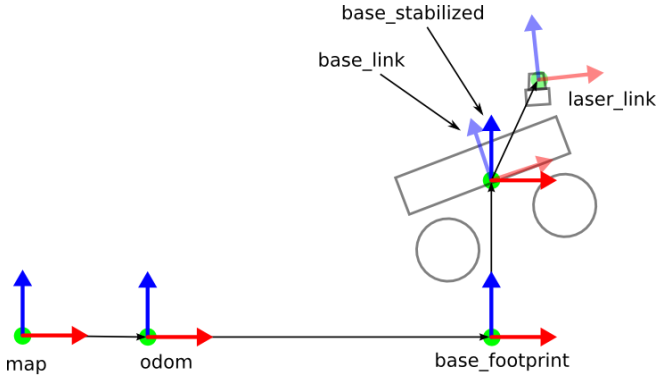


Рисунок 6. Система координат робота.

Данный алгоритм использует в качестве модели рабочей среды всю накопленную карту. Данная карта представлена в виде сетки занятости, где значение

функции карты *M(Pm)* = 1, если в соответствующей ячейке находится объект, и $M(Pm) = 0$, если ячейка свободна. В качестве меры совпадения скана и карты используется среднеквадратическая ошибка всех точек скана. Тогда для оценки положения $\xi *$ мобильного робота необходимо воспользоваться методом наименьших квадратов:

$$\xi^* = \arg \min_{\xi} \sum_{i=1}^{n} [1 - M(S_i(\xi))]^2$$

$Si(\xi)$ – координаты -й точки скана, преобразованной в систему координат помещения, если считать, что скан получен из положения ξ.

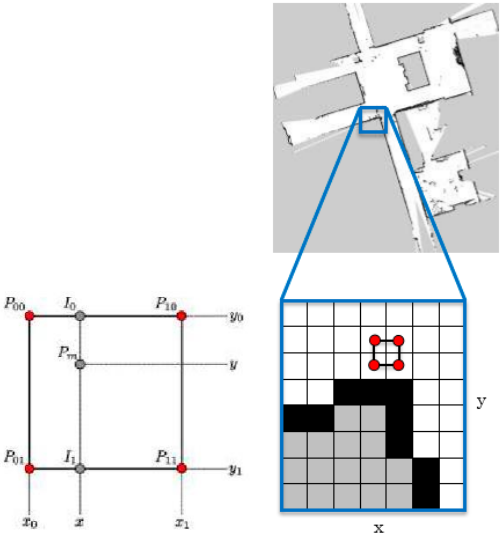


Рисунок 7. Схема представления двумерной карты препятствий.

После завершения построения карты склада, она сохранятся в базе данных управляющего компьютера с помощью утилиты **map_saver** из пакета **map_server** для дальнейшего использования.

Создание системы позиционирования в двумерной карте

Для ориентации устройства в построенной карте можно воспользоваться вероятностными методами локализации. Одним из таких является AMCL [5]. В своей работе он использует метод фильтра частиц. С помощью данного метода можно получить оценку, то есть приближенное значение, позиции робота в построенной карте, которую нельзя посчитать напрямую. Для создания этой оценки фильтр использует измерения, полученные с лидара, которые представляют из себя рой частиц (на англ. particle swarm). Для оценки позиции робота фильтр частиц создаёт множество гипотез на карте о текущем положении дрона. После каждой итерации цикла количество гипотез сокращается, и в конце концов остаются только те, которые близки к реальному значению позиции робота на карте.

Алгоритм AMCL можно разделить на четыре этапа [5], представленных на рисунке 8:

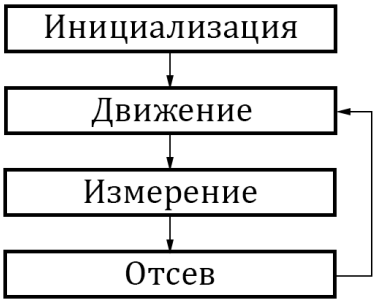


Рисунок 8. Этапы работы оригинального фильтра частиц.

Стоит рассказать про каждый этап отдельно. В ходе первого этапа задаются необходимые параметры и другие условия работы фильтра. Одним из важных параметров является число создаваемых частиц – гипотез о том, где

находится дрон в данный момент на карте. Соответственно, чем больше число этих частиц, тем выше точность работы метода, однако тем больше вычислительных ресурсов на это требуется. Со второго этапа начинается основная работа цикла. На этом этапе робот совершает движение. Так как каждая частица является моделью робота, то двигается она так же, как и робот. Однако направление движения у каждой частицы разное, то есть отличное от робота. На следующем этапе происходит измерение пройденного маршрута роботом с помощью данных с лидара. После этого необходимо сравнить измерения, полученные каждой частицей, с измерениями, сделанные роботом. Для этого используется формула нормально распределения:

$$f(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\mu-\mu_0)^2}{\sigma^2}}$$

Здесь σ^2 – среднеквадратичное отклонение, то есть погрешность измерений. μ_0 – математическое ожидание, то есть измерение робота, μ – значение величины, то есть измерение частицы. $f(\mu)$ – вероятность получения значения μ при заданных μ_0 и σ^2. После этого определяется вес каждой частицы. Стоит заметить, что суммарный вес всех частиц не должен превышать единицы. Заключительным этапом является отсев частиц с низким весом. Для этого создаётся новый массив, в который частицы попадают с вероятностью равной ее весу.

Таким образом, с помощью метода AMCL можно получить данные о позиции робота в построенной карте. Стоит заметить, что реализация данного метода доступна в ROS, что также повышает его привлекательность. Однако в ходе испытаний выяснилось, что время вычислений позиции робота с помощью этого метода превышает одного часа. Также полученные данные о позиции робота сильно отличаются от реальных (см. рисунок 9).

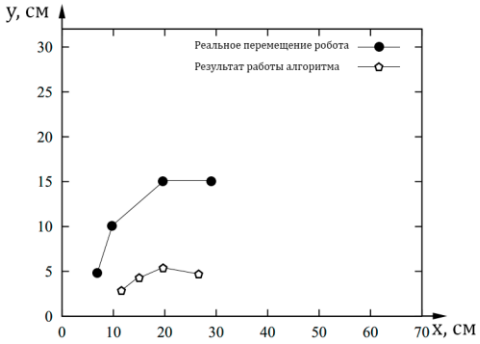


Рисунок 9. Результат эксперимента.

На основании результатов экспериментов был сделан вывод, что необходимо оптимизировать работу данного метода. Это можно сделать, если инициализировать дрон в известном на карте месте, то есть пропустить этап движение. Процесс инициализации можно производить вручную, то есть указывать конкретное место на карте, или использовать систему распознавания маркеров, то есть каждому маркеру будет соответствовать определённая координата на карте.

После этого был проведен тот же эксперимент (см. рисунок 10):

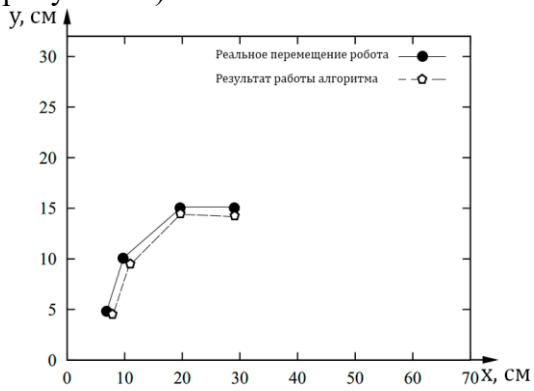


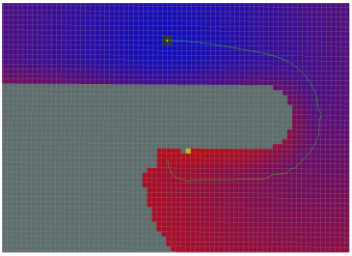
Рисунок 10. Результаты эксперимента.

Как можно заметить, результаты повторного эксперимента удовлетворяют требованиям, а именно погрешность составляет примерно двадцать сантиметров.

Таким образом, используя данную модификацию метода локализации дрона, можно получить данные о позиции робота с высокой точностью за небольшой промежуток времени.

Разработка системы создания маршрута

Для создания системы поиска оптимального маршрута в карте препятствий разумно воспользоваться стеком навигации ROS, а именно navigation [4]. В своей работе он использует два планировщика пути: Global Planner и Local Planner. Первый использует всю карту для создания маршрута (см. рисунок 11а). Local Planner дополняет маршрут, созданный Global Planer, принимая во внимание динамические препятствия и габариты дрона (см. рисунок 11б).



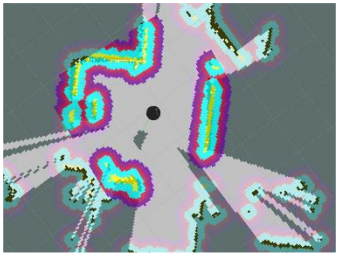


Рисунок 11а. Визуализация Global Planner Рисунок 11б. Визуализация Local Planner

Таким образом, воспользовавшись стеком навигации ROS, была получена система создания маршрута для обхода препятствий.

Разработка системы захвата груза

Основная трудность, возникающая на пути решении задачи создания системы захвата груза, связана с тем, что на полке стеллажа находятся множество грузов, ничем не отличающиеся друг от друга. Это значит, что дрону будет невозможно определить, какой именно груз необходимо захватить и доставить. Один из способов решения данной задачи является присвоению каждому грузу уникальный идентификатор. Одним из таких является Aruco-маркеры (см. рисунок 12), которые хорошо себя зарекомендовали в сфере разработки робототехнических систем. Это чёрно-белые маркеры с уникальным рисунком.

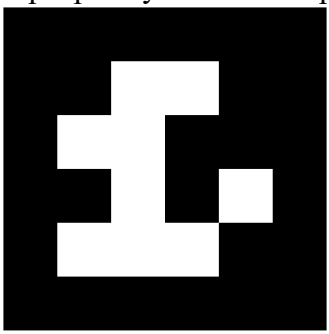


Рисунок 12. Aruco-маркер

С помощью алгоритмов компьютерного зрения [6] можно распознать такой маркер и получить информацию о его местоположении.

После решения проблемы позиционирования дрона относительно груза, необходимо определить систему самого схвата. На данный момент существует несколько различных видов схвата, используемых в робототехнике. В данном проекте был выбран центрирующий рычажно-зубчатый схват. Он имеет ряд преимуществ. Во-первых, он прост в изготовлении. Во-вторых, в движение данный схват приводит обычный сервопривод. Его можно

подключить к Raspberry Pi 3B+ и управлять с помощью интерфейса GPIO.

Весь алгоритм работы системы захвата груза можно визуализировать с помощью блок-схемы (см. Рисунок 13).

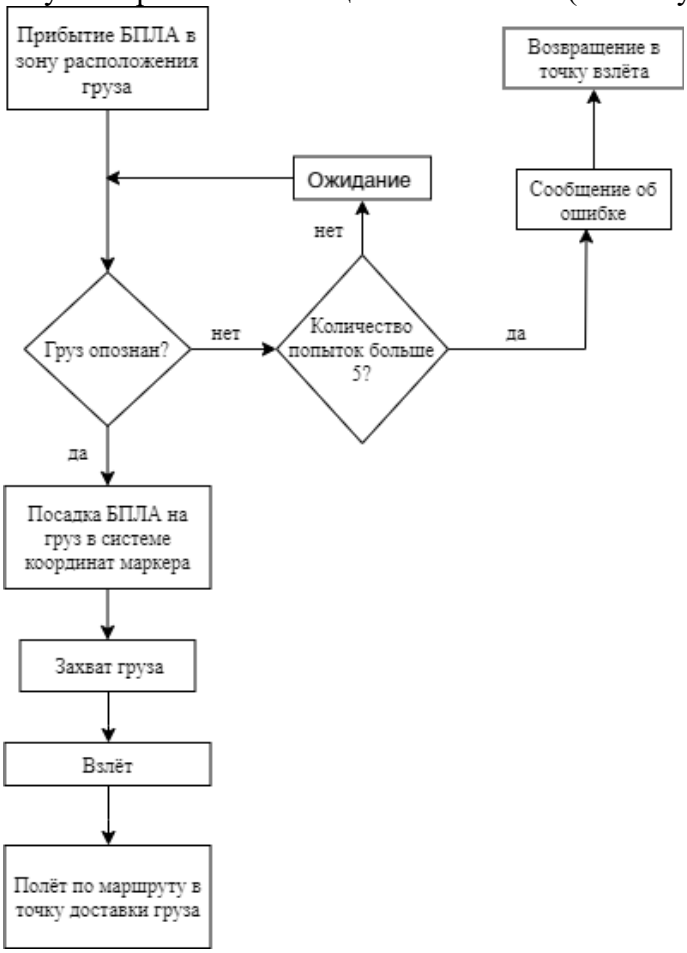


Рисунок 13. Алгоритм захвата груза

КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

В данном разделе описываются этапы создания деталей конструкции автономного дрона для доставки грузов внутри складских помещений. Описываются методики, которые применил автор для создания деталей конструкции.

Разработка системы схвата груза

Как было сказано в предыдущем разделе, наиболее выгоден для подобной задачи центрирующий рычажно-зубчатый схват. Он включает в себя приводной механизм, два вращающихся вокруг неподвижной оси синхронизированных зажима и крепление к плоскости рамы дрона. Схема зажима представлена на рисунке 14.

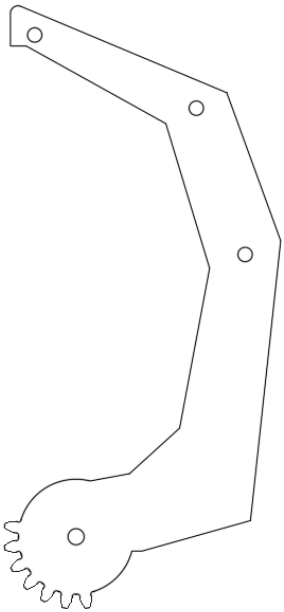


Рисунок 14. Схема зажима

Создание рабочей модели устройства

Создание модели деталей конструкции БПЛА

В данном проекте было принято решение о создании собственной конструкции дрона. Это нужно для того, чтобы закрепить все датчики и устройства на дроне. Все детали проектировались с помощью ПО AutoDesk Fusion 360. В результате были получены модели будущих деталей конструкции (см. рисунки 15а,15б).

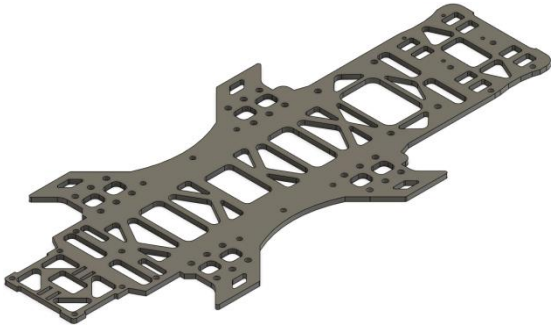


Рисунок 15а. Модель несущей рамы

Рисунок 15б. Модель луча

Для определения коэффициента прочности и максимального смещения точек рамы в местах приложения силы полученной конструкции использовался готовый стэк «Simulation» в среде проектирования AutoDesk Fusion 360.

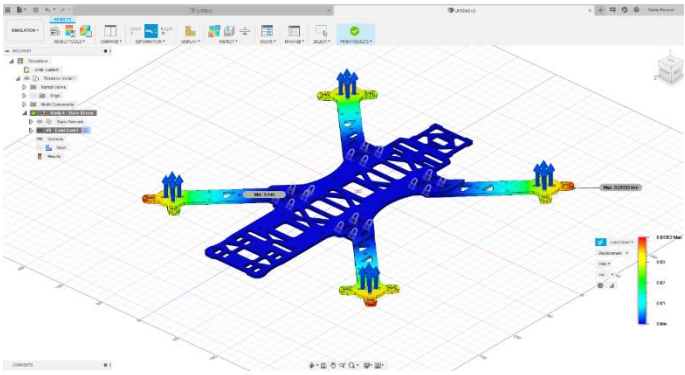


Рисунок 16. Визуализация максимального смещения в точках приложения силы.

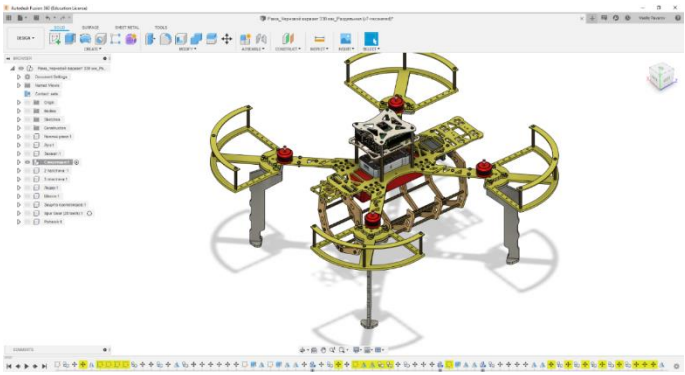


Рисунок 17. Модель дрона в сборке.

Изготовление деталей

Основная несущая рама и лучи были выполнены на фрезерном станке с ЧПУ, защита пропеллеров была выполнена на лазерном станке. Вторая и третья пластины были изготовлены на 3D принтере

Для работы с ЧПУ станками использовался инструмент MANUFACTARING в Autodesk Fusion 360, который позволяет подобрать необходимые

характеристики станка для создания детали. В этом же стеке есть возможность генерировать G-Code для различных станков с ЧПУ (см. рисунок 17). Конкретно в данном проекте использовался станок Rolland MDX-40.

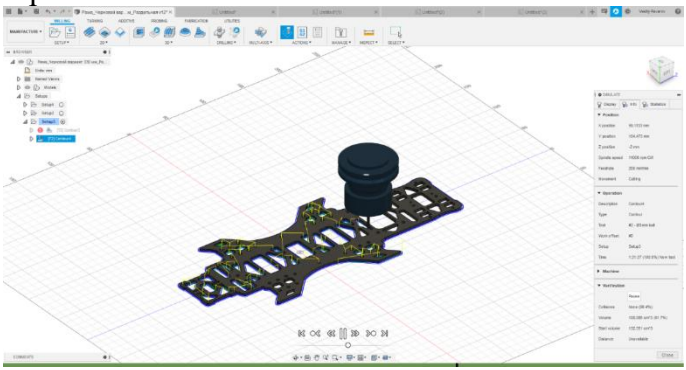


Рисунок 18. Создание программного файла для фрезерного станка с ЧПУ

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выбор базовых параметров эксперимента

Для того, чтобы все испытания дрона проходили максимально приближено к реальным условиям, необходимо создать тестовую площадку, отвечающую данным требованиям. В первую очередь площадка должна включать в себя объект, имитирующий стеллаж, на котором установлен груз. Его необходимо захватить в автономном режиме. Также на площадке должны быть установлены препятствия, которые дрон должен автономно облетать.

В ходе тестирования необходимо определить следующие параметры:

1. Оптимальная грузоподъёмность дрона;
2. Качество работы системы построения карты с помощью дрона;

3. Качество работы системы позиционирования дрона в построенной карте;
4. Качество работы системы захвата груза.

Так же необходимо рассмотреть работу системы построения маршрута в различных ситуациях.

Анализ результатов

Расчёт оптимальной грузоподъёмности дрона

Для расчёта оптимальной грузоподъёмности была построена зависимость массы груза, который находится на дроне, от времени полёта (см. Таблица 5).

Таблица 5. Результаты эксперимента

Масса груза, г	Время полёта, мин
0	20,25
50	19,1
100	17,9
300	15,1
400	12,1
500	9,7

Исследуя данные таблицы, можно сделать вывод, что оптимальной массой переносимого груза составляет 300 грамм, при этом дрон может находится в воздухе около 15 минут. Полученные данные соответствуют заявленным требованиям, описанные в исследовательской части.

Определение качества работы системы построения карты

Для определения качества построенной карты измерялся один и тот же участок на местности и на карте, а потом сравнивался (см. Таблица 6).

Таблица 6. Результаты эксперимента

Участок на местности, м	Участок на карте, м	Разница, м
10	9,989	0,011
8,5	8,496	0,004
5	4,992	0,002
2,5	2,507	0,007
2	2,007	0,007

На основе результатов эксперимента можно с полной уверенностью сказать, что построенная карта различается с местностью на очень небольшое значение. Такой уровень точности подходит для использования такой системы на дроне.

Определение качества работы системы позиционирования дрона в построенной карте

Для определения качества работы системы позиционирования в построенной карте проводился эксперимент, в котором дрону необходимо было в течение 10 минут находится в воздухе на одном месте.

В результате данного эксперимента удалось вычислить среднее отклонение дрона от заданной координаты. Данная погрешность составила 0,2 м. Такое значение является для дрона оптимальным. Это значит, что использовать на дроне подобную систему возможно.

Определение качества работы системы захвата груза

Для определения качества работы системы захвата груза проводился эксперимент, в котором дрону необходимо было забрать груз с объекта, который имитировал стеллаж. Результат каждого эксперимента

оценивался либо положительно, либо отрицательно. Это зависело от того, захватил дрон груз или нет. В итоге, были получены следующие результаты: на каждые 10 попыток приходилось 19 удачная и 1 неудачная, то есть вероятность того, что дрон захватит груз составляет ~95%. Это неплохой результат для подобной системы. Поэтому можно сделать вывод, что данная система может использоваться на автономном дроне.

Определение качества работы системы построения маршрута

Для определения качества данного параметра проводился эксперимент, который состоял из двух этапов. В ходе первого этапа дрону предстояло построить маршрут до конечной точки с учётом всех препятствий. Во втором этапе дрону необходимо было проследовать по построенному маршрута. Каждый этап оценивался отдельно. При построении маршрута в первую очередь оценивалось оптимальность построенного маршрута. На данном этапе система построения маршрута оценивается как отлично, так как из 15 попыток только одна была фатальной, то есть системе не удалось построить маршрут. На следующем этапе дрону предстояло пролететь по маршруту. Здесь в первую очередь оценивалось точность следования по маршруту. Данный этап нельзя оценить также хорошо, как предыдущий. Из 20 попыток 17 оказались удачными. Это связано со спецификой работы Local Planner и сложностью настройки его параметров.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной главе рассматривается экономическая составляющая проекта. Данный раздел необходим с той целью, чтобы получить полное представление об готовом продукте и его социальной значимости.

Определение цены компонентов дрона

Для определения суммарной стоимости всех компонентов дрона была составлена таблица.

Таблица 7. Цена компонентов

Наименование компонента	Цена
Материал конструкции	2 400 ₽
Полётный контроллер (Pix-Hawk)	2 600 ₽
Raspberry Pi 3B+	3 500 ₽
Камера	670 ₽
Сервопривод	400 ₽
Моторы	2 500 ₽
Регуляторы оборотов	1 600 ₽
RPLIDAR A1	6 500 ₽
Преобразователь напряжения 2x	1 400 ₽
Лазерный дальномер	6 000 ₽
Итог:	27 570 ₽

Экономический анализ

Для получения достоверной информации о социальной значимости полученного продукта необходимо провести экономический анализ, то есть сравнить полученное устройство с аналогичными (см. Таблица 8).

Таблица 8. Сравнение аналогов

Наименование характеристики	Amazon	DHL	Полученная модель дрона
Длительность полёта	60 – 70 минут	50 – 70 минут	15 – 16 минут
Грузоподъёмность	2,25 – 2,50 кг	2 – 3 кг	< 0,5 кг

Габариты	2000 x 1500 x 2000 мм	1000 x 1000 x 500 мм	335 x 335 x 200 мм
Наличие возможности автономного полёта на улице	+	+	+
Наличие возможности автономного полёта в помещении	-	-	+
Доставка грузов	Только специально подготовленный для доставки	Только специально подготовленный для доставки	Возможность доставки груза любой геометрии, ограниченный только возможностями захвата
Коммерческое использование	-	-	-
Стоимость БПЛА	~30 000$	~30 000 – 32 000$	460$

Анализ результатов

Таким образом, используя данные приведенных таблиц, можно сделать вывод, что полученное устройство уступает конкурентам по нескольким параметрам, однако имеет ряд преимуществ: небольшая стоимость, осуществляет доставку грузов в помещении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной проектной работы была достигнута поставленная цель – создан автономный дрон для доставки грузов в складском помещении. Для этого были решены все поставленные задачи:

1. Создана система автономного полёта;
2. Разработана система позиционирования;
3. Созданы алгоритмы построения маршрута и обхода препятствий;
4. Разработана система позиционирования относительно груза;
5. Разработка системы захвата груза.

В дополнении к поставленной задачи были проведены испытания автономного дрона. В ходе этих экспериментов удалось выяснить, что разработанные комплексы позиционирования, построения маршрута и захвата груза отвечают всем заявленным требованиям.

В будущем планируется создать систему, позволяющая работать сразу нескольким дронам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] 1. Терри Килби. Дроны с нуля: БХВ-Петербург, 2016г. – 191 с.

[2] 2. Валерий Яценков. Твой первый квадрокоптер: теория и практика.: БХВ-Петербург, 2017г. – 255 с.

[3] 3. PX4 Autopilot User Guide [Электронный ресурс] URL:http://docs.px4.io/en/ (дата обращения: 19.05.2019).

[4] 4. ROS Documentation [Электронный ресурс] URL:http://wiki.ros.org (дата обращения: 27.05.2019).

[5] 5. Global and Local Path Planning Study in a ROS-Based Research Platform for Autonomous Vehicles [Электронный ресурс] URL: https://doi.org/10.1155/2018/6392697 (дата обращения: 19.08.2019).

[6] 6. Open Source Computer Vision Library [Электронный ресурс] URL: https://opencv.org (дата обращения: 14.06.2019).

[7] 7. S. Riisgaard, M. Blas. A tutorial approach to simultaneous localization and mapping: Massachusetts Institute of Technology, Mobile Robotics course materials, 2012 г. – 127с.

[8] 8. S. Thrun, W. Burgard, D. Fox. Probabilistic Robotics: Massachusetts Institute of Technology, 2006г. – 647с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

В данном приложении приведены изображения полученного дрона с пояснениями.

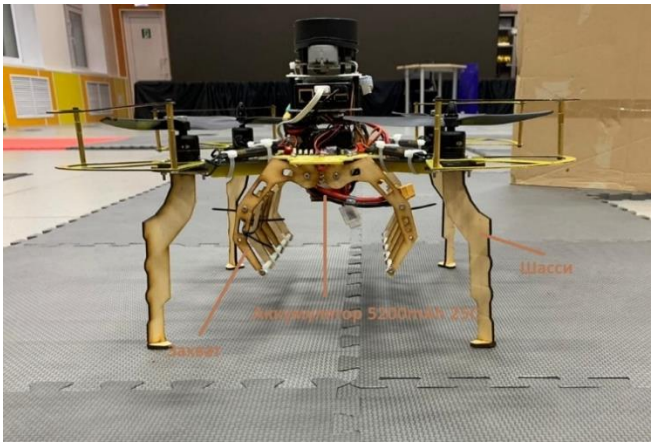


Рисунок 1. Вид устройства спереди

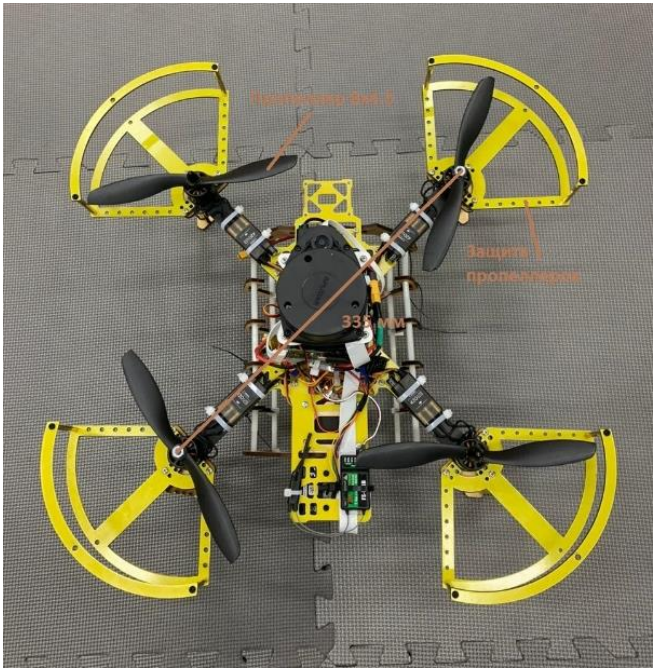


Рисунок 2. Вид устройства сверху

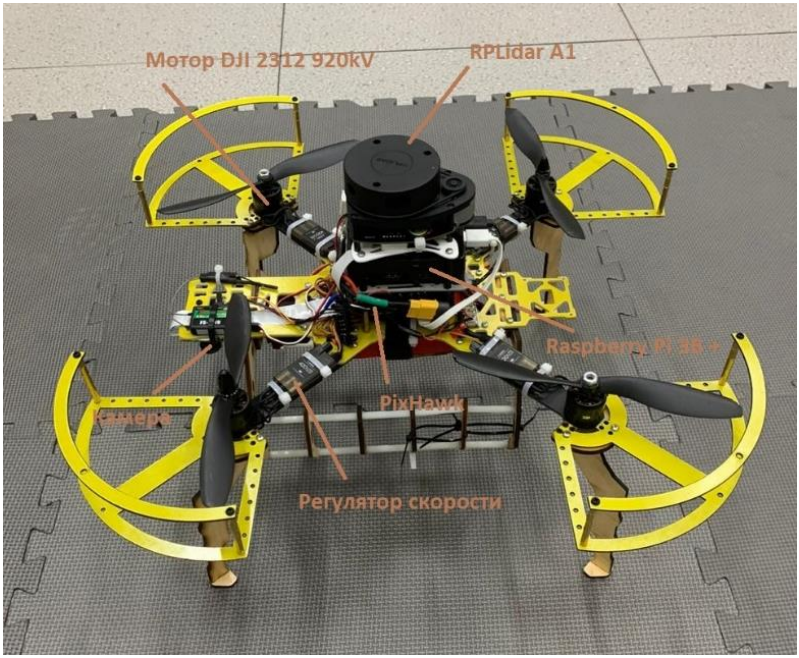


Рисунок 3. Вид устройства сбоку

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

В данном приложении приведён исполнительный код, написанный на языке python:

```
import time
import pigpio
import rospy
from comp_srv import srv
from std_srvs.srv import Trigger

rospy.init_node('atm_flight')

navigate = rospy.ServiceProxy('navigate', srv.Navigate)
land = rospy.ServiceProxy('land', Trigger)

pi = pigpio.pi()

pi.set_mode(13, pigpio.OUTPUT)

pi.set_servo_pulsewidth(13, 900)

navigate(x=0, y=0, z=1, speed=0.2, frame_id='map', auto_arm=True)
rospy.sleep(6)

navigate(x=0, y=1, z=1, speed=0.2, frame_id='map', auto_arm=True)
rospy.sleep(7)

land()

rospy.sleep(7)

pi.set_servo_pulsewidth(13, 2100)
```

```
        rospy.sleep(7)

        avigate(x=0, y=1, z=1, speed=0.2, frame_id='map', au-
to_arm=True)
        rospy.sleep(5)

        navigate(x=0.2, y=1.5, z=1.4, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(4)

        navigate(x=0.5, y=1.7, z=1.4, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(4)

        navigate(x=1.1, y=1.7, z=1.4, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(4)

        navigate(x=1.1, y=1.7, z=1.4, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(4)

        navigate(x=1.6, y=2.15, z=1.4, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(5)

        navigate(x=1.9, y=2.15, z=1.4, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(4)

        navigate(x=1.9, y=1.5, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(4)
```

```
        navigate(x=2.3, y=1.4, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(4)

        navigate(x=3.1, y=1.4, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(7)

        navigate(x=4.5, y=1.4, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(7)

        navigate(x=4.5, y=2.2, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(7)

        navigate(x=5.4, y=2.5, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(7)

        navigate(x=6.5, y=2.5, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(7)

        navigate(x=6.5, y=3.2, z=0.8, speed=0.2,
frame_id='map', auto_arm=True)
        rospy.sleep(7)

        land()
        rospy.sleep(7)

        pi.set_servo_pulsewidth(13, 900)
        rospy.sleep(7)
```

СЕКЦИЯ ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА PAGERANK И ЕГО ТЕСТИРОВАНИЕ НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Матвеев Юрий Александрович

ГБОУ СОШ 171, г.Москва
11 Л, инженерный
Матвеев Сергей Александрович, кфмн, нс
Институт вычислительной математики РАН им. Г.И. Марчука

ВВЕДЕНИЕ

В жизни мы часто встречаемся с необходимостью выстроить ряд объектов по какому-либо признаку. Примеры такого построения:

1. Конкурс абитуриентов в ВУЗы на основании суммы набранных по результатам ЕГЭ суммы набранных баллов;
2. Кредитный рейтинг (частного лица, компании, страны);
3. Рейтинг сборных в спорте (например, ФИФА);
4. Индекс цитируемости Хирша;
5. Место в списке друзей в соцсетях;
6. Тендер на реализацию какого-либо проекта.

Список этот довольно разнообразен и каждый может легко продолжить его. В некоторых случаях критерий важности или “рейтинга” вполне очевиден, в других же необходимы формализованные определения и достаточно трудная математическая работа.

Предмет данной работы можно определить следующим образом:

Ранжирование - расположение совокупности объектов в последовательности, заданной по каким-либо

критериям, и определение в этом ряду места каждого из них.

В зависимости от природы ранжируемых объектов используются различные методы ранжирования. Их очень много. Часть из них вполне устоявшиеся, многие активно совершенствуются.

Очень часто в повседневной жизни мы сталкивается с необходимостью ранжировать результаты поиска в интернете по тому или иному запросу. Зачастую мы и не догадываемся, что результатом поиска информации (выданный нам список найденных страниц) является работа алгоритма ранжирования. При этом каждый замечал, что, как правило, наиболее востребованная искомая информация содержится на первых сайтах предлагаемого поисковиком списка. По мере же дальнейшего продвижения по этому списку информация становится, как правило, мусорной.

Поисковые системы начала 90-х ориентировались на ключевые слова по контексту, которые присутствовали на том или ином сайте. Результатом поиска могли быть очень большие списки, из которых сложно выбрать стоящий сайт. Это быстро поняли веб-редакторы, которые стали указывать в тегах сайта его тематику, описание и ключевые слова. Поисковики считали этот сайт соответствующим заданной тематике и высоко ранжировали его по указанным ключевым словам. Такой подход ранжирования сайтов в интернете называется текстовым.

Альтернативу ему предложили в 1996 году два аспиранта Стэнфордского университета – Ларри Пейдж и Сергей Брин. Они стали использовать в качестве основы ранжирования сайтов количество ссылок на этот сайт со стороны других сайтов. По их идее веб-страница должна считаться тем «важнее», чем больше на неё ссылается

других «важных», страниц, и чем более «важными», в свою очередь, являются эти страницы [1]. На основе этой идеи они разработали базовый алгоритм для поисковой системы, которая через небольшое время стала называться Google, ее авторы стали основателями одной из самых крупных компаний в мире. Для описания сути предложенного метода ранжирования нам потребуется ряд понятий и результатов линейной алгебры [2] и теории графов [3] (которые мы примем без доказательств). Они приведены в приложении А.

ЧТО ТАКОЕ PAGERANK

Рассмотрим, как работает алгоритм PageRank на простом примере. На рисунке 2.1 представлена схема из учебника по информатике 6-го класса, поясняющая, что такое граф [5]. Допустим нам необходимо проранжировать набор объектов, указанный в этой схеме. На основании этого графа построим так называемую матрицу связности. В матрице связности значение элемента в i-ой строке и столбце с номером j равно количеству связей, входящих на графе в вершину i из вершины j. На диагонали такой матрицы будут нули, если в графе не допускается существование ребер-петель из вершины в саму себя. В таблице 2.1 приведена матрица связности для рассматриваемого нами графа.

Рисунок 2.1 - Пример сказочного графа

Иван	0	0	0	0	1	0	0	0
Стрела	1	0	0	0	0	0	0	0
Лягушка	1	1	0	0	0	0	0	0
Кожа	1	0	0	0	0	1	0	0
Яга	0	0	0	0	0	0	0	0
Василиса	0	0	1	0	0	0	0	0
Лебедь	0	0	0	0	0	1	0	0
Кощей	2	0	0	0	0	0	1	0

Таблица 2.1 – Матрица связности

Иван	0	0	0	0	1	0	0	0
Стрела	0.2	0	0	0	0	0	0	0
Лягушка	0.2	1	0	0	0	0	0	0
Кожа	0.2	0	0	0	0	0.5	0	0
Яга	0	0	0	0	0	0	0	0
Василиса	0	0	1	0	0	0	0	0
Лебедь	0	0	0	0	0	0.5	0	0
Кощей	0.4	0	0	0	0	0	1	0

Таблица 2.2 – Нормированная матрица

Отметим, что все элементы матрицы связности – неотрицательные числа. Если при этом граф, с которого мы начали работу, - связный (см рисунок А2 в приложении А), то такие матрицы обладают замечательным свойством: ее максимальному собственному числу соответствует только один собственный вектор. Элементы этого вектора - неотрицательные числа. Это доказано в теореме Перрона-Фробениуса [6].

Полученную матрицу связности преобразуем в другую матрицу следующим образом: каждый элемент новой матрицы является результатом деления соответствующего элемента исходной матрицы связности на сумму всех элементов соответствующего столбца (см. табл. 2.2., вырожденные случаи и приёмы их разрешения, когда все элементы столбца являются нулевыми, будут подробно рассмотрены в разделе 6). Отметим, что если начальная матрица удовлетворяет условиям теоремы Перрона-Фробениуса, то и нормированная матрица так же будет удовлетворять ему. Ее собстственный вектор, соответствующий максимальному собственному числу Л. Пейдж и С. Брин и определили результатом ранжирования рассматриваемых n объектов и назвали его PageRank. Критерий важности в данной случае прост: чем больше значение элемента найденного собственного вектора, тем важнее соответствующая страница. Именно этот вектор и есть результат ранжирования n объектов, связанных взаимными ссылками. При этом «Page» в этом случае образовано от фамилии одного из двух авторов исходной

статьи, а не английского “page” - страница, следовательно, по-русски правильнее называть алгоритм “Пэйджевским ранжированием”, но это название не прижилось в профессиональном сообществе.

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ PAGERANK

Как же можно получить искомый вектор PageRank? Алгоритмически это оказалось довольно просто (хотя теоретическое обоснование алгоритма сложно). Для этого необходимо перемножить нашу нормированную матрицу на произвольный вектор длины 1 (по PageRank, см определение А.5). Результатом перемножения будет другой вектор. Его снова перемножим на этот вектор. При этом вычислим разницу в длине векторов-результатов перемножения. И повторим эту операцию несколько раз, до тех пор, пока квадрат разности длин двух последующих перемножений векторов не будет меньше некоторого заранее заданного маленького числа Ɛ, называемого точностью приближения. Такой алгоритм в линейной алгебре известен под названием ***метода Пикара для отыскания старшего собственного значения и вектора [6]***. Как только квадрат разности станет меньше заданной точности, то говорят, что с точностью Ɛ, получено ранжирование PageRank. Алгоритм реализации различных блоков программы представлен на рисунках 3.1-3.3.

Рисунок 3.1 - Блок-схема считывания матрицы связей из внешнего файла. Информация на вход этому блоку должна подаваться в формате CSV

Рисунок 3.2 - Блок-схема преобразования матрицы связей в нормированную матрицу

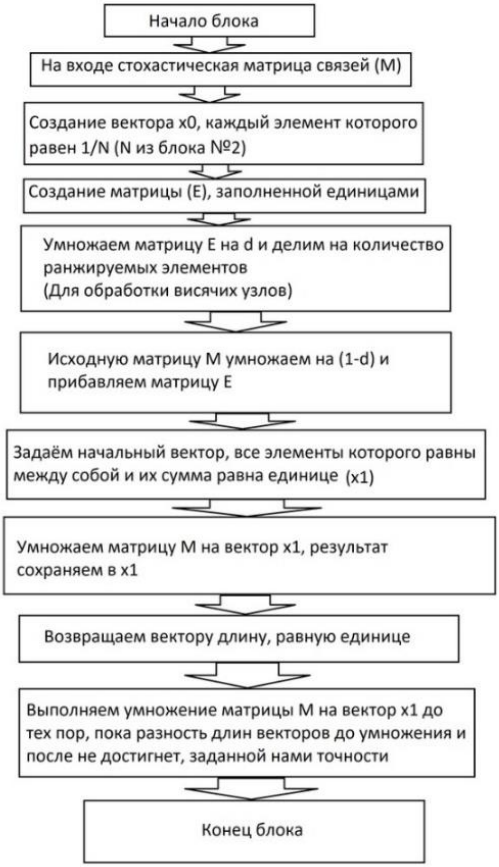


Рисунок 3.3 - Блок-схема вычисления Pagerank по заданой нормированной матрице

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА

Приведенный выше алгоритм реализован на языке Python. Код (и все другие материалы проекта) хранится в открытом доступе в интернете: https://github.com/some-crap/pagerank. Следует обратить внимание, что ужесточение критерия (т.е. уменьшение Ɛ), приводит к более точной численной оценке PageRank, но достигается

это за счет увеличения числа итераций алгоритма и времени работы программы. В нашем случае число объектов невелико, поэтому разницу во времени вычисления сложно продемонстрировать. В дальнейших примерах размерность рассматриваемых задач будет больше и такое увеличение времени работы алгоритма будет заметно. Вот так выглядят результаты работы программы в нашей задаче при Ɛ=0.01 и Ɛ=0.00001 (см. таблицу 4.1).

Таблица 4.1 - Результат ранжирования сказочного графа при Ɛ=0.01 и Ɛ=0.00001

Результаты работы программы при Ɛ=0.01	Результаты работы программы при Ɛ=0.00001
1) Кощей: 61.99% 2) кожа: 14.32% 3) лебедь: 14.01% 4) Василиса: 6.94% 5) лягушка: 1.85% 6) Иван: 0.41% 7) стрела: 0.4% 8) Яга: 0.08% число итераций: 25	1) Кощей: 59.86% 2) кожа: 15.17% 3) лебедь: 14.87% 4) Василиса: 7.43% 5) лягушка: 1.85% 6) Иван: 0.37% 7) стрела: 0.37% 8) Яга: 0.07% число итераций: 86

ВАЛИДАЦИЯ ПРОГРАММЫ

С целью проверки правильности работы программы был выполнен ряд шагов. Програмнное перемножение матрицы большой размерности на вектор на случайно сгенерированных данных сравнивалось с использованием стандартной библиотеки Numpy. Результаты выполнения операции совпали.

Программа тестировалась также на хорошо документированной задаче, иллюстрирующей суть ранжирования PageRank [1].

На рисунке 5.1 представлен граф взаимосвязей вебстраниц (диаметр узлов на рисунке соответствует рейтингу Pagerank), ранжирование которого влечет неожиданные, на первый взгляд, результаты. Вебстраница C имеет более высокий рейтинг, чем страница E, хотя на нее входит меньше ссылок на C, чем на E. Это объясняется тем, что единственная ссылка на C исходит из более важной страницы. В результате страница C, на которую ссылается единственная важная страница B имеет более высокий рейтинг, чем страница E, на которую ссылаются шесть менее важных страниц. Результаты тестирования разработанной программы совпали с представленными данными.

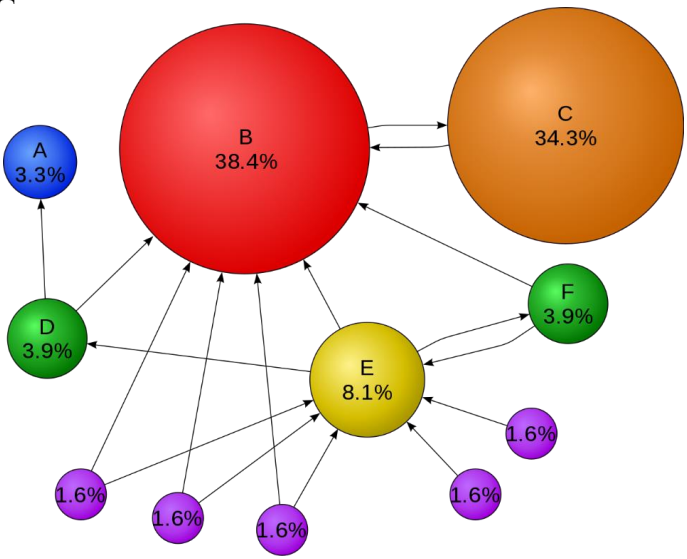


Рисунок 5.1 Математический рейтинг вебстраницы (PageRank) для простой сети, выраженный в процентах

Граф взаимосвязей, представленный на рисунке 5.1, подавался также на вход встроенной в библиотеку PYTHONa функции networkx.pagerank. Выяснилось, что

указанная функция работает только с графами, все связи которых – двунаправленные, поэтому в случаях, аналогичных указанному, использоваться для валидации не может.

МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА

В ряде случаев рассматриваемый алгоритм нуждается в некоторых усложненях. Например, связь, исходящая от вершины «Иван-царевич» к вершине «Кощей». Эта связь – двойная. В том случае, если двойная связь была бы единственной исходящей связью из вершины «Иван-царевич», т.е., если бы не было связей с лягушкой, лягушачьей кожей и стрелой, то такая двойная связь рассматривалась бы, как одинарная. Но поскольку от Ивана-царевича исходит четыре связи, одна из которых имеет двойной вес, это отражается в матрице связности таким образом, как указано в таблице 2.1, т.е. элемент матрицы (8,1) имеет значение 2. Весы связей будут очень существенны в других, более сложных примерах, которые будут рассмотрены в дальнейшем.

Другим особым случаем является вершина «Баба-яга». Для нее нет ни одной входящей связи. Такие вершины называются несвязанными. Вершины, не имеющие ни одной исходящей связи называются висячими. Примером в нашем графе могут служить вершины «Кощей» или «Лягушачья кожа». Для несвязных вершин соответствующие столбцы матрицы становятся вырожденными. Для висячих становятся выроженными строки. Отметим, что наличие таких вырожденных вершин делает граф с направленными связями несвязным, т.е. в вершину «Баба-яга» невозможно попасть из других вершин. Из узла «Кощей», напротив, нельзя выйти ни в одну вершину. В этом случае используется модификация алгоритма. Граф искусственно делается полносвязным (как на рисунке А.3 в приложении А) с помощью добавления

рёбер из всех вершин во все остальные, но искусственно добавленные ребра учитываются лишь с малым весом. На языке матриц это будет обозначать следующий приём. Заменяем исходную нормированную матрицу A на матрицу

$$pE + (1 — p)A, \qquad (6.1)$$

где p – это небольшое положительное число , а в матрице E все элементы равны 1/n. Это безусловно, приведет к некоторому смещению результатов ранжирования, но позволит рассматривать больше возможных конфигураций и данных. После такого преобразования все элементы становится положительными и полученная матрица удовлетворяет условиям теоремы Перрона-Фробениуса. Обычно значение p считают равным 0.15. Этот прием отражает возможность того, что пользователь, находящийся в висячем узле, может с вероятностью p самостоятельно перейти на участвующие в ранжировани страницы. Результаты по графам 2.1 и 5.1, приведенные выше, получены с помощью такой модификации алгоритма.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Ранжирование пользователей группы в социальной сети

Первым и наиболее трудоемким вычислительным экспериментом с реализованным алгоритмом PageRank стало ранжирование участников конктретной группы в популярной социальной сети VK. Для обработки была выбрана одна из групп учащихся школы №171 г. Москвы: https://vk.com/overheardd_54. (Отметим, что информация о группе соответствовала июню 2019 года, когда выполнялся проект. Существенно также, что группа является приватной, поэтому вместо имен участников группы и их идентификационных номеров VK мы используем свою внутреннюю нумерацию, сгенерированную нашей

программой). Такая постановка задачи практически буквально повторяет задачу ранжирования сайтов поисковиками в интернете.

Расширенные пользовательские возможности VK позволяют подготовить серию запросов по получению данных пользователей [8]. В нашем примере ранжировались члены тестовой группы. В качестве ссылок между их страницами были выбраны подписки и дружественные связи между ними. Так как группа не является замкнутой, отсеивались страницы подписок или дружественных пользователей, не являющихся членами выбранной тестовой группы. В результате, была сформирована матрица взаимосвязей 188 участников группы (при этом каждому участнику группы мы присвоили свой инденификационный номер – от 1 до 188, который использовался в программах обработки и для презентации результатов). Для этого понадобилось разработать программу на языке PHP-7. Ее блок-схема приведена в приложении Б. Граф взаимосвязей пользователей приведен на рисунках 7.1.1 и 7.1.2. Графическое изображение связей получено с использованием специальной библиотеки Python [9]. Эти рисунки позволяют продемонстрировать сложность проведения ранжирования подобного рода. Без использования автоматизации и программ для вычислений проранжировать даже сравнительно небольшое число объектов (не более 200) со сложными взаимосвязями представляется затруднительным.

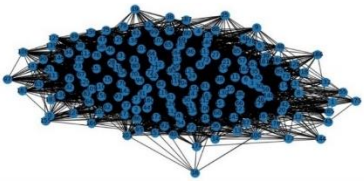


Рисунок 7.1.1 - Граф взаимосвязей участников группы VK

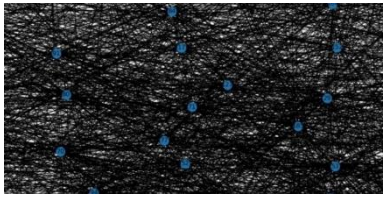


Рисунок 7.1.2-Фрагмент графа взаимосвязей участников группыVK

Первые 5 лидирующих в смысле PageRank участников группы представлены в таблице 7.1.1. Для сравнения указаны лидеры по простому количеству связей. Видно, что наиболее важный в смысле PageRank участник группы (54) имеет наибольшее количество связей, однако дальнейшее ранжирование существенно отличается от простого подсчета числа связей.

Таблица 7.1.1 - Результаты ранжирования участников группы VK

Результаты ранжирования с использованием PageRank			Ранжирование по количеству связей		
1)	54	1.99%	1)	54	145
2)	51	1.48%	2)	148	139
3)	128	1.35%	3)	128	131
4)	148	1.33%	4)	17	100
5)	94	1.19%	5)	51	98

Обработка графа станций Московского метрополитена.

Вторым вычислительным экспериментом был выбран неординарный пример для ранжирования: расчёт важности станций московского метрополитена (схема метро постоянно меняется из-за открытия новых станций

метро, МЦК и ЦД. В данном проекте мы использовали схему, актуальную на июнь 2019 года). Для этого преобразуем известную всем схему линий московского метрополитена (представляющую собой связный граф) в нормированную матрицу. Это было выполнено вручную, ибо не удалось найти необходимых данных, либо они были устаревшими. Матрица подавалась на вход алгоритму PageRank.

Результаты вычислений довольно громоздки (из-за большого списка станций), поэтому полностью они приведены во внешней ссылке: https://github.com/some-crap/pagerank/blob/master/metro/results. Результаты эксперимента не оказались неожиданным. Список возглавляют 10 станций в центре Москвы с большим количеством пересадок (таблица 7.2.1). Станции на окраинах города, особенно, где нет пересадок, расположились в конце списка. Такое ранжирование можно использованить при планировании градостороения, вопросов безопасности, в коммерческих целях.

1) Киевская - Филёвская: 0.844% (5 смежных станций)
2) Арбатская - Арбатско-Покровская: 0.792% (5 смежных станций)
3) Библиотека имени Ленина - Сокольническая: 0.791% (5 смежных станций)
4) Боровицкая - Серпуховско-Тимирязевская: 0.789% (4 смежных станции)
5) Киевская - Кольцевая: 0.645% (4 смежных станции)
6) Киевская - Арбатско-Покровская: 0.645% (4 смежных станции)
7) Александровский сад - Филёвская: 0.637% (3 смежных станции)

8) Площадь Революции - Арбатско-Покровская: 0.627% (3 смежных станции)
9) Охотный ряд - Сокольническая: 0.627% (3 смежных станции)
10) Третьяковская - Калужско-Рижская (106): 0.625% (4 смежных станции)

Таблица 7.2.1 - Результаты ранжирования станций Московского метрополитена

Приведем пример, как это может быть использовано при выборе места офиса компании. Очевидно, что офис в центре весьма выгоден по многим показателям. Однако именно поэтому офисы в центре дорогие. Допустим, компания располагает ограниченным бюджетом, в рамках которого выбирает офисы около станций Озерная, Люблино или Бульвар Рокоссовского. Какая из этих станций будет наиболее доступной для сотрудников и клиентов? Ответ на этот вопрос не очевиден. Выбор офиса на основе анкетирования сотрудников неизбежно приведет к конфликтам. Кроме того, сотрудники могут уйти, на их место придут новые со своими предпочтениями. PageRank дает вполне объективный ответ, какой из вариантов оптимален в смысле пересадок. Без каких-либо обид или противоречий. Так, станция Озерная стоит на 213 месте (0.306%), Люблино – на 159-м (0.321%) и Бульвар Рокоссовского – на 208-м (0.307%). Таким образом, выбор очевиден в пользу офиса на станции Люблино.

Примерно так же можно использовать PageRank при выборе точек розничной или оптовой продажи, рекламных акций и многого другого.

Обработка турнирной таблицы РФПЛ 2018

Результаты спортивных состязаний различного профиля – суть ранжирование участников по тем или иным показателям. Как правило, при этом критерии ранжирования давно устоялись. Тем не менее, ввиду различных причин спортивные регуляторы иногда вносят обновления в правила ранжирования. Наиболее яркий пример – фигурное катание.

Описаннный в данной работе алгоритм мы использовали для ранжирования команд по результатам их встреч между собой в чемпионате России по футболу 2018-2019 гг.

Напомним, что команды в итоговой таблице расположились, как показано в левом столбце таблицы 7.3.1. Команды, помеченные красным попадают в Лигу Чемпионов, зеленым – в Лигу Европы, синим покидают высшую лигу.

В приложении В приведена так называемая шахматка – таблица результатов встреч футбольных команд между собой (в каждой ячейке указано количество очков, набранных командами в очных встречах между собой). Будем рассматривать эту таблицу, как матрицу событий для нашего алгоритма и подадим ее на вход программе. Алгоритм автоматически преобразовал эту матрицу в нормированную и выполнил все необходимые вычисления. Результат, полученный в результате работы нашей программы, представлен в правом столбце таблицы 7.3.1.

Разница в расположении команд очевидна. Она вызвана тем, что в отличие от традиционного подсчета набранных очков путем простого суммирования, PageRank учитывает и важность набранных очков, как в примере на рисунке 5.1. Так, очки, полученные в играх против Зенита котируются выше, чем очки, набранные против явного аутсайдера – Енисея.

Таблица 7.3.1 - Ранжирование команд РФПЛ

Турнирная таблица по итогам чемпионата РФПЛ	Турнирная таблица по результатам работы PageRank
1) Зенит: 64 2) Локомотив М: 56 3) Краснодар: 56 4) ЦСКА: 51 5) Спартак М: 49 6) Арсенал: 46 7) Оренбург: 43 8) Ахмат: 43 9) Ростов: 41 10) Урал: 38 11) Рубин: 36 12) Динамо М: 33 13) Укрылья советов: 28 14) Уфа: 26 15) Анжи: 21 16) Енисей: 20	1) Зенит: 10.04% 2) Локомотив М: 8.3% 3) Краснодар: 7.91% 4) ЦСКА: 7.56% 5) Ростов: 7.5% 6) Спартак М: 7.34% 7) Арсенал: 7.27% 8) Оренбург: 6.77% 9) Рубин: 6.3% 10) Ахмат: 6.0% 11) Динамо М: 5.69% 12) Урал: 5.64% 13) Уфа: 3.83% 14) Анжи: 3.68% 15) Кр. Советов: 3.54% 16) Енисей: 2.63%

Таким образом, если бы футбольные команды расставлялись по результатам игр с использованием PageRank (более тонкого инструмента, чем простое суммирование очков), то чемпионом остался бы Зенит. При этом отметим, что Локомотив и Краснодар набрали равное количество очков в турнире – по 56. Этим двум клубам присудили серебрянные и бронзовые медали по дополнительным показателям. PageRank же ставит Локомотив однозначно выше, ибо набранные им очки важнее, чем у Краснодара. В Лигу Европы по PageRank отправились бы не ЦСКА, Спартак и Арсенал, а ЦСКА, Ростов и Спартак (причем Ростов обгоняет по итоговой позиции не только Арсенал но и Спартак). Покинули бы высшую лигу не Анжи и Енисей, а Крылья и Енисей.

PageRank можно использовать в спорте не только для ранжирования результатов, но и для определения лучших спортсментов. Так, во Франции в 2014 лучший футболист по одной из версий определялся по количеству отданных и полученных передач с помощью алгоритма PageRank.

Измерение времени работы алгоритма с ростом матрицы на случайных данных

Довольно естественным экспериментом является попытка измерить время, необходимое на выполнение одной итерации алгоритма построения PageRank для данных различных объёмов. Для этого мы сгенерировали несколько случайных нормированных матриц большой размерности N и проводили вычисления (таблица 7.4.1). Как видно из таблицы, увеличение размера матрицы в X раз приводит к увеличению времени работы алгоритма в X^2 раз.

Самая главная математическая операция в итерации поиска вектора ранжирования – умножение нормированной матрицы на очередной вектор, приближающий искомое ранжирование. В своей программе мы используем обычный алгоритм умножения матрицы на вектор, доступный и понятный школьникам. Действительно, для его выполнения требуется N раз перемножить строки матрицы на вектор размера N. Каждая такая операция умножения строки матрицы на вектор-столбец требует N умножений и N сложений, следовательно, 2N действий. Повторяя это N раз, получаем 2 N^2 действий. В итоге мы действительно понимаем, почему корректная реализация одной итерации алгоритма поиска стационарного вектора ранжирования будет примерно требовать в 4 раза больше времени при увеличении N в два раза (что и продемонстрировано в таблице).

Конечно же, некоторое время и некоторое количество операций ещё требуется для «навигации» по ячейкам памяти компьютера и на извлечение из них нужных чисел, которые соответствуют значениям элементов матрицы и вектора, на который мы её хотим умножить и на некоторые другие операции.

Можно ли ускорить работу алгоритма умножения матрицы на вектор? В некоторых случаях можно, например, если в нашей нормированной матрице будет много-много нулевых элементов (значительно больше, чем ненулевых), то можно сохранять в памяти лишь ненулевые элементы и их местонахождение, тогда можно избавться от большого количества «мусорных» умножений с участием нулей. Однако, это будет хорошо работать лишь в том случае, если нулей в матрице будет очень много.

Таблица 7.4.1 - Время выполнения итераций алгоритма PageRank при задачах ранжирования различной размерности. Ɛ=0.0000000001

Размер-ность	50	000	500	000	500	000	500	000	500	000	500
1	0.	.90	.69	1.89	6.79	1.51	0.41	7.13	7.67	2.70	11.06
2	0.	.85	.59	1.33	3.01	2.07	2.66	1.85	0.28	00.76	22.12
3	0.	.13	.01	2.16	4.80	2.37	7.50	5.63	8.98	6.15	00.97
4	0.	.14	.91	2.56	3.24	2.75	3.65	7.98	7.80	9.73	11.06
5	0.	.83	.95	2.54	3.29	1.99	2.86	5.31	4.93	9.15	10.44
6	0.	.87	.93	1.7							

				1							
7	0.										
Среднее время одной итерации	.72	.95	.85	2.03	6.23	2.14	3.42	1.58	7.93	9.70	11.13
Суммарное время работы алгоритма	.10	7.81	1.29	2.58	31.87	61.65	18.43	59.28	91.44	98.49	61.94

Онлайн калькулятор PageRank и его использование

Программа, описанная в предыдущих разделах, была положена в основу интреактивного расчета PageRank. Для этого была разработана оболочка на языке PHP-7. В онлайне использовать PageRank-калькулятор можно по ссылке: https://pagerank.somecrap.ru/. Как видно из этого приложения, необходимо сначала определить количество ранжируемых объектов, а затем в таблице, аналогичной Excel, ввести матрицу связей. По ней алгоритм автоматически сгенерирует нормированную матрицу и представит результат.

Поясним работу калькулятора на модельном примере, который вполне может иметь место в работе обычного крупного предприятия. Допустим, в большой компании есть научный отдел, состоящий из восьми человек. Предприятие сталкивается с задачей, в ходе которой необходимо послать в командировку троих наиболее квалифицированных сотрудников научного отдела, которые длительное время будут работать в одной команде, но вдалеке от общества. Такое вполне можно представить, например, в экспедициях (геологических, биологических), полевых испытаниях оборудования,

военных походах и т.д. Но ни директор, ни начальник службы персонала не могут выбрать наиболее квалифицированных сотрудников, ибо просто не компетентны в деталях научных вопросов. Такая ситуация вполне жизненна.

На помощь в такой ситуации вполне может придти наш онлайн-калькулятор. Начальник отдела кадров проводит анкетирование сотрудников научного отдела, в ходе которого предлагает оценить компетенции своих товарищей (и, верно, кто, кроме своих же сотрудников в состоянии оценить степень квалификации друг друга?). Одновременно с этой анкетой предлагается и другая, в ходе которой все оценивают степень коммуникабельности каждого. Результаты анкетирования (по 10-бальной шкале) вводятся в интерактивном режиме. Результаты первого из них – в таблице 7.5.1. Второго – в таблице 7.5.2. Такое анкетирование дает результат, представленный в таблице 7.5.3.

Иванов	0	2	3	2	3	4	2	3
Петров	7	0	8	6	5	2	5	3
Сидоров	5	4	0	2	5	4	6	5
Кузнецов	8	7	8	0	5	6	3	5
Козлов	9	4	8	3	0	4	5	6
Муравьев	7	4	3	4	5	0	5	8
Соловьев	5	6	5	6	7	5	0	6
Комаров	7	6	5	7	6	4	5	0

Таблица 7.5.1 - Анкетирование компетенций

Иванов	0	3	7	5	6	3	2	3
Петров	5	0	3	3	3	2	5	8
Сидоров	5	4	0	6	5	7	6	5
Кузнецов	2	7	5	0	5	6	3	5
Козлов	9	4	8	3	0	1	5	8
Муравьев	7	4	3	4	5	0	5	8
Соловьев	2	3	5	6	7	5	0	5
Комаров	7	6	5	7	6	4	5	0

Таблица 7.5.2 - Анкетирование коммуникабельности

Как видно из представленных результатов, наиболее компетентными сотрудниками являются Соловьев, Кузнецов и Комаров. Наиболее коммуникабельными (сложно провести в тесной компании с некоммуникабельными людьми долгое время) – Комаров, Сидоров и Козлов. А по сумме необходимых качеств в нашу командировку (видимо, хорошо оплачиваемую)

нужно отправить коллектив из троих сотрудников: Комарова, Соловьева и Козлова.

Таблица 7.5.3 - Ранжирование PageRank по результатам анкетирования

Компетенции	Коммуникабельность	Сумма
1) Соловьев: 14.47%	1) Комаров: 14.16%	1) Комаров 28.22%
2) Кузнецов: 14.07%	2) Сидоров: 13.94%	2) Соловьев 26.72%
3) Комаров: 14.06%	3) Козлов: 13.42%	3) Козлов 26.5%
4) Козлов: 13.08%	4) Муравьев: 12.54%	4) Сидоров 25.55%
5) Муравьев: 12.69%	5) Кузнецов: 12.41%	5) Муравьев 25.03%
6) Петров: 12.48%	6) Соловьев: 12.25%	6) Кузнецов 24.48%
7) Сидоров: 11.61%	7) Иванов: 10.85%	7) Петров 22.9%
8) Иванов: 7.54%	8) Петров: 10.42%	8) Иванов 18.39%

Мы привели лишь один из возможных примеров использования онлайн-калькулятора. Естественно, для решения задач большой размерности или сложных производственных или научных задач его использовать нельзя. Однако в повседневной жизни, как в бытовой, так и на производстве, его использование вполне оправданно. Онлайн калькулятор также можно использовать для демонстрации изменения результатов ранжирования при изменении входных данных. Это делает наглядным работу алгоритма.

Отметим, что реализованный алгоритм PageRank может быть использован при решении задач ранжирования (в том числе и большой размерности) самой разной природы. Это может быть востребовано не только при ранжировании сайтов в интернете, но и также в ряде задач в области психологии, наукометрии, биологии и спорте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения проекта был приведен обзор различных методов ранжирования. Изучены элементы линейной алгебры и теории графов.

В матричных терминах подробно рассмотрен метод ранжирования PageRank, а также метод его вычисления. Наглядно продемонстрированы неочевидные свойства работы алгоритма. Алгоритм вычисления PageRank реализован на языке Python. Он апробирован и изучен в ходе нескольких вычислительных экспериментах.

В ходе работы освоена графическая библиотека Python, а также на языке PHP-7 реализована автоматическая обработка данных социальной сети VK. Разработан онлайн-калькулятор PageRank, использовать который можно для решения ряда задач в различных областях.

Результаты работы можно использовать в задачах ранжирования большой размерности самой различной природы, в качестве методического пособия по PageRank, реализации на языке Python простейших операций линейной алгебры и автоматической обработке баз данных на языке PHP.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. https://en.wikipedia.org/wiki/PageRank
2. Brin, S.; Page, L. (1998). "The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine" (PDF). Computer Networks and ISDN
3. Тыртышников Е.Е. Матричный анализ и линейная алгебра. Москва 2005, 372 с.
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория графов
5. Босова Л. Л., Информатика и ИКТ : учебник для 6 класса. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний. 213 с
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Perron-Frobenius_theorem

Самарский, А. А., Гулин, А. В. (2003). Численные методы математической физики. М: Науч. мир.

https://vk.com/dev/manual

7. https://github.com/networkx

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Элементы линейной алгебры и теории графов

Определение 1. Назовем матрицей совокупность чисел (в нашем случае действительных), расположенных в виде таблицы из n строк и m столбцов:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad \text{(A1)}$$

Для сокращенных обозначений матрицы принято обозначать заглавными латинскими буквами.

Определение 2. Совокупность из m чисел, расположенных в виде столбца, назовем вектором. Нетрудно заметить, что вектор – это та же матрица размерностью 1:m.

Определение 3. Длиной вектора называют сумму модулей его элементов. Если сумма элементов вектора составляет 1 и элементы неотрицательны, то такой вектор называют стохастическим.

Определение 4. Матрица, все столбцы которой имеют длину, равную 1, называют стохастической по столбцам.

Определение 5. Произведением матрицы на вектор назовем другой вектор, элементы которого определяются следующим образом:

$$A \cdot B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_{1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} \cdot b_1 + a_{12} \cdot b_2 + \dots + a_{1n} \cdot b_n \\ a_{21} \cdot b_1 + a_{22} \cdot b_2 + \dots + a_{2n} \cdot b_n \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ a_{m1} \cdot b_1 + a_{m2} \cdot b_2 + \dots + a_{mn} \cdot b_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_{1m} \end{pmatrix} \text{(A2)}$$

Определение 6. Произведением вектора на число является другой вектор, такой что, каждый элемент его – результат умножения каждого элемента матрицы на это число.

Определение 7. Говорят, что число λ является собственным числом матрицы A, если:

$AX = \Lambda X$ (A3)

Определение 8. Вектор X, который удовлетворяет этому условию, называют собственным вектором.

Вообще, каждая матрица может иметь несколько собственных чисел. При этом одному собственному числу может соответствовать несколько собственных векторов.

Определение 9. Длина вектора по Евклиду опреляется следующим образом:

$$||x|| = sqrt(x_1^2 + x_2^2 + ... + x_n^2) \quad \text{(A4)}$$

Определение 10. Длина вектора по PageRank:

$$||x||_1 = |x_1| + |x_2| + ... + |x_n| \quad \text{(A5)}$$

Граф — математическое понятие, представляющее собой множество вершин и набор рёбер, то есть соединений между парами вершин. Для наглядности приемр такого объекта представлен на рисунке А.1.

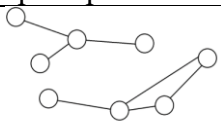
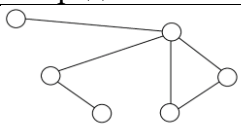
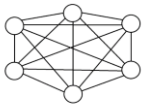
		

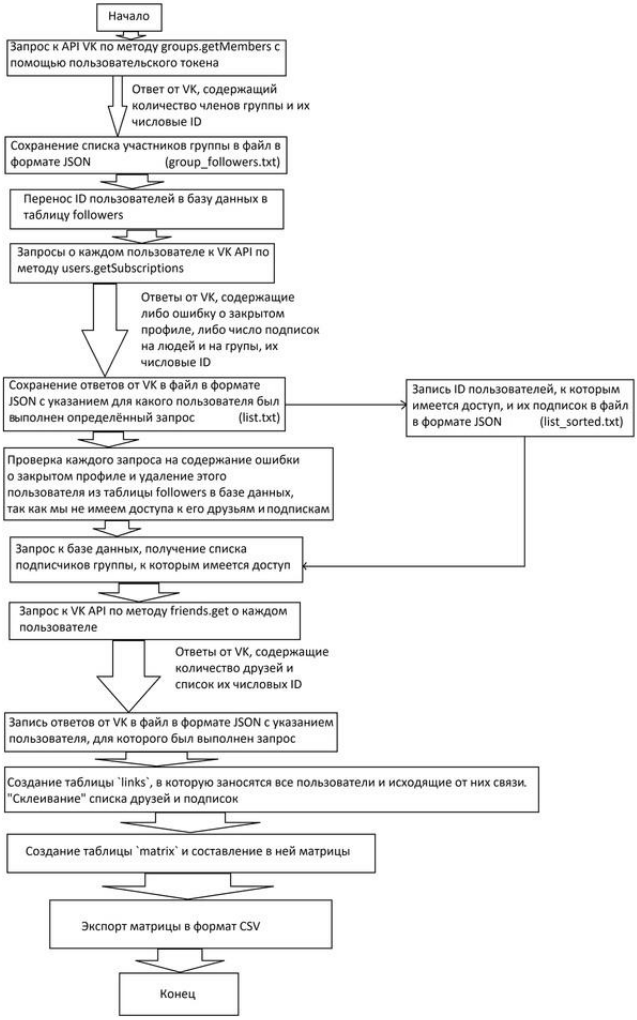
Рисунок А.1 - Граф	Рисунок А.2 Связный граф	Рисунок А.3 Полносвязный граф

Из всех возможных графов рассмотрим подмножество связных графов. Связный граф — это такой граф, между любой парой вершин которого существует как минимум один путь. Пример связного графа можно найти на рисунке А.2.

Граф называется полносвязным, если каждая его вершина соединена ребрами непосредственно со всеми другими вершинами (см. рисунок А.3).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Блок-схема запросов и обработки информации, создающие матрицу связей для участников группы VK



ПРИЛОЖЕНИЕ В.

Набранные очки в очных встречах между командами РФПЛ в ходе чемпионата 2018-2019 гг.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Зенит	0	4	6	3	2	3	6	4	3	6	3	3	6	6	3	6
2	Локомотив	1	0	3	4	1	3	3	6	6	1	4	4	4	4	6	6
3	Краснодар	0	3	0	6	1	6	2	1	2	6	3	4	6	4	6	6
4	ЦСКА	3	1	0	0	4	3	3	6	1	6	4	2	4	4	6	4
5	Спартак М	2	4	4	1	0	0	3	3	0	3	2	6	6	3	6	6
6	Арсенал	3	3	0	3	6	0	2	3	1	1	2	2	6	4	6	4
7	Оренбург	0	3	2	3	3	2	0	1	6	1	3	3	6	6	3	1
8	Ахмат	1	0	4	0	3	3	4	0	3	1	1	2	6	6	4	4
9	Ростов	3	0	2	4	6	4	0	3	0	4	4	2	0	1	4	4
10	Урал	0	4	0	0	3	4	4	4	1	0	3	1	4	1	3	6
11	Рубин	3	1	3	1	2	2	3	4	1	3	0	2	3	2	2	4
12	Динамо М	3	1	1	2	0	2	3	2	2	4	2	0	3	6	1	1
13	Кр. Сов	0	1	0	1	0	0	0	0	6	1	3	3	0	4	6	3
14	Уфа	0	1	1	1	3	1	0	0	4	4	2	0	1	0	4	4
15	Анжи	3	0	0	0	0	0	3	1	1	3	2	4	0	1	0	3
16	Енисей	0	0	0	1	0	1	4	1	1	0	1	4	3	1	3	0

СЕКЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПНЕВМО-ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОТОЙ ПОЛЁТА ДО 1000 М

Регуш Иван

ГБОУ «Школа № 629», 11 кл, г.Москва
Научный руководитель
кандидат технических наук
Лифар Виталий Иванович,
педагог дополнительного образования ГБОУ «Школа № 629»

Целью нашей работы является создание пневмо-гидравлической ракеты, достигающей высоты полёта до 1000 м. Ракеты на этом принципе используют для спортивных соревнований и для игр. Однако, мы хотели довести эти ракеты до практического использования, основываясь на их преимуществах.

Преимуществами такой ракеты являются простота конструкции, малая стоимость, безопасность, отсутствие горючих компонентов, простота снаряжения и подготовки пуска, а также возможность многократного применения. Новизна нашей работы состоит в том, что подобного типа ракеты не достигали такой высоты, а значит, нам нужно предложить конструкцию, которая по своим параметрам, способна достигнуть установленную высоту (дальность) и иметь запас по полезной нагрузке. Достигаем мы этой цели использованием композитных материалов для корпуса и обоснованием расчетами и опытной проверкой

необходимых весо-габаритных характеристик, тяги и импульса реактивной энергетической установки.

Кроме того, данная конструкция ракеты удобна с точки зрения рассмотрения и понимания основ реактивного движения, что полезно при изучении соответствующих разделов курса физики.

РАСЧЁТЫ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Высота полёта ракеты в нашем случае зависит от конечной скорости на активном участке, которая в свою очередь зависит от тяги, массы ракеты, в том числе корпуса, массы рабочей жидкости (запаса воды на борту), внутреннего давления в ракете на момент старта, аэродинамических свойств и некоторых других параметров. Исходим из закона сохранения количества движения и его равенства импульсу приложенной силы:

$m * V к = P * t$

m - масса ракеты, Vк – конечная скорость ракеты, P – тяга двигателя, t – время работы двигателя.

Масса ракеты по мере расхода рабочего тела (воды) меняется. Однако, для первоначальной оценки мы исходим из предположения постоянства расхода во времени и определения среднего веса рабочего тела G т / 2, когда вес топлива равномерно меняется от Gт до 0, тогда средняя масса ракеты будет:

$m ср = m к + m т = G к / g + G т / (2* g)$

G к – вес корпуса ракеты, g – ускорение свободного падения.

Идеальную конечную скорость ракеты определяем по формуле К.Э.Циолковского:

$Vк = W * \ln (m н / m к)$

Действительную конечную скорость можно определить с учетом сопротивления воздуха и земного тяготения по формуле:

V действ = Vк – g*t – (A * D^2) / P ср

P ср – средняя тяга двигателя, t – время полёта, D – диаметр миделя корпуса, A – экспериментальный коэффициент (из таблиц, зависит от высоты и скорости).

Для определения высоты полёта H используем расчёт высоты на активном участке h1 и на пассивном участке h2: H = h1 + h2.

Высоту на активном участке определяем исходя из средней скорости:

h1 = Vдейств * t / 2

Высоту полёта на пассивном участке определяем с учётом сопротивления воздуха поправочным опытным коэффициентом (выбираем 0.8):

h2= 0,8 *(Vдейств)^2 / 2*g

В дальнейшем расчёты внешней баллистики ракеты будут уточняться с учётом соотношений для движения тела переменной массы.

Для расчёта внутрибаллистических параметров исходили из закона Бернулли и условия неразрывности потока жидкости:

p * V истеч^2 / 2 = Рк – P атм

V истеч – скорость истечения рабочего тела (воды) из сопла, p – плотность воды.

Расход G и тягу двигателя P определяли из соотношений:

G = 0,7 * S кр *(2* p* (Рк – P атм))^0,5; P = G * V истеч / g,

S кр – площадь критического сечения сопла.

Выполненные расчёты подтверждают техническую возможность достижения нужной высоты полёта и позволяют определить основные конструкционные параметры ракеты.

ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ОБРАЗЦОВ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

Испытания образцов корпуса из углепластика с помощью изготовленной нами оснастки и устройства для опрессовки показали значительную прочность углепластиковых труб. Образцы труб с внутренним диаметром до 60 мм и толщиной стенки 2 мм с запасом выдержали давление до 30*10^5 Па. Образцы труб были предоставлены заводом-изготовителем. Отметим, что изготовители не располагали данными о прочности углепластиковых труб при действии внутреннего давления, что побудило нас провести данные испытания для оценки работоспособности пневмогидравлической ракеты с углепластиковым корпусом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Основными параметрами для проектирования данной ракеты являются давление в камере, толщина стенки, длина и диаметр корпуса ракеты, площадь критического сечения и геометрия сопла на входе и выходе.

Материал корпуса-углепластик-мы выбрали в самом начале исходя из физико-механических свойств и опыта его применения для летательных аппаратов разного назначения. Углепластик сочетает в себе большую прочность на растяжение (до 1800 МПа) и малый удельный вес (около 1600 кг/куб.м), что превосходит показатели для стали.

Для расчёта прочности корпуса использовали опыт и методы расчета труб из композитных материалов в нефтехимической промышленности, которые основаны на формуле Барлоу, /1/. В приведённой работе даны материалы испытаний на разрушение труб из композитных

материалов при различных условия. Надо отметить, что общение с производителями труб из углепластика показало, что они не располагают данными о работе труб при нагружении внутренним давлением. Кроме того, технология заделки торцов труб под установку днища также в серийном производстве не встречается и требует специальной разработки технологи намотки. Поэтому у нас встала задача принятия конструкторских решений для установки днища на одном торце корпуса под крепление обтекателя и приборного отсека, а на другом торце для крепления сопла.

Для решения задачи формирования профиля днища перед соплом и самого сопла мы использовали материалы исследования, выполненного в работе /2/. Конфигурация днища перед соплом и самого сопла представлена на рис.1. На рис.2 показаны разные варианты организации потока в предсопловом пространстве. На основе исследований и испытаний в Институте технической физики показано, что геометрия днища и предсоплового пространства на рис.1 обеспечивает наименьшие гидравлические потери и наибольшую скорость истечения струи. В настоящее время на основе приведенных выше данных исследования выполняется проектирование в программе SketchUp соплового вкладыша, который будет вклеен в закладной элемент. По договорённости с заводом изготовителем закладной элемент с сопловым вкладышем будет вмотан в улгепластиковый корпус ракеты. На рисунке 6 представлен прототип корпуса изделия с вмотанным в него закладным элементом.

Необходимо определить конструкцию стабилизатора, днища и сопла ракеты, а также конструкцию головного приборного отсека и обтекателя (оживальной формы). Мы исходим из требования многократного использования ракеты, а значит

необходимости плавного спуска ракеты с достигнутой высоты и мягкой посадки. Для этого применяем парашютную систему, автоматически раскрываемую после достижения максимальной высоты по сигналу блока управления.

При выборе диаметра и длины корпуса мы руководствовались следующим положением. Поверхность корпуса и диаметр миделя определяют аэродинамическое сопротивление воздуха и этот фактор сильно влияет на потери энергии. Однако, боковая поверхность при заданном объёме ракеты практически неизменна, а значит и трение воздуха, и потери на боковой поверхности не меняются при изменении диаметра. Поэтому мы стремились выбрать наименьший диаметр в пределах конструкторских возможностей для уменьшения лобового сопротивления, которое напрямую связано с величиной диаметра миделя.

Исходя из необходимости достижения заданной высоты 1000 м, мы определили конечную скорость на активном участке полёта величиной 150-160 м/сек, необходимое давление в ракете (30-40*10^5 Па) при внутреннем диаметре корпуса 65 мм и толщине стенки 1,5 мм. Длина корпуса составила 1500 мм.

ПУСКОВАЯ УСТАНОВКА

Важным элементом для обеспечения удачного запуска ракеты является пусковая установка (ПУ) или пусковой стол. Конструкция ПУ должна обеспечить предстартовую подготовку ракеты, надёжное закрепление ракеты в период подготовки к старту, заправку ракеты водой и сжатым воздухом до определённого давления, выведение на исходный режим контрольно-измерительного блока, а главное - правильный и беспрепятственный старт ракеты. Нагрузки на ПУ в

момент старта достигают сотен килограмм. Поэтому высоки требования к прочности и устойчивости ПУ.

ПУ является также элементом безопасности при пуске и заправке ракеты, поскольку ракета нагружена значительным внутренним давлением. Операции по подготовке к пуску и старт проводятся дистанционно.

На рис.3 показан общий вид пусковой установки. Важной особенностью данной конструкции является возможность использования так называемого «миномётного старта», т.е. получения под днищем ракеты избыточного давления при истечении струи в замкнутом объёме, что даёт ракете дополнительный импульс за счет работы избыточного давления наподобие поршня. Для определения оптимального сочетания диаметра ракеты и внутреннего диаметра направляющей трубы ПУ необходимы натурные испытания.

РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ РАКЕТЫ

Блок управления и измерений строится на базе микроконтроллерной техники. Мы выбрали модель Arduino Piranha Pro Mini и соответствующие датчики (высотомер, акселерометр, GPS-модуль, видеокамера, батарея питания). Главным требованием к системе управления и измерения было обеспечения наименьшего веса при соблюдении необходимых функций. Парашютная система срабатывает по сигналу от блока управления (по двум критериям-по датчику наклона-переворота и датчику скорости). В качестве основы для определения высоты выбран барометр BMP280 (Trema modul V2.0). По соответствующей программе выполняется пересчёт измеряемых параметров в высоту. Для определения скорости и ускорения используем IMU –сенсор на 9 степеней свободы BMP280 (Trema modul V2.0).

В настоящее время выполняются работы по написанию и отладке программы на языке C++ для обеспечения функционирования блока управления.

ВЫВОДЫ

Выполненные расчёты, конструкторские проработки и испытания показали возможность достижения поставленной цели. Основными преимуществами таких ракет являются сравнительно небольшая стоимость, простота конструкции, надёжность и достаточная для достижения целей энерговооружённость. На основе обзора работ по изучению скорости истечения воды из сопел различной формы, мы выбрали оптимальную геометрию предсоплового пространства и сопла для обеспечения наибольшей скорости истечения и наименьших гидравлических потерь. В настоящее время на основе приведенных выше данных исследования выполняется проектирование в программе SketchUp соплового вкладыша, который будет вклеен в закладной элемент. По договорённости с заводом изготовителем закладной элемент с сопловым вкладышем будет вмотан в улгепластиковый корпус ракеты.

Исходя из необходимости достижения заданной высоты 1000 м, мы определили необходимое давление в ракете (30-40*10^5 Па) при внутреннем диаметре корпуса 65 мм и толщине стенки 1,5 мм. Длина корпуса составила 1500 мм. Основные параметры будут уточняться в процессе испытаний и отработки конструкции. При выборе конструкционных параметров исходили из номенклатуры изготавливаемых на заводе типоразмеров карбоновых труб.

Проведённые нами испытания образцов корпуса из углепластика с помощью, изготовленной нами оснастки и устройства для опрессовки, показали значительную прочность углепластиковых труб. Образцы труб с внутренним диаметром до 60 мм и толщиной стенки 2 мм с запасом выдержали давление до 30*10^5 Па. Образцы труб

были предоставлены заводом-изготовителем. Отметим, что изготовители не располагали данными о прочности углепластиковых труб при действии внутреннего давления, что побудило нас провести данные испытания для оценки работоспособности пневмогидравлической ракеты с углепластиковым корпусом. В настоящее время эти испытания продолжаются для других величин давления, диаметров и толщин стенок углепластиковых труб.

Разработана конструкция пусковой установки (сейчас установка изготавливается), которая должна осуществлять заправку и подготовку ракеты к старту, надёжный пуск и обеспечить безопасность при проведении работ.

Разрабатываемая система контроля и управления ракетой обеспечивает измерение высоты, скорости и ускорений при движении ракеты, срабатывание парашютной системы (по двум критериям-по датчику наклона-переворота и датчику скорости), обеспечивает видеофиксацию полета, и в перспективе GPS координаты для обнаружения ракеты в точке приземления. В качестве основы для определения высоты выбран барометр BMP280 (Trema modul V2.0). По соответствующей программе выполняется пересчёт измеряемых параметров в высоту. Для определения скорости и ускорения используем IMU – сенсор на 9 степеней свободы BMP280 (Trema modul). Эти данные необходимы для дальнейшей доводки параметров и конструкции ракеты для достижения наилучших эксплуатационных характеристик.

Мы оценили возможные области практического применения разрабатываемой ракеты, а именно:

- использование наших ракет как осветительных при оснащении соответствующим осветительным зарядом;

-использование ракет как разгонного устройства для беспилотных летательных аппаратов;

-использование ракет для изучения низких слоёв атмосферы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

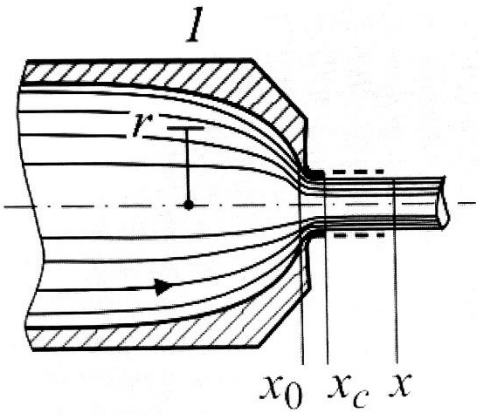


Рисунок 1. Форма днища и сопла с максимальной скоростью истечения струи

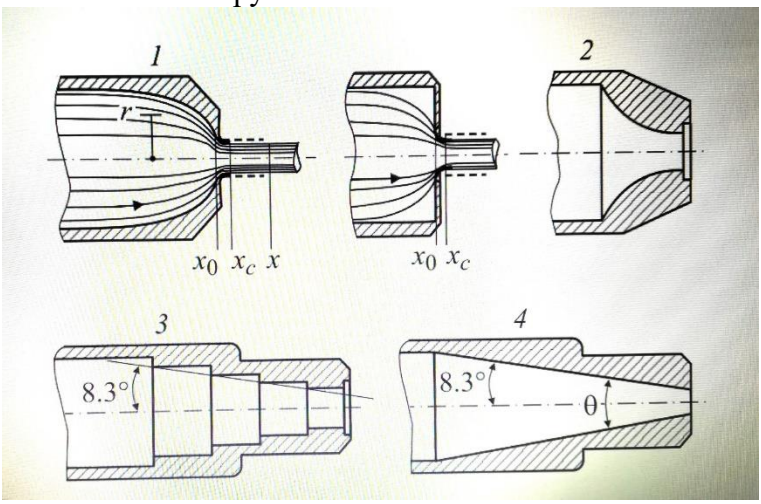


Рисунок 2 Различные формы организации течения потока перед соплом

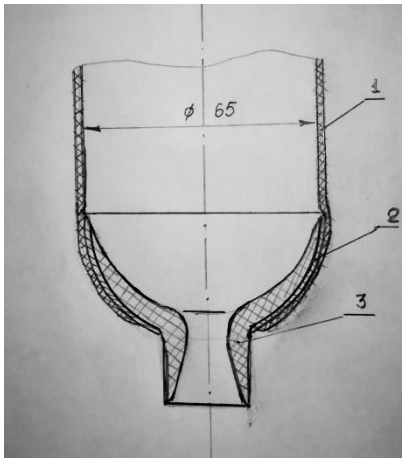


Рис.3 Конструкция закладного элемента, где 1- корпус, 2- закладная деталь, 3- сопловой вкладыш

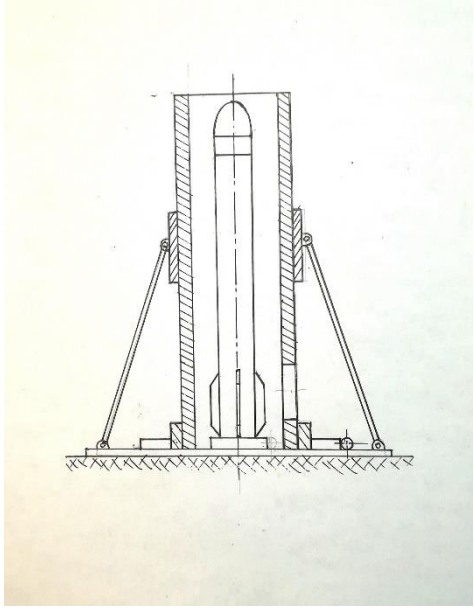


Рисунок 3. Общий вид пусковой установки

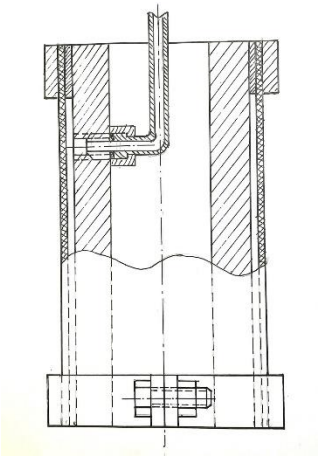


Рисунок 4. Конструкция оснастки для испытаний прочности образцов углепластиковой трубы корпуса

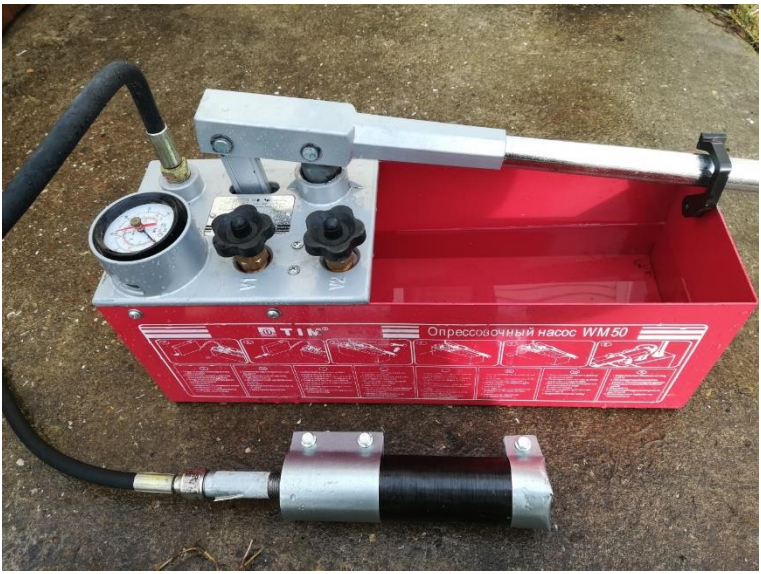


Рис.5. Испытания образца углепластиковой трубы на прочность при нагружении внутренним давлением.

Рис.6. Прототип закладного элемента (с сопловым вкладышем), вмотанным в основной корпус изделия

ЛИТЕРАТУРА

1. Тахаутдинова Г.Л., Исследование механических свойств труб из композитных материалов. ПАО Татнефть, Казань, 2007.
2. Котоусов Л.С.,Исследование скорости водяных струй на выходе сопел с различной геометрией, Журнал технической физики, 2005, том 75, вып. 9.
3. Расчёт моделей ракет. Статья на сайте Modelizd.ru
4. Виницкий А.М., Ракетные двигатели на твёрдом топливе, Москва, Машиностроение, 1973, 348 с.