



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА**



**ЦЕНТР ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ**



**«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»**



**«ШАГ В БУДУЩЕЕ, КОСМОНАВТИКА»**

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СОРЕВНОВАНИЯ  
МОЛОДЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ  
«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»**

**И**

**«ШАГ В БУДУЩЕЕ, КОСМОНАВТИКА»**

**12-16 марта 2018 года**

**СБОРНИК ЛУЧШИХ  
РАБОТ**

**Москва, 2018**

## ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Вы держите в руках сборник, в который вошли лучшие статьи участников Научно-образовательных соревнований молодых исследователей «Шаг в будущее, Москва» и «Шаг в будущее, Космонавтика», проходившего 12-16 марта 2018 года в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Статьи подготовлены школьниками в рамках конкурса проектных работ и публикуются в авторской редакции.

Основной задачей научно-образовательных соревнований «Шаг в будущее, Москва» и «Шаг в будущее, Космонавтика» 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.

«Шаг в будущее, Космонавтика» осуществляется Учебно-научным молодёжным космическим центром МГТУ им. Н.Э. Баумана с целью начального аэрокосмического образования школьников, стимулирования научно-технического творчества молодежи, пропаганды достижений космонавтики, а также развития и укрепления связей с аналогичными молодежными организациями мирового сообщества.

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 предприятия 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 2016-2017 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 современной 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, Московской области и других регионов России, и поможет успешному развитию творческих возможностей довузовской молодежи в сфере научно-технической деятельности.

## СОДЕРЖАНИЕ

ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА.....	9
СЕКЦИЯ I. Образовательно-реабилитационные технологии.....	9
<i>Фролова Вера Олеговна</i> Использование смешанного алгоритма шифрования для обеспечения безопасного хранения информации в базах данных .....	9
СЕКЦИЯ II. Машиностроительные технологии .....	26
<i>Циглер Анастасия Сергеевна</i> Изучение коррозии стальных конструкций в агрессивной шахтной воде разработки медноколчеданных месторождений .....	26
СЕКЦИЯ III. Информатика и системы управления .....	42
<i>Забелина Варвара Александровна</i> Распознавание типа общественного наземного транспорта и номера его маршрута на изображении с помощью сверточной нейронной сети .....	42
<i>Захаров Илья Александрович</i> Разработка гипервизора Jinet .....	61
<i>Лохтуров Игорь Вячеславович</i> Автоматизированная система мониторинга климата в доме.....	72
<i>Тимофеев Виталий Вячеславович</i> Система управления движением автомобиля-робота на базе микроконтроллера atmega 328p .....	102
<i>Юсифов Александр Алиевич</i> Приборный комплекс помощи слабовидящим для ориентирования внутри помещений .....	120
СЕКЦИЯ IV. Системы безопасности .....	133
<i>Егоров Петр Константинович</i> Нанесение меток на технические устройства .....	133
СЕКЦИЯ V. Радио-опто-электроника.....	162
<i>Козырев Владимир Дмитриевич</i> Обнаружение скрытых систем оптического видения с помощью эффекта световозвращения .....	162

СЕКЦИЯ VI. Биомедицинская техника .....	178
<i>Берман Владимир Леонидович</i> Разработка агрегата для проверки герметичности упаковки лекарственных препаратов .....	178
СЕКЦИЯ VII. Специальное машиностроение .....	197
<i>Архипова Александра Сергеевна</i> Разработка четырёхногной шагающей платформы .....	197
<i>Парамошин Дмитрий Владимирович</i> Проектирование и оценка характеристик шасси робота-миноискателя .....	214
СЕКЦИЯ VIII. Энергетика и экология.....	229
<i>Теплова Елизавета Максимовна</i> Влияние автомобильного транспорта на экологию мегаполиса .....	229
СЕКЦИЯ IX. Автоматизация, робототехника и механика .....	241
<i>Герасимов Андрей Дмитриевич</i> Разработка и прочностной расчет конструкции автоматизированного комплекса приготовления продуктов .....	241
СЕКЦИЯ X. Инженерный бизнес и менеджмент .....	266
<i>Куренков Сергей Эдуардович</i> Расширение рынка оказания услуг в области аэронавигационной информации на примере коммерческой организации.....	266
<i>Лойко Степан Андреевич</i> Разработка бизнес-плана создания мембранной установки производства азота из воздуха .....	283
СЕКЦИЯ XI. Фундаментальные науки.....	371
<i>Деткова Милена Владимировна</i> Причина образования разряда молнии и методы защиты .....	371
<i>Ржаксинский Виктор</i> Распознавание рака легких по снимкам КТ .....	381

ШАГ В БУДУЩЕЕ, КОСМОНАВТИКА .....	404
СЕКЦИЯ №1. Космические аппараты и ракеты-носители .....	404
<i>Капустина Дарья Андреевна</i> Полет на спутник Юпитера – Европа .....	404
СЕКЦИЯ №2. Аэрокосмические системы .....	421
<i>Васильев Федор Андреевич</i> Транспортная система снабжения лунной базы .....	421
СЕКЦИЯ №3. Аэродинамическое и баллистическое проектирование, управление полетом ракет-носителей и космических систем.....	440
<i>Аверьянова Анна Дмитриевна</i> Оптимизация траекторий экстренного полета к Марсу вне окон старта, определяемых условиями противостояния планет .....	440
СЕКЦИЯ №4. Автономные радиоэлектронные устройства управления, автоматические системы и робототехника.....	466
<i>Рубцов Пётр Васильевич</i> Разработка системы управления для шестиногого робота .....	466
СЕКЦИЯ №8. Ракетно-космические композиционные конструкции.....	481
<i>Селянин Дмитрий Алексеевич</i> Перспектива использования солнечного паруса как транспортновика полезной нагрузки в космическом пространстве .....	481



## **ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА**

### **СЕКЦИЯ I. Образовательно-реабилитационные технологии**

#### **Использование смешанного алгоритма шифрования для обеспечения безопасного хранения информации в базах данных**

*Фролова Вера Олеговна,*

*г. Москва, ГБОУ «Многопрофильный лицей №1501, СП №22», 12 класс*

*Научный руководитель: Константинов Михаил Дмитриевич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, программист ГУИМЦ*

#### **Введение**

Всякий раз, когда мы выбираем имя в адресной книге электронной почты, что-то ищем при помощи поискового сервера в Internet, регистрируемся в социальной сети, вводя свое имя и пароль, даже когда мы используем свою пластиковую карту в банкомате – мы используем базу данных.

База данных (БД) это – набор сведений, хранящихся некоторым упорядоченным способом. Базу данных проще всего рассматривать как шкаф для хранения документов. Шкаф – это просто физическое местоположение для хранения данных, независимо от того, что это за данные и как они упорядочены. База данных хранит записи в специально организованном виде, чтобы информацию можно было легко найти и извлечь.

В настоящее время подавляющее большинство организаций, как государственных, так и коммерческих пользуются разнообразными информационными системами, обязательной частью которых являются базы данных. Как правило, системы управления базами данных, в особенности бесплатные, не предусматривают зашифрованного хранения информации в файлах баз данных, что представляет собой уязвимое место в безопасности всей информационной системы организации.

Предлагаемый в рамках данной работы программный модуль предоставляет разработчикам информационных систем удобный инструмент по шифрованию хранимых в базе данных информационных полей. Шифрование производится по

смешанному алгоритму: информация в базе данных шифруется алгоритмом симметричного шифрования для обеспечения лучшей производительности, а секретный ключ симметричного шифрования шифруется алгоритмом асимметричного шифрования.

В работе сначала будут рассмотрены основные сведения о базах данных, затем предложена архитектура программного обеспечения, обеспечивающая защиту хранимой в базе информации от различных угроз. Далее будут рассмотрены алгоритмы шифрования, применяемые для защиты информации. В конце будут предложены разработанные алгоритмы для реализации в виде программных модулей обозначенных задач по обеспечению информационной безопасности хранимых данных.

## **1 Система управления базами данных (СУБД)**

Программное обеспечение баз данных называется системой управления базами данных (СУБД). В данном разделе будут рассмотрены основные аспекты, связанный с функционированием СУБД, в особенности с реализацией функций информационной безопасности.

Системы управления базами данных стали основным инструментом хранения больших объемов информации. Сколько-нибудь развитые информационные приложения полагаются не на файловые структуры операционных систем, а на многопользовательские СУБД, выполненные в технологии клиент/сервер. В этой связи обеспечение информационной безопасности СУБД, и в первую очередь их серверных компонентов, приобретает решающее значение для безопасности организации в целом.

### **1.1 Виды СУБД**

- корпоративные;
- специализированные;
- встраиваемые;
- защищённые.

### **1.2 Важные аспекты**

Для СУБД важны все три основных аспекта информационной безопасности от следующих угроз:

- Угрозы конфиденциальности – угрозы неправомерного доступа к информации, которые включают в себя любое умышленное или случайное раскрытие информации, хранящейся в вычислительной системе или передаваемой из одной системы в другую.
- Угрозы нарушения целостности – угрозы, связанные с вероятностью изменения информации, хранящейся в базе данных.
- Угрозы доступности – осуществление действий, делающих невозможным доступ к информации или затрудняющих его.

### 1.3 Таблицы СУБД

Когда мы храним информацию в шкафу для документов, мы стараемся хранить её, не перемешивая в соответствующих папках. В БД такие папки называются таблицами.

Таблица – это структурированный файл, в котором могут храниться данные определенного типа. В таблице могут находиться списки данных, каталоги, а также любая другая информация.

Таблица должна быть структурирована, т.е. заполнена списком данных определенного типа. Каждая таблица БД имеет уникальное имя, ее идентифицирующее, и никакая другая таблица в базе данных не может носить это же имя.

Характеристики и свойства структурированной таблицы включают в себя:

- информацию о том, какие данные могут храниться;
- распределение данных по таблице;
- информацию о присвоение имен и др.

### 1.4 Пользователи СУБД

Пользователей СУБД можно разбить на три категории:

- 1) Администратор сервера баз данных.

Он ведает установкой, конфигурированием сервера, регистрацией пользователей, групп, ролей и т.п. Прямо или косвенно он обладает всеми привилегиями, которые имеют или могут иметь другие пользователи.

Администратор сервера баз данных, как самый привилегированный пользователь, нуждается в особой защите. Компрометация его пароля фактически означает компрометацию сервера и всех хранящихся на нем баз данных.

Поручать администрирование различных баз данных разным людям имеет смысл только тогда, когда эти базы независимы и по отношению к ним не придется проводить согласованную политику выделения привилегий или резервного копирования. В таком случае каждый из администраторов будет знать ровно столько, сколько необходимо.

### 2) Администраторы базы данных.

Администраторы баз данных определяют правила безопасности и целостности данных. Они создают сами базы данных, осуществляют технический контроль функционирования СУБД, обеспечивают необходимое быстродействие системы. Они могут предоставлять другим пользователям доступ к базе и к содержащимся в ней объектам. Администраторы баз данных отвечают за их сохранение и восстановление. В принципе в организации может быть много администраторов баз данных. Чтобы пользователь мог создать базу и стать ее администратором, он должен получить (вероятно, от администратора сервера) соответствующую привилегию.

### 3) Конечные пользователи.

Конечные пользователи базы данных – работают с БД непосредственно через терминал или рабочую станцию. Они оперируют данными, хранящимися в базах, в рамках выделенных им привилегий.

Политика безопасности определяется администратором данных, но решения защиты данных не должны быть ограничены только рамками СУБД. Полная защита данных практически невозможна, поэтому обычно довольствуются относительной защитой информации – гарантированно защищают ее на тот период времени, пока

несанкционированный доступ к ней влечет какие-либо последствия. Разграничение доступа к данным также описывается в базе данных посредством ограничений, и информация об этом хранится в ее системном каталоге.

### 1.5 Язык запросов SQL

После того, как мы выбрали подходящую для нас СУБД и установили её, следующим шагом было бы создание таблиц и управление данными. Для этого мы можем воспользоваться специальным языком SQL.

SQL является самым популярным языком баз данных. В большинстве случаев SQL можно применять в любой системе управления базой данных (СУБД, Database Management System — DBMS).

SQL – это аббревиатура выражения Structured Query Language (язык структурированных запросов). SQL был специально разработан для взаимодействия с базами данных. В отличие от других языков (разговорных, таких как английский, или языков программирования, например, Java или Visual Basic), SQL состоит всего из нескольких слов. И сделано это умышленно. SQL был создан для решения одной задачи, с которой он вполне справляется, – предоставлять простой и эффективный способ считывания и записи информации в базу данных.

### 1.6 Соединение с БД

Для работы пользовательской программы с базой данных, ей необходимо после каждого своего запуска (или перезапуска) перед непосредственным информационным взаимодействием соединиться с базой данных, выполняя специальную инструкцию СУБД. Примеры таких инструкций:

```
CONNECT [[user/password[@база_данных]][AS{SYSOPER|SYSDBA}]];
```

```
CONNECT TO база_данных USER пользователь USING пароль.
```

На этапе соединения с базой данных производится аутентификация пользователя.

### 1.7 Аутентификация

Аутентификация (authentication) – проверка принадлежности субъекту доступа предъявленного им идентификатора, подтверждение подлинности.

При соединении пользователя с базой данных он обязан пройти процесс авторизации и аутентификации. Если же процесс аутентификации пользователь пройти не смог, то он не присоединяется к базе данных.

### 1.8 Наборы правил

При попытке доступа метки субъекта (пользователя) сравниваются с метками доступа объекта (базой данных, отдельной таблицей и т.п.), таким образом, обеспечивается максимальная гарантия того, что каждый пользователь сможет работать только с теми данными, которые ему доступны. Сравнения меток производятся по наборам правил:

- базовый набор дискреционных правил (идентификация, аутентификация, привилегии и роли и т.д.)
- расширенный набор (мандатная защита, расписание, аудит и т.д.)

### 1.9 Управление привилегиями

Как правило, в СУБД применяется произвольное управление доступом, когда владелец объекта передает права доступа к нему (чаще говорят – привилегии) по своему усмотрению. Привилегии могут передаваться субъектам (отдельным пользователям), группам, ролям или всем пользователям.

Объединение субъектов в группы облегчает администрирование баз данных. Оно строится на основе формальной или фактической структуры организации. Каждый пользователь может входить в несколько групп. Когда пользователь тем или иным способом начинает сеанс работы с базой данных, он может указать, от имени какой из своих групп он выступает. Кроме того, для пользователя обычно определяют подразумеваемую группу.

Роль – еще один возможный именованный носитель привилегий. С ролью не ассоциируют перечень допустимых пользователей – вместо этого роли защищают паролями.

Привилегии роли имеют приоритет над привилегиями пользователей и групп. Другими словами, пользователю как субъекту не обязательно иметь права доступа к объектам, обрабатываемым приложениям с определенной ролью.

Привилегии, которых поддерживает язык SQL:

- ALTER – изменение физической/логической структуры базовой таблицы; позволяет выполнять оператор ALTER TABLE;
- SELECT – позволяет выполнять оператор запроса;
- INSERT – позволяет выполнять добавление строк в таблицу;
- UPDATE – позволяет изменять значения во всей таблице или только в некоторых столбцах;
- DELETE – позволяет удалять строки из таблицы;
- REFERENCES – позволяет удалять строки из таблицы;
- INDEX – создание/удаление индексов на столбцы базовой таблицы;
- DROP – позволяет удалять таблицу из базы данных.

## 2 Архитектура разрабатываемого программного обеспечения

В общем виде процесс функционирования информационных систем, использующих базы данных, можно представить на рисунке 1.

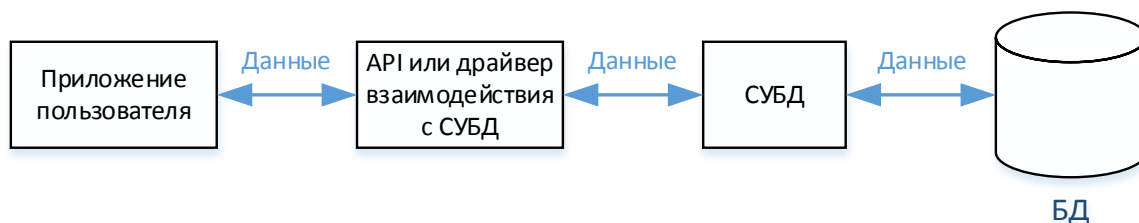


Рисунок 1 – Взаимодействие программы с базой данных

Несмотря на то, что во многих СУБД встроены различные методы защиты от информационных угроз, которые были рассмотрены в разделе 1: аутентификация, разграничение доступа и т.п., эти меры являются недостаточными. Во время взаимодействия программы с СУБД посредством драйвера или интерфейса прикладного программирования (API) данные передаются через оперативную память компьютера, что затрудняет несанкционированный доступ к ним ввиду наличия в операционных системах встроенных механизмов защиты от подобного типа угроз. Тем не менее, в конечном счете всё равно данные хранятся в виде файлов на жестком диске в незашифрованном виде, а к этим данным

злоумышленники могут получить доступ различными способами, как программными, так и физическим – произведя выемку жесткого диска из сервера и подключив его к собственному компьютеру.

В некоторых платных СУБД, например, в MS SQL Server, данная проблема решается набором специальных технологий, но в то же время не у всех организаций, особенно бюджетных, имеется возможность приобретать такое дорогостоящее ПО. В бесплатных же СУБД, даже популярных, как SQLite, имеются ограниченные возможности по устранению этой угрозы – только симметричное шифрование, когда секретный ключ либо вводится непосредственно пользователем, либо хранится в незашифрованном виде.

На рисунке 2 предлагается архитектура программного обеспечения, разработанная для исключения подобного вида угроз.

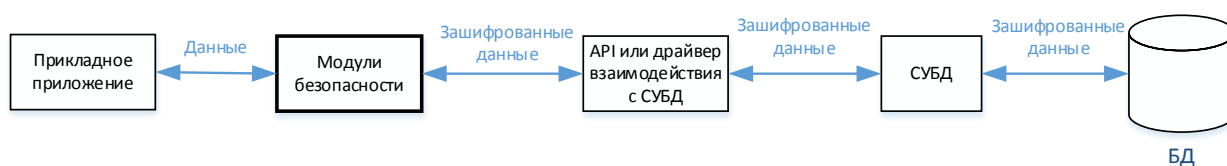


Рисунок 2 – Безопасное взаимодействие программы с базой данных

В данной конфигурации в базу данных на жестком диске записываются уже зашифрованные данные, а незашифрованными данными ведется обмен в оперативной памяти только между прикладным приложением и проектируемыми модулями безопасности. Структура и взаимосвязи этих модулей представлена на рисунке 3.





Рисунок 3 – Структурная схема модулей безопасности

Модули безопасности включают в себя несколько компонентов:

1. Основной модуль – предоставляет API (интерфейс прикладного программирования) для прикладных программных модулей, а также реализует основную логику работы по обеспечению безопасности, которая может быть представлена в виде следующих шагов:
  - a. При запуске программы и подключении к БД, основной модуль находит файлы с зашифрованным секретным ключом, а также с закрытым ключом.
  - b. Модуль асимметричного шифрования расшифровывает секретный ключ с помощью закрытого ключа.
  - c. Далее модуль симметричного шифрования, используя полученный секретный ключ, обеспечивает двусторонний обмен данными между прикладной программой и базой данных.
2. Модуль асимметричного шифрования. Используется для шифрования открытым ключом секретного ключа симметричного шифрования, а также его расшифровки закрытым ключом.
3. Модуль симметричного шифрования. Используется для непосредственного шифрования данных, размещаемых в БД.

Используемые алгоритмы симметричного и асимметричного шифрования (смешанное шифрование) будут рассмотрены в следующем разделе.

### 3 Шифрование данных

Шифрование представляет собой способ сокрытия данных, которые делает их бесполезными без соответствующего ключа или пароля для дешифрования. Шифрование не решает проблемы управления доступом, однако оно повышает защиту за счёт ограничения потери данных даже при обходе системы управления доступом. Например, если компьютер, на котором установлена база данных, был настроен неправильно, и злоумышленник смог получить конфиденциальные данные, то украденная информация будет бесполезна, если она предварительно зашифрована, либо, если будет похищен физический носитель, злоумышленник может восстановить или подключить БД и получить доступ к данным. Шифрование конфиденциальных данных в БД и защита ключей, используемых при шифровании, с помощью сертификата делает прочтение БД невозможным для лиц, не обладающих ключами шифрования. Но такой тип защиты следует планировать заранее.

#### 3.1 AES – симметричный блочный алгоритм

Алгоритм оперирует блоком в 128 бит, ключом размера 128/192/256 бит.

Advanced Encryption Standard (AES) – один из наиболее часто используемых и наиболее безопасных алгоритмов шифрования, доступных сегодня. История его успеха началась в 1997 году, когда Национальный институт стандартов и технологий официально начал искать замену стареющему стандарту DES. Алгоритм под названием «Rijndael», разработанный бельгийскими криптографами Йоаном Дайменом и Винсентом Рэйменом, отличался повышенной безопасностью, а также производительностью и гибкостью.

Он вышел на первое место среди нескольких конкурентов и был официально анонсирован в 2001 году новым стандартом шифрования AES. Алгоритм основан на

нескольких подстановках, перестановках и линейных преобразованиях, каждый из которых выполняется на блоках данных по 16 байтов, отсюда термин blockcipher. Эти операции повторяются несколько раз, называемые «раундами». Во время каждого раунда уникальный ключ раунда рассчитывается из ключа шифрования и включается в вычисления. Основываясь на блочной структуре AES, изменение отдельного бита либо в ключе, либо в блоке открытого текста приводит к совершенно другому блоку зашифрованного текста – явное преимущество перед традиционными потоковыми шифрами.

Его мы будем использовать для шифрования файла базы данных. Для шифрования и расшифрования используется один и тот же криптографический ключ, который должен сохраняться в секрете.

Секретный ключ – это специальный параметр криптографического протокола, известный одному или нескольким участникам и не известный противнику. Отсутствие у противника информации о значении секретного ключа – необходимое условие стойкости большинства криптографических протоколов.

Шифрование:

State (форма) – матрица (двумерный массив) байтов, расположенных, как показано на рисунке 4.

0	4	8	12	...
1	5	9	13	...
2	6	10	14	...
3	7	11	15	...

Рисунок 4 – Матрица State шифрования AES

S-Box (таблица подстановок) – таблица, которая задает отображение одного байта в другой (биективное отображение), представлена на рисунке Рисунок 5

		y															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
x	0	63	7c	77	7b	f2	6b	6f	c5	30	01	67	2b	fe	d7	ab	76
	1	ca	82	c9	7d	fa	59	47	f0	ad	d4	a2	af	9c	a4	72	c0
	2	b7	fd	93	26	36	3f	f7	cc	34	a5	e5	f1	71	d8	31	15
	3	04	c7	23	c3	18	96	05	9a	07	12	80	e2	eb	27	b2	75
	4	09	83	2c	1a	1b	6e	5a	a0	52	3b	d6	b3	29	e3	2f	84
	5	53	d1	00	ed	20	fc	b1	5b	6a	cb	be	39	4a	4c	58	cf
	6	d0	ef	aa	fb	43	4d	33	85	45	f9	02	7f	50	3c	9f	a8
	7	51	a3	40	8f	92	9d	38	f5	bc	b6	da	21	10	ff	f3	d2
	8	cd	0c	13	ec	5f	97	44	17	c4	a7	7e	3d	64	5d	19	73
	9	60	81	4f	dc	22	2a	90	88	46	ee	b8	14	de	5e	0b	db
	a	e0	32	3a	0a	49	06	24	5c	c2	d3	ac	62	91	95	e4	79
	b	e7	c8	37	6d	8d	d5	4e	a9	6c	56	f4	ea	65	7a	ae	08
	c	ba	78	25	2e	1c	a6	b4	c6	e8	dd	74	1f	4b	bd	8b	8a
	d	70	3e	b5	66	48	03	f6	0e	61	35	57	b9	86	c1	1d	9e
	e	e1	f8	98	11	69	d9	8e	94	9b	1e	87	e9	ce	55	28	df
	f	8c	a1	89	0d	bf	e6	42	68	41	99	2d	0f	b0	54	bb	16

Например, байт {fe} заменится на {bb}.

Рисунок 5 – Матрица S-Box шифрования AES

ExpandKey – функция для вычисления всех раундовых ключей.

AddRoundKey – сложение ключа раунда с формой.

Round (раунд) – итерация цикла преобразования над State (формой).

Количество итераций зависит от длины ключа, чем больше длина ключа, тем больше итераций.

Round key (раундовый ключ) – уникальный ключ, который применяется в каждом отдельном в раунде.

SubBytes – функция для подстановки байтов, использующая таблицу подстановок;

ShiftRows – функция, обеспечивающая циклический сдвиг в форме на различные величины;

MixColumns – функция, которая смешивает данные внутри каждого столбца формы.

Nr – количество раундов.

На рисунке 6 представлен обобщенный алгоритм раунда шифрования AES.

Дешифрация происходит аналогичным образом, только в обратном порядке.

### 3.2 RSA – асимметричный алгоритм

RSA – одна из самых распространенных асимметричных систем шифрования на сегодня.

Алгоритм Rivest-Shamir-Adleman (RSA), разработан в 1977 году Роном Ривестом, Ади Шамиром и Ленем Адлеманом и опубликован в 1978 году.

RSA работает с двумя различными ключами: открытым (публичным) и закрытым (частным). Оба они дополняют друг друга, что означает, что сообщение, зашифрованное одним из них, может быть дешифровано только его дополняющей стороной. Поскольку закрытый ключ не может быть вычислен из открытого ключа, последний, как правило, доступен для общественности.

Эти свойства позволяют использовать асимметричные криптосистемы в широком спектре функций, таких как цифровые подписи.

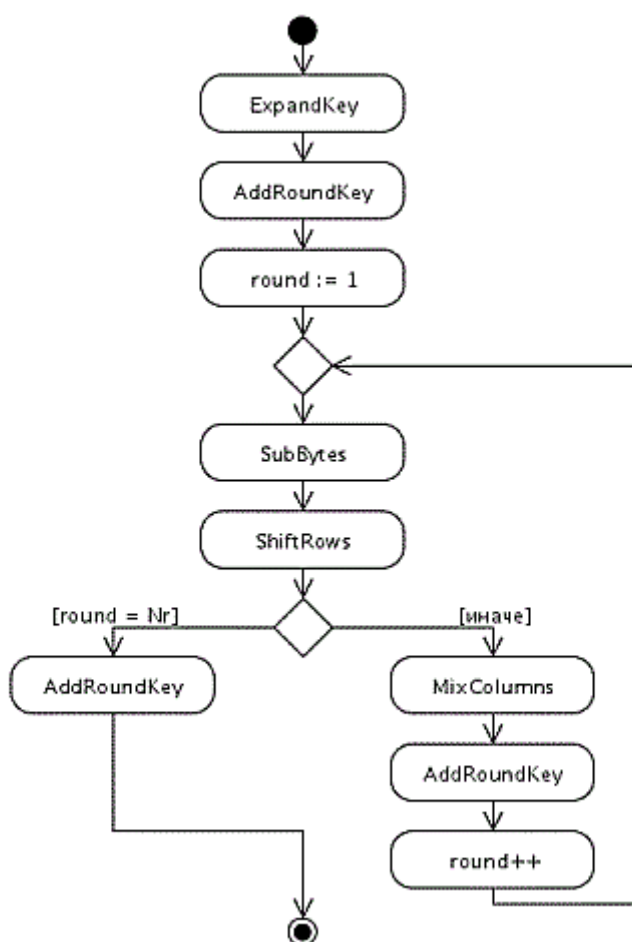


Рисунок 6 – Алгоритм раунда шифрования AES

Безопасность RSA основана главным образом на математической проблеме факторизации целого числа. Сообщение, которое должно быть зашифровано, рассматривается как одно большое число. При шифровании сообщения оно

увеличивается до степени ключа и делится с остатком на фиксированное произведение двух простых чисел. Повторяя процесс с другим ключом, открытый текст можно получить снова.

Алгоритм RSA мы будем использовать для генерации открытого и закрытого ключей и их безопасном обмене, а затем открытым ключом будем шифровать секретный ключ, а закрытым – дешифровывать. Закрытый ключ должен сохраняться в секрете.

### ***Генерация ключей:***

- 1) Выбираются и содержатся в секрете два простых (обычно больших) числа **p** и **q**
- 2) Умножаем их **n = pq**
- 3) Полученный ответ вставляем в функцию, а множители в формулу, приравниваем. **f(n) = (p-1) (q-1)**
- 4) Выбираем взаимно простое число **e** по отношению к функции **f(n)**
- 5) Определяем такое **d**, чтобы **(d)(e) = 1 mod f(n)** и **d < f(n)**
- 6) Открытый ключ (**e; n**); закрытый ключ (**d; n**)

### ***Шифрование:***

- 1) Обозначим секретный ключ: **p**
- 2) Возводим **p** в степень **e** по модулю **n**. То есть **p<sup>e</sup> (mod n) ≡ E** (вычислили остаток)
- 3) Зашифрованный секретный ключ: **E**

### ***Дешифрование:***

- 1) Возведение **E** в степень **d** по модулю **n**. То есть **E<sup>d</sup>(mod n) ≡ p** (вычислили остаток)
- 2) Секретный ключ: **p**

## **4 Алгоритмы работы программных модулей**

Для реализации программных модулей были разработаны алгоритмы их функционирования. В качестве языка разработки использовался C++ вместе с фреймворком Qt, выбор СУБД пал на широко распространенную систему SQLite. В качестве модуля симметричного шифрования применялся плагин QtCipherSqlitePlugin, ассиметричное шифрование было реализовано встроенными средствами платформы Qt. На рисунке 7 приводится алгоритм получения секретного ключа ассиметричного шифрования.

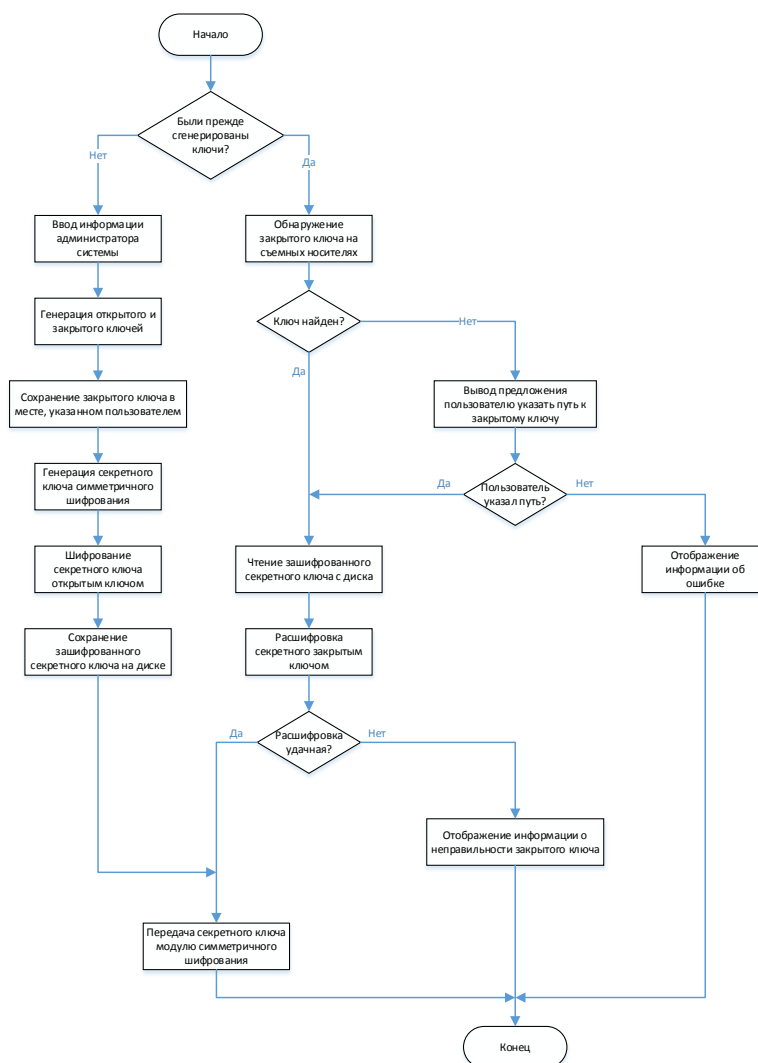


Рисунок 7 – Алгоритм получения секретного ключа

На рисунке 8 представлен алгоритм шифрации и записи информации в базу данных.

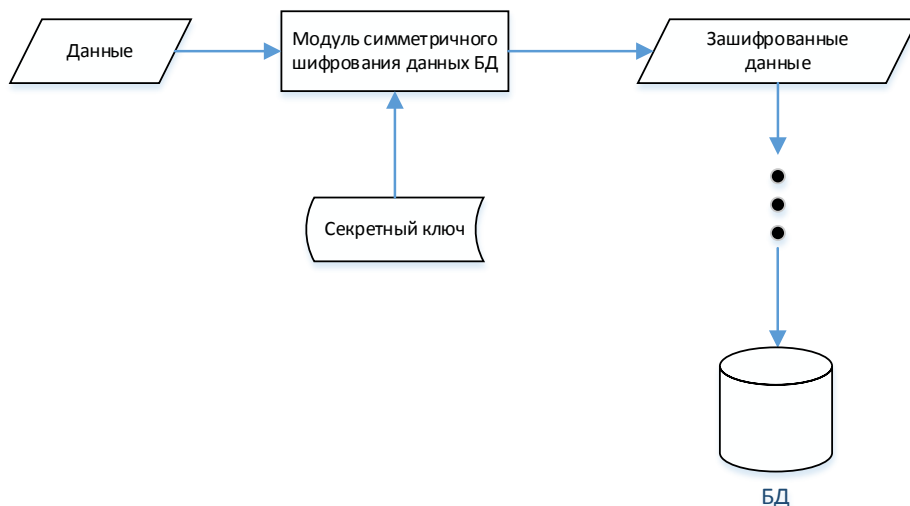


Рисунок 8 – Алгоритм записи информации в БД

На рисунке 9 представлен алгоритм получения информации из базы данных и ее дешифрации.

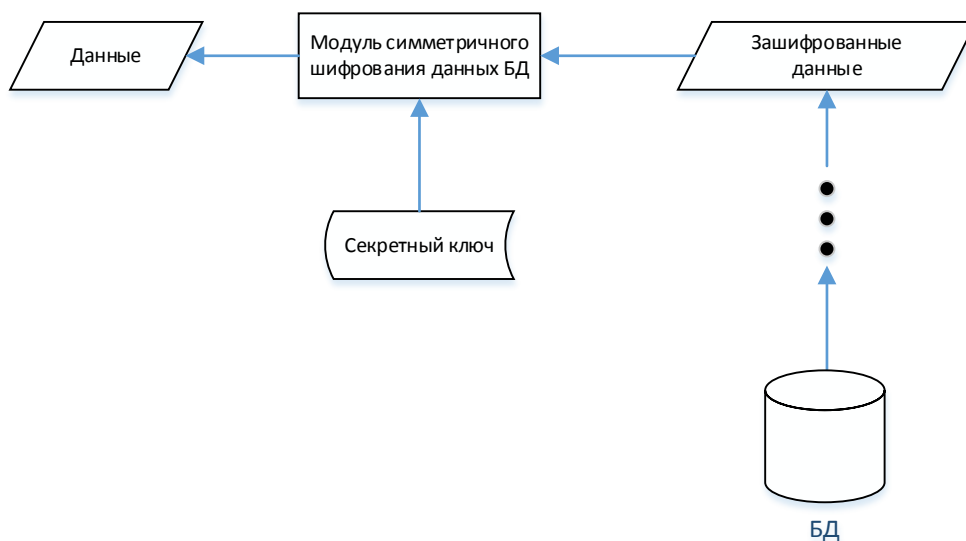


Рисунок 9 – Алгоритм получения информации из БД

Совместное использование всех перечисленных алгоритмов в программных модулях создаст необходимый уровень безопасности информации для служебного пользования, а разработанный модуль на языке Qt станет удобным инструментом для других разработчиков по предотвращению угрозы несанкционированного чтения незащищенных файлов баз данных.



## **Заключение**

Благодаря смешанному алгоритму шифрования (совместное использование симметричного и асимметричного шифрования) решена задача безопасного хранения информации на жестком диске в базе данных (на примере СУБД SQLite).

Разработанные алгоритмы предлагается использовать разработчикам информационных систем для учреждений, где стоит необходимость хранения в базе данных информации для служебного пользования.

## **Литература**

1. Чмора А. Современная прикладная криптография. – М.: Гелиос АРВ, 2002, 243 с
2. Бернет С., Пейн С. Криптография. Официальное руководство RSA Security. – М.: Бином, 2002, 381 с
3. Альбов А. Квантовая криптография. – СПб: Страта, 2015, 245 с
4. Де Касто В. Просто криптография. – СПб: Страта, 2014, 206 с
5. Алексеев А. Информатика 2015. – М.: Солон-Пресс, 2015, 400 с
6. Попов А. Информатика и математика: учебник и практикум для СПО – М.:Юрайт, 2015, 509 с
7. Алферов А., Зубов А. Основы криптографии: учебное пособие. - М.: Гелиос АРВ, 2005, 480 с
8. Фьюэр А., Джехани Н. Языки программирования Ада, Си, Паскаль. Сравнение и оценка. – М.: Радио и связь, 1989, 368 с
9. Введение в базу данных Sqlite [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://webformyself.com/vvedenie-v-bazu-dannyx-sqlite/>.
10. Qt и SQLite и вообще, программирование БД в Qt [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://habrahabr.ru/post/128836/>.
11. QtCipherSqlitePlugin [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://github.com/devbean/QtCipherSqlitePlugin>

## СЕКЦИЯ II. Машиностроительные технологии

### Изучение коррозии стальных конструкций в агрессивной шахтной воде разработки медноколчеданных месторождений

*Циглер Анастасия Сергеевна,*

*МАОУ «Академический лицей» г. Магнитогорск Челябинской области, класс 11 «а»*

*Научный руководитель: Орехова Наталья Николаевна,*

*ФГБОУ ВО МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, д.т.н., проф. Каф. ГМДиОПИ*

#### Введение

Стали являются наиболее важными конструкционными материалами на горных предприятиях. В условиях эксплуатации стальных конструкций вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой происходит их разрушение. В шахтах коррозией поражено до 65...80 % стальных конструкций [1] (крепей и трубопроводов). Повышение срока их эксплуатации является актуальной задачей и требует проведения дополнительных исследований в данном направлении.

Объект исследования - фрагменты используемых при эксплуатации шахты конструкций из разных марок сталей.

Цель исследования – определение наиболее коррозионностойкой марки стали и изучение эффективности противокоррозионного покрытия сталей в условиях полного погружения стальной конструкции в высоко агрессивную шахтную воду Урупского ГОКа.

Задачи исследования:

- 1) определить физико-химические характеристики рудничной воды и теоретически возможные механизмы коррозии сталей при полном погружении в неё;
- 2) определить состав стали по марке, систематизировать образцы по теоретической коррозионной стойкости, определить площадь поверхности образцов;
- 3) изучить теорию защиты сталей от коррозии в растворах электролитов;

- 4) выбрать способ защиты от коррозии и провести противокоррозионную обработку стальных конструкций;
- 5) на основании результатов эксперимента провести сравнительный анализ коррозионной стойкости разных марок сталей и определить эффективность противокоррозионной защиты для чего:
  - провести физическое моделирование коррозии стальных конструкций в шахтной воде;
  - гравиметрическим методом определить скорость разрушения необработанных и обработанных образцов конструкций из разных марки сталей в условиях полного погружения в шахтную воду;
  - определить характер коррозионного разрушения.

По результатам исследований будут сделаны выводы о целесообразности использования изученных марок сталей в высокоагрессивной среде шахтной воды и возможности применения выбранного способа защиты от коррозии в условиях полного погружения в шахтную воду.

### **1. Характеристика рудничной воды и теоретически возможные механизмы коррозии сталей при полном погружении в неё**

В моей работе в качестве среды, в которую погружены объекты исследования, выступает шахтная вода Урупского горно-обогатительного комбината.

Характеристика воды представлена в таблице 1.

Таблица 1 Характеристика пробы шахтной воды Урупского ГОКа

№ канистры	Показатели					
	рН	O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>
<b>4</b>	2,51	2,56	410	590	319	4289,8
<b>5</b>	2,51	2,48	328	685	240	5015,6
Усредненная проба	2,51	2,52	369	637,5	279,5	4652,7

Шахтная вода имеет кислую реакцию среды, содержит много взвеси, растворенные металлы, концентрация которых является высокой в сравнении с природными подземными водами (кларк меди цинка и железа для подземных вод

составляет соответственно 0,0558, 0,0414 и 0,48114 мг/дм<sup>3</sup>[2]) Количество кислорода в воде имеет низкие значения (растворимость кислорода в воде при 15°C составляет 10,03 мг/дм<sup>3</sup>[3]).

Шахтная вода по сути является водным раствором электролита.

Коррозия (от латинского слова «коррозио» - разъедание) – это самопроизвольно протекающий процесс разрушения металлов в результате взаимодействия с окружающей средой. Коррозия вызывается окислительно-восстановительными реакциями, в которых металл в результате взаимодействия с каким-либо веществом из своего окружения превращается в нежелательное соединение[4].

### Виды коррозии

В водных растворах электролитов может протекать электрохимическая коррозия [4]. Такая коррозия сопровождается возникновением электрического тока. Она протекает по механизму гальванического элемента. Для возникновения электрохимической коррозии нужно наличие кислорода и воды.

Коррозия в кислых шахтных водах, в которых присутствует кислород и ионы меди скорее всего будет происходить по двум основным механизмам.

- 1) Поскольку в составе сталей имеются зерна разных фаз, у которых различаются электродные потенциалы, то в водной среде на поверхности стального изделия из-за разницы потенциалов возникнет множество гальванопар. Например, феррит(анод) – цементит (катод) (рис 1.)

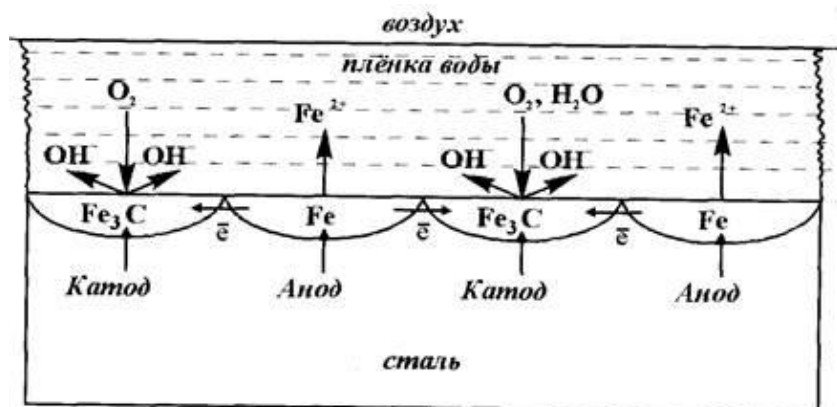
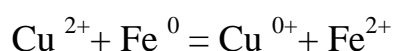


Рисунок 1. Схема коррозии стали в растворе электролита

- 2) Поскольку в ряду преобладающих по концентрации катионов металлов в шахтной воде есть медь, которая в электрохимическом ряду напряжения металлов находится правее цинка и железа, то, скорее всего, будет происходить замещение железа медью и образование на поверхности детали цементной меди по реакции



Неравномерное покрытие цементной медью приведет к ускорению и усилению коррозии.

Железо на поверхности будет окисляться, образуя при этом свободные электроны переместятся от железа к меди (на катод), где будут участвовать в процессе восстановления ионов водорода ( $\text{H}^+$ ), находящихся в кислом электролите (рис 2):

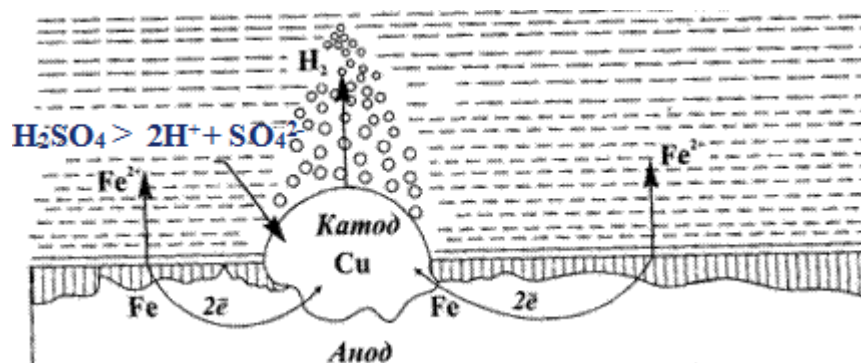
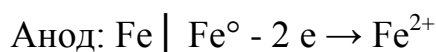


Рисунок 2. Схема коррозии стали в контакте с медью в растворе электролита

Равномерное бездефектное покрытие цементной медью, теоретически, к замедлению дальнейшей коррозии.

И еще один возможный вариант коррозии связан с присутствием в шахтной воде серной кислоты. Сульфаты железа, образующиеся под действием серной кислоты на сталь – растворимы в серной кислоте [7].

## 2. марка, состав и свойства стали, из которой изготовлены изучаемые образцы\*




\*образцы предоставлены кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых МГТУ им Г.И. Носова (г. Магнитогорск) и ООО «УРАЛЭНЕРГОРЕСУРС».

Известно [8], что введение **хрома** в железо сообщает железохромистым сплавам нержавеющие свойства, повышающие их коррозионную стойкость в атмосферных условиях и в ряде окислительных сред. Добавление **никеля** к железу повышает коррозионную стойкость сплавов в растворах серной и соляной кислот и в ряде органических кислот. Присадка **меди** к нержавеющей сталям и особенно хромоникелевым сталям с молибденом сильно повышает их коррозионную стойкость в серной кислоте средних концентраций. **Молибден** оказывает положительное влияние на улучшение коррозионной стойкости хромистых и хромоникелевых сталей в разбавленных растворах серной кислоты.

**Марганец** несколько ухудшает коррозионную стойкость хромистых и хромоникелевых сталей в окислительных и восстановительных средах.

Характеристика образцов дана в таблице 2

Таблица 2. Характеристика образцов

ДЕТАЛЬ (ФОТО)	МАРКА СТАЛИ	СОСТАВ,%	СВОЙСТВА
	<b>СТ 20</b>	Железо, до 98 Углерод, от 0,17 до 0,24 Марганец, от 0,35 до 0,65 Никель, до 0,25 Сера, до 0,04 Фосфор, до 0,04 Хром, до 0,25 Медь, до 0,25 Мышьяк, 0,08	Используется в условиях повышенной влажности
	<b>40X</b>	Углерод, 0,36-0,44 Хром, 0,8-1,1 Кремний, 0,17-0,37 Марганец, 0,5-0,8 Никель, до 0,3 Фосфор, до 0,035 Сера, до 0,3 Медь, до 0,035	Положительные <ul style="list-style-type: none"> <li>• коррозионные свойства;</li> <li>• стойкость к колебаниям температуры;</li> <li>• высокие прочностные показатели;</li> <li>• эстетические качества.</li> </ul> Отрицательные <ul style="list-style-type: none"> <li>• склонность к образованию флокенов;</li> <li>• отпускную хрупкость;</li> <li>• плохую свариваемость.</li> </ul>
	<b>У8</b>	Железо, около 97 Углерод, 0,76-0,83 Кремний, 0,17-0,33 Марганец, 0,17-0,33 Фосфор, не больше 0,03 Сера, не больше 0,028 Никель, не больше 0,25	Сплав У8 обладает твердостью в НВ 10 <sup>1</sup> =187 МПа и удельным весом в 7839 кг/м <sup>3</sup> . Он имеет относительно низкую температуру термообработки (для закалки в масле – 780°С, для отпуска – 400°С), поэтому не годится ни для сварочных работ, ни для литья, ни для изготовления

		Медь, больше 0,25 <b>Хром</b> , не больше 0,2	промышленного режущего инструмента.
	<b>СТ2</b>	Fe железо~98 кремний 0,05 - 0,15 <u>Mn марганец 0,25 - 0,5</u> Ni <b>никель</b> до 0,3 S сера до 0,05 P фосфор до 0,04 Si Cr <b>хром</b> до 0,3 N азот до 0,008 Cu медь до 0,3 As мышьяк до 0,08	Сталь малоуглеродистая, не является коррозионностойкой
	<b>СТ45</b>	Железо, до 97%; углерод, от 0,42 до 0,5%; кремний, от 0,17 до 0,37%; <b>хром</b> , до 0,25%; <u>марганец, 0,5 - 0,8%;</u> <b>никель</b> , до 0,25%; медь, до 0,25%; фосфор (P) – до 0,035%; сера (S) – до 0,04%; мышьяк (As) - 0,08.	Сталь конструкционная углеродистая качественная
	<b>СТ3</b>	Азот, до 0,008 Углерод, 0,9-0,15 Кремний, 0,05-0,15 Марганец, 0,25-0,5 Фосфор, до 0,04 Сера, до 0,05 Никель, до 0,3 Медь, до 0,3 Хром, до 0,3 Мышьяк, до 0,08	Сталь малоуглеродистая, не является коррозионностойкой
	<b>HARDOX 450</b>	C углерод < 0.18 Si кремний < 0.25 <u>Mn марганец &lt; 1.3</u> P фосфор < 0.015 S сера < 0.004 Cr <b>хром</b> < 0.1 Mo молибден < 0.04 Ni <b>никель</b> < 0.1 Ti титан < 0.05 V бор < 0.003 Se германий - 0.39	Стойкая к абразивному истиранию сталь Hardox 450 с номинальной твердостью в 450 единиц по Бринеллю. Сочетает в себе хорошую изгибаемость и пригодность к сварке с гарантированной ударной вязкостью

### 3. Способы защиты сталей от коррозии

Одним из способов торможения коррозионного процесса является нанесение на поверхность стальных деталей защитного покрытия. Оно изолирует её от воздействия агрессивных веществ. Как сказано в учебном пособии [5], используют следующие защитные покрытия: оксидные, фосфатные и полимерные плёнки с высокими антикоррозионными свойствами. Я выбрала метод фосфатирования поскольку фосфатное покрытие может быть применено и для углеродистых, и для низколегированных, и для среднелегированных сталей.

#### 4. Методика и результат фосфатирования деталей

Процесс фосфатирования проводили в водном растворе концентрата "Bonderite M- FE G-1070", изготовленном ООО "Хенкель рус". Содержание жидкого концентрата в рабочем растворе составило 20 г/дм<sup>3</sup>.

Фосфатирование проводили следующим образом.

Сначала детали очищали от проявления ржавления мелкой наждачной бумагой.



Затем обезжировали ацетоном, после чего удерживая пинцетом с резиновыми наконечниками прополаскивали деталь в теплой дистиллированной воде.



Затем деталь опускали в 10-ти процентный раствор соляной кислоты на 10 минут, далее снова промывали в теплой дистиллированной воде



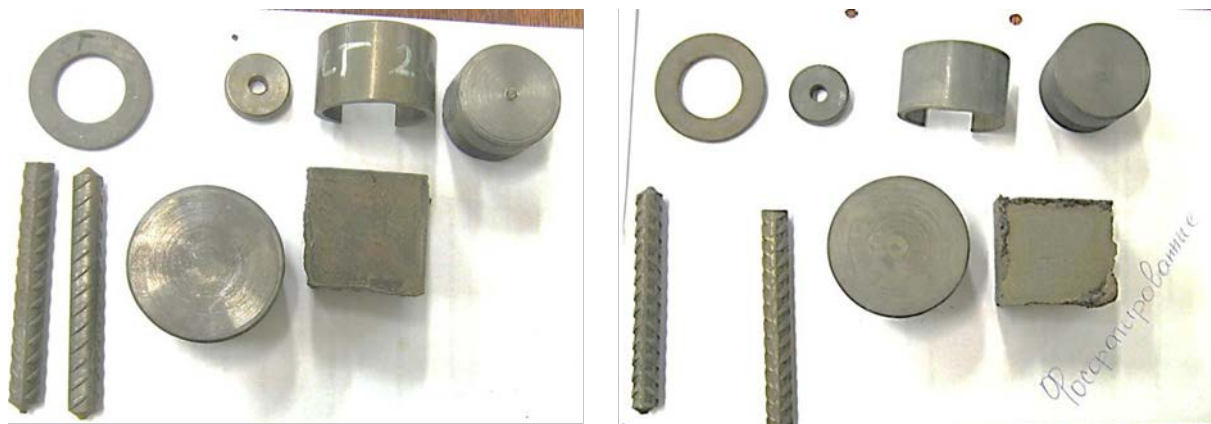
и затем опускали подготовленную деталь в подогретый до 60 °С фосфатирующий раствор на 20 минут. Температуру поддерживали за счет помещения стакана с раствором и деталью в сушильный шкаф прогретый до 60 °С.



После извлечения из раствора обработанную деталь высушивали на листе бумаги. В результате фосфатирования получили равномерное покрытие на большинстве деталей. Покрытие не получилось равномерным только на детали из стали Хардекс. Один из образцов арматуры после фосфатирования выдержали в растворе пассиватора. Пассивирование поверхности металла осуществляли в водном растворе, содержащем порошкообразный концентрат "Фоскон 486" в количестве 5 г/дм<sup>3</sup>.



Внешний вид деталей без фосфатирующей обработки и после фосфатирования представлен на фото 1.



Без фосфатирования

Фосфатированные детали

Фото 1. Внешний вид деталей без фосфатирующей обработки и после фосфатирования

Обработанные и необработанные детали поместили в пластиковые стаканы на 500 мл и залили шахтной водой так, чтобы над деталью был слой воды 5 см. Через сутки на поверхности воды появилась пена, что свидетельствует о протекании реакции с выделением газа. Отметим, что в стаканах с фосфатированными процесс газообразования был значительно менее интенсивным.

По истечении 15 суток детали извлекли из раствора.

Осмотр показал, что все детали имеют неравномерное покрытие цементной медью.

При этом на фосфатированных деталях слой был менее равномерным. (фото.2).



Фото 2.- Арматура после 15-ти суток контакта с шахтной водой

Таким образом, установили, что фосфатная пленка на поверхности стали не исключает осаждения цементной меди на детали.

На поверхности свободной от цементной меди наблюдается ржавчина в виде пятен различной формы. (фото 3). На поверхности фосфатированных деталей ржавых пятен очень мало.



Фото 3. Деталь из Ст45 без фосфатного покрытия после контакта с шахтной водой

Покрытие цементной медью на необработанных деталях непрочное и достаточно легко, примерно на 60-70%, смывается тряпкой. Но на фосфатированной детали из стали Ст45 покрытие цементной меди равномернее и прочнее, чем на остальных (фото 4).



Фото 4. Слой цементной меди на деталях из Ст45 (слева – с фосфатным покрытием, справа – без фосфатного покрытия)

## 5. Методика и результаты количественных измерений

Одними из наиболее достоверных методов получения информации о коррозии считается гравиметрический. Сущность гравиметрического метода заключается в определении потери массы металлических образцов за время их пребывания в испытываемой среде. При гравиметрическом методе скорость коррозии характеризуется массовым показателем  $K_m$  (г/м<sup>2</sup>·час) [6]

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}$$

где  $m_1$  – масса образца до испытания, г;  $m_2$  – масса образца после испытания, г;  $S$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время экспозиции, час.

Провели химический анализ шахтной воды на содержание меди (йодометрический метод). После освобождения детали от цементной меди и ржавчины и высыхания деталей провели взвешивание.

Таблица 3.- Результаты экспериментального изучения коррозии деталей

Деталь	Площадь поверхности, см <sup>2*</sup>	Фосфатирование (Ингибирование)	Масса детали (г) после пребывания детали в шахтной воде в течение			Суточная коррозия, г/м <sup>2</sup> в час		Концентрация меди (мг/ дм <sup>3</sup> ) после пребывания детали в шахтной воде в течение			Примечание
			Исх	15 суток	11 суток	15 суток	11 суток	Исх	15 суток	11 суток	
"пробка", сталь У8	124,924		826,00	823,20	821,70	0,623	0,455	368	56,25	60,40	сильное газообразование
	125,842	+	827,20	827,00	826,80	0,044	0,060		115,62	98,50	умеренное газообразование
Арматура, Ст2	43,697		88,12	85,96	85,23	1,370	0,633		24,75	25,62	сильное газообразование
	43,007	+	81,51	81,04	80,41	0,304	0,555		78,18	78,82	умеренное газообразование
	44,099	+(+)	84,59	84,08	83,43	0,321	0,558		212,35	160,78	слабое газообразование
Шайба Х40	14,130		35,36	35,21	35,04	0,285	0,456		56,62	56,12	сильное газообразование
	14,083	+	35,83	35,59	35,43	0,473	0,430		135,05	138,00	умеренное газообразование
Кольцо Ст3	35,630		40,90	40,53	40,28	0,288	0,266		28,64	28,95	сильное газообразование
	34,821	+	40,16	39,86	39,62	0,235	0,261		69,28	66,22	умеренное газообразование
Цилиндр Ст 45	50,941		378,00	375,10	374,20	1,581	0,669		42,16	55,34	сильное газообразование

	50,770	+	412,00	408,50	406,60	1,915	1,418	125,12	98,25	умеренное газообразование
Труба с вырезом, Ст20	78,100		86,98	86,77	86,55	0,075	0,107	38,00	40,68	сильное газообразование
	69,927	+	80,54	80,25	80,12	0,115	0,052	76,60	57,48	умеренное газообразование
Образец сталь «Hardox 450»	414,000		525	520	518,7	0,335	0,087	12,00	8,04	сильное газообразование
	519,400	+	618	615	614,4	0,160	0,032	85,50	12,36	умеренное газообразование

\*Полную площадь рассчитали по размерам, определенным с помощью штангенциркуля.

Результаты сравнения гравиметрического (весового) определения коррозии показали, что:

- по увеличению скорости коррозии марки сталей выстраиваются в ряд Ст20, Ст3, Х40, «Hardox 450», У8, Ст2, Ст45

- при первичном погружении деталей в шахтную воду фосфатирование деталей привело к снижению скорости коррозии не для всех сталей. Скорость коррозии снизилась у деталей из сталей У8, Ст2, Ст3, «Hardox 450». Скорость коррозии увеличилась у деталей из марок сталей Ст20, Х40, Ст45.

- во всех случаях после контакта фосфатированных деталей с шахтной водой, оста-

точная концентрация в ней меди выше в 1,5-3 раза, чем после контакта с незащищенной поверхностью.

На заключительном этапе эксперимента детали поместили в обезмеженную (после удаления меди) шахтную воду после интенсивного взбалтывания воды для насыщения её кислородом воздуха. После 20 суток контакта (время экспозиции) проведена очистка поверхности от продуктов коррозии и взвешивание. Результаты представлены в таблице 4.

Деталь	Площадь поверхности, см <sup>2*</sup>	Фосфатирование (Ингибирование)	Масса детали (г) Перед началом 3 го этапа	Масса детали (г) после пребывания в шахтной воде в течение 20 суток	Суточная коррозия, г/м <sup>2</sup> в час
"Пробка", сталь У8	124,924		826,00	820	0,284
	125,842	+	827,20	826,5	0,050
Арматура, Ст2	43,697		88,12	84,92	0,148

	43,007	+	81,51	80,1	0,150
	44,099	+ (+)	84,59	83,27	0,076
Шайба Х40	14,130		35,36	34,69	0,516
	14,083	+	35,83	35,12	0,459
Кольцо Ст3	35,630		40,90	40,02	0,152
	34,821	+	40,16	39,3	0,191
Цилиндр Ст 45	50,941		378,00	369	2,127
	50,770	+	412,00	402,8	1,559
Труба с вырезом, Ст20	78,100		86,98	84,9	0,440
	69,927	+	80,54	79,48	0,191
Образец сталь «Hardo x 450»	414,000		525	515,5	0,161
	519,400	+	618	596	0,738

Из таблицы видно, что в обезмеженной воде (в воде после удаления из неё меди цементацией в отдельной операции) детали, предварительно отмытые от цементной меди и продуктов коррозии, образовавшихся на втором этапе эксперимента, скорость коррозии снизилась, как в случае нефосфатированных, так и в случае фосфатированных деталей.

#### **6. Микроскопическое сравнение поверхности до и после пребывания деталей в шахтной воде**

Поверхность деталей, габариты которых позволили сфокусировать изображение засняли при увеличении в 100 крат. Съемка сделана с помощью анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел Минерал С7. Детали засняли до обработки и после третьего этапа их выдержки в шахтной воде.

После выдержки образцов в шахтной воде и очистки их от продуктов коррозии при помощи щетки поверхность деталей оказалась «щербатой», что видно глазом в окуляр. При увеличении 100 крат получить её четкие микрофотографии с помощью анализатора Минерал С7 оказалось сложно. Появившиеся неровности поверхности не позволяют получить четкую картину по всему полю. Сфокусированное изображение получается при увеличении до 10 крат, но является малоинформативным.

Однако даже при таком качестве микрофотографий при увеличении 100 крат можно заключить, что коррозии в большей степени подвержены

нефосфатированные детали, коррозия имеет вероятно язвенный характер для стали Ст3 и Ст2 и точечный для Ст20 и Х40. На шайбах из стали Х40 появились поверхностные трещины, отчетливо виден коррозионный очаг по трещине (нефосфатированная поверхность). Так же наблюдается наличие цементной меди, что свидетельствует о более прочной связи её с поверхностью детали. На поверхности фосфатированных деталей явных очагов коррозии на микрофотографиях не наблюдается, кроме арматуры, где коррозия развивается возле ребра, вероятно из за дефектов фосфатного покрытия.

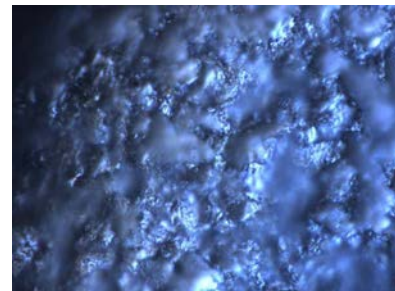
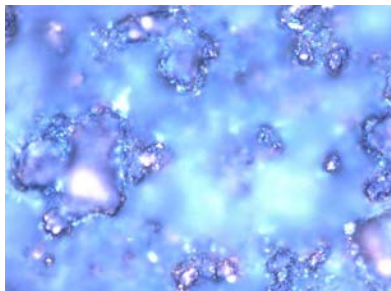
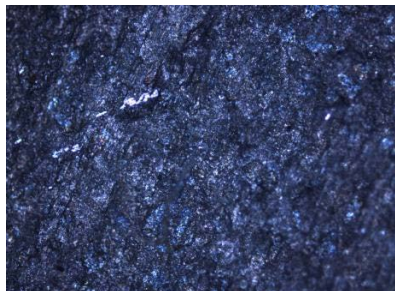
После контакта с шахтной водой в течение 30 суток

Исходная поверхность

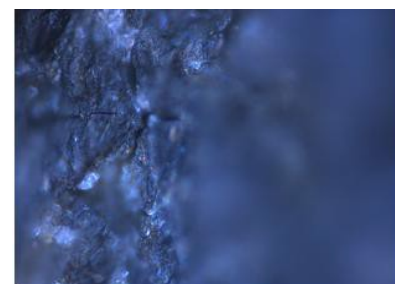
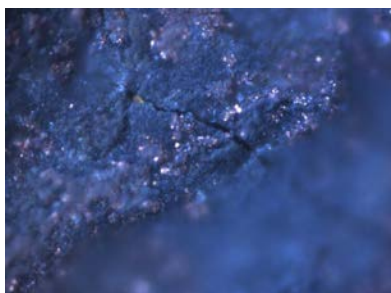
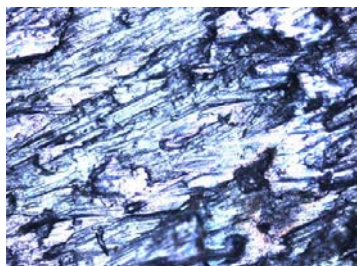
Детали без  
фосфатирования

Детали с фосфатным  
покрытием

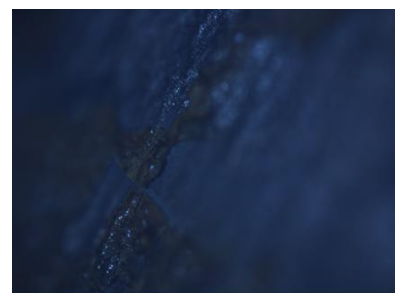
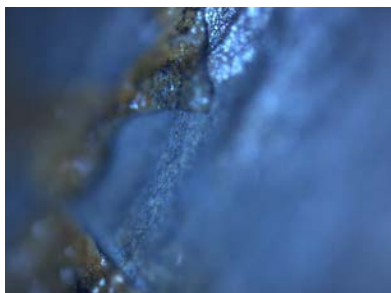
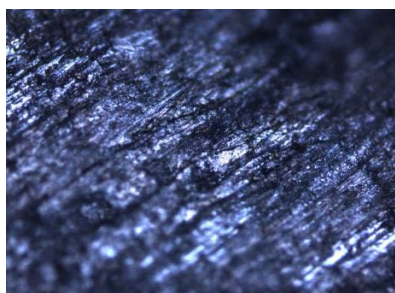
**КОЛЬЦО СТЗ**



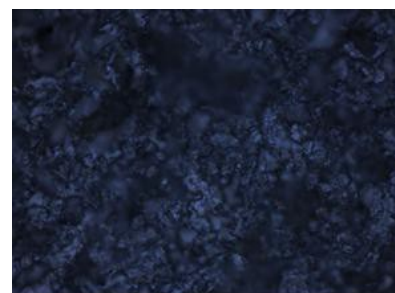
**ШАЙБА Х40**



**АРМАТУРА СТ2**



**ТРУБА СТ 20 (торцевой  
срез трубы)**



## Выводы

1. Шахтная вода имеет кислую реакцию среды, содержит много взвеси, растворенные металлы является, по сути, водным раствором электролита, содержание кислорода в воде составляет 2,48-2,56 мг в одном литре.
2. Теоретически возможными механизмами коррозии (разрушения) сталей в такой воде могут быть: растворение поверхности детали под действием серной кислоты, присутствующей в шахтной воде; электрохимическая коррозия, и замещение железа медью из шахтной воды (цементация меди на железе).
3. Одним из современных способов защиты сталей от коррозии является фосфатирование.
4. По увеличению скорости коррозии в шахтной воде марки сталей выстраиваются в ряд:
  - в присутствии в шахтной воде меди Ст20, Ст3, Х40, «Hardox 450», У8, Ст2, Ст45;
  - в обезмеженной воде Ст2, Ст3, «Hardox 450», У8, Ст20, Х40, Ст45; После фосфатирования:
  - в присутствии в шахтной воде меди У8, Ст20, «Hardox 450», Ст2, Х40, Ст3, Ст45;
  - в обезмеженной воде Ст2, Ст3, Ст20, Х40, У8, Hardox 450», Ст45;

Во всех случаях сталь 45 показывает самую высокую скорость коррозии.

Самая низкая скорость коррозии у Ст2 после фосфатирования и ингибирования.

Поскольку в исследовании это единственная деталь с ингибированием, то можно только предполагать, что при ингибировании остальных сталей можно ожидать похожего эффекта.

Сталь Х40 имеет слабовыраженную точечную коррозию за счет ржавления по электрохимическому механизму, но прочно цементирует медь.

Электрохимической коррозии подвержены стали Ст2 и Ст3. Коррозия язвенная.



По результатам исследований можно рекомендовать фосфатирование сталей У8, Ст2, Ст3, «Hardox 450» для работы в среде кислой воды с высоким содержанием меди. Фосфатирование и ингибирование Ст2, и фосфатирование Ст3, Ст20, Х40 для работы в среде кислой шахтной воды с низкими концентрациями меди.

### **Литература**

1. Коваленко, В.В. Защита металлической крепи от коррозии с использованием торкрет-бетона : моногр. / В.В. Коваленко. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 108 с.
2. Прикладная гидрогеохимия: Учебник / В.А. Кирюхин; Санкт-Петербургский гор- ный ин-т. СПб, 2010. 205 с.
3. РД 52.24.419-2005 Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Руководящий документ : массовая концентрация растворенного кисло- рода в водах, методика выполнения измерений иодометрическим методом.
4. Габриелян О. С. Химия. 9 класс //М.: Дрофа. – 2010. – Т. 2013.- 322с.
5. Федосова Н.Л., Румянцева В.Е., Румянцева К.Е., Балмасов А.В., Чекунова М.Д. Антикоррозионная защита металлов в строительстве. Иваново: ИГАСУ, 2010.-188 с.
6. ГОСТ 9.506-87 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности
7. Технология серной кислоты. Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. — М., Химия, 1983. — 360 с
8. Мальцева Г. Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос.ун-та, 2000. 211с.

### **СЕКЦИЯ III. Информатика и системы управления**

#### **Использование смешанного алгоритма шифрования для обеспечения безопасного хранения информации в базах данных**

*Забелина Варвара Александровна,*

*МАОУ «Лицей №19», 11 класс*

*Научный руководитель: Терехов Валерий Игоревич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент каф. ИУ5*

#### **Постановка задачи**

В работе решается задача создания и разметки обучающей выборки, выбора архитектуры и обучения сверточной нейронной сети распознаванию типов и маршрутных номеров общественного транспорта на предъявляемых изображениях, а также исследование зависимости количества изображений обучающей выборки от точности классификации.

#### **Цель работы**

Разработка программного модуля по распознаванию типа общественного наземного транспорта и номера его маршрута на предъявляемом изображении с помощью сверточной нейронной сети.

#### **Актуальность**

По данным Всемирной организации здравоохранения за 2017 год во всём мире насчитывалось порядка 36 миллионов слепых людей и 217 миллионов людей с плохим зрением [1]. В Российской Федерации количество людей с нарушениями зрения достигает 240 тысяч человек [2].

Однако, несмотря на достаточно большие объемы государственного финансирования для решения проблем людей с ограниченными возможностями по зрению (ОВЗ), им по-прежнему сложно передвигаться за пределами своих квартир и домов. Проводимое на базе Благотворительного фонда поддержки слепоглухих «Со-единение» исследование по выявлению потребностей слепоглухих людей в проектировании вспомогательных

технологий и устройств [3] позволило определить, что большинство проблем, возникающих у людей с ОВЗ связаны, прежде всего, с перемещением в условиях городской среды. Одной из такого рода проблем является использование общественного транспорта.

При перемещении по городу людей с ограниченными возможностями здоровья по зрению (ОВЗ) на автобусах трамваях, троллейбусах и маршрутных такси, являются сложности, связанные с определением маршрута их движения.

Анализ результатов исследования проведенных в фонде поддержки слепоглохих людей «Со-единение» показал что, люди с ОВЗ не могут определить номер маршрута транспортного средства за то время, которое оно находится на остановке, что серьезно сказывается на их мобильности в городской среде.

### **Введение**

В процессе жизнедеятельности человека число принимаемых им решений конечно, при том, что количество определяющих факторов может быть бесконечным. Количество возможных решений зависит от жизненного опыта, поэтому автоматизация ряда процессов предполагает под собой конструирование автоматических устройств, способных реагировать на множество изменяющихся характеристик внешней среды определенным и конечным количеством удовлетворяющих человека реакций. Это означает реализацию главных особенностей принципов распознавания, заложенных природой, обеспечение реагирования на совокупность изменений.

Создание устройств, выполняющих функции распознавания различных объектов, в большинстве случаев обеспечивает возможность замены человека специализированным устройством, обеспечить его освобождение от однообразных операций для решения других более важных задач, а также повысить качество и скорость принимаемых решений.

Решаемая задача по распознаванию типа общественного наземного

транспорта и номера его маршрута относится к классу задач распознавания образов. При этом под распознаванием образов понимается задача идентификации объекта и/или определения каких-либо его свойств (номер маршрута) по его оптическому изображению, а под образом понимается классификационная группировка в системе классификации, объединяющая (выделяющая) определенную группу объектов по некоторому признаку. Образы обладают характерным свойством, проявляющимся в том, что ознакомление с конечным числом явлений из одного и того же множества дает возможность узнавать сколь угодно большое число его представителей. Образы обладают характерными объективными свойствами в том смысле, что разные люди, обучающиеся на различном материале наблюдений, большей частью одинаково и независимо друг от друга классифицируют одни и те же объекты.

Методика отнесения элемента к какому-либо образу называется решающим правилом, а метрикой называется способ определения расстояния между элементами универсального множества. Чем меньше это расстояние, тем более похожими являются распознаваемые объекты. Принято задавать элементы в виде набора чисел, а метрику в виде функции. От выбора представления образов и реализации метрики зависит эффективность распознавания, один алгоритм распознавания с разными метриками будет ошибаться с разной частотой.

Обучением обычно называют процесс выработки в некоторой системе той или иной реакции на группы внешних идентичных сигналов путем многократного воздействия на систему внешней корректировки, которую называют «поощрениями» и «наказаниями». Механизм генерации этой корректировки практически полностью определяет алгоритм обучения.

Таким образом обучение можно представить, как процесс, в результате которого система постепенно приобретает способность отвечать нужными реакциями на определенные совокупности внешних воздействий, а адаптация

это подстройка параметров и структуры системы с целью достижения требуемого качества управления в условиях непрерывных изменений внешних условий.

Выделяют три подхода в распознавании образов:

Первый подход метод перебора. В этом случае производится сравнение с базой данных, где для каждого вида объектов представлены всевозможные модификации отображения.

Второй подход производится более глубокий анализ характеристик образа, например, определение его различных геометрических характеристик.

Третий подход применение искусственных нейронных сетей (ИНС). Этот подход требует либо большого количества примеров задачи распознавания при обучении, либо специальной структуры ИНС, учитывающей специфику данной задачи. Однако, как показала практика, его отличает более высокая эффективность и производительность.

Необходимо отметить, что задачи распознавания являются информационными задачами, состоящие из этапов:

- преобразования исходных данных к виду, удобному для распознавания – подготовка исходных данных;
- распознавания указания принадлежности объекта определенному классу.

При этом для этих задач трудно строить формальные теории и применять классические математические методы, т.к. часто недоступна информация для точной математической модели или выигрыш от использования такой модели и математических методов несоизмерим с затратами на их реализацию.

Выделяют следующие типы задач распознавания:

- задача распознавания отнесение предъявленного объекта по его описанию к одному из заданных классов (обучение с учителем);
- задача автоматической классификации разбиение множества

объектов, ситуаций, явлений по их описаниям на систему непересекающихся классов (таксономия, кластерный анализ, самообучение);

- задача выбора информативного набора признаков при распознавании;
- задача приведения исходных данных к виду, удобному для распознавания;
- динамическое распознавание и динамическая классификация задачи 1 и 2 для динамических объектов;
- задача прогнозирования сути предыдущий тип, в котором решение должно относиться к некоторому моменту в будущем.

Обобщая вышесказанное можно сделать вывод, что задача «Распознавание типа общественного наземного транспорта и номера его маршрута на изображении» может быть решена с применением специальной структуры ИНС свёрточной нейронной сети (CNN), учитывающей специфику данной задачи с помощью алгоритма «обучения с учителем» и позволит добиться более высокой эффективности и производительности по сравнению с другими методами распознавания образов.

### **Анализ принципов работы свёрточной нейронной сети**

Свёрточная нейронная сеть специальная архитектура искусственных нейронных сетей, предложенная Яном Лекуном в 1988 году и нацеленная на эффективное распознавание изображений [4]. Идея свёрточных нейронных сетей заключается в чередовании свёрточных слоев (convolutional layer) и субдискретизирующих слоев ((pooling layer)). Структура сети однонаправленная (без обратных связей), многослойная. Для обучения используются стандартные методы, чаще всего метод обратного распространения ошибки [5].

Название архитектура сети CNN получила из-за наличия операции свёртки, суть которой состоит в том, что каждый фрагмент изображения умножается на матрицу (ядро) свёртки поэлементно, а результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения. Классическим вариантом использования сетей CNN считается обработка изображений.

В некотором смысле CNN это прототип зрительной коры мозга. Зрительная кора имеет небольшие участки клеток, которые чувствительны к конкретным областям поля зрения. Эту идею экспериментально изучили Хьюбел и Визель в 1962 году [6], в котором показали, что отдельные мозговые нервные клетки реагировали (или активировались) только при визуальном восприятии границ определенной ориентации. Например, некоторые нейроны активировались, когда воспринимали вертикальные границы, а некоторые горизонтальные или диагональные. Хьюбел и Визель выяснили, что все эти нейроны сосредоточены в виде стержневой архитектуры и вместе формируют визуальное восприятие. Идею специализированных компонентов внутри системы, которые решают конкретные задачи (как клетки зрительной коры, которые ищут специфические характеристики) и используют машины, стали использовать в качестве основы CNN.

Известно, что нейронные сети получают входные данные (один вектор), после чего трансформируют информацию, проводя ее через ряд скрытых слоев. Каждый скрытый слой состоит из множества нейронов, где всякий нейрон имеет устойчивую связь со всеми нейронами в предыдущем слое и где нейроны в функции одного слоя полностью независимы друг от друга и не имеют общих соединений. Последний полносвязный слой называется выходным слоем, и при решении задачи классификации число его выходов кодирует число определяемых классов.

CNN пользуются тем, что вводные данные состоят из изображений, и

именно они ограничивают построение сети более рациональным путем. В отличие от обычной нейронной сети, слои CNN состоят из нейронов, расположенных в 3-х измерениях: ширине, высоте и глубине, т. е. в измерениях, которые формируют объем.

### Оператор свертки и свёрточные слои CNN

Имея двумерное изображение  $I$  и небольшую матрицу  $K$  размерности  $h \times w$  (ядро свертки), построенная таким образом, что графически кодирует какой-либо признак, мы вычисляем свернутое изображение  $I * K$ , накладывая ядро на изображение всеми возможными способами и записывая сумму произведений элементов исходного изображения и ядра:

$$(I * K)_{xy} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w K_{ij} \times I_{x+i-1, y+j-1}$$

На рис. 1 представлен результат применения операции свертки (с двумя разными ядрами) к изображению с целью выделить контуры объекта.

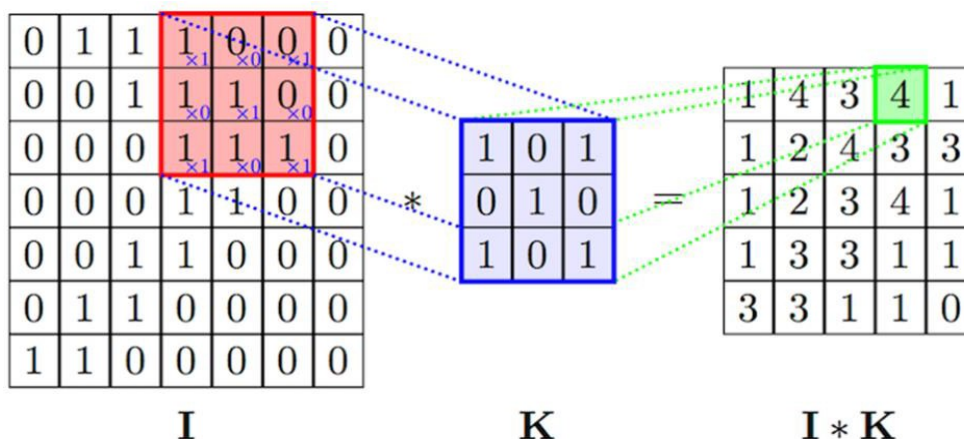


Рис. 1. Работа сверточного слоя в CNN

Хотя сверточный слой значительно сокращает количество параметров по сравнению с полносвязным слоем многослойного персептрона (MLP), он



использует больше гиперпараметров параметров, выбираемых до начала обучения, таких, как:

Глубина (depth) сколько ядер и коэффициентов смещения будет задействовано в одном слое;

Высота (height) и ширина (width) каждого ядра свертки;

Шаг (stride) на сколько смещается ядро свертки на каждом шаге при вычислении следующего пикселя результирующего изображения. Обычно его принимают равным 1 (чем больше его значение, тем меньше размер выходного изображения);

Отступ (padding): свертка любым ядром размерности более, чем 1x1 уменьшает размер выходного изображения. Так как, обычно, желательно сохранять размер исходного изображения, изображение дополняется нулями по краям.

### **Оператор субдискретизации и слои субдискретизации CNN**

Операции свертки чаще всего применяются для выделения наиболее полезных признаков перед субдискретизацией (downsampling) и последующей обработкой с помощью MLP.

Наиболее распространенный способ субдискретизации изображения это организация слоя субдискретизации, (pooling layer), задача которого состоит в том, чтобы получать на вход маленькие отдельные фрагменты изображения (обычно 2x2) и объединять каждый фрагмент в одно значение. Существует несколько возможных способов объединения фрагментов, при этом, наиболее часто из четырех пикселей выбирается максимальный. Этот способ приведен на рис. 2.

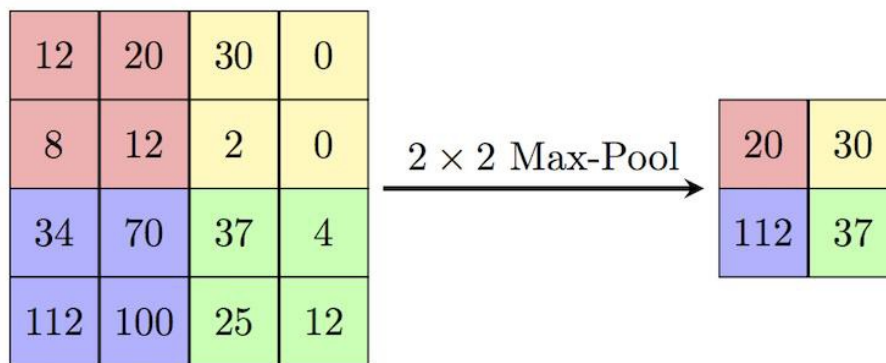


Рис. 2. Работа слоя субдискретизации (pooling layer) в CNN

### Архитектура CNN

Обычную архитектуру CNN для классификации изображений по  $k$  классам можно разделить на две части: цепочка чередующихся слоев свертки/субдискретизации (Conv  $\rightarrow$  Pool) и несколько полносвязных слоев с слоем softmax в качестве завершающего (рис. 3).

Функция softmax превращает вектор действительных чисел в вектор вероятностей (неотрицательные действительные числа, не превышающие 1). Т.е. в нашем случае, выходные значения являются вероятностями попадания изображения в определённый класс.

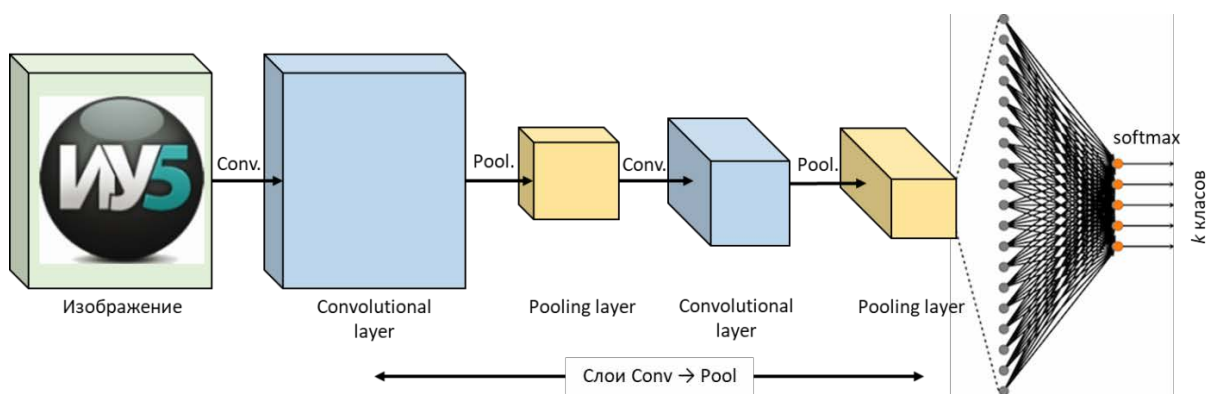


Рис. 3. Структура простейшей CNN

Минимизация потерь перекрестной энтропии обеспечивает уверенность в определении принадлежности изображения определенному классу, не принимая во внимание вероятность остальных классов, таким образом, для вероятностных задач функция softmax предпочтительней, чем, например, метод квадратичной ошибки.

После каждого сверточного или полносвязного слоя ко всем выходным

значениям применяется функция активации ReLU (rectified linear unit), представляемая в виде:  $f(x) = \max(0, x)$  (рис. 4).

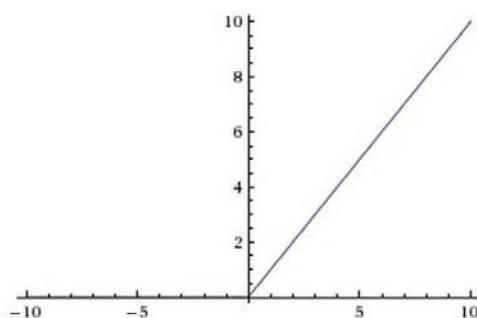


Рис. 4. Функция активации ReLU

### **Переобучение CNN**

Существует очень важная особенность глубокого обучения проблема переобучения (overfitting) сети. Отрицательный эффект переобучения заметно проявляется при обучении CNN, поэтому необходимо предложить способ предотвращения этого явления. Переобучение это излишне точное соответствие ответов нейронной сети конкретному набору обучающих примеров, при котором сеть теряет способность к обобщению. Другими словами, модель могла выучить обучающее множество (вместе с шумом, который в нем присутствует), но не смогла распознать скрытые процессы, которые это множество породили.

Чтобы сеть не утратила способности к обобщению в этих обстоятельствах, вводятся приемы регуляризации: вместо сокращения количества параметров, накладываются ограничения на параметры модели во время обучения, не позволяя нейронам изучать шум обучающих данных. Один из таких приемов называется dropout, который помогает исключить ситуацию переобучения. В частности, dropout с параметром  $p$  за одну итерацию обучения проходит по всем нейронам определенного слоя и с вероятностью  $p$  полностью исключает их из сети на время итерации. Это заставит сеть обрабатывать ошибки и не полагаться на существование определенного нейрона (или группы нейронов), а полагаться на «единое

мнение» (consensus) нейронов внутри одного слоя. Это простой метод, который эффективно борется с проблемой переобучения сам, без необходимости вводить другие регуляризаторы. Анализ требований к сверточной нейронной сети и выбор её архитектуры

Анализ требований к CNN, предъявляемых решаемой задачей, показывает, что сеть должна с вероятностью не менее 85% распознавать 6 классов изображений, при том, что на изображении могут одновременно присутствовать изображения из нескольких классов. Изображения обучающей выборки и подаваемые на вход CNN после обучения, должны быть не меньше 224 пикселей по каждой стороне. Алгоритм обучения CNN обучение с учителем.

В соответствие с проведенным анализом был сделан вывод о том, что в качестве архитектуры CNN можно выбрать Faster RCNN.

Архитектура Faster RCNN приведена на рис. 5.

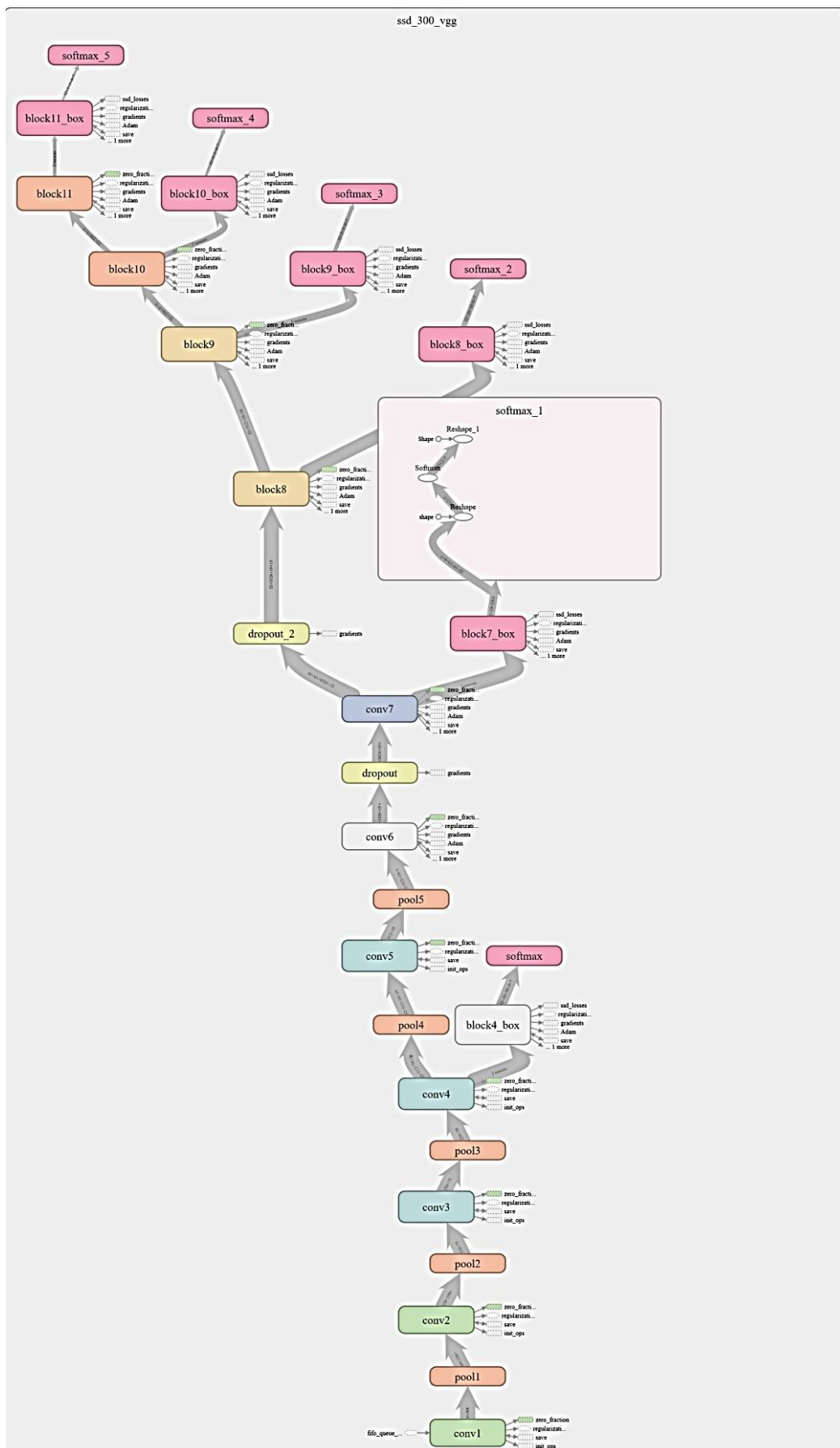


Рис. 5. Архитектура Faster RCNN

### Алгоритм решения задачи

Алгоритм решения задачи распознавания типа общественного наземного транспорта и номера его маршрута на изображении с помощью Faster RCNN можно представить так, как это показано на рис. 6

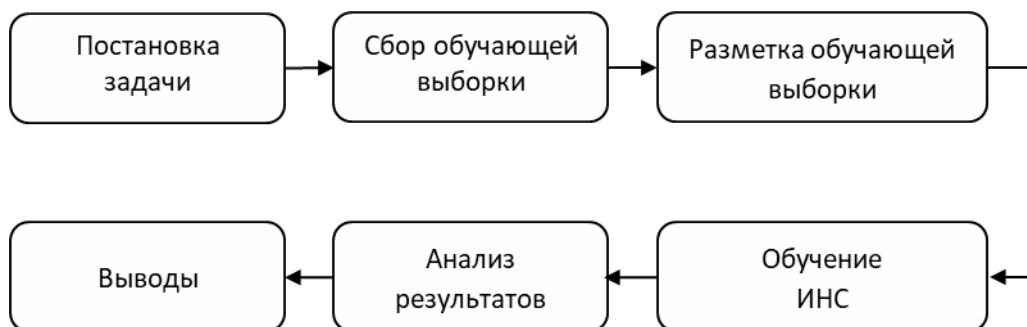


Рис. 6. Алгоритм решения задачи

### Подготовка обучающей выборки для решения поставленной задачи

Требования к изображениям, включаемым в состав обучающей выборки, основанным на проведенных на кафедре ИУ5 аналогичных работах:

1. Количество классов изображений: 6 классов трамвай, автобус, троллейбус, такси, поезд, номер маршрута. При этом на одном изображении может одновременно присутствовать несколько классов.
2. Разрешение изображения: не меньше 224 пикселей по каждой стороне.
3. Количество изображений: от 1000 для каждого класса.
4. Ракурс изображения: не меньше 2/3 всех изображений класса на которых транспорт находится в положении, как его видно с остановки, и не больше 1/3 всех изображений класса с видом транспорта спереди.

Для обучения CNN методом обучения с учителем (заранее известны пары соответствий: входное изображение – его принадлежность к одному из 4 классов) и выбора изображений, соответствующих установленным

требованиям, в первую очередь необходимо провести их разметку. Разметка – это

выбор такой области на изображении, где расположен объект, относящийся к заданному классу. Разметка проводилась с помощью программы, разработанной в рамках ведущейся на кафедре «Системы обработки информации и управления» (ИУ5) исследовательской работы «Компас» и расположенной по ссылке <http://giis.iu5.bmstu.ru:1580/> (рис. 7).

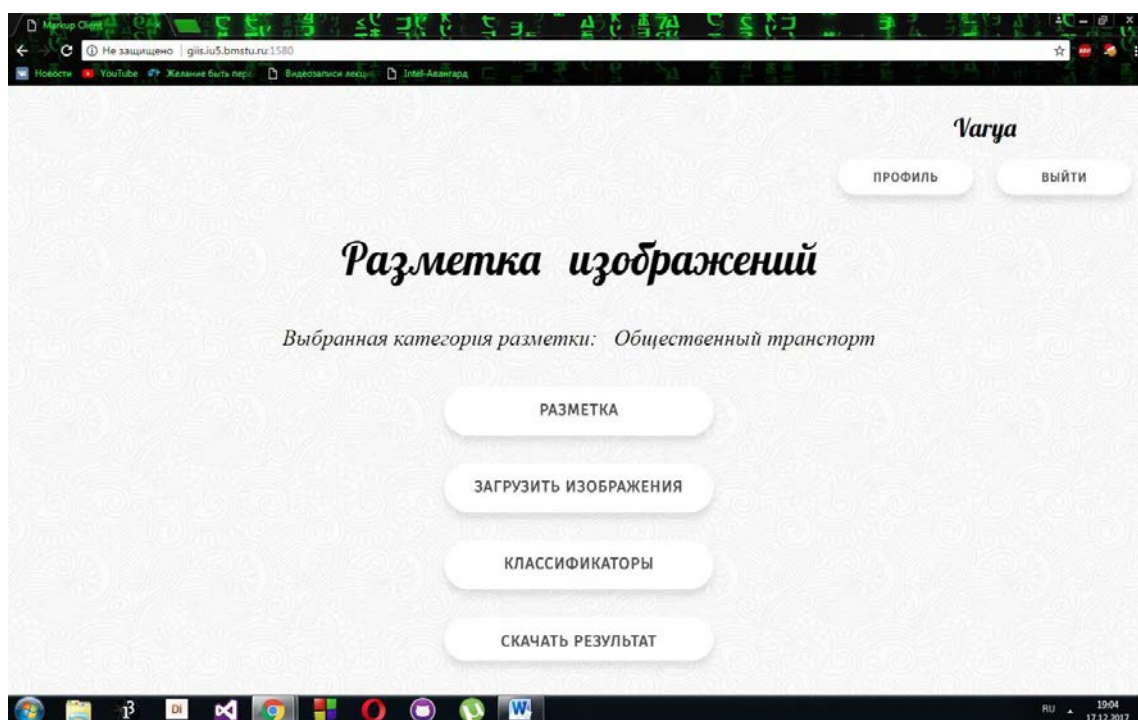


Рис. 7. Интерфейс программы разметки изображений

После загрузки изображения (фотографии), необходимо отметить на ней две области: само транспортное средство в соответствии с его классом (рис.8) и область, где находится его рейсовый номер (рис. 9). Программа разметки сохраняет координаты левого верхнего и правого нижнего углов в Excel-таблицу, представляющую собой простейшую базу данных (рис. 10).

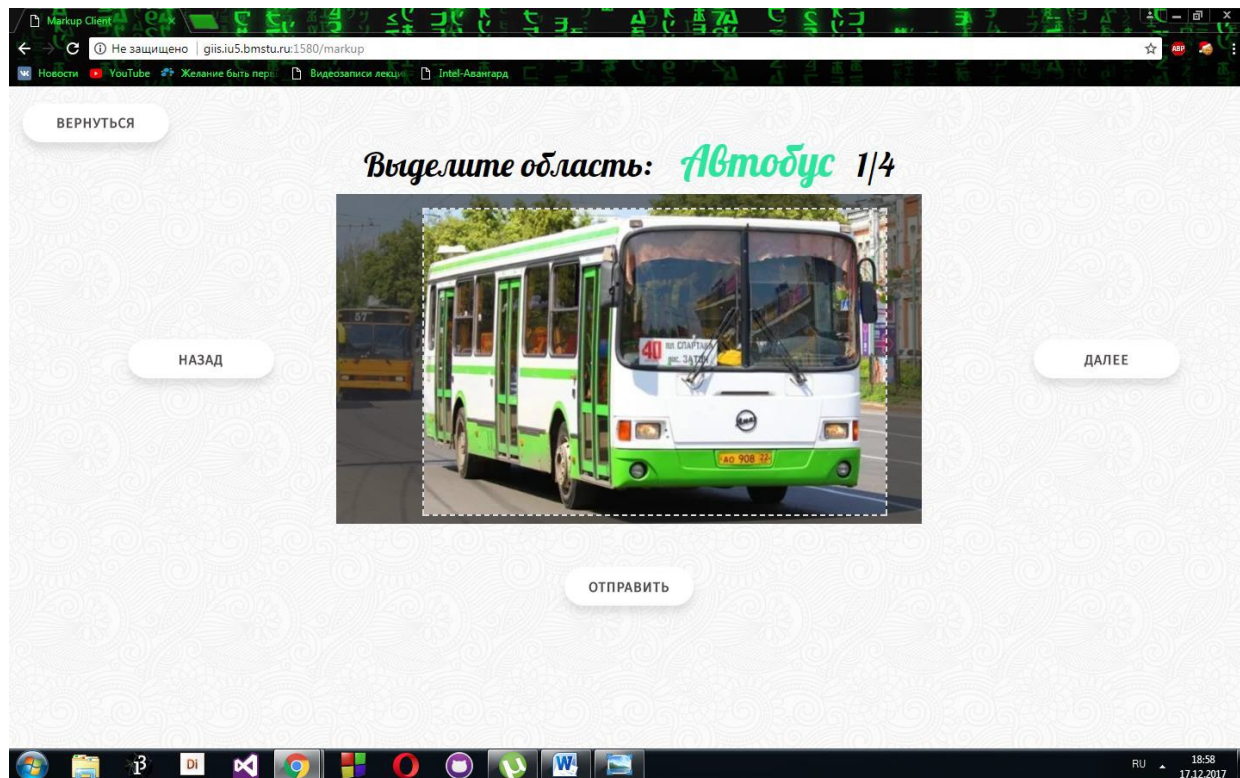


Рис. 8. Пример разметки автобуса

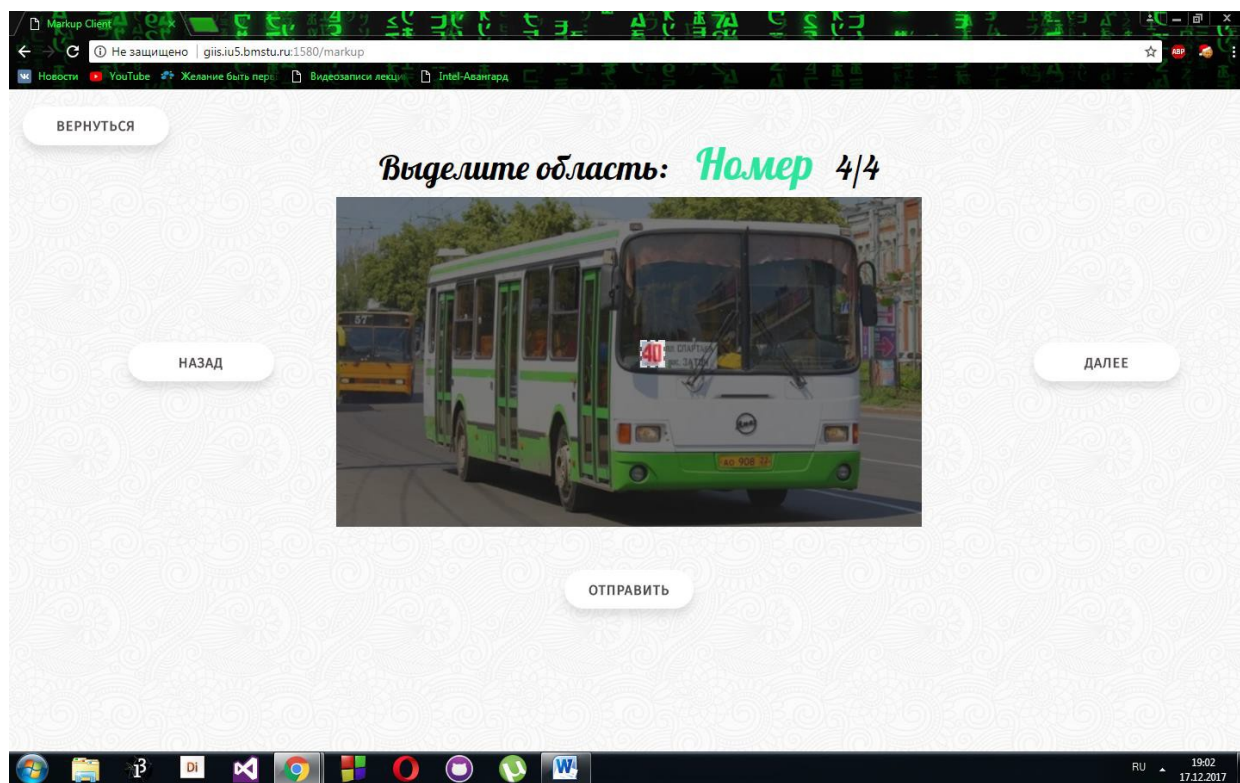


Рис. 9. Пример разметки номера рейса



Структура размеченных изображений, в виде Excel-таблицы, приведена на рис. 10.

Filename	X1	Y1	X2	Y2	Class
17.jpg	98	97	131	120	Numbers
17.jpg	76	57	154	201	Autobus
2.jpg	0	0	0	0	Autobus
4.jpg	13	64	213	198	Autobus
7.jpg	5	48	208	167	Autobus
5.jpg	225	194	0	0	Autobus

Рис. 10. Структура размеченных изображений

В первом столбце имя изображения, далее координаты левого верхнего и правого нижнего углов разметки, дальше идет класс размеченного объекта.

Одной из подзадач работы является исследования вопроса о том, какое количество образцовых изображений одного класса необходимо разметить для получения заданной точности распознавания типа транспортного средства и его рейсового номера. Для этого, в процессе накопления изображений, через определенные интервалы, равные 50 образцовым изображениям, будет производиться обучение CNN, а по полученным значениям строиться график зависимости количества образцовых изображений от точности распознавания (классификации) транспортного средства и его рейсового номера. По построенному тренду можно будет определить сколько потребуется образцовых размеченных изображений классов, для заранее заданной точности распознавания.

### **Обучение сверточной нейронной сети на сформированной обучающей выборке**

Обучение сверточной нейронной сети Faster RCNN проводилось с шагом в 50 изображений.

Полученные в ходе проведенного эксперимента результаты, представлены в табл. 1 и на рис. 11.

Табл. 1. Результаты обучения Faster RCNN

Кол. изобр. в обуч. выборке	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Точность распознавания	0,12	0,18	0,19	0,24	0,28	0,31	0,29	0,32	0,33
Кол. изобр. в обуч. выборке	500	550	600	650	700	750	800		
Точность распознавания	0,32	0,31	0,33	0,35	0,37	0,36	0,38		

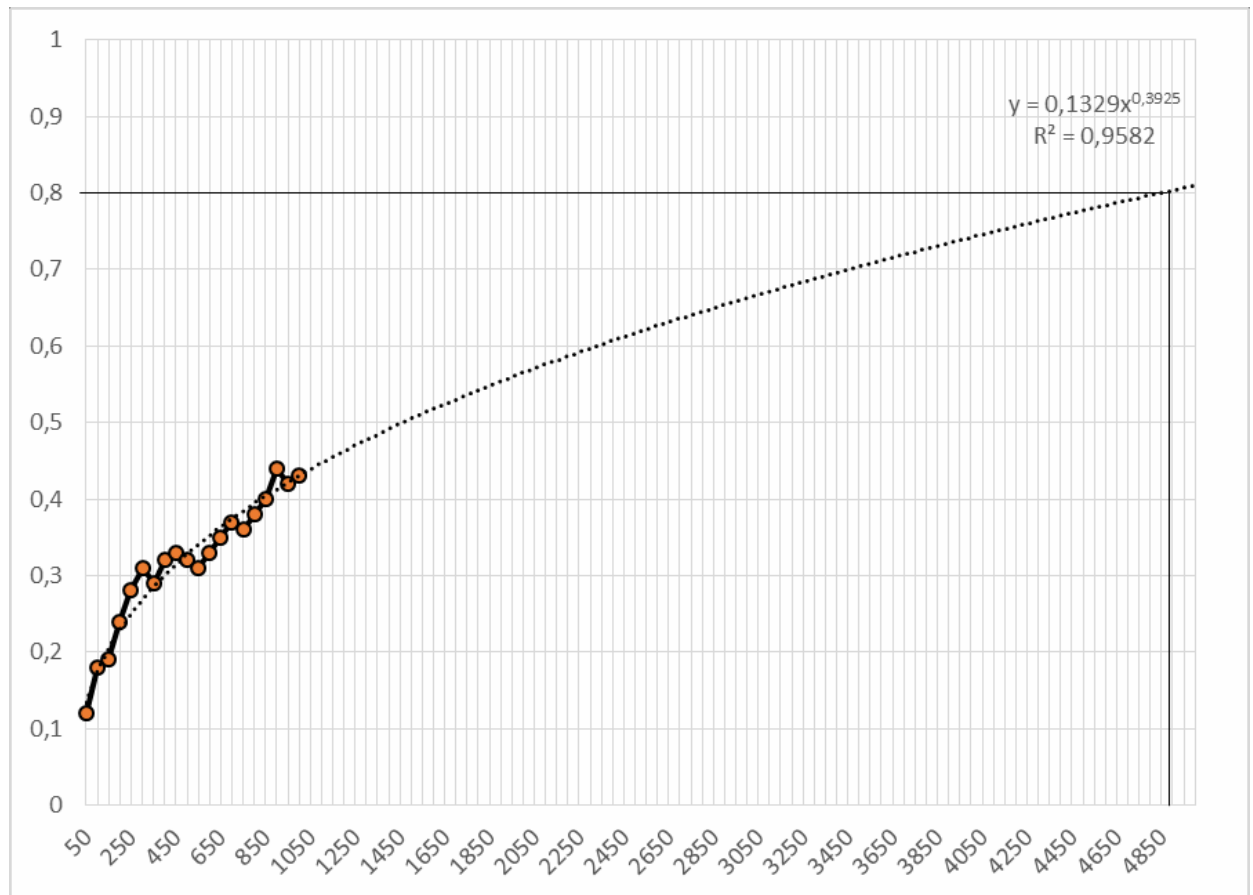


Рис. 11. Зависимость количества образцовых изображений от точности распознавания транспортного средства и его рейсового номера

Анализ зависимости, приведенной на рис. 11, по построенному тренду, показывает, что для достижения точности распознавания 0,80 необходи-

мо обучить Faster RCNN не менее, чем на 4850 изображениях транспортного средства и его рейсового номера.

### **Выводы**

В результате работы обосновано решение задачи с помощью сверточной нейронной сети и на этой основе выбрана ее архитектура, создана выборка, состоящая из 1000 изображений типов общественного транспорта и их маршрутных номеров, а также разработан программный модуль по распознаванию типа общественного наземного транспорта и номера его маршрута с помощью сверточной нейронной сети архитектуры Faster RCNN.

В результате проведенных исследований выявлено, что для увеличения точности распознавания типа общественного наземного и его рейсового номера до 80% требуется увеличивать обучающую выборку не менее, чем до 4850 изображений.

### **Список литературы**

1. Информационный бюллетень всемирной организации здоровья (Нарушения зрения и слепота) — Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/> (дата обращения 14.10.2017)
2. Отчет директора Департамента по делам инвалидов Минтруда России Григория Лекарева от 24 декабря 2014 (количество слепых и слабовидящих в России). — Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/social/invalid-defence/250> (дата обращения 09.10.2017)
3. Ильин В.С., Попова М.С. Выявление потребностей слепоглухих людей для проектирования вспомогательных технологий и устройств. // Новая наука: теоретический и практический взгляд. — Стерлитамак: АМИ, 2017. -№1(1) – С.218-221.

4. Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker, D. Henderson, R. E. Howard, W. Hubbard and L. D. Jackel: Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition, *Neural Computation*, 1(4):541-551, Winter 1989.
5. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., Learning Internal Representations by Error Propagation. In: *Parallel Distributed Processing*, vol. 1, pp. 318—362. Cambridge, MA, MIT Press. 1986.
6. David H. Hubel and Torsten N. Wiesel. *Brain and visual perception: the story of a 25-year collaboration*. — Oxford University Press US, 2005. — P. 106.
7. <https://habrahabr.ru/company/wunderfund/blog/314372/> (Дата обращения 08.02.2018).
8. <https://habrahabr.ru/company/wunderfund/blog/314872/> (Дата обращения 08.02.2018).
9. <http://datareview.info/article/eto-nuzhno-znat-klyuchevyie-rekomendatsii-po-glubokomu-obucheniyu-chast-2/> (Дата обращения 08.02.2018).

## **Разработка гипервизора Jinet**

*Захаров Илья Александрович,*

*ГБОУ Школа №1533 «ЛИТ», 11 класс*

*Научный руководитель: Байков Борис Камалевич,*

*ОАО «Т-Платформы», ведущий разработчик, руководитель группы*

### **Введение**

Гипервизор – это программа, обеспечивающая разделение ресурсов компьютера на несколько виртуальных машин, и запуск на каждой виртуальной машине своей операционной системы.

Такая программа обеспечивает либо разделяемый, либо монопольный доступ виртуальных машин к каждому из аппаратных устройств компьютера. Создаются виртуальные устройства, конфигурация которых может отличаться от конфигурации устройств аппаратных.

Виртуализация позволяет эффективно и безопасно разделять работающие приложения друг от друга. Виртуальные машины не могут влиять на ход работы друг друга, и, если скомпрометирована одна виртуальная машина, все остальные остаются в безопасности. Поэтому она используется в самых разных областях IT. Зачастую виртуализацию также используют для эффективного сегментирования ресурсов компьютера на отдельные виртуальные машины.

Была поставлена задача написать минимальный учебный демонстрационный гипервизор. Исходный текст проекта выпущен под лицензией MIT. git-репозиторий гипервизора располагается по адресу <https://github.com/jinet-vm/vmm>.

### **Аналитическая часть**

#### **Актуальность**

С каждым годом технологии виртуализации всё глубже и глубже входят в мир информационных технологий, находя применения в самых разных областях IT:

1. изоляция серверных систем для обеспечения их безопасности
2. эффективное сегментирование ресурсов компьютера

3. одновременное использование разных ОС на настольном компьютере
4. отладка гостевых систем через вывод всех выходов из VM

Для создания систем виртуализации требуются специалисты, способные понимать принципы и механизмы программной и аппаратной виртуализации. Для меня, как автора диплома, целью написания диплома стало погружение в мир виртуализации, вычислений и прямого программирования железа. Удалось узнать, как работает виртуализация изнутри и научиться писать код управления механизмами обслуживания виртуализации.

### **Требования к работе**

Идея проекта была предложена руководителем с целью изучения архитектуры x86, включая механизмы изоляции приложений и виртуальных машин друг от друга, путём создания монитора виртуальных машин, он же гипервизор. Для меня это стало уникальной возможностью углубить знания архитектуры процессоров Intel и навыки системного программирования.

**Цель работы** – это создание минимального монитора виртуальных машин (гипервизора) с использованием механизмов аппаратной виртуализации архитектуры x86-64 (AMD64).

Были поставлены следующие задачи:

1. Обеспечить загрузку из бутсектора (bootsector)
2. Настроить режим работы видеоадаптера для отображения вывода текстовых данных
3. Настроить память в 32-битной плоской модели и осуществить переход в 32-битный защищённый режим (Protected Mode)
4. Настроить механизмы страничной трансляции памяти и переход в 64-битный режим (Long Mode)
5. Настроить обработку исключений и прерываний
6. Настроить расширения аппаратной виртуализации Intel VT-i и включение режима VMX

7. Обеспечить функционирования вызовов (VMCall) из виртуальных машин в гипервизор (монитор виртуальных машин) и возвратов обратно в виртуальные машины

### **Анализ предметной области**

**Виртуализация** Виртуализация – техника предоставления исполняемой программе набора вычислительных ресурсов, абстрагированная от их аппаратной реализации. Виртуализация была предметом изучения информатики на протяжении многих лет: так, например, советские инженеры решали проблему портирования программного обеспечения с платформ имеющих другие интерфейсы, нежели физический компьютер, на котором программа исполнялась.

В рамках этой работы мы будем говорить не столько о виртуализации ресурсов, сколько о работе гипервизора – программы, занимающейся разделением работы ресурсов одной физической машины (хозяин (*англ.* host)) на множество виртуальных машин (гость (*англ.* guest)). Внутри каждой виртуальной машины исполняется своя ОС, ход работы которой не влияет на работу других VM.

Гипервизор, в отличие от эмулятора, выполняющего программную эмуляцию команд, лишь перехватывает управление у виртуальных машин в случае необходимости. Код виртуальных машины выполняется аппаратно в процессоре. Так как принцип работы гипервизора предполагает изоляцию виртуальных машин, для более эффективной его работы необходима аппаратная поддержка виртуализации. Первой в этой области была компания IBM с мэйнфреймами System/360, System/370, созданными на рубеже 60-70-х годов прошлого века. Современные процессоры Intel также поддерживают расширения аппаратной виртуализации (VT-i, VT-d), что значительно ускоряет процесс виртуализации.

После появления первых гипервизоров появилась необходимость создания формальных критериев виртуализации. В 1974 статья Джеральда Попека и Роберта Гольдберга их сформировала.

**Классический критерий виртуализуемости** Требования к монитору виртуальных машин (то же, что и гипервизор) состоят из трёх пунктов:

1. **Изоляция.** Каждая ВМ имеет доступ только к своим ресурсам. Виртуальные машины не влияют на работу друг друга, если одна виртуальная машина оказалась зараженной вирусом, другая продолжает работу.
2. **Эквивалентность.** Виртуальная машина ведёт себя так же, как и настоящий компьютер с аналогичными характеристиками. Единственное различие заключается в скорости исполнения, виртуальная машина работает медленнее компьютера.
3. **Эффективность.** Статистически преобладающее подмножество инструкций виртуального процессора должно исполняться напрямую хозяйским процессором, без вмешательства монитора ВМ. Управление передаётся гипервизору только в случае привилегированной операции – той, которая может нарушить изоляцию машин.

**Типы гипервизоров** Гипервизоры делят по их устройству на две большие группы: гипервизоры I и II типа.

- **Гипервизоры I типа** исполняются непосредственно на компьютере и имеют полный доступ к его устройствам. Компьютер загружается в софт гипервизора, и монитор ВМ, подобно операционной системе, начинает работу с устройствами. Примеры: VMWare ESXi, Xen. (см. [рис. 1](#))
- **Гипервизоры II типа** загружаются внутри ОС и получают доступ к устройствам через её интерфейсы. Зачастую при установке гипервизор II типа устанавливает в ядро ОС свой модуль, с помощью которого он может обращаться к низкоуровневым процессорным расширениям виртуализации. Примеры: KVM, VirtualBox. (см. [рис. 2](#)) Гипервизор Jinet - гипервизор I типа: так легче обращаться к ресурсам компьютера.

### **Аналоги**

В данной работе представляется маленький гипервизор. Подобные ему большие аналоги писали десятки программистов много месяцев. Гипервизор Jinet сейчас позволяет запускать простейший код в изолируемом окружении ВМ виртуальной



машины. У всех из предложенных ниже гипервизоров исходный текст находится в открытом доступе. Приведённые аналоги (см. таблицу 1) были написаны специалистами в области информационной безопасности и системного программирования. Некоторые из предложенных гипервизоров первого типа, а некоторые – второго.

### **Выводы**

**Была изучена архитектура процессоров Intel x86.** За время работы над гипервизором пришлось изучить самые разные аспекты работы современных ПК: от работы в 16-битном режим до опыта неуспешной отладки на разработческих платах.

**Была рассмотрены теоретические и практические аспекты виртуализации.** Изучены критерии виртуализуемости и типы гипервизоров, исследованы аналогичные разрабатываемому минимальные и исследовательские гипервизоры.

Таблица 1: Аналоги

Гипервизор	Тип VMM <sup>1</sup>	Платформы (если II тип)	Размер исходного текста	Назначение
SimpleVisor	II	Win8.1; частично UEFI	162 KB	использование новейшего VMX
Ramooflax	I	–	2.26 MB	анализ/отладк/контроль ВМ
HyperPlatform	II	Win7; Win8.1; Win10: x86 & x64	7.64 MB	анализ работы Windows
<b>Jinet</b>	I	–	< 1MB	учебный гипервизор

## **Конструкторская часть**

В ходе работы над проектом было реализовано множество задач (■ и + означают, что задача решена; □ и – означают, что задача ещё не решена):

### **Изучение Real Mode ассемблера (16bit)**

- + Загрузочный сектор: написание своего загрузочного кода
- + Написание клеточного автомата в загрузочном секторе
- + BIOS - прерывания: int 13h, int 15h
- + Работа с VideoBIOS: работа с int 10h
- + Начало работы с эмуляторами Bochs, QEMU

### **Изучение Protected Mode (32bit)**

- + Управление памятью: глобальная таблица дескрипторов (GDT)
- + Изучение Big Real Mode
- + Изучение структуры исполняемого файла ELF
- + Изучение компоновки кода на Assembler и кода на языке C
- + Начало разработки в Protected Mode на языке C
- + Чтение карты доступной физической памяти
- + Виртуальная память: настройка страничного отображения (Paging)
- + Обработка прерываний: таблица прерываний в защ. режиме (IDT)
- + Перенос кода ядра и таблиц выше 1 МБ
- + Изучение механизмов аппаратной многозадачности. Структура TSS

### **Изучение топологии ядер и процессоров (ACPI: SRAT, SLIT)**

- + Изучение APIC, XAPIC (LAPIC, IOAPIC, ACPI: MADT)

### **Изучение Long Mode (64 bit, x86-64)**

- + Изучение особенностей TSS и IDT в 64-битном режиме
- + Изучение особенностей страничной адресации памяти (PAE)

### **Изучение механизмов организации ядра**

- + Сборка проекта с помощью утилиты make
- + Портирование проекта с собственного загрузчика на GRUB
- + Настройка VGA, VBE как выводов терминала системы

- + Управление памятью
- + Высокоуровневый доступ к структурам paging-a
- + Выделение физической памяти (binary buddy allocator)
- + Куча (heap)
- + Доступ к отладочной консоли через Intel LPSS UART
- + Обработка ACPI таблиц: MADT, DBGp
- + Инициализация многоядерности: отправление SIPI, init-IPi
- + Разработка планировщика для задач на BSP (round-robin)
  - Написание документации проекта на Doxygen [in process]

### **Изучение аппаратных механизмов виртуализации VMX (VT-i, VT-d)**

- + Подготовка и включение VMX-режима
- + Подготовка управляющих структур для виртуальной машины
- + Создание обработчика VMCall
- + Создание обработчиков событий
- + Создание расширенных таблиц страничной трансляции (EPT)
  - Создание BIOS для виртуальных машин
  - Создание виртуальных устройств:
    - Клавиатура и мышь
    - Жёсткий диск (виртуальный int 13h)
    - Виртуальный текстовый дисплей
    - Виртуальный VGA дисплей
  - Создание механизма проброса устройств (pass-through)
  - Создание партии гипервизора и её структуры
  - Создание инструментов управления

В ходе работы над дипломным проектом было изучено большое количество документации по процессорам Intel ([1]) и AMD (как первоизобретателя x86-64: [2]), документация gnu make ([3]), gnu ld ([4]), gcc ([5]), fasm ([6]), формата ELF ([7]), таблиц ACPI ([8])

## Выводы

**Был получен важный опыт работы с технической документацией.** Большая часть документации, изученной во время работы над дипломным проектом, была написана на техническом английском. При работе с такой низкоуровневой технологией, как аппаратная виртуализация, было важно консультироваться со справочниками и документацией Intel.

**Были продуманы основные этапы разработки гипервизора Jinet.** Работа над проектом начинается с изучения устройства Real Mode и заканчивается разработкой подсистем, отвечающих за непосредственное взаимодействие с Intel VMX.

## Технологическая часть

Гипервизор Jinet был написан на языках программирования ассемблер (диалекты `fasm` и `as`) и C (компилятор `gcc`). Сборка проекта осуществляется с помощью сборщика `gnu ld` и утилиты `gnu make`. В качестве системы контроля версий используется `git` и хостинг GitHub.

Для вёрстки данной использовался LATEX, а презентация для защиты создавалась в Microsoft PowerPoint.

## Пример использования

На [рис. 3](#) изображена работа гипервизор Jinet. На данный момент гипервизор поддерживает работу виртуальной машины, которая выводит сообщение о своём успешном запуске с помощью `vmcall`: `Hello! I am VM1!`

## Выводы

**Был изучен инструментарий современного системного программиста.** Основы статического компонования, формат исполняемых файлов `elf`, особенности встроенного ассемблера `gcc` – самые разные технологии системного программирования были изучены при написании данной работы. Изучались также утилиты для сборки: были написаны скрипты для сборки проекта утилитами `gnu make` и `gnu ld`, а также Python-скрипт для конфигурирования проекта.

Были изучены основы работы с языком ассемблер и работы с большими проектами на C. Были изучены три диалекта языка ассемблер: `masm`, `fasm` и `gnu as`. В работу вошёл код, написанный на последних двух. Также были изучены принципы написания интерфейсов и безопасного программирования на C.

### **Заключение**

**Создан гипервизор Jinet.** Доказано, что можно написать гипервизор силами одного человека в короткие сроки. Много ещё требует реализации и улучшения:

1. Доработка SeaBIOS для поддержки запуска 16-битных операционных систем
2. Поддержка ряда устройств для запуска одного из вариантов DOS
3. Поддержка гипервизором работы на нескольких ядрах, процессорах
4. Поддержка NUMA-систем
5. Поддержка технологии Intel GVT-g (представлена в 2015), делающей возможной аппаратную виртуализацию видеоадаптеров для VM

### **Благодарности**

В рамках данного проекта использовался исходный код реализации функции `printf` из проекта `tinyprintf`: <https://github.com/cjlano/tinyprintf>.

### **Список литературы**

- [1] Intel. Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer Manual. 2017.AMD. AMD64 Architecture Programmer's Manual, Volume 2: System Programming. 2017.
- [2] GNU Project and Free Software Foundation. GNU Make Manual.
- [3] GNU Project and Free Software Foundation. GNU Linker Manual.
- [4] GNU Project and Free Software Foundation. GCC Manual.
- [5] Grysztar Tomasz. flat assembler 1.71.
- [6] Portable Formats Specification Version 1.1. Executable and Linkable Format (ELF).

- [7] Toshiba HP Intel Microsoft Phoenix. Advanced Configuration and Power Interface Specification, Revision 5.0a.
- [8] Popek G. J., Goldberg R. P. Formal requirements for virtualizable third generation architectures // Communications of ACM. 1974.
- [9] @Atakua. Аппаратная виртуализация. Теория, реальность и поддержка в архитектурах процессоров. <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/196444/>. 2013.
- [10]М. Чурдакис. The Infamous Trilogy: CPU internals, Virtualization, Raw multicore programming. <https://www.codeproject.com/articles/45788/the-real-protected-long-mode-assembly-tutorial-for>. 2015.
- [11]OSDev Wiki. [http://wiki.osdev.org/Main\\_Page](http://wiki.osdev.org/Main_Page).
- [12]В. Садовников. Начала программирования в защищённом режиме. <http://e-zine.excode.ru/online/1/Introduction.html>. 2006.

## Иллюстрации

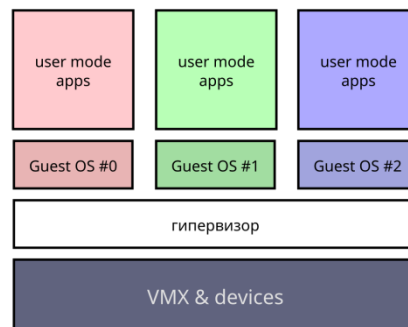


Рис. 1: I тип гипервизоров

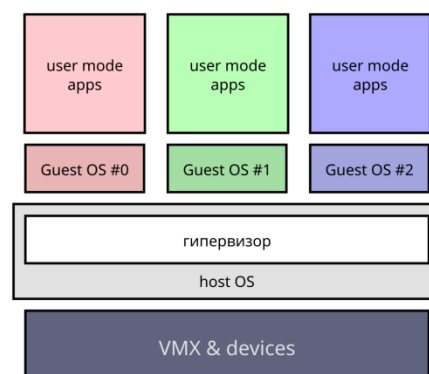


Рис. 2: II тип гипервизоров



Рис. 3: Работа программы (VESA- режим)

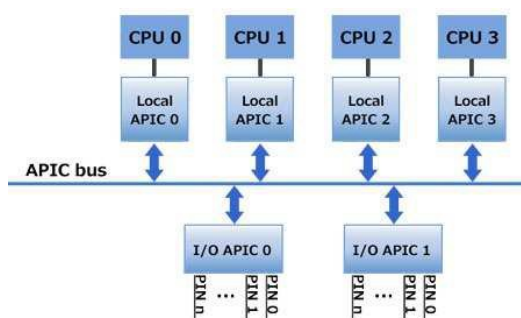


Рис. 4: Логическая схема работы APIC

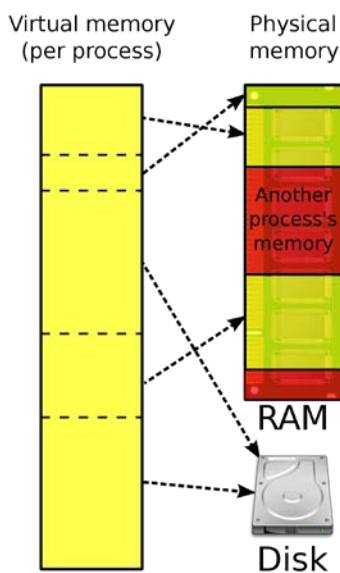


Рис. 5: Механизм работы виртуальной памяти

### **Автоматизированная система мониторинга климата в доме**

*Лохтуров Игорь Вячеславович,*

*г. Москва, МАОУ СОШ №13 С УИОП, 11 класс*

*Научный руководитель: Попов Алексей Юрьевич,*

*МГТУ им. Н.Э.Баумана кафедра ИУ6, к.т.н., доц.*

#### **Аннотация**

Данная работа посвящена разработке системы мониторинга климатических условий в замкнутом помещении. Проект основывается на концепции «Интернет вещей»[1] и реализует клиент-серверную архитектуру. В качестве серверного узла используется одноплатный компьютер Raspberry Pi 3 Model B под управлением ОС Ubuntu 16.04. Клиентская часть реализована в виде модулей на базе Arduino Uno R3. Отличительной особенностью, разработанной системы является кроссплатформенный доступ к получаемой информации, а также возможностью полуавтоматического добавления модулей в очередь опроса. Используемая компонентная база представлена на рынке в свободном доступе, что является большим преимуществом перед аналогичными решениями.

Направление «Интернет вещей» является перспективным и активно развивающимся. Использование современной адаптированной под условия эксплуатации ОС Ubuntu повышает безопасность представленного технического решения. Полуавтоматическая очередь позволяет добиться отсутствия неавторизованных модулей. Система мониторинга климатических условий может быть свободно интегрирована в систему «Умный дом» и использоваться в качестве подсистемы принятия решений. Проект имеет несколько перспективных направлений развития: повышение безопасности системы, создание полноценного пользовательского интерфейса, расширение возможностей по управлению разнообразной домашней техникой, интегрирование с облачными сервисами или разработка полноценного протокола обмена данными.



## **Реферат**

Объектом разработки является автоматизированная система мониторинга климата в замкнутом помещении.

Цель работы – проектирование автоматизированной системы мониторинга климата в замкнутом помещении, позволяющая:

- Сбор данных о текущих температуре и влажности в помещении
- Занесение данных о текущих температуре и влажности в базу данных
- Вывод информации из базы данных в виде таблицы

В результате разработки была спроектирована и реализована автоматизированная система мониторинга климата в замкнутом помещении

Основными заказчиками данной системы могут выступать частные лица, малые предприниматели и дачники.

## **Список условных сокращений**

ОС - операционная система ПО - программное обеспечение

СУБД - система управления базами данных БД - база данных

IoT - internet of things

LAMP - Linux Apache MySQL PHP

HTML - Hyper Text Markup Language

SSH - Secure Shell

## **Исследование предметной области**

### **Постановка проблемы**

Одной из современных тенденций по оптимизации затрат и инвестиций является сбор большого числа данных. Данный процесс может быть организован с помощью встраиваемых устройств.

Обобщённое название технологического направления - «Интернет вещей» («IoT»). Идея данного направления в автоматизированном обмене и использовании информации между распределенными компьютеризированными системами. Процесс использования информации подразумевает реакцию на поступающие

данные в ручном, автоматическом или полуавтоматическом режиме. Данные могут быть предоставлены пользователю через собственные интерфейсы или с использованием сторонних облаков или серверов. На рисунке 1 представлена схематичное представление идей IoT.



Рисунок 1 - Идея «Интернет вещей»

С применением данной идеи разработаны и внедрены многочисленные проекты в направлениях:

- Умный дом
- Умный город
- Распределенные системы контроля и наблюдения
- И другие

Одним из направлений развития идеологии IoT являются распределенные цепи датчиков, применяемые для анализа разнообразных параметров. Использование этой информации может дать представление о текущей ситуации в районе измерения.

Например, измерение текущих параметров температуры и влажности является важной задачей во многих областях, таких как: сельское хозяйство, нефтедобывающая промышленность, авиация, тяжёлая промышленность, пищевая промышленность. В частности, в сельском хозяйстве важным аспектом

является сбор данных о температуре и влажности в теплицах, а в нефтедобывающей промышленности требуется контроль условий, при которых идёт добыча.

В рамках проекта будет разрабатываться прототип системы для мониторинга температуры и влажности в закрытом помещении. Данная работа важна для исследования нюансов проектирования,

разработки и реализации подобных систем. Система должна осуществлять распределенный мониторинг параметров окружающей среды и предоставлять доступ к полученной информации.

### **Обзор аналогов [2]**

Для решения задачи по сбору данных о текущих параметрах температуры и влажности существуют следующие решения:



Рисунок 2 - AcuRite 00613A1

Например, фирма, AcuRite предоставляет следующий комплекс, представленный на рисунке 2.

Описание, предоставленное производителем «AcuRite 00613A1 включает в себя Стандартный набор датчиков температуры и влажности, а также компактный корпус с большим и контрастным дисплеем. Имеет два режима измерения температуры (по цельсию и по фаренгейту)»

Другое решение представлено компанией Ambient Weather. Внешний вид устройства Ambient Weather WS-04 представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Ambient Weather WS-04

Несмотря на многочисленные плюсы в виде изначальной предрасположенности для домашнего использования и поддержки производителя, данные устройства обладают серьезным недостатком в виде отсутствия централизованного предоставления информации и ограничения в 3 дополнительных датчика.

В соответствии с этим разрабатываемая система должна быть разработана не только для домашнего использования, но и с возможностью применения на производстве. Это означает, что система должна обладать возможностью централизованного предоставления полной информации, возможностью работать с большим количеством датчиков и средствами обеспечения безопасности.

### **Выбор архитектуры решения**

Для предоставления централизованного доступа необходимо выбрать архитектуру, на базе которой будет строиться продукт. Под архитектурой в данном случае подразумевается модель взаимодействия пользователь - продукт и модель взаимодействия между компонентами. Можно представить следующие модели взаимодействия:

- Мастер - узлы
- Мульти мастер:
  - Консолидированный
  - Не консолидированный

При разработке архитектуры мульти мастер существует два способа реализации. При первом каждый узел обладает всей информацией, получаемой от

каждого узла сети. При втором каждый узел обладает только своей информацией. На рисунке 4 представлена схема взаимодействия мульти мастер.

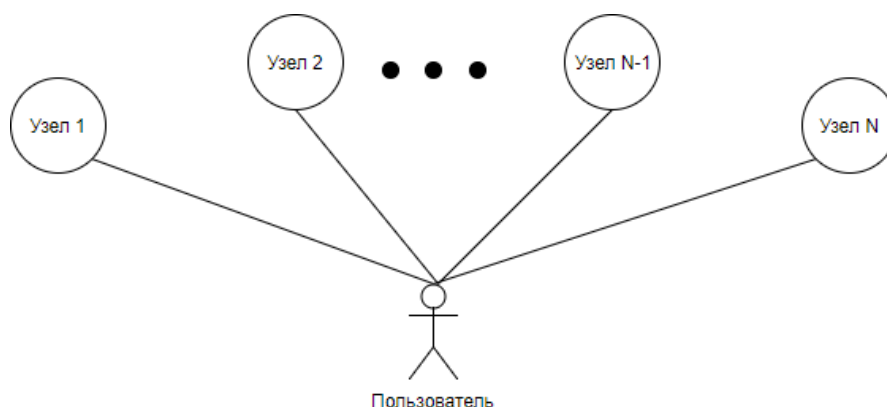


Рисунок 4 - Схема взаимодействия мульти мастер

При наличии обмена информацией необходимо не только предоставить каждому модулю вычислительные ресурсы, память для хранения данных, каналы связи и синхронизации между узлами сети. В соответствии с рассмотренными плюсами и минусами данной реализации, можно утверждать, что данный способ не подходит по ряду причин: сложность и стоимость реализации в одном случае и невозможность реализации основных требований в другом случае.

Архитектура мастер - узлы лишена большинства недостатков технологии, представленной выше.

На рисунке 5 представлена схема взаимодействия мастер - узлы.

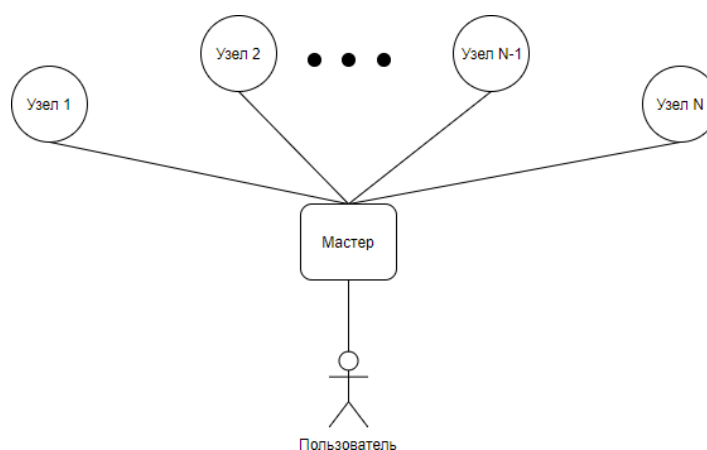


Рисунок 5 - Схема взаимодействия мастер - узлы.

При такой архитектуре модулям не требуются большие вычислительные ресурсы и память для хранения данных, а их функционал ограничивается сбором

данных с датчиков и передачей их на сервер (мастер). В качестве сервера можно использовать широкий перечень устройств от одноплатных компьютеров до промышленных серверов с огромными вычислительными ресурсами. Также реализация с помощью центрального сервера позволяет упростить модель управления какими-либо устройствами благодаря отсутствию конкурентных гонок как в случае мульти мастер.

В целях экономии средств в проекте предлагается использовать одноплатные компьютеры в качестве сервера и микроконтроллеры в качестве узлов сети.

### **Выбор технологий**

#### **Выбор платформы центрального вычислителя [3]**

Для реализации центрального элемента существуют следующие решения: одноплатные компьютеры Raspberry Pi 3 model B, ODROID-C2, Pine A64 Plus и Orange Pi Pc Plus.

#### **Raspberry Pi 3 model B:**

Одноплатный компьютер третьего поколения на основе 64-битного четырехъядерного ARM v8 Cortex-A53 процессора компании Broadcom SoC BCM2837 с тактовой частотой 1.2 ГГц, а также обладающая встроенными Bluetooth и Wi-Fi адаптерами, 4-мя USB разъемами и большим количеством пользователей, что обеспечивает большое количество документации и руководств по использованию платы. Представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 - Raspberry Pi 3 model B

#### **ODROID-C2:**

Главным преимуществом платы является мощный 4-х ядерный процессор SoC Amlogic S905. Так же имеются 4 USB разъёма, позволяющие добавлять к плате различное аппаратное обеспечение, но отсутствуют встроенные Wi-Fi и Bluetooth адаптеры. Представлен на рисунке 7.

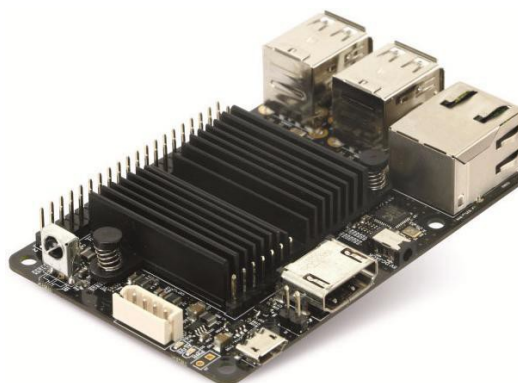


Рисунок 7 - ODROID-C2

Pine A64 Plus:

Дешевый одноплатный 64-разрядный компьютер. Работает на процессоре Allwinner A64 с четырьмя ядрами Cortex-A53 и с тактовой частотой 1.2 ГГц. Всего присутствуют 2x USB 2.0 порта. Отсутствует Bluetooth адаптер. Встроенный Wi-Fi адаптер - в зависимости от комплектации. Представлен на рисунке 8.

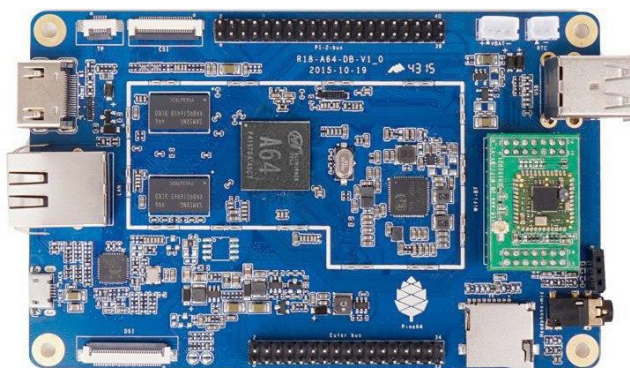


Рисунок 8 - Pine A64 Plus

Orange Pi Pc Plus:

Как и Orange Pi Pc построен на базе четырёхъядерного процессора AllWinner H3 (SoC).

Графический процессор (GPU) Mali-400MP2, поддерживает воспроизведение 4K P30 видео. Объем оперативной памяти 1 Гб DDR3, совместно с GPU. Отличается же встроенным Wi-Fi адаптером. Представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 - Orange Pi Pc Plus

Главным преимуществом Raspberry Pi 3 является наличие всех требуемых интерфейсов, в частности встроенные Bluetooth и wi-fi адаптеры. Вследствие этого она была выбрана для реализации центрального вычислителя.

#### **Выбор платформы модуля [4]**

Существует много вариантов реализации платформы модуля, вот некоторые из них.

Arduino UNO R3: контроллер построен на ATmega328 Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Представлен на рисунке 10



Рисунок 10 - Arduino UNO R3

RobotDYN : Плата - бюджетный аналог Arduino UNO R3 от российского производителя и конструктивно практически идентична оригинальной плате. В отличии от оригинала плата RobotDyn, имеет более распространенный разъем Micro USB. Представлен на рисунке 11.





Рисунок 11 - RobotDYN

Teensy 3.6 (рис 14): Teensy — это мощная Arduino-совместимая платформа для разработки в компактном форм-факторе. Главное отличие старших представителей версии 3.x — высокопроизводительный ARM-процессор Cortex-M4, большое количество памяти, встроенный слот для SD-карты и широкий набор интерфейсов. Представлен на рисунке 12.

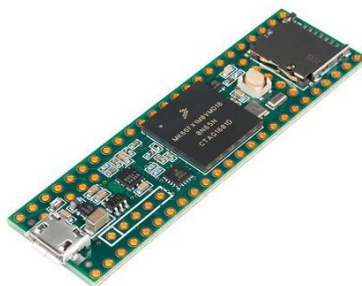


Рисунок 12 - Teensy 3.6

Плата Arduino UNO R3 имеет все необходимые компоненты для обеспечения работы микроконтроллера. Благодаря наличию DIP панели, можно менять микроконтроллер. Так же Arduino UNO R3 является одной из самых распространённых в своём классе и для неё создано наибольшее количество уроков.

### **Выбор технологии связи клиент-сервер**

Можно выделить два основных подхода к решению данной проблемы: использование проводной и беспроводной связи. Провода неудобны при соединении устройств, находящихся на больших расстояниях, вследствие чего связь использовалась беспроводная. Однако и у неё есть варианты реализации: соединение по Bluetooth, по Wi-Fi и по радиоканалу. Последние два обладают рядом недостатков, такими как высокое энергопотребление и низкий уровень безопасности. В свою очередь, Bluetooth лишён этих недостатков и идеально подходит на роль технологии связи.

## **Серверная конфигурация**

### **Выбор ОС [5]**

Существует широкий спектр операционных систем для Raspberry Pi 3, среди них стоит выделить Raspbian, Windows IoT Core и Ubuntu Mate и другие дистрибутивы ОС Linux. Так как в основе Raspberry Pi3 лежит процессор на базе ARMv7, то это накладывает определенные ограничения на ПО и функциональные возможности. В отличие от \*nix систем в Windows мало возможностей по самостоятельной сборке ПО, что снижает количество программ, которые будут работать в ОС.

Windows IoT имеет более низкий функционал по сравнению с \*nix системами, кроме того лицензия стоит 20\$ за каждое устройство. В то же время \*nix системы лучше приспособлены к работе на менее популярных процессорных платформах за счет механизма сборки программ и готовых репозиториях с заранее скомпилированным ПО.

Так как родной образ Raspbian является оптимизированным для Raspberry Pi Debian, то это накладывает ограничения на использование коммерческого закрытого ПО и драйверов. С одной стороны, это никак не мешает развитию проекта на этапе прототипа, но в будущем возможно смена платформы на другой одноплатный компьютер или полноценные серверы. В соответствии с этим желательно выбрать некоммерческий дистрибутив поддерживающий максимум платформ. Таким дистрибутивом является Ubuntu. В LTS редакции данная система поставляется с актуальным релизом и DE Unity. Данное окружение рабочего стола достаточно тяжелое для Raspberry Pi 3. В связи с чем был выбран рабочий стол Mate.

### **Выбор web-сервера [9]**

В соответствии с требованиями по предоставлению централизованного кроссплатформенного доступа был выбран Web доступ. Для его реализации необходимо развернуть и настроить Web-сервер. Главными кандидатами на роль web-сервера явились apache2, IIS.

ИIS имеет ряд недостатков, например, закрытый исходный код и то, что данный web-сервер работает только под управлением ОС Windows Server и не доступен даже в редакции IoT. Вместе с тем Apache2 - один из наиболее распространённых web-серверов, в следствие чего на него имеется большее количество документации, в нем реализована базовая поддержка исполнения скриптовых языков.

### **Выбор серверного языка программирования**

В рамках проекта был необходим язык для обработки пользовательских запросов на сервере и язык для автоматизированного сбора данных и отправки их на этот сервер.

Для обработки пользовательских запросов на сервере был выбран язык PHP так как он всегда может быть встроен непосредственно в HTML код страницы. Так же в PHP есть встроенные библиотеки для работы со многими БД, в том числе MySQL.

Для автоматизированного сбора данных и передачи их на сервер был использован Python. Его достоинством является то, что интерпретатор Python реализован практически на всех платформах и операционных системах. Так же достоинством Python являются подключаемые к программе модули, обеспечивающие различные дополнительные возможности.

### **Выбор СУБД [8]**

Среди СУБД, подходящих для использования в рамках проекта стоит выделить MySQL, PostgreSQL, Oracle Database Microsoft SQL Server.

PostgreSQL выделяется среди прочего своей высокой надёжностью (20 проблемных мест на 775000 строк исходного кода) а так же поддержкой многих ОС.

Microsoft SQL Server имеет яркий недостаток в виде коммерческого распространения, предоставляя, однако, широкий функционал.

Oracle Database - коммерческая модель распространения, является недостатком, однако разные редакции позволяют выполнять задачи, ставящиеся широким кругом пользователей.

MySQL обладает рядом достоинств, в частности открытый исходный код и гибкость СУБД, обеспечиваемая поддержкой большого количества типов таблиц.

Благодаря этому, она и была выбрана в качестве СУБД в рамках реализации проекта.

### **Выбор метода добавления устройств в опросный лист**

Ручной метод заключается в том, что пользователь вручную создаёт новый последовательный порт на центральном вычислителе для нового устройства и настраивает автоподключение. При этом пользователь вносит изменения в скрипт на python, опрашивающий эти устройства.

Полуавтоматический - пользователь создаёт новый последовательный порт для устройства, скрипт на python же опрашивает все доступные последовательные порты.

Автоматический - для каждого нового устройства в радиусе действия центрального вычислителя автоматически создаётся последовательный порт и настраивается автоподключение, скрипт автоматически опрашивает все последовательные порты.

Полуавтоматический метод - наилучшее решение, потому что реализация сравнительно проста, и полученная система, обладая довольно высоким уровнем отказоустойчивости (выше, чем у автоматического метода), требует от пользователя мало действий по сравнению с ручным методом.

### **Выбор элементной базы [6]**

На роль датчика температуры и влажности было несколько претендентов.

SHT1х - качественный, надёжный и, что немаловажно, точный цифровой датчик с высоким диапазоном измерения температуры (от -20 до 100 градусов по Цельсию) и влажности (0 - 100%). Представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 - SHT1х

АМТ1001 [7]- датчик предназначен для использования при температуре окружающей среды от 0°C до +50°C при погрешности 2%. Влажность же измеряется в пределах от 20% до 90% с точностью до

+/- 5%. Представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 - АМТ1001

DHT11 - один из наиболее распространённых датчиков, определяющий влажности в диапазоне 20- 80%, и температуры от 0°C до +50°C. Представлен на рисунке 15.

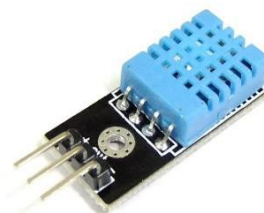


Рисунок 15 - DHT11

В рамках проекта был выбран датчик DHT11, так как он специально предназначен для Arduino. В дальнейшем возможен переход на более точный SHT1х.

### **Выбор технологии предоставления информации пользователю**

Рассматривались 3 метода предоставления информации пользователю:

Приложения под различные ОС, которые получают информацию с web сервера и выводят её на экран пользователя. Неудобство такого метода заключается в разнообразии ОС и платформ, под которые будет создаваться приложение.

Прямой доступ - подключение напрямую к центральному вычислителю и чтение информации из файла или БД. Подобный метод нецелесообразен, так как не

все устройства имеют возможность подключиться напрямую к центральному вычислителю по SSH и сам процесс неудобен для большинства пользователей.

Web доступ подразумевает вывод информации с помощью стандартизированных средств языка разметки HTML. Данный метод не требователен ни к пользователю, ни к ОС, ни к платформе вычислителя и поэтому оптимален для реализации в рамках проекта.

### Выводы

В итоге разрабатываемая система основана на клиент-серверной архитектуре, что упрощает использование и модернизацию всех компонентов. Центральная часть будет основана на Raspberry Pi 3, а узлы с датчиками на Arduino UNO 3. Взаимодействие между элементами сети осуществляется с помощью Bluetooth, а данные пользователь может получить при помощи WEB доступа.

### Конструкторская часть

#### Структурная схема

На рисунке 16 показаны процессы, протекающие между устройствами и пользователем.

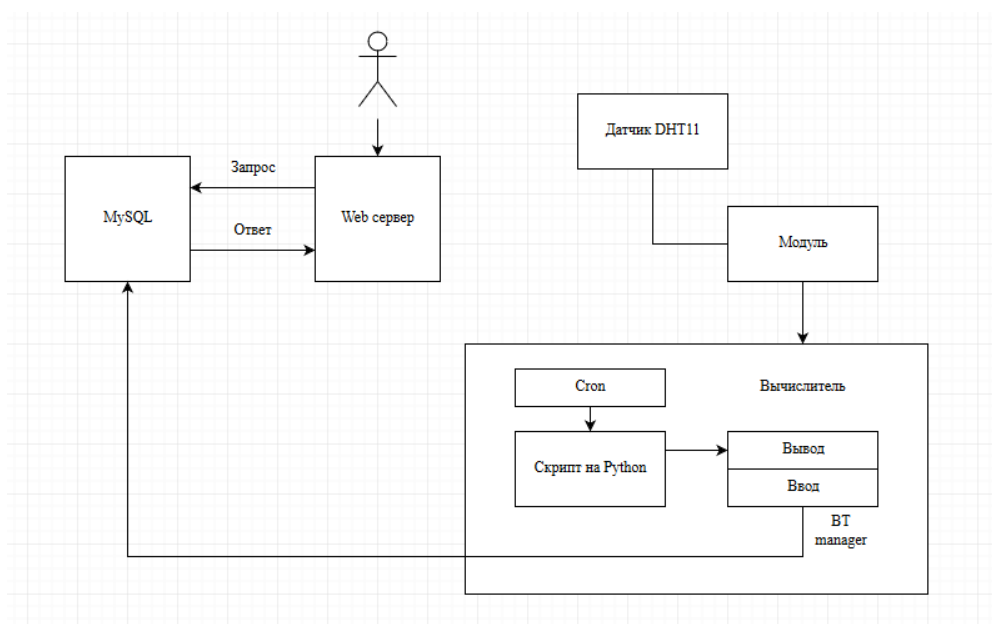


Рисунок 16 - структурная схема

### Функциональная схема

На рисунке 17 изображена функциональная схема проекта.

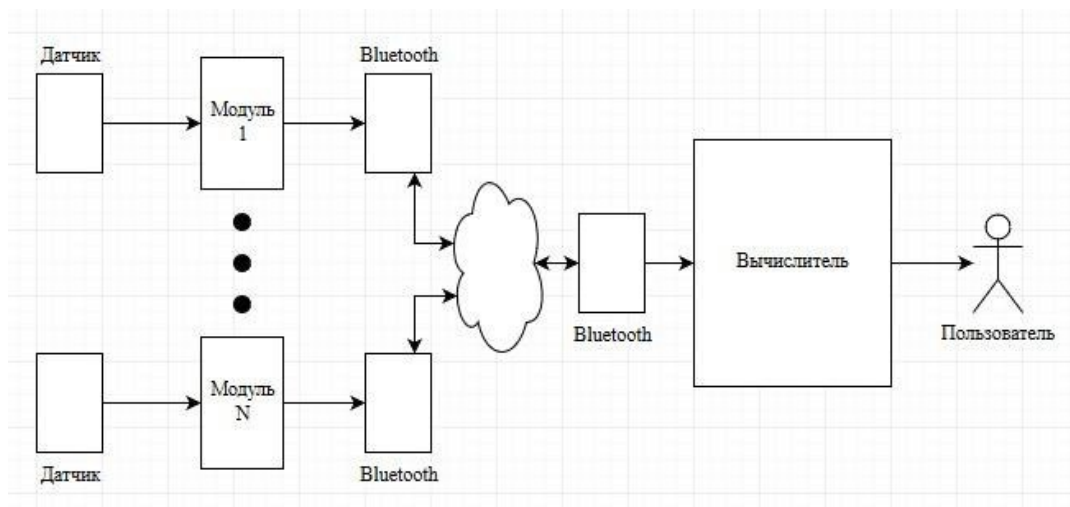


Рисунок 17 - функциональная схема

### Схема взаимодействия модуль-вычислитель

На рисунке 18 видно, что модуль и вычислитель общаются по Bluetooth каналу автоматически, инициатором общения является скрипт на вычислителе, запускающийся демоном Cron.

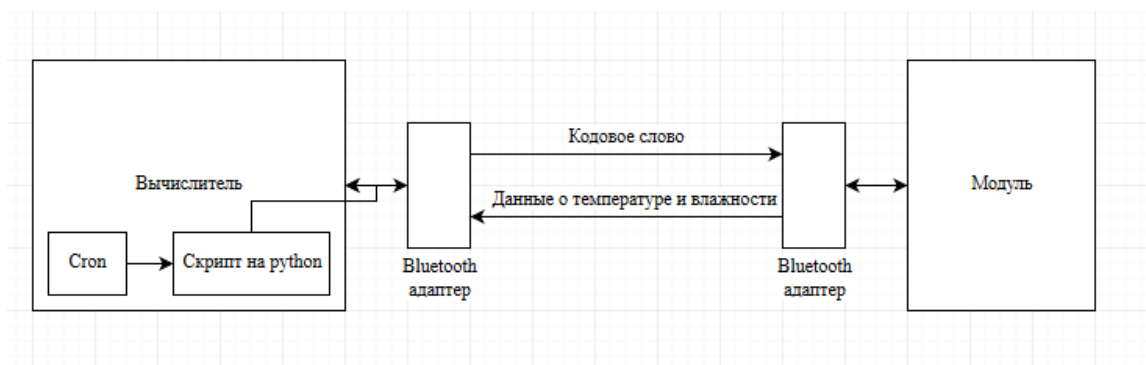


Рисунок 18 - схема взаимодействия модуль-вычислитель

### Схема взаимодействия пользователь-вычислитель (диаграмма вариантов использования системы)

Пользователь, вошедший в систему имеет разные пути её использования. Они представлены на рисунке 19

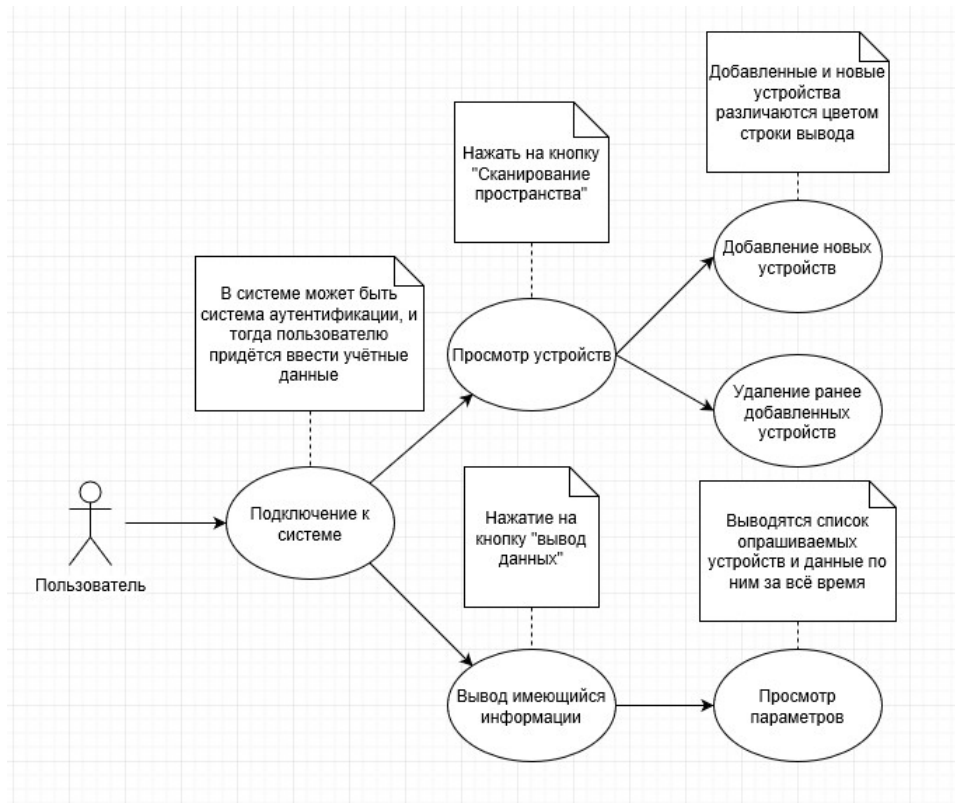


Рисунок 19 - Схема взаимодействия пользователь-вычислитель

**Схема потока данных**

На рисунке 20 представлен путь информации от модуля к пользователю.

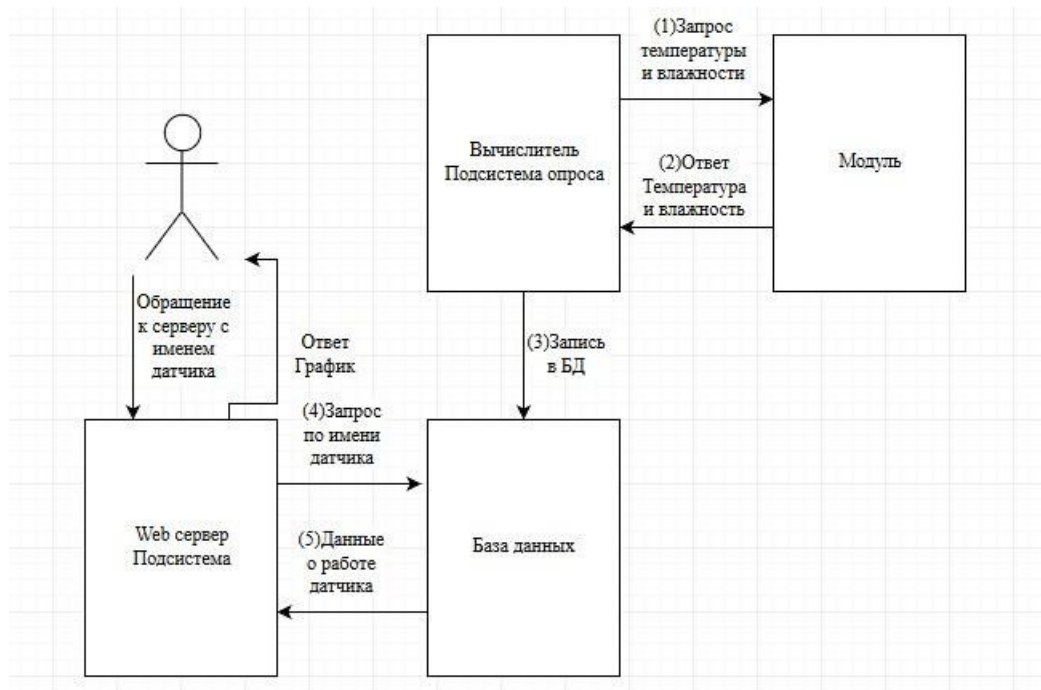


Рисунок 20 - схема потока данных

**Даталогическая схема БД**



На рисунке 21 представлены таблицы БД с типами данных.

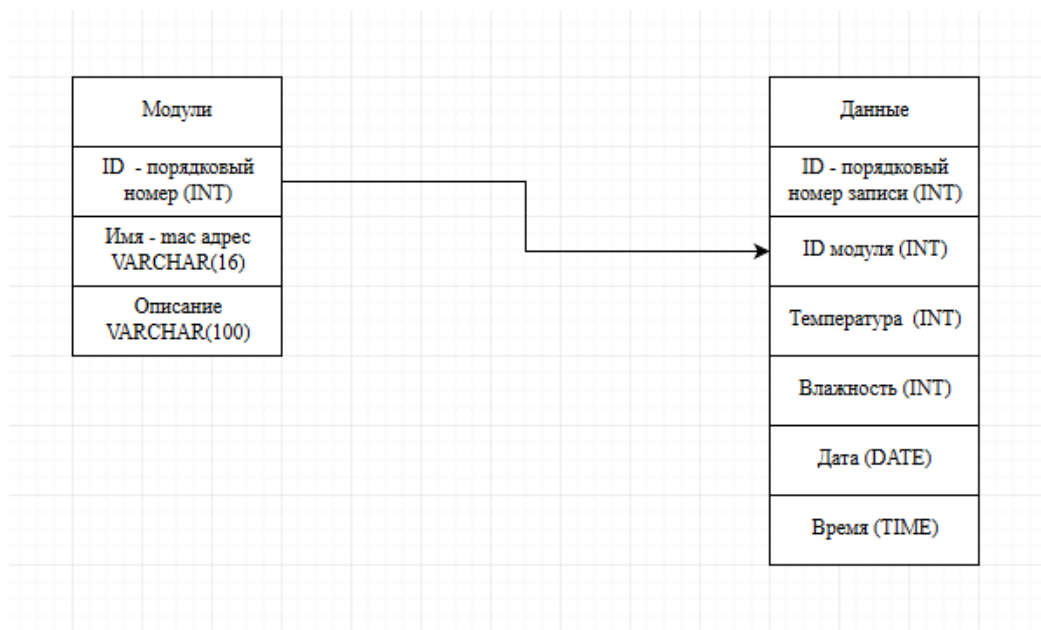


Рисунок 21 - даталогическая схема БД

### Инфологическая схема БД

На рисунке 22 показано, что одно устройство может работать с разными данными.



Рисунок 22 - инфологическая схема БД

### Схемы алгоритмов модулей

На рисунке 23 видно, что модуль отправляет данные на последовательный порт при получении определённого кодового слова.



Рисунок 23 - схема алгоритма модуля

### Формы интерфейса подсистемы

В ходе работы был спроектирован web-интерфейс. Схематичные изображения web-страниц, составляющих его (начальная страница, страница работы с устройствами, страница вывода данных) представлены на рисунках 24 - 26.

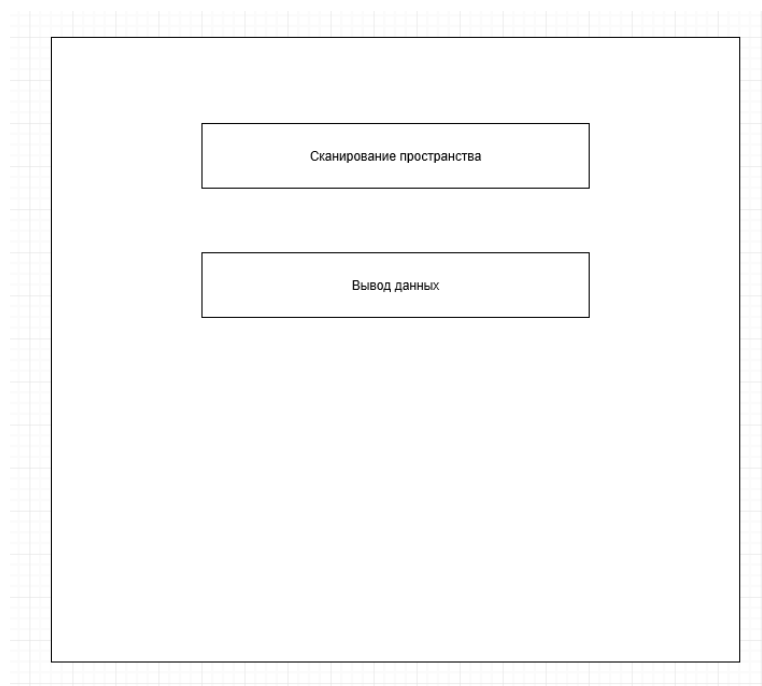


Рисунок 24 – начальная страница

MAC адрес	Транспируемое имя	Статус	Действие
xx:xx:xx:xx:xx:xx	Xname	Устройство опрашивается	Удалить
yy:yy:yy:yy:yy:yy	Yname	Неизвестное устройство	Добавить

Рисунок 25 – страница работы с устройствами

Устройства		
Идентификационный номер	Имя(mac-адрес)	Описание
x	yy:yy:yy:yy:yy:yy	DescriptionY

Данные				
Навание	Дата	Время	Температура	Влажность
x	ГГ:ММ:ДД	ЧЧ:ММ:СС	t°C	h%

Рисунок 26 – страница вывода данных

## Выводы

В ходе выполнения работы были спроектированы: архитектура взаимодействия между модулями и вычислителем, занесение полученных данных в БД и web-интерфейс, позволяющий выводить данные из базы, а так же добавлять новые устройства в опросный лист.

## Технологическая часть

### Установка Ubuntu на raspberry-pi

На рисунках 27-31 изображён пошаговый процесс установки Ubuntu на raspberry pi.

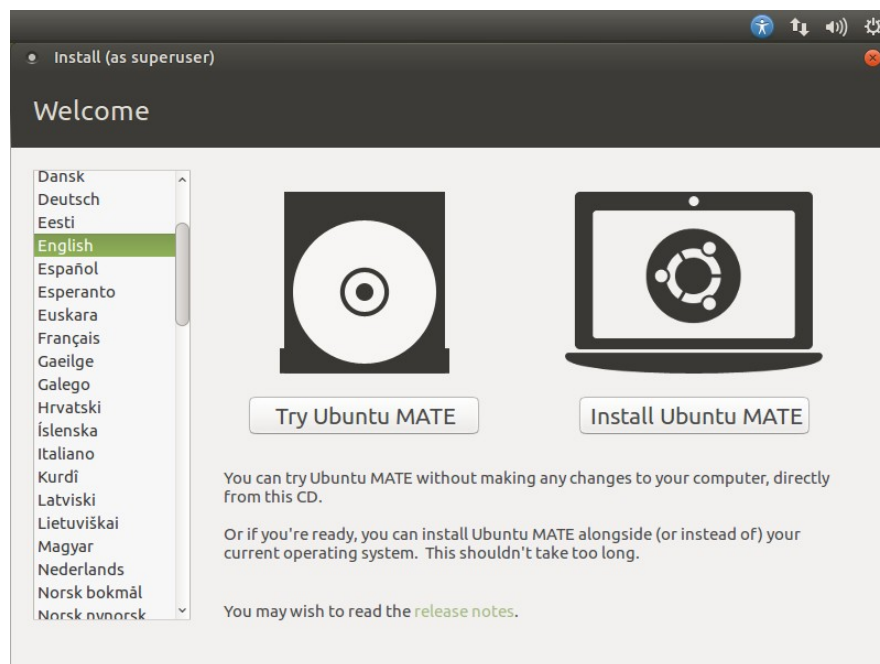


Рисунок 27 - начало установки

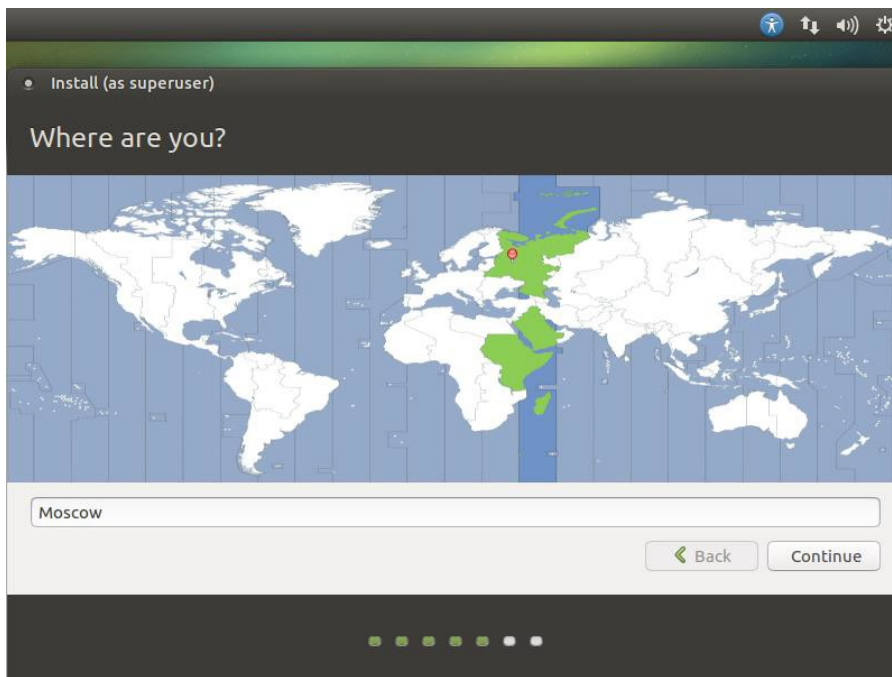


Рисунок 28 - выбор региона

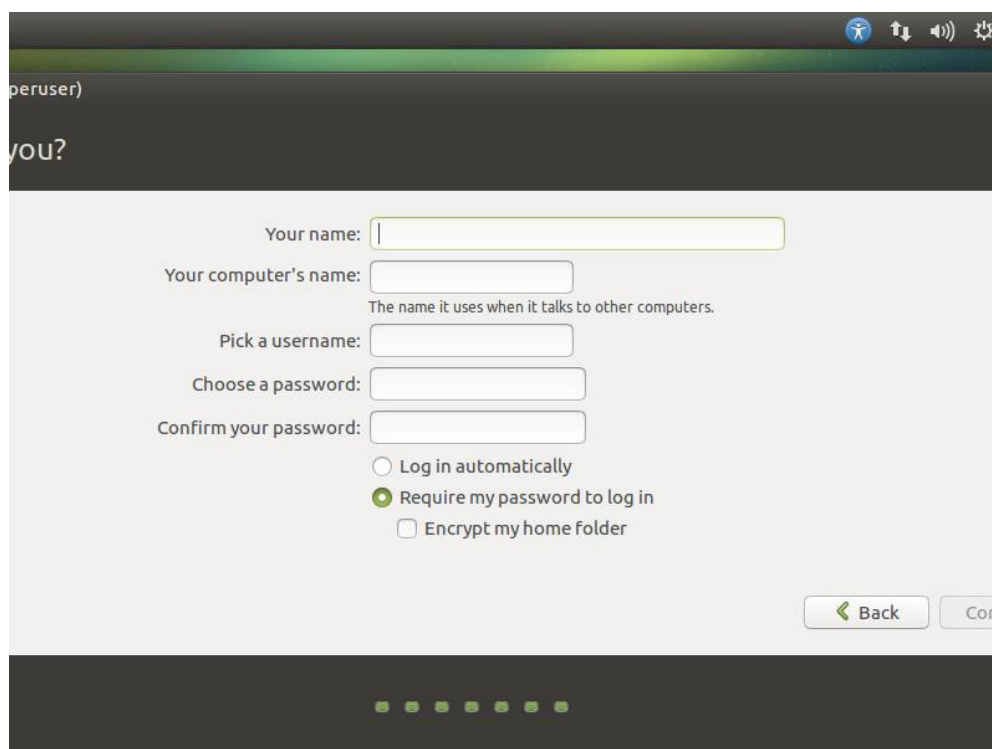


Рисунок 29 - настройка пользователя



Рисунок 30 - установка

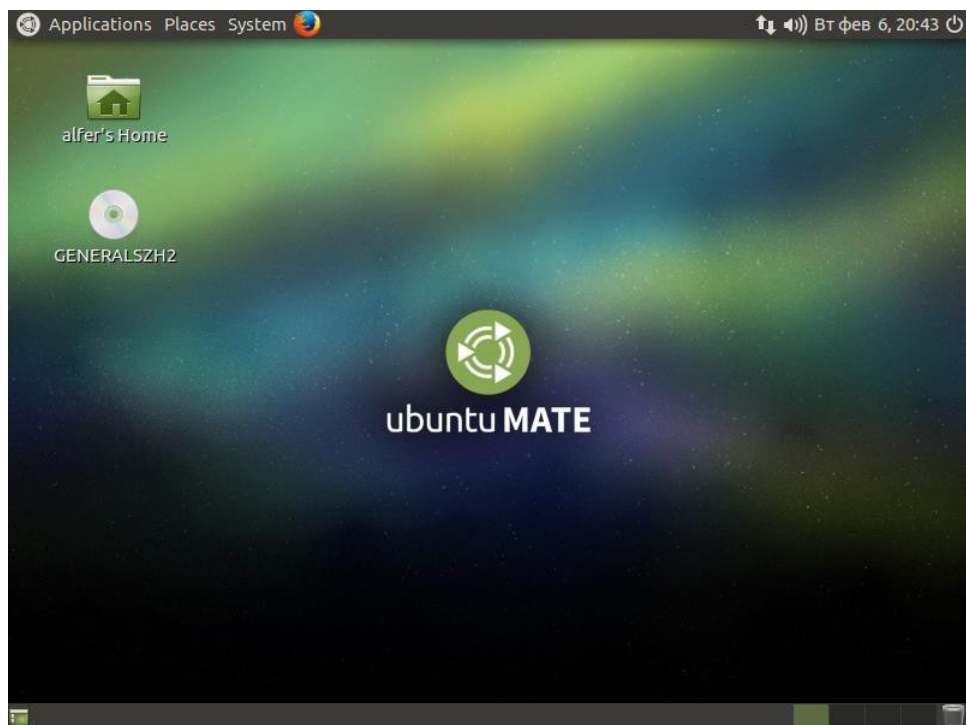


Рисунок 31 - результат установки

### Настройка безопасного доступа (ssh)

Важным шагом является настройка безопасного доступа к центральному вычислителю по SSH. Для этого можно пойти разными путями. В рамках проекта были проделаны следующие шаги:

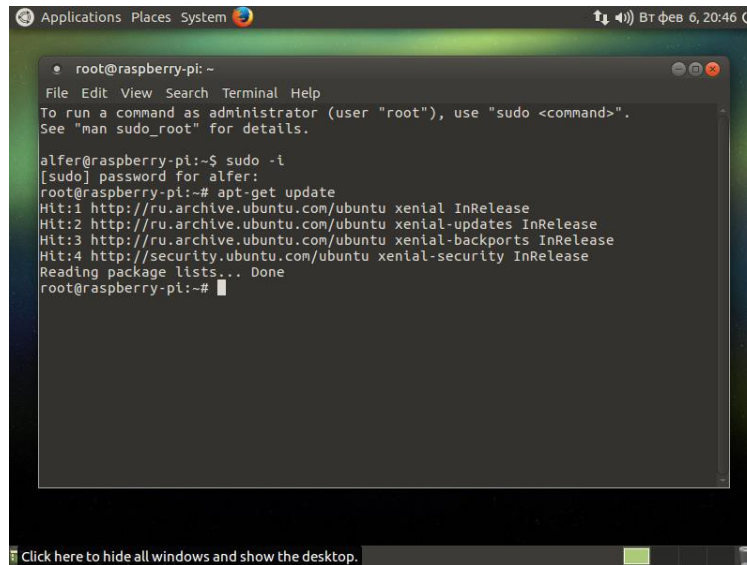
- Запрет на подключение суперпользователя(root). Данный шаг позволяет не дать предполагаемому злоумышленнику, пытающемуся подключиться к центральному вычислителю, легко получить права на выполнение всех операций.
- Смена порта, через который идёт подключение. Это затруднит процесс взлома центрального вычислителя, так как потребует у злоумышленника время на подбор нужного порта для подключения по SSH.
- Установка и настройка пакета fail2ban. Основная идея Fail2ban - при превышении заданного числа неудачных вводов пароля подряд (по умолчанию - 6) бан IP, с которого были попытки подбора на заданное время (по умолчанию - 600 секунд). Данный пакет затруднит злоумышленнику подбор пароля для обычного пользователя. Установка пакета fail2ban показанна на рисунке 32.

```
root@alfer-desktop:/var/www# sudo apt-get install fail2ban
Чтение списков пакетов... Готово
Построение дерева зависимостей
Чтение информации о состоянии... Готово
Будут установлены следующие дополнительные пакеты:
  python3-pyinotify
Предлагаемые пакеты:
  mailx monit python-pyinotify-doc
НОВЫЕ пакеты, которые будут установлены:
  fail2ban python3-pyinotify
обновлено 0, установлено 2 новых пакета, для удаления отмечено 0 пакетов, и 31 пакетов не обновлено.
Необходимо скачать 252 kB архивов.
После данной операции, объём занятого дискового пространства возрастёт на 1 289 kB.
Хотите продолжить? [Д/н] y
Пол:1 http://ports.ubuntu.com xenial/universe armhf fail2ban all 0.9.3-1 [227 kB]
Пол:2 http://ports.ubuntu.com xenial/main armhf python3-pyinotify all 0.9.6-0fakesync1 [24,7 kB]
Получено 252 kB за 0с (350 kB/с)
Выбор ранее не выбранного пакета fail2ban.
(Чтение базы данных ... на данный момент установлено 173550 файлов и каталогов.)
Подготовка к распаковке ../fail2ban_0.9.3-1_all.deb ...
Распаковывается fail2ban (0.9.3-1) ...
Выбор ранее не выбранного пакета python3-pyinotify.
Подготовка к распаковке ../python3-pyinotify_0.9.6-0fakesync1_all.deb ...
Распаковывается python3-pyinotify (0.9.6-0fakesync1) ...
Обрабатываются триггеры для man-db (2.7.5-1) ...
Обрабатываются триггеры для systemd (229-4ubuntu21.1) ...
Обрабатываются триггеры для ureadahead (0.100.0-19) ...
Настраивается пакет fail2ban (0.9.3-1) ...
Настраивается пакет python3-pyinotify (0.9.6-0fakesync1) ...
Обрабатываются триггеры для systemd (229-4ubuntu21.1) ...
Обрабатываются триггеры для ureadahead (0.100.0-19) ...
You have new mail in /var/mail/root
root@alfer-desktop:/var/www#
```

Рисунок 32 - Установка пакета fail2ban

## Установка LAMP

Так как в Ubuntu нет отдельного пакета LAMP (как, например, в Debian), устанавливая LAMP пришлось по частям: Apache, Mysql-server, php. Процесс установки продемонстрирован на рисунках 33 - 36.



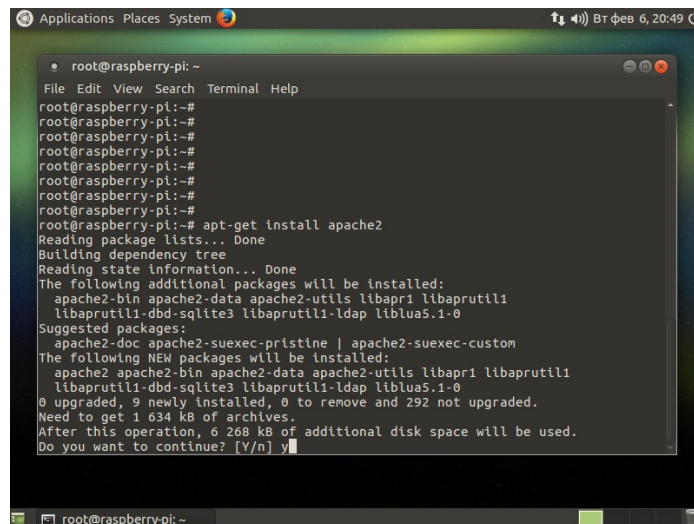
```

root@raspberrypi: ~
File Edit View Search Terminal Help
To run a command as administrator (user "root"), use "sudo <command>".
See "man sudo_root" for details.

alfer@raspberrypi:~$ sudo -i
[sudo] password for alfer:
root@raspberrypi:~# apt-get update
Hit:1 http://ru.archive.ubuntu.com/ubuntu xenial InRelease
Hit:2 http://ru.archive.ubuntu.com/ubuntu xenial-updates InRelease
Hit:3 http://ru.archive.ubuntu.com/ubuntu xenial-backports InRelease
Hit:4 http://security.ubuntu.com/ubuntu xenial-security InRelease
Reading package lists... Done
root@raspberrypi:~#

```

Рисунок 33- обновление списка доступных пакетов

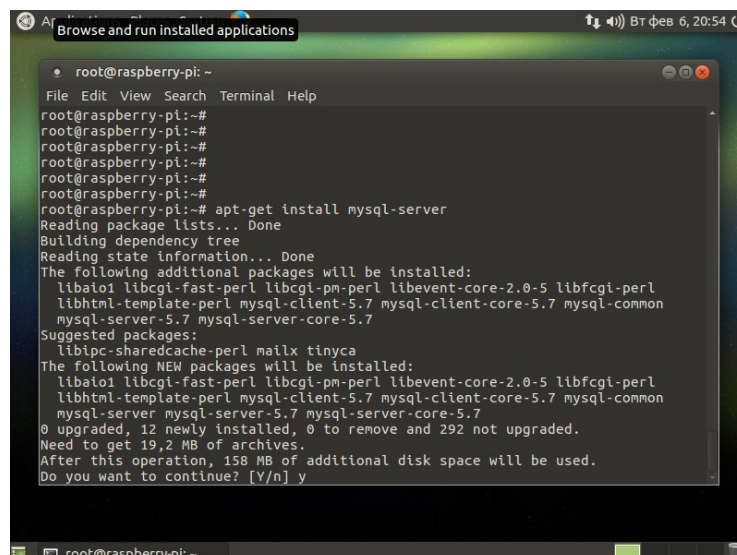


```

root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~# apt-get install apache2
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following additional packages will be installed:
  apache2-bin apache2-data apache2-utils libapr1 libaprutil1
  libaprutil1-dbd-sqlite3 libaprutil1-ldap liblua5.1-0
Suggested packages:
  apache2-doc apache2-suexec-pristine | apache2-suexec-custom
The following NEW packages will be installed:
  apache2 apache2-bin apache2-data apache2-utils libapr1 libaprutil1
  libaprutil1-dbd-sqlite3 libaprutil1-ldap liblua5.1-0
0 upgraded, 9 newly installed, 0 to remove and 292 not upgraded.
Need to get 1 634 kB of archives.
After this operation, 6 268 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] y

```

Рисунок 34 - установка Apache



```

root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~#
root@raspberrypi:~# apt-get install mysql-server
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following additional packages will be installed:
  libaio1 libcgi-fast-perl libcgi-pm-perl libevent-core-2.0-5 libcgi-perl
  libhtml-template-perl mysql-client-5.7 mysql-client-core-5.7 mysql-common
  mysql-server-5.7 mysql-server-core-5.7
Suggested packages:
  libipc-sharedcache-perl mailx tinycsa
The following NEW packages will be installed:
  libaio1 libcgi-fast-perl libcgi-pm-perl libevent-core-2.0-5 libcgi-perl
  libhtml-template-perl mysql-client-5.7 mysql-client-core-5.7 mysql-common
  mysql-server mysql-server-5.7 mysql-server-core-5.7
0 upgraded, 12 newly installed, 0 to remove and 292 not upgraded.
Need to get 19,2 MB of archives.
After this operation, 158 MB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] y

```

Рисунок 35 - установка MySQL server



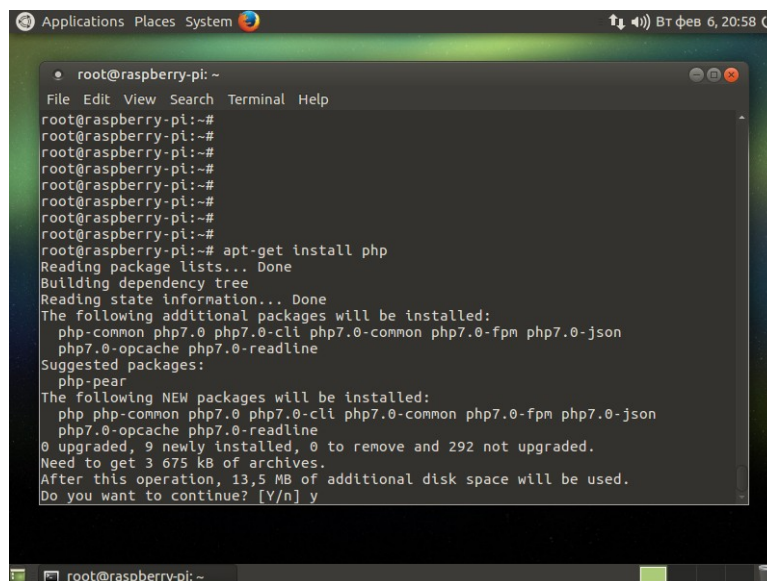


Рисунок 36 - установка PHP

## Тестирование системы

### Тестирование модулей в ручном режиме (с телефона)

На рисунке 37 показаны результаты тестирования модуля в ручном режиме. Телефон соединился по Bluetooth каналу с модулем, через терминал модулю было отправлено кодовое слово «g». В ответ пришли две цифры: первая - влажность, вторая - температура.

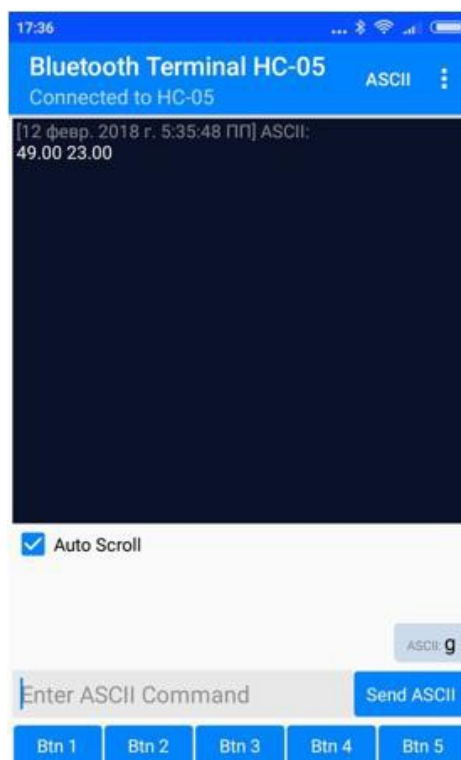


Рисунок 37 - результаты тестирования модуля в ручном режиме

## Тестирование модулей в автоматическом режиме

```

root@alfer-desktop: /var/www
GNU nano 2.5.3 File: /tmp/crontab.awF2YR/crontab
# Edit this file to introduce tasks to be run by cron.
#
# Each task to run has to be defined through a single line
# indicating with different fields when the task will be run
# and what command to run for the task
#
# To define the time you can provide concrete values for
# minute (m), hour (h), day of month (dom), month (mon),
# and day of week (dow) or use '*' in these fields (for 'any').#
# Notice that tasks will be started based on the cron's system
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
*/5 * * * * python /root/manage.py

```

Рисунок 38 - настройки Cron-а

Скрипт, опрашивающий модули, запускается автоматически, раз в 5 минут, что видно по настройкам Cron-а на рисунке 38

На рисунке 39 представлены результаты работы скрипта - таблица в базе данных.

```

mysql> select * from data;
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | name | date       | time       | temperature | humidity |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1  | 1    | 2018-02-12 | 16:19:08  | 23          | 21       |
| 2  | 1    | 2018-02-12 | 17:29:28  | 24          | 22       |
| 4  | 1    | 2018-02-12 | 17:31:04  | 24          | 95       |
| 5  | 1    | 2018-02-12 | 19:39:50  | 22          | 26       |
| 6  | 1    | 2018-02-12 | 19:42:10  | 22          | 27       |
| 7  | 1    | 2018-02-12 | 19:51:52  | 22          | 28       |
| 8  | 1    | 2018-02-12 | 19:52:07  | 22          | 28       |
| 9  | 1    | 2018-02-12 | 19:54:07  | 22          | 28       |
| 10 | 1    | 2018-02-12 | 21:05:16  | 22          | 29       |
| 11 | 1    | 2018-02-12 | 21:10:03  | 22          | 29       |
| 12 | 1    | 2018-02-12 | 21:15:03  | 22          | 28       |
| 13 | 1    | 2018-02-12 | 21:20:04  | 22          | 29       |
| 14 | 1    | 2018-02-12 | 21:25:03  | 23          | 28       |
| 15 | 1    | 2018-02-12 | 21:30:03  | 22          | 29       |
| 16 | 1    | 2018-02-12 | 21:35:03  | 23          | 28       |
| 17 | 1    | 2018-02-12 | 21:40:03  | 23          | 29       |
| 18 | 1    | 2018-02-12 | 21:45:03  | 23          | 28       |
| 19 | 1    | 2018-02-12 | 21:50:03  | 23          | 28       |
| 20 | 1    | 2018-02-12 | 21:55:03  | 22          | 28       |
| 21 | 1    | 2018-02-12 | 22:00:03  | 22          | 28       |
| 22 | 1    | 2018-02-12 | 22:05:03  | 22          | 27       |
| 23 | 1    | 2018-02-12 | 22:10:03  | 22          | 28       |
| 24 | 1    | 2018-02-12 | 22:15:04  | 22          | 27       |
| 25 | 1    | 2018-02-12 | 22:20:04  | 22          | 27       |

```

Рисунок 39 - данные о температуре и влажности, содержащиеся в таблице.

## Тестирование web-интерфейса

На рисунке 40 представлена стартовая страница web-интерфейса.

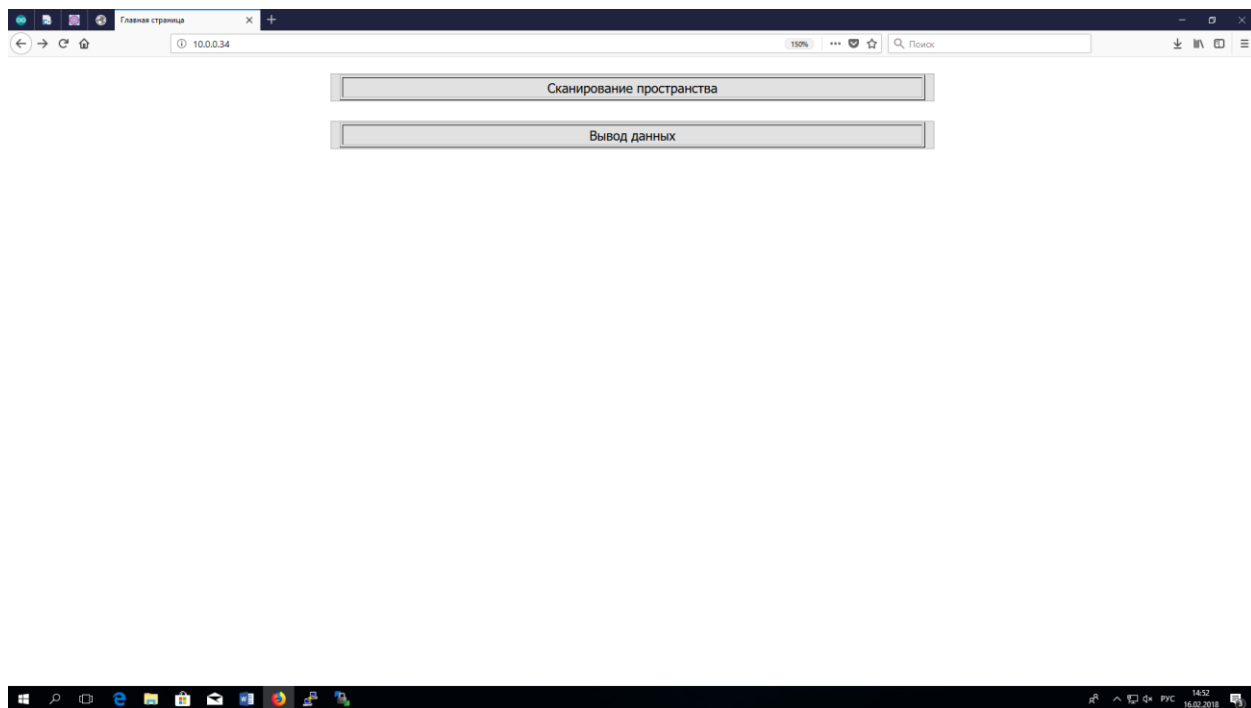


Рисунок 40 – стартовая страница

При нажатии кнопки «Вывод данных» на экран выводятся две таблицы: опрашиваемые устройства и данные с них. Данные таблицы представлены на рисунке 41.

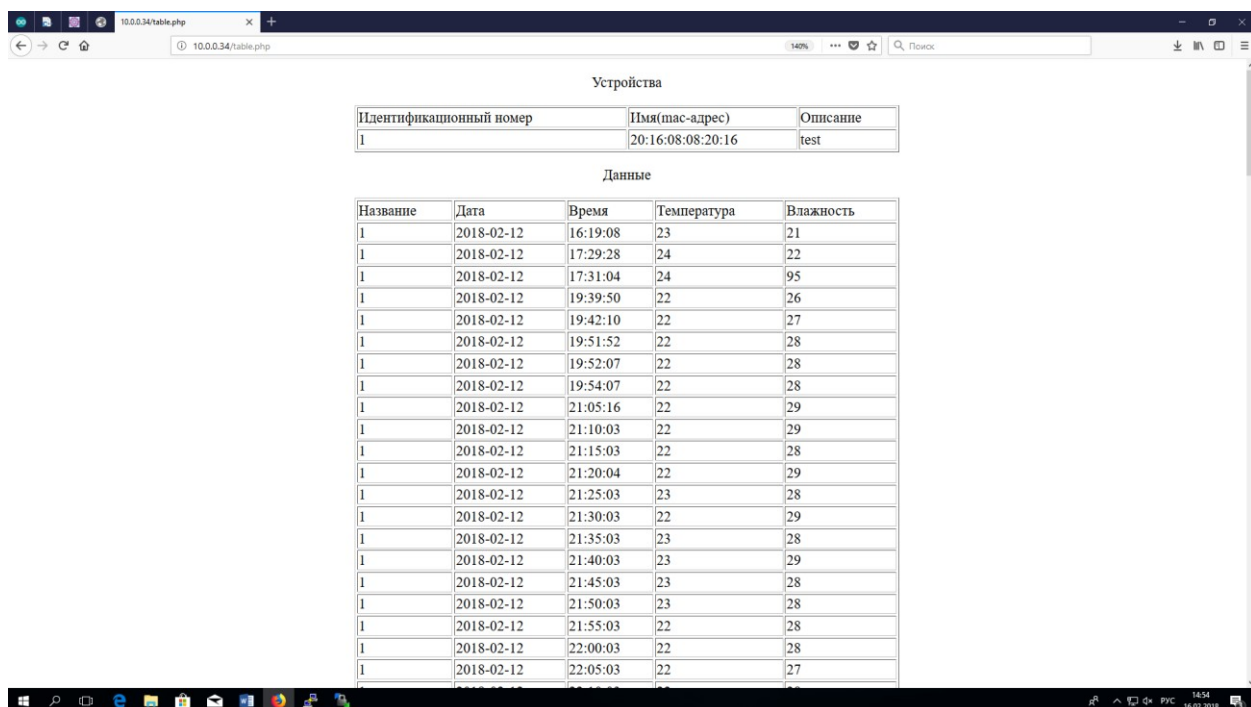


Рисунок 41 – страница вывода данных

При нажатии кнопки «Сканирование пространства» на экран выводится таблица устройств, которые соединены, либо могут быть соединены с центральным вычислителем по Bluetooth. На этой же странице можно добавлять устройства в опросный список и удалять их из него. Данная таблица представлена на рисунке 41.

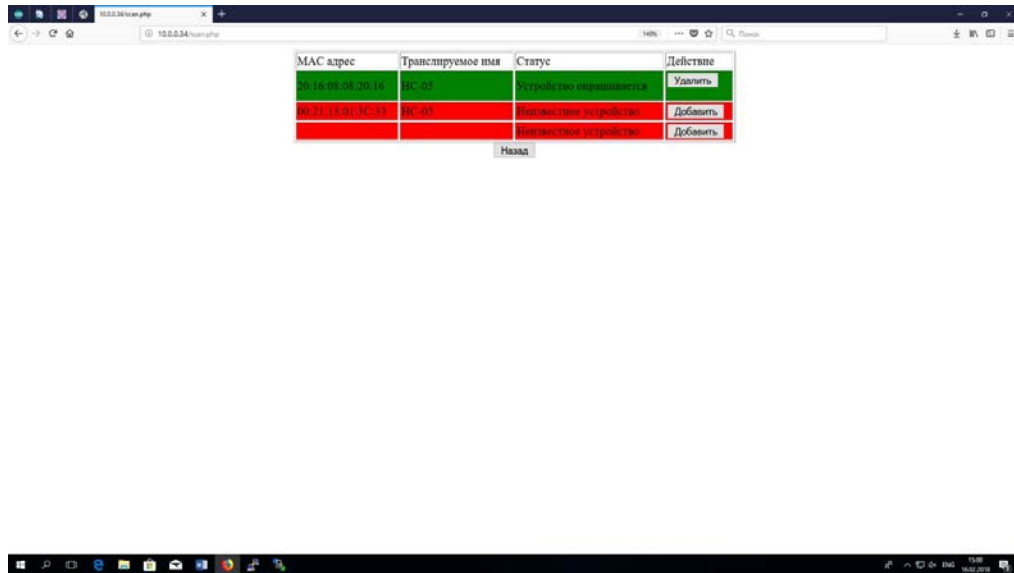


Рисунок 41 – страница работы с устройствами.

При нажатии кнопки «Добавить» устройство добавляется в опросный список, при нажатии

«Удалить» удаляется, результат добавления устройства представлен на рисунке 42

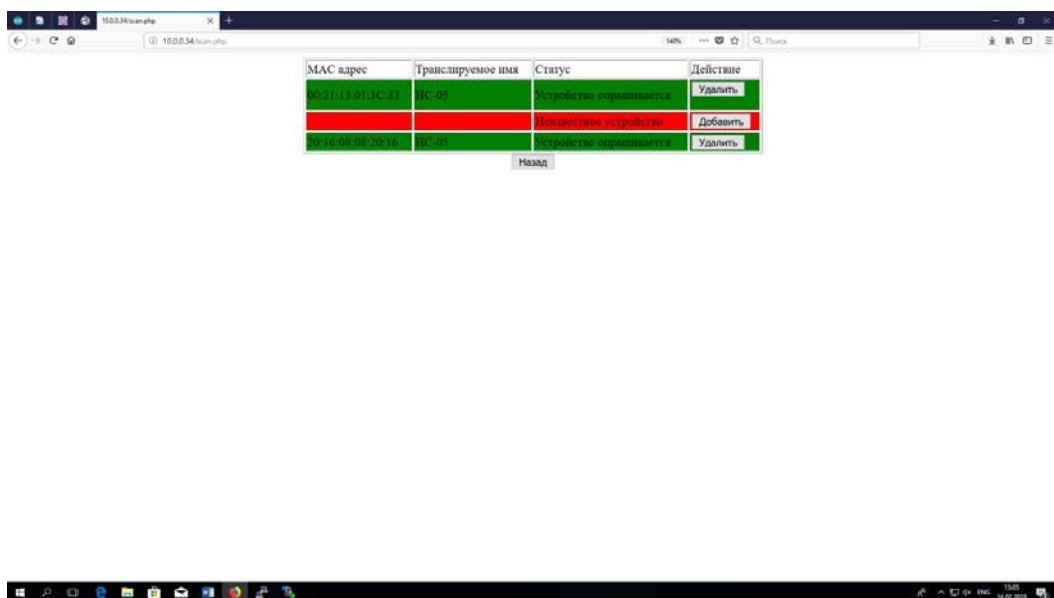


Рисунок 42 – добавление устройства с mac адресом 00:21:13:01:3C:33

**Список источников**

1. Концепция интернета вещей [Электронный ресурс] lifehacker.ru, URL: <https://lifehacker.ru/2016/06/03/internet-of-things-2/> (дата обращения – 10.09.17)
2. Обзор аналогов [Электронный ресурс] gadgets\_reviews.com URL: <https://gadgets-reviews.com/ru/obzory/551-top-10-besprovodnykh-pogodnykh-stantsij-dlya-doma.html> (дата обращения - 15.09.17)
3. Выбор платформы центрального вычислителя [Электронный ресурс] geektimes.ru URL: <https://geektimes.ru/company/ua-hosting/blog/272230/> (дата обращения – 13.10.17)
4. Выбор платформы модуля [Электронный ресурс] arduinoplus.ru URL: <http://arduinoplus.ru/vse-analogi-arduino/> (дата обращения – 13.10.17)
5. Установка Ubuntu на Raspberry pi 3 [Электронный ресурс] lost.ru, URL: <https://losst.ru/ustanovka-ubuntu-na-raspberry-pi-3> (дата обращения – 19.10.17)
6. Выбор датчика [Электронный ресурс] amperka.ru URL 1 : <http://amperka.ru/product/temperature-humidity-sensor-dht11>
7. АМТ1001 [Электронный ресурс] electrodragon.com URL : <http://www.electrodragon.com/w/AMT1001> (дата обращения – 15.09.17)
8. Выбор СУБД [Электронный ресурс] [www.parsec.ru](http://www.parsec.ru) URL: <https://www.parsec.ru/articles/obzor-sistem-upravleniya-bazami-dannykh-subd-dlya-sistem-kontrolya-i-upravleniya-dostupom-skud/> (дата обращения – 15.11.17)
9. Выбор WEB-сервера [Электронный ресурс] alpha-byte.ru URL: <https://alpha-byte.ru/polezno/soft/web-servera> (дата обращения – 17.11.17)

## Система управления движением автомобиля-робота на базе микроконтроллера ATmega 328P

*Тимофеев Виталий Вячеславович,*

*г. Москва, ГБОУ Лицей №1581, 11 класс*

*Научный руководитель: Лукьянов Вадим Викторович,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н, снс НИИ ИУ*

### Введение

В настоящее время широкое распространение получили автономные микропроцессорные системы. На рынке электроники представлены микроконтроллеры (МК) различных типов, обладающие рядом технических особенностей. Наибольшее распространение получили 8-ми битные микроконтроллеры семейства AVR. Одним из наиболее широко распространенных представителей данного семейства является микроконтроллер фирмы Atmel – ATmega 328p.

Этот микроконтроллер широко используется в различных автономных системах и модулях систем, например, таких как малые мобильные роботы и подсистемы масштабных систем «Умный дом».

Ввиду высокой популярности данного МК, он нашел свое применение и в ряде готовых коммерческих решений. Одним из таких решений является плата Arduino UNO.

Целью данной работы является разработка и программно-аппаратная реализация «Системы управления движением автомобиля-робота.» с использованием Arduino UNO.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ предметной области, выявить особенности проектируемой системы;
- разработать принципиальную схему программно-аппаратного комплекса;
- разработать электрическую схему соединений;
- выявить лучший метод решения проблемы;

- собрать схему на макетной плате, написать программу и проверить её работоспособность
- установить работающую схему в робота, отладить.
- реализовать алгоритм системы управления движением автомобиля-робота.».

Согласно техническому заданию «Автомобиль-робот» должен работать по следующим данным:

1. линейная скорость
2. угол поворота
3. направление движения двигателя
4. включение\выключение тормоза

Данный проект актуален тем, что относится к перспективному направлению — управление объектами без непосредственного участия человека, что очень востребовано и для работы в опасных для человека условиях, и для экстренных ситуаций таких как тушение пожара либо устранение аварий на атомных реакторах, химзаводах и т.д.

### **Аналитический раздел**

#### **Описание платформы Arduino**

Arduino – это простая в использовании открытая электронная платформа, включающая программное обеспечение и предназначенная для быстрого создания интерактивных электронных устройств. Она была создана группой энтузиастов, которые позиционировали свою разработку как платформу для быстрой реализации небольших проектов. Arduino строится на базе микроконтроллеров Atmel и используется для получения сигналов от аналоговых и цифровых датчиков, управления различными исполнительными устройствами и обмена информацией с компьютером при помощи различных интерфейсов. Сенсоры и датчики подключаемые к плате Arduino функционируют для сбора и передачи данных.

При получении данных о внешней среде, устройство обрабатывает полученный сигнал и отправляет данные в центральное хранилище данных или сервер где эти

данные анализируются и хранятся для дальнейшего исследования. Измерительных приборов на сегодняшний день много: сенсоры, простые датчики температуры, приборы учета потребления и т.д, они обладают четырьмя основными возможностями: зондирование, обработка данных, передача данных и, в некоторых случаях, активирование, то есть управление иными устройствами, такими как электродвигатели, другие датчики, системы сигнализации и т.д., такие преобразователи могут обнаруживать энергию различных физических, химических и других явлений и преобразовывать ее в сигнал, электрический импульс и т.д.

Сенсорные технологии применялись и применяются во многих областях, таких как национальная безопасность, наземный мониторинг как поверхности земли, так и воды, сбор информации в целях защиты, мониторинг окружающей среды, анализ и прогнозирование погоды и климата, наблюдение и мониторинг зоны конфликта, мониторинг сейсмического ускорения, нагрузки, температуры, скорости ветра и GPS-данных.

Arduino дает возможность достичь высокого уровня автономности, намного упрощает процесс работы с микроконтроллерами и имеет ряд преимуществ перед другими устройствами:

1. Низкая стоимость платы относительно дешева по сравнению с другими платформами. Самая недорогая версия модуля Arduino может быть собрана вручную, а некоторые даже готовые модули стоят меньше 50 долларов.
2. Кросс-платформенность – программное обеспечение Arduino работает под ОС Windows, Macintosh OSX и Linux. Большинство микроконтроллеров ограничивается ОС Windows.
3. Простая и понятная среда программирования – среда Arduino подходит как для начинающих пользователей, так и для опытных. Arduino основана на среде программирования Processing, что очень удобно для начинающих программистов, работающие с данной средой.
4. Программное обеспечение с возможностью расширения и открытым исходным текстом так же может дополняться библиотеками C++.



Пользователи, желающие понять технические нюансы, имеют возможность перейти на язык AVR C на котором основан C++. Соответственно, имеется возможность добавить код из среды AVR-C в программу Arduino.

### **Характеристики контроллера Arduino Uno**

Arduino Uno (рис. 1.1) контроллер построен на ATmega328p(рис.1.2). Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или батареи.

В таблице 1.1 приведены основные характеристики платы Arduino Uno.

Таблица 1.1. Характеристики платы Arduino Uno

<b>Наименование параметра</b>	<b>Значение</b>
Микроконтроллер	ATmega328p
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Флеш-память	32 Кб (ATmega328) из которых 0.5 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	2 Кб (ATmega328)
EEPROM	1 Кб (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

На рис. 1.2 представлено назначение выводов контроллера ATmega328p.  
 На рис. 1.3 представлено назначение выводов контроллера Arduino Uno.

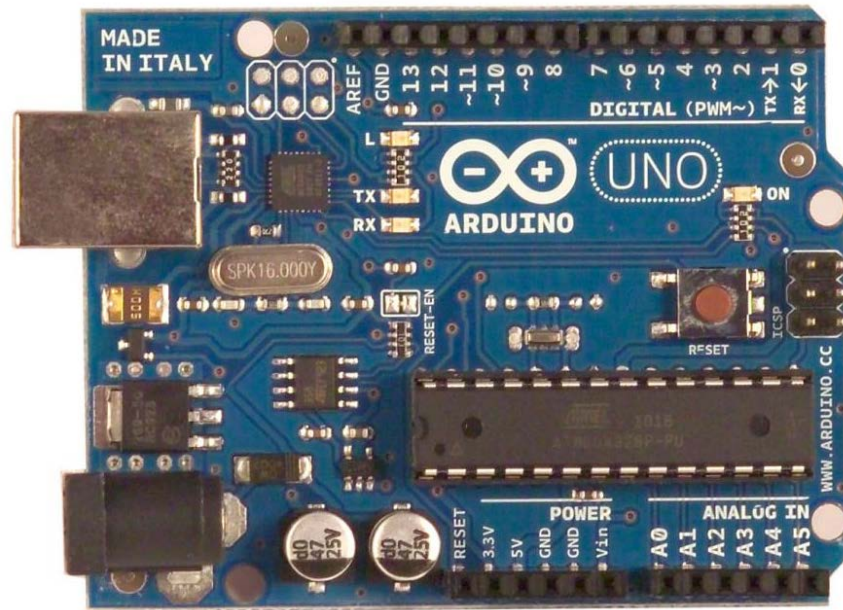


Рис 1.1. Внешний вид контроллера Arduino Uno

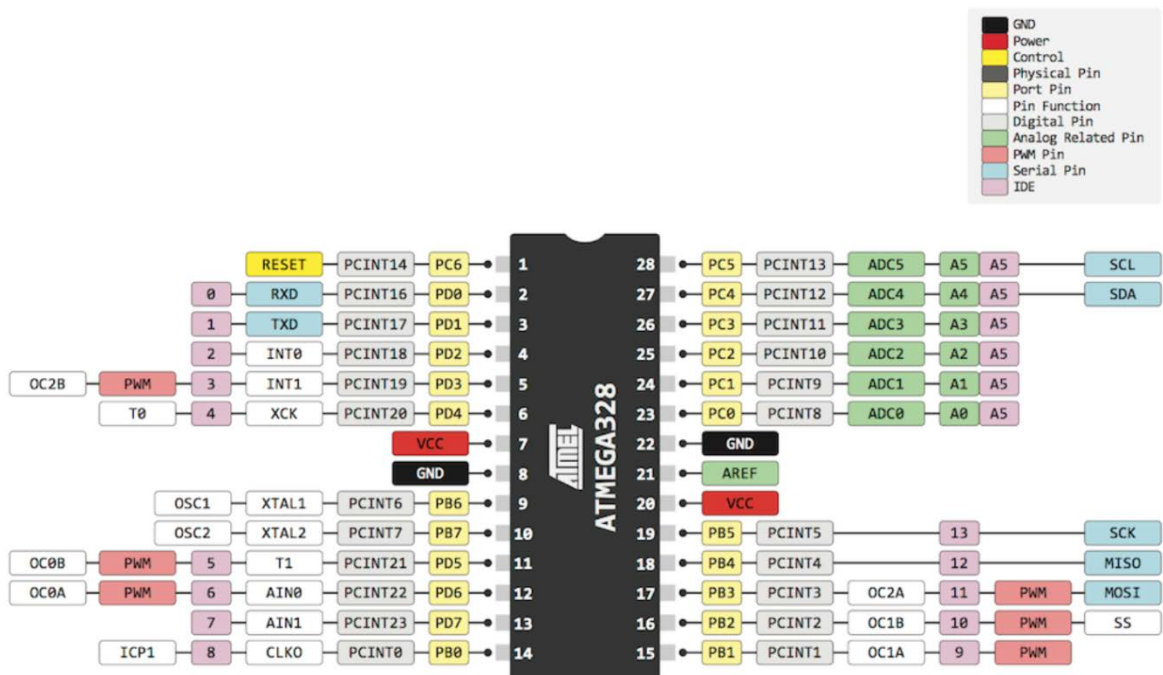


Рис 1.2. Назначение выводов контроллера ATmega328p

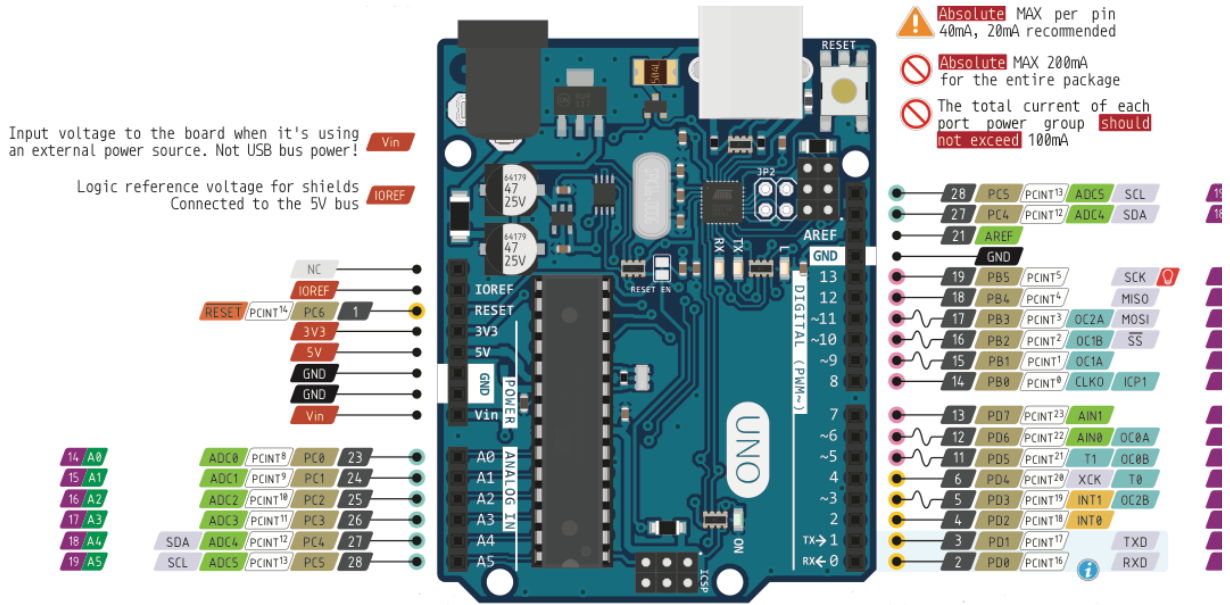


Рис 1.3. Назначение выводов контроллера Arduino Uno

### Конструкторская часть

### Проектирование программно-аппаратного комплекса

Для достижения поставленной цели была разработана схема работы автомобиля-робота, которая приведена на рисунке 2.1.

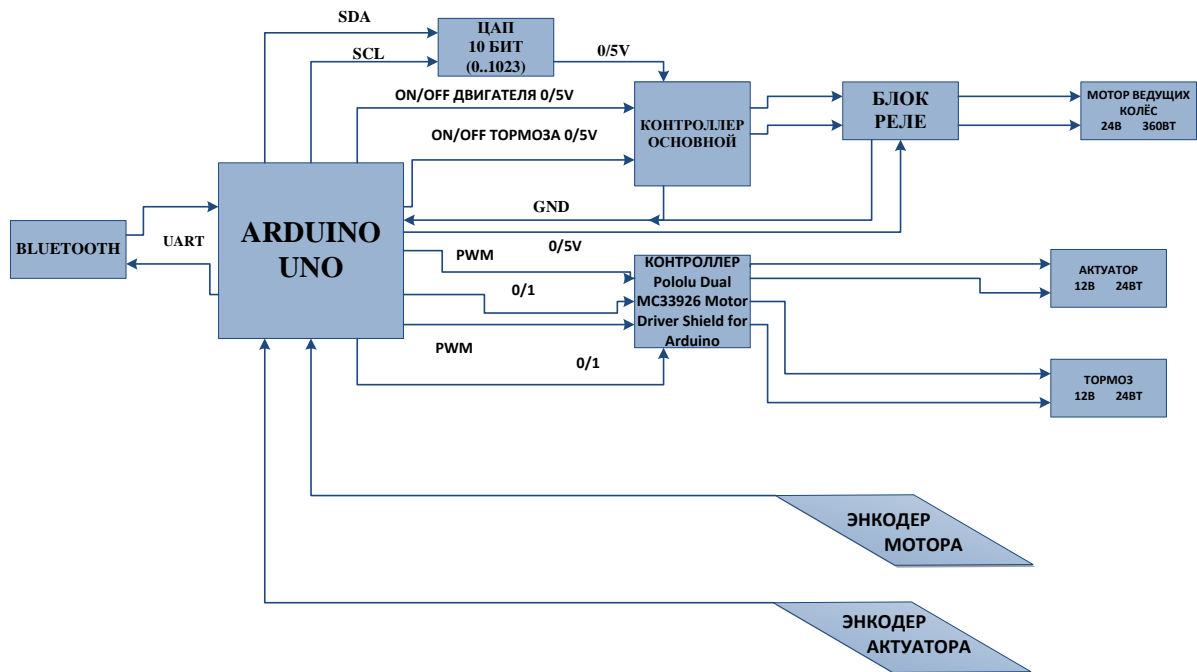


Рис.

2.1. Структурная диаграмма

Таким образом, для сборки устройства была составлена следующая спецификация (таблица 2.1):

Таблица 2.1. Спецификация

№ п/п	Наименование	Количес тво
1	Arduino Uno	1
2	Актуатор (датчик положения дп-100)	1
3	Контроллер Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino	1
4	Модуль ЦАП 12-бит MCP4725	1
5	Двигатель актуатора	1

### **Контролер Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino**

Контролер Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino (рис. 2.1.1 и 2.1.2) – это защита двигателя и соответствующая библиотека Arduino, позволяющая легко управлять двумя двунаправленными моторами постоянного тока с помощью [Arduino](#) или совместимой платы, такими как [A-Star 32U4 Prime](#). Плата оснащена парой моторных драйверов Freescale MC33926, которые работают от 5 до 28 В и могут доставлять непрерывный 3А на канал, и включают в себя схему токового датчика, защитные резисторы, полевой транзистор для защиты от обратного заряда батареи и логические вентили, чтобы уменьшить необходимое количество контактов ввода/вывода. Он полностью заполнен компонентами SMD, включая две микросхемы MC33926.

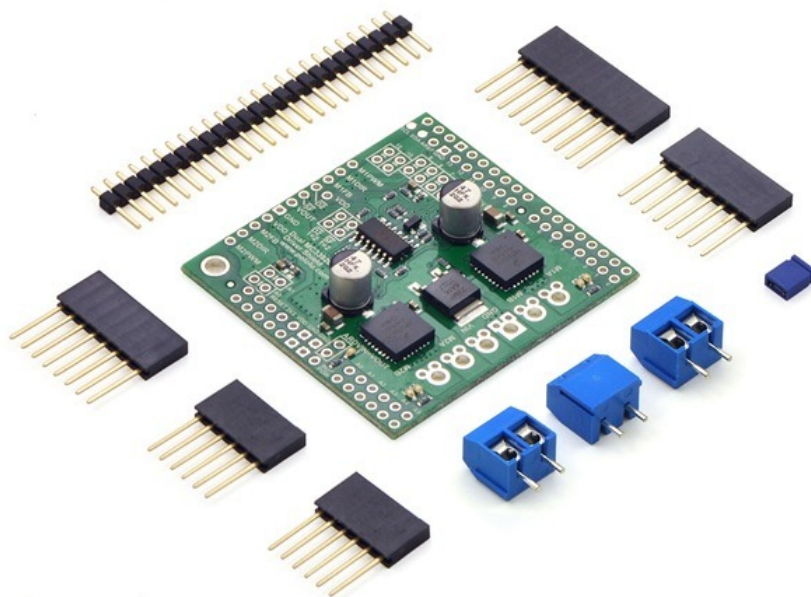


Рис 2.1.1 Контролер Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino



Рис 2.1.1 Контролер Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino, на платформе Arduino.

**Особенности:**

- Широкий диапазон рабочих напряжений: 5 - 28 В
- Выходной ток: 3 А непрерывный (5 А) на двигатель
- Входы, совместимые с системами 5 В и 3,3 В

- ШИМ-работа до 20 кГц, которая является ультразвуковой и обеспечивает более тихую работу двигателя
- Токовый выход напряжения, пропорционален току двигателя (около 525 мВ/А)
- Светодиодные индикаторы двигателя показывают, какие выходы работают, даже когда двигатель не подключен
- Может использоваться с клоном Arduino или Arduino (через защитные заголовки) или с другими досками микроконтроллеров (через 0,1-дюймовый заголовок по левой стороне)
- При использовании в качестве экрана, источник питания двигателя может быть дополнительно использован для питания основания Arduino
- Отображения контактов Arduino можно настроить, если сопоставления по умолчанию не являются удобными
- [Библиотека Arduino](#) позволяет легко начать использовать эту плату в качестве защитного экрана двигателя
- Подробное [руководство пользователя](#)
- Защита от обратного напряжения при питании двигателя
- Надежные драйверы:
  - Переходная работа до 40 В
  - Ограничение перегрузки по току через внутреннюю ШИМ
  - Перегрев и гистерезис
  - Замыкание под напряжением
  - Защита от короткого замыкания на землю и защита от короткого замыкания

На рис 2.1.3 представлена принципиальная схема Контролера Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino.

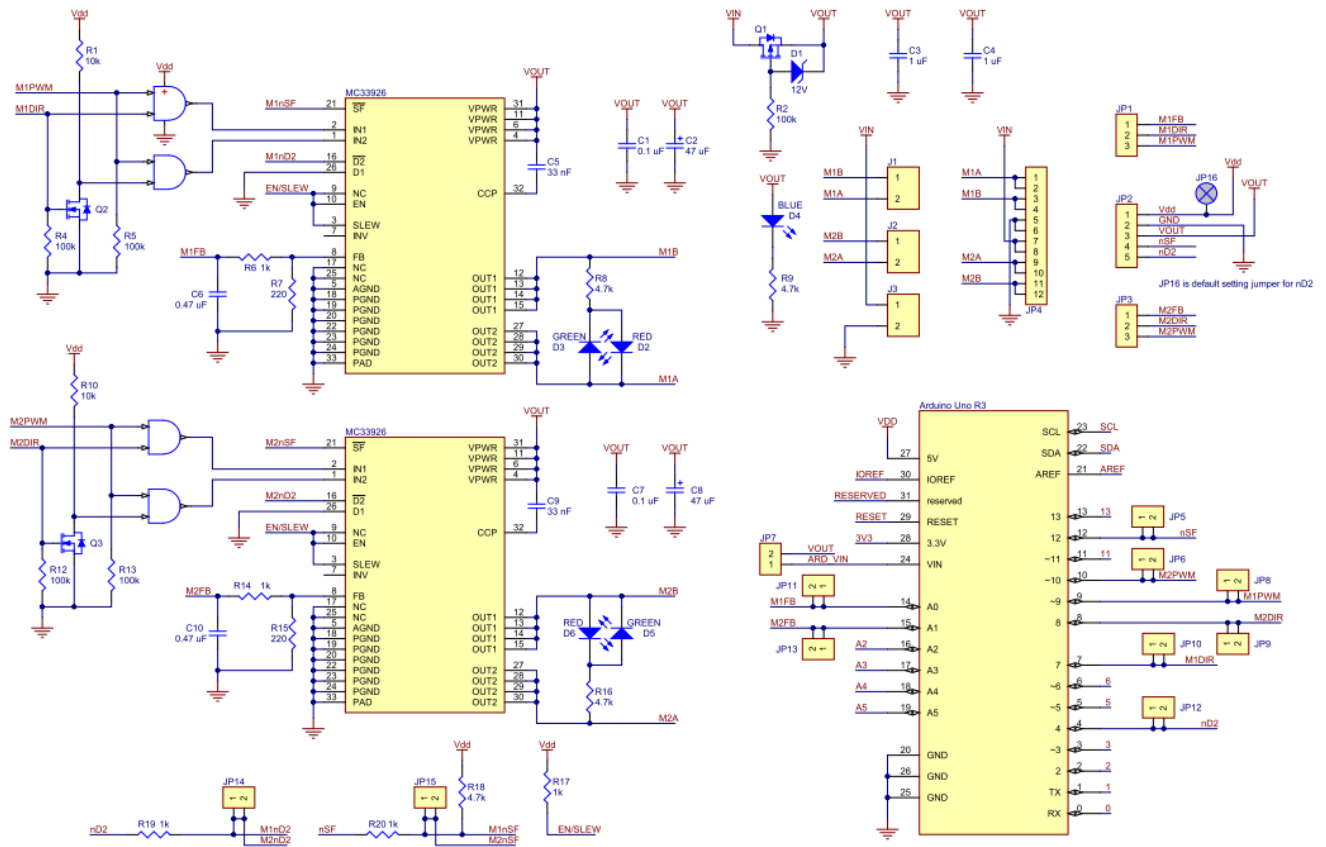


Рис 2.1.1 Принципиальная схема Контролера Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino

## Изучение свойств датчика положения дп-100

### Релейный регулятор

Релейный регулятор-это [регулятор](#), изменяющий скачком управляющее воздействие на систему при прохождении регулируемой величины через пороговые (фиксированные) значения. Скачкообразное изменение управляющего воздействия осуществляется релейным элементом. Релейный регулятор позволяют простыми средствами коммутировать большие мощности.

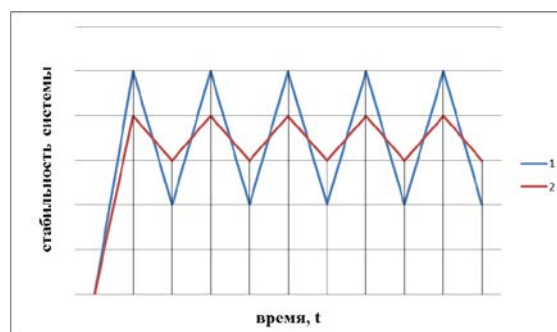


Рис. 2.4. График зависимости

При стабилизации системы релейным регулятором, система колеблется рядом с положением стабильности, но не достигает его.

Значит стоит использовать регуляторы П, ПД и ПИД, ведь их главная отличительная способность, в отличие от релейных – плавность движения робота. Если в релейных регуляторах используются алгоритмы с заданными порогами изменения скоростей двигателей, то в П, ПД и ПИД-регуляторах скорости изменяются плавно.

- П-коэффициент (ПК) – постоянное значение, используется для увеличения или уменьшения переменной пропорциональная составляющая.
- И-коэффициент (ИК) – постоянное значение, используется для увеличения или уменьшения переменной интегральная составляющая.
- Д-коэффициент (ДК) – постоянное значение, используется для увеличения или уменьшения переменной дифференциальная составляющая.
- Пропорциональная составляющая - значение, указывающее насколько далеко робот от целевой позиции. Пропорциональная составляющая – основа захвата роботом позиции с использованием датчиков.
- Интегральная составляющая – измеряет ошибку за единицу времени. Чем больше время ошибки, тем больше значение переменной.
- Дифференциальная составляющая – измеряет частоту, с которой робот перемещается влево и вправо. Чем быстрее происходят колебания робота относительно целевого положения, тем выше значение переменной.

### **Пропорциональный регулятор**

Пропорциональная составляющая пропорционального регулятора вырабатывает выходной сигнал, противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения, наблюдаемому в данный момент времени. Он тем больше, чем больше это отклонение. Если **входной** сигнал равен заданному значению, то выходной равен нулю.

При использовании только пропорционального регулятора значение регулируемой величины никогда не стабилизируется на заданном значении.



Существует так называемая статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении. Чем больше коэффициент пропорциональности между входным и выходным сигналом (коэффициент усиления), тем меньше статическая ошибка, однако при слишком большом коэффициенте усиления при наличии задержек (запаздывания) в системе могут начаться [автоколебания](#), а при дальнейшем увеличении коэффициента система может потерять устойчивость.

### Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор — устройство в управляющем контуре с [обратной связью](#). Используется в [системах автоматического управления](#) для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимой точности и качества переходного процесса.

ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых [пропорционально](#) входному сигналу, второе — [интеграл](#) входного сигнала, третье — [производная](#) входного сигнала.

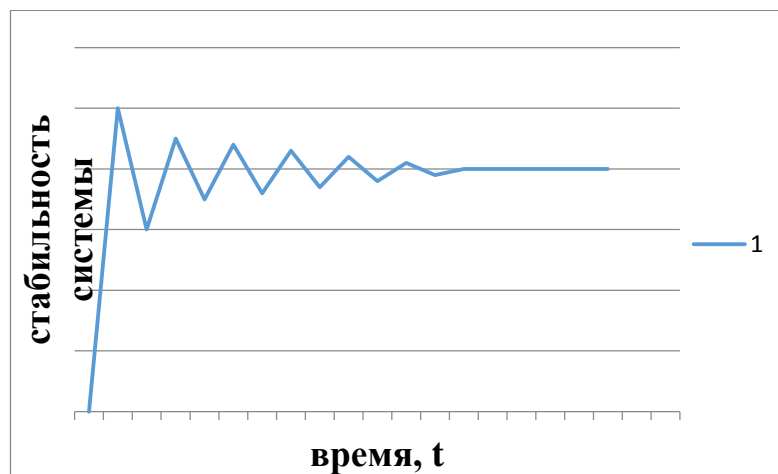


Рис. 2.6. График зависимости

Стабилизация системы ПИД регулятором является наиболее выгодной для нас в связи с тем, что система приходит в стабильно необходимое состояние быстрее остальных. А значит, робот будет двигаться по указанным данным плавнее и чётче, что даёт возможность улучшенного управления.

### Энкодер угла

Чтобы поддерживать скорость вращения нагруженного привода постоянной, при переменных нагрузках, будет использован датчик угла поворота, также называемый энкодер угла — устройство, предназначенное для преобразования угла поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота (определять скорость вращения вала двигателя).

Энкодеры — преобразователи линейных или угловых перемещений — неотъемлемая часть любых технических устройств, имеющих дело с прецизионными перемещениями.

### Технологическая часть

После проектирования программно-аппаратного комплекса была проведена сборка автомобиля-робота (рисунки 3.1-3.9).



Рис. 3.1 — сборка автомобиля-робота



Рис. 3.2. — сборка автомобиля-робота



Рис. 3.3. — сборка автомобиля-робота



Рис. 3.4. — сборка автомобиля-робота

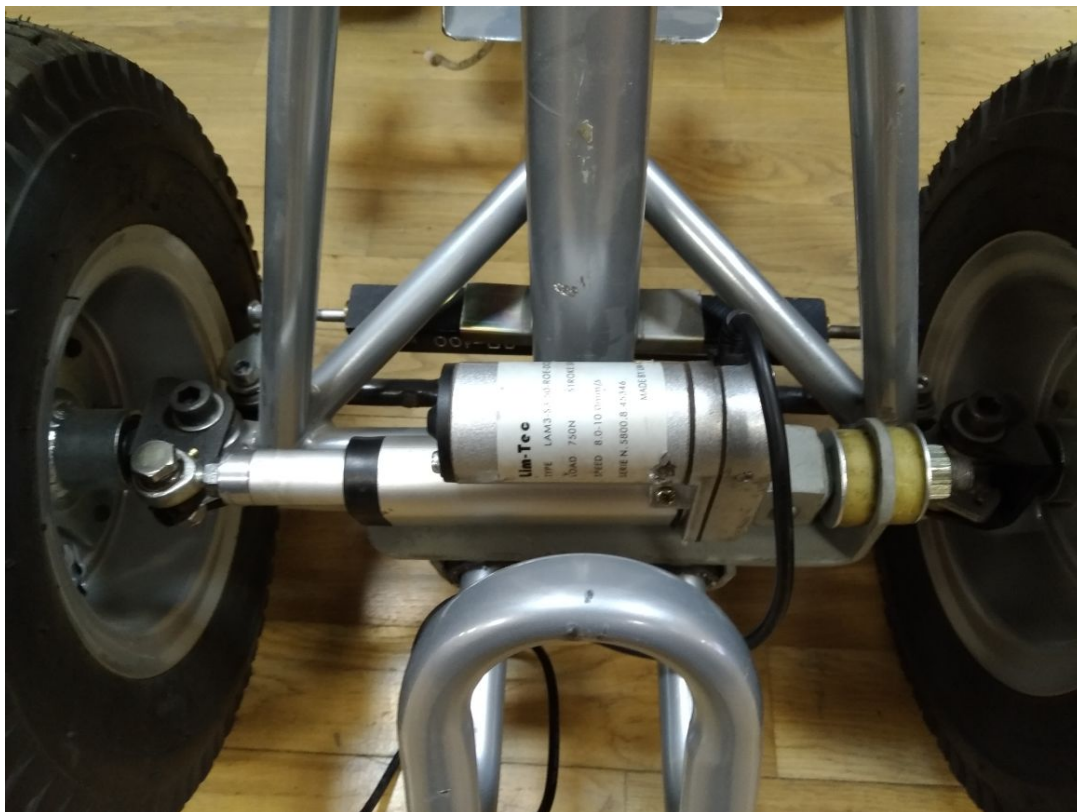


Рис. 3.5. — сборка автомобиля-робота



Рис. 3.6. — сборка автомобиля-робота

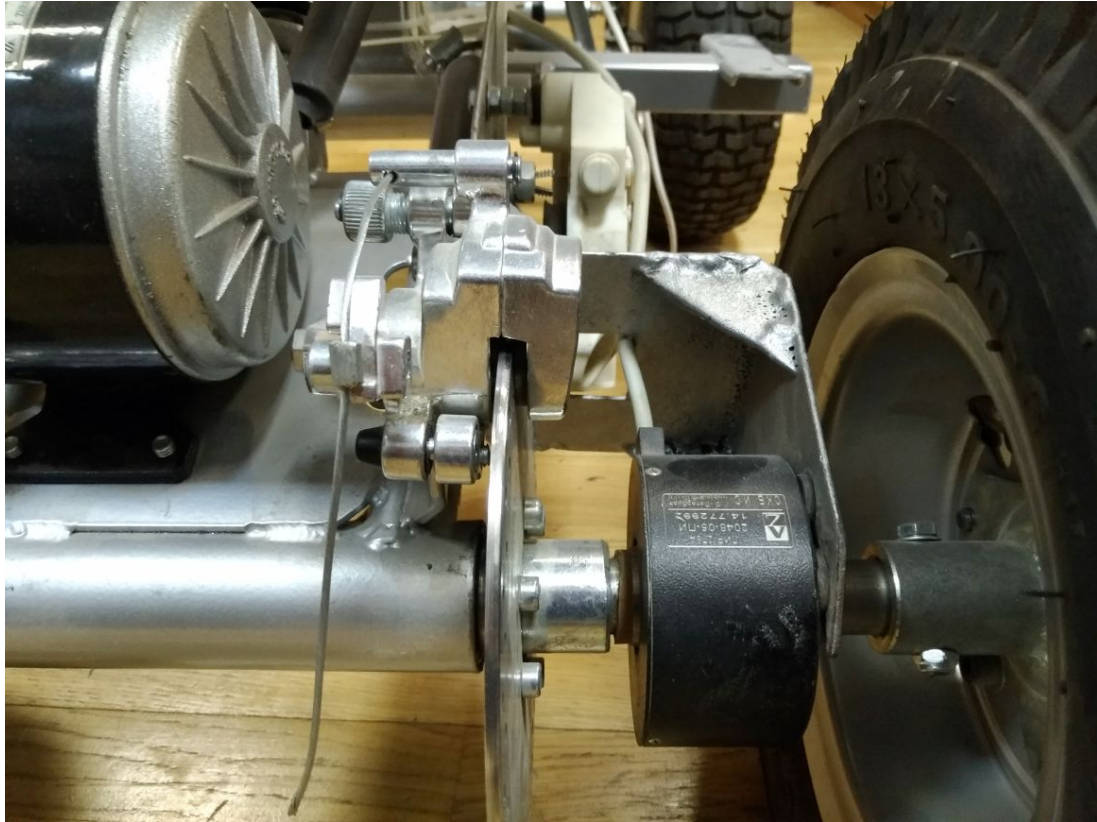


Рис. 3.7. — сборка автомобиля-робота



Рис. 3.8. — сборка автомобиля-робота

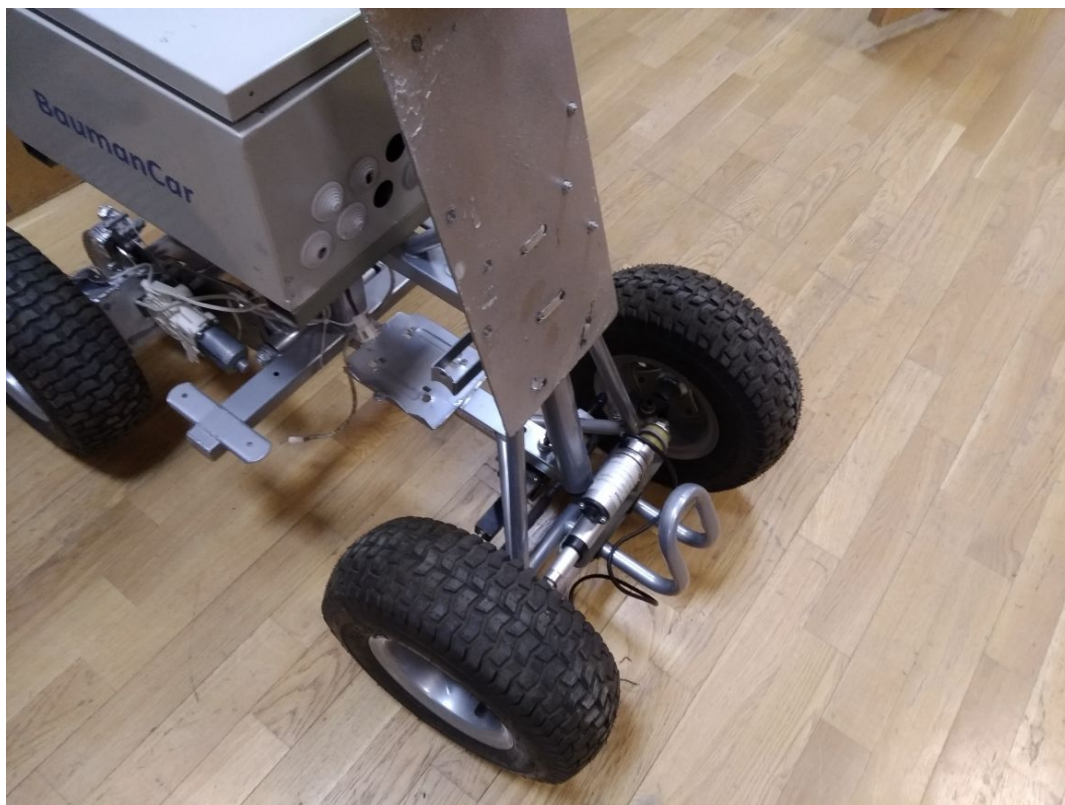


Рис. 3.9. — сборка автомобиля-робота

### **Заключение**

В результате проделанной работы разработана и реализована система управления контроллером нижнего уровня автомобиле робота с использованием Arduino UNO, а именно:

- проведен анализ предметной области;
- разработана принципиальная схема программно-аппаратного комплекса;
- составлен список необходимых компонентов;
- разработана электрическая схема соединений;
- собрана и отлажена схема на макетной плате;
- реализован алгоритм управления системой

Результат всех выполненных задач полностью удовлетворяет всем требованиям технического задания.

**Список источников**

[1] основной источник деталей для работа

<http://www.electricscooterparts.com/razordirtquad.html>

[2] контроллер нижнего уровня Pololu <https://www.pololu.com/product/2503>

[3] актуатор <http://www.saf-oil.ru/docs/saf-dp10-50-100.pdf>

[4] информация о Arduino <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino>

[5] информация о Arduino <https://www.arduino.cc/>

[6] информация о ПИД-регулятор <https://ru.wikipedia.org/wiki/ПИД-регулятор>

## **Приборный комплекс помощи слабовидящим для ориентирования внутри помещений.**

*Юсифов Александр Алиевич,*

*г. Москва, ГБОУ лицей №1793, 11 класс*

### **Цели и задачи**

#### **Постановка проблемы**

Наибольшее количество информации человек получает при помощи зрения. Человек с ограниченными зрительными способностями зачастую испытывает трудности в полноценном восприятии информации и ориентировании в пространстве, в том числе и в помещениях, где ситуация усложняется наличием разветвлённой системой помещений и присутствием всевозможных препятствий. В современном мире с развитием технологий появляется множество возможностей для помощи слабовидящим.

#### **Актуальность проекта**

Актуальность проекта определяется необходимостью создания доступного по комплектующим приборного комплекса, способного работать внутри помещений без использования спутниковых систем позиционирования (которые работоспособны лишь на открытом пространстве), что и является целью проекта.

Отличительной особенностью данного проекта является использование современных компьютерных технологий в виде современного устройства мобильной связи, возможности которого сравнимы с возможностями полноценного персонального компьютера и даже превосходят их.

#### **Анализ имеющихся технологий**

На сегодняшний день на рынке существуют технологические решения для помощи в ориентировании, но, к сожалению, они не лишены недостатков. Большинство таких систем требуют установки дорогостоящего оборудования иностранного производства, сложного в установке и настройке.

#### **Примеры**



- Разработка NICT и Fujitsu

<http://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2012/0702-02.html>

### **Разработка концепции проекта (определение задач)**

Для достижения цели было решено создать:

- 1) Мобильное приложение на портативное устройство связи мобильной на платформе Android (далее – «смартфон»), использующее магнитные и гравитационные сенсоры смартфона, а также обрабатывающее карту и посылающее команды по каналу Bluetooth.
- 2) Сопровождающий приборный комплекс-приставку на базе доступной платформы Arduino, обладающую автономным питанием, принимающую команды от приложения, использующую ультразвуковой датчик расстояния и вибромоторы для тактильной отдачи.

### **Разработка проекта**

#### **Определение доступных ресурсов**

В качестве аппаратной основы приставки был выбран контроллер Arduino Uno rev3. Данное решение удовлетворяет заданным требованиям:

- 1) Способно работать с различными устройствами ввода и вывода (как аналоговыми (например, датчик расстояния), так и цифровыми (Bluetooth модуль).
- 2) Простота в подключении и программировании, что облегчает сборку и тестирование.
- 3) Доступность.

Имея в свободном доступе смартфон под управлением ОС Android, было решено разработать приложение именно под данную платформу, которая в свою очередь является одной из самых распространённых операционных систем для носимых устройств, а также выделяется наличием множества инструментов для

разработки и отладки стороннего программного обеспечения. Язык программирования на выбранной платформе – Java, среда разработки (IDE) – Android Studio для MS Windows.

### **Разработка мобильного приложения**

#### Общая информация

- Платформа – ОС Android от Google.inc
- Язык программирования – Java 8
- Требуемая версия системы – 5.0 и выше (поддерживаются практически все актуальные устройства на данной платформе)
- Среда программирования – Android Studio 2.2.0 от JetBrains

#### Базовая функциональность

- Определение направления движения, регистрация поворотов
- Определение пройденного расстояния (режим шагомера)
- Обработка плана здания, прокладка маршрута
- Поддержка голосового ввода

### **Разработка и написание алгоритма**

Основой алгоритм состоит из двух подпрограмм и потока Bluetooth соединения.

**Первая подпрограмма** (реализована в классе MainActivity) выполняет обновление интерфейса и локальных переменных, исходя из данных с сенсоров смартфона. Выполняет переопределение методов встроенного в фреймворк класса `SensorListener()`, суперклассом которого в свою очередь является поток (`Thread`). Переопределяемый метод `onSensorChanged()` вызывается каждый раз, когда показания сенсоров изменяются, новые значения передаются в качестве параметров и обрабатываются - из массива полученных данных выделяются необходимые, происходит обновление интерфейса и передача данных другой подпрограмме.

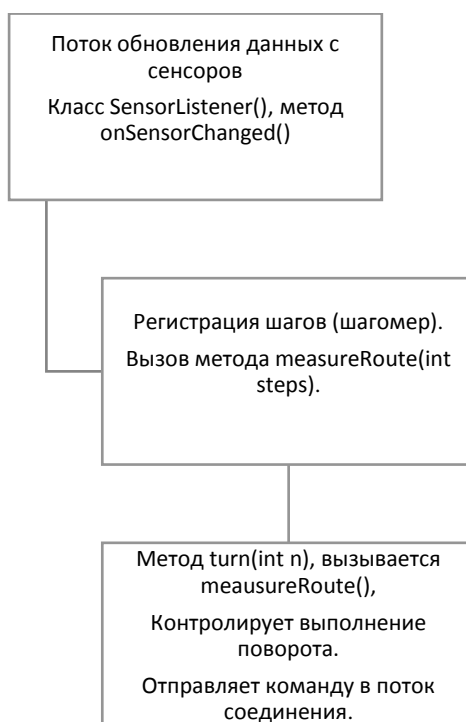
В алгоритме учитываются данные только с двух сенсоров устройства:

- Ориентометр – виртуальный сенсор, основывающийся на данных с физического сенсора магнитометра, возвращает отклонение от севера в

градусах (азимут). Данные округляются, приводятся к целочисленному типу `int`. Используются для определения направления движения и регистрации поворотов.

- Шагомер – виртуальный сенсор, использующий данные с акселерометра, по моментальному ускорению считает и возвращает количество шагов за сессию.

*Схема первой подпрограммы*

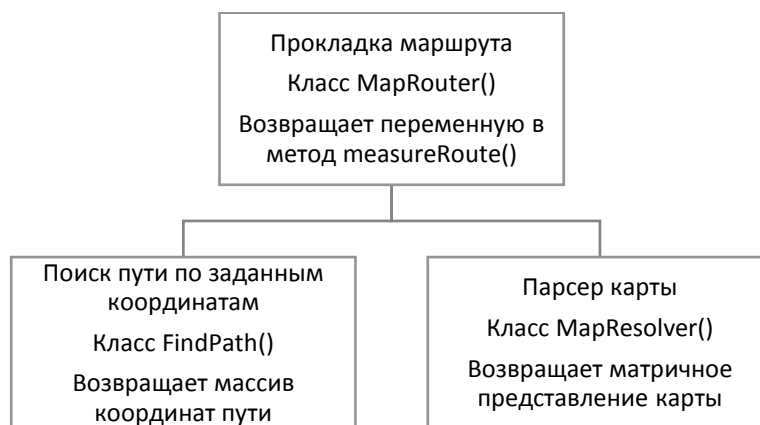


**Вторая подпрограмма** состоит из трёх классов:

- `MapResolver()` – выполняет парсинг карты, хранящейся в памяти устройства в формате JSON в матричный массив. Формат JSON был выбран, так как он удобен для редактирования, и в Java существуют встроенные классы и методы для взаимодействия с данным форматом. Класс возвращает динамический целочисленный матричный массив, в котором предусмотрены следующие обозначения:
  - «-1» – стена/препятствие
  - «0» - свободное пространство

- «1 и более» - номера кабинетов/входы/выходы (словарь обозначений можно определить произвольно).
- FindPath() – получает на вход матричный массив-карту, координаты начала и конца, заданные пользователем и приведённые в соответствие со словарём обозначений. Далее при помощи реализации алгоритма Ли<sup>1</sup>, программа создаёт массив координат, который передаётся в корневой класс MapRouter().
- MapRouter() – создаёт экземпляры классов FindPath() и MapResolver(), оперирует полученным от FindPath() маршрутом. Получая данные от шагомера, просчитывает следующий шаг. Возвращает управляющую переменную, указывающую на необходимость поворота.

*Схема второй подпрограммы*



**Поток Bluetooth соединения** (ConnectThread) объявляется в классе MainActivity. Используется для передачи команд подключённому Bluetooth адаптеру приставки.

Встроенный класс BtAdapter() осуществляет подключение к устройству по MAC адресу. В ConnectThread передаётся указатель на существующее подключение (btSocket).

*Полная диаграмма классов и методов в приложении №1*

**Алгоритм волновой трассировки (волновой алгоритм, алгоритм Ли)** — алгоритм поиска пути, алгоритм поиска кратчайшего пути на планарном графе. Принадлежит к алгоритмам, основанным на методах поиска в ширину.

*Подробнее в Приложении №2.*

### **Организация интерфейса со специальными методами взаимодействия**

Внешний интерфейс представлен двумя экранами (Activity – MainActivity.java, SettingsActivity.java). Первый экран – основной, содержит элементы визуализации, основывающиеся на обработанных данных с сенсоров, а также элементы управления (переход в настройки, управление подключением, элементы для тестирования).

Второй экран – экран настроек, позволяет устанавливать различные параметры, такие как MAC-адрес подключаемой приставки, путь к файлу карты и т.д. Все настройки могут установлены единожды и автоматически сохранены, исключая необходимость настройки при каждом запуске программы.

Для взаимодействия со слабовидящими людьми был внедрён звуковой ввод от Google. При длительном нажатии на экран активируется режим захвата речи. Речь обрабатывается удалёнными серверами, и устройство получает результат преобразования. После получения координат режим навигации активируется автоматически.

Также для облегчения взаимодействия был добавлен Android TTS – API для машинного озвучивания текста. При наличии необходимых устанавливаемых пакетов на устройстве, будет происходить дополнительное голосовое оповещение.

*Скриншоты в Приложении №4*

### **Возникшие проблемы и их решение**

- При написании алгоритма встал вопрос об алгоритме поиска пути в матричном массиве – была найдена и применена необходимая информация для изучения и применения Алгоритма Ли.
- Изначально для определения пройденного пути использовался метод интегрирования моментального ускорения, но из-за неточных показаний сенсора от него пришлось отказаться в пользу шагомера, точность которого выше, за счёт применения различных программных фильтров, но в данном конкретном случае оставляет желать лучшего, ввиду несовершенности датчиков в используемом при тестировании

смартфоне (сбитая заводская калибровка, несовершенство микропрограммы, устаревание)

### Разработка приставки

#### Определение компонентов

После определения требований к устройству начался подбор компонентов, удовлетворяющих данным требованиям.

- В качестве контроллера был выбран доступный модуль **Arduino Uno r3**, основанный на микропроцессоре ATmega 328P с частотой 16 МГц. Данный модуль поддерживает как аналоговое подключение, так и цифровое, а также поддерживает передачу данных через Serial порт. Обладает достаточным объемом памяти для хранения необходимого алгоритма.
- В качестве датчика расстояния предполагалось использовать инфракрасный датчик расстояния, но после дальнейшего анализа был установлен более доступный **ультразвуковой аналог (US-015)**, так как противопоказаний к использованию внутри помещений не обнаружилось (количество звукопоглощающих поверхностей незначительно). Датчик способен точно измерять расстояние до 2,5 м. Рассеивание ультразвукового импульса незначительно.
- Для связи с устройством был выбран адаптированный для Arduino **Bluetooth модуль/адаптер BL-06** подключаемый через Serial port. Работает в стандартном режиме на стандартных частотах, что делает возможным установление связи практически с любым устройством под управлением Android.
- Для тактильной отдачи независимо подключаются два вибромотора 5В.
- Выключатель, гальванический элемент питания 9В, корпус.

#### Сборка прототипа и программирование

После приобретения всех указанных компонентов была произведена сборка в едином корпусе включающая следующие этапы:

- Предварительная сборка цепей, проверка работоспособности.
- Продумка расположения элементов, установка деталей в корпус, укрепление конструкции, пропайка соединений.
- Программирование контроллера.
- Установка связи – тестирование.

Программа для Arduino пишется в среде Arduino IDE на упрощённой версии языка C++. Выполнение кода контроллером носит циклический характер, то есть код выполняется циклически в течение всего времени работы контроллера. В базовом методе `setup()` производится инициализация необходимых пинов (портов подключения) и Serial порта.

В базовом методе `loop()` происходят проверки на наличие входящих команд из Serial порта. При наличии таковых, подаётся питание на вибромоторы (функция `digitalWrite()`). Заданное время вибрации – 1сек. У вибромоторов есть три режима работы. «Только правый» - оповещает о необходимости поворота направо. «Только левый» - оповещает о повороте налево. «Оба вместе» - сообщают о том, что впереди препятствие.

Наличие препятствия определяется по дальномеру, работающему в импульсном режиме (частота обновления 1сек). Программно датчик расстояния управляется с помощью библиотеки `Ultrasonic.h`. Функция `Ultrasonic.distanceRead()` возвращает расстояния до объекта в сантиметрах. Тактильная отдача осуществляется при расстоянии меньше 70см.

### **Возникшие проблемы и их решение**

- Первоначально встал вопрос об корпусе для устройства, он должен быть удобен для ношения и вмещать в себя все элементы, для создания 3d модели не хватает компьютерных ресурсов – был переделан корпус старого игрового контроллера, используется как временный корпус для прототипа.
- В процессе тестирования обнаружился недостаток – 1 секундная задержка обновления ощутимо велика. Решение – уменьшение задержки обновления до 0.5 сек.

## Тестирование

После сборки было произведено комплексное тестирование всех функций устройства. Код мобильного приложения тестировался встроенными средствами среды разработки путём перебора различных входных параметров. Практически все найденные недочёты алгоритма поиска пути и обработки карты были исправлены.

Для тестирования на практике была написана тестовая карта, по которой проверялась работоспособность алгоритма, правильность выбора маршрута и работа указателей поворота.

При тестировании соединения с приставкой проверялась быстрота подключения, скорость и достоверность передачи. В результате данного этапа тестирования проблем не обнаружено. Смартфон без проблем обнаруживает модуль приставки и подключается к нему. Передача данных происходит без потерь и задержек.

Тестирование обнаружения препятствий проходило в условиях школы. Получены положительные отзывы от участников тестирования (детей с ограничениями по зрению). В результате тестирования было выявлено всего два существенных недостатка:

- Неточность шагомера (причина описывалась ранее).
- Большая задержка дальномера – исправлено небольшим совершенствованием алгоритма.

## Результаты

### Области применения

По результатам практического тестирования, область применения устройства оказалось более широкой, чем ожидалось. Прибор может функционировать как внутри помещений, так и снаружи. Благодаря автономной структуре приставки, она способна функционировать без участия смартфона в режиме ограниченной функциональности и выполнять функцию упреждения столкновений.



### **Возможности по доработке**

- Планируется создать 3d модель корпуса и дальнейшая распечатка на 3d принтере.
- Планируется усовершенствование цепи питания – установка перезаряжаемого элемента питания и контроллера заряда.
- Возможно создание базы карт и инструментов, для их автоматического создания.
- Возможна интеграция со системами геопозиционирования для автоматического выбора и загрузки карты.
- Возможно использование сетевых технологий для ускорения проложения маршрута с применением алгоритма машинного обучения.

### **Выводы**

- В результате был создан эффективный приборный комплекс, доступный по комплектующим и сочетающий в себе технологии конструирования на базе современной платформы Arduino и технологии объектно-ориентированного программирования под современные смартфоны.
- Получены навыки работы с Arduino.
- Получены навыки обработки информации с датчиков и создания алгоритмов управления ими. Изучена информация об алгоритме волнового поиска пути. Создана реализация алгоритма для работы с матричным массивом.

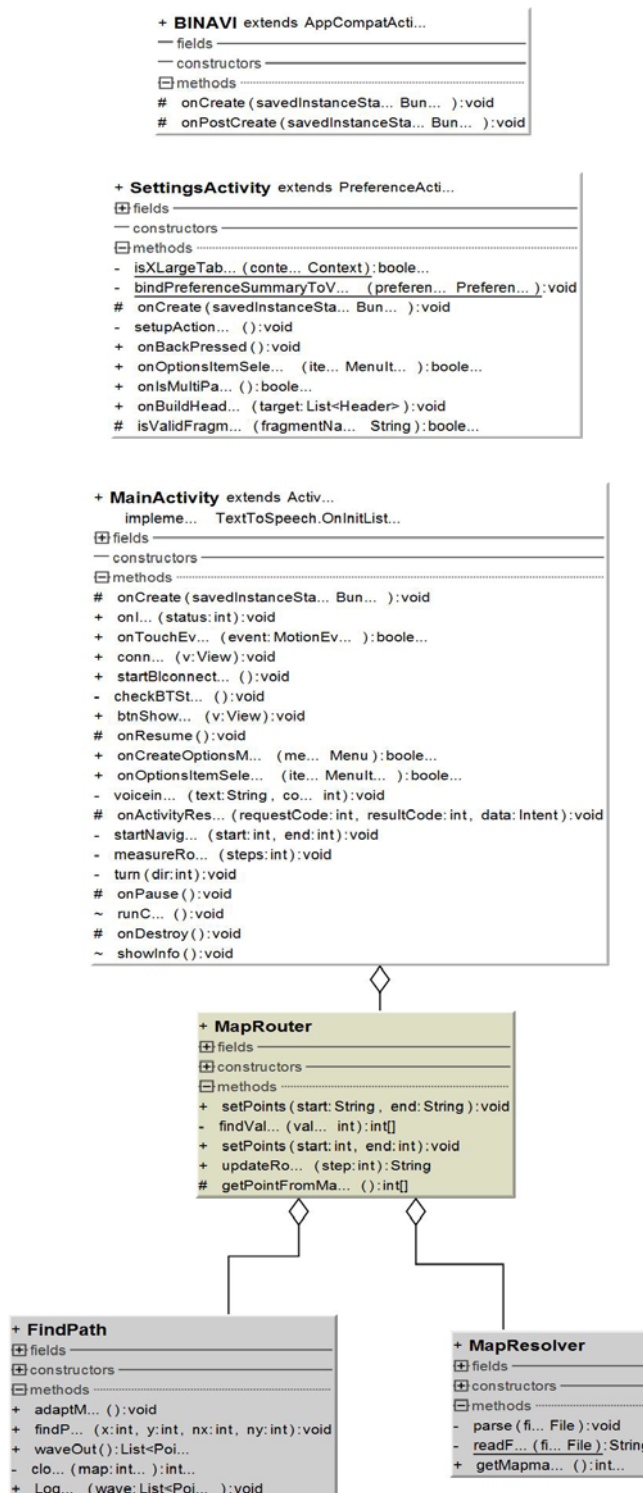
### **Список литературы**

- [1] Start Android - учебник по Android для начинающих и продвинутых. <http://startandroid.ru/ru/>
- [2] Android Developer – Android SDK Documentation Library. <https://developer.android.com/index.html> Уроки по Arduino. <http://wiki.iarduino.ru/>
- [3] Герберт Шилдт С++: базовый курс, 3-е издание 2012

[4] Уроки по Android от Александра Климова. <http://developer.alexanderklimov.ru/android/>

[5] Реализация Алгоритма Ли <https://habrahabr.ru/post/264189/>

### Приложение №1 Диаграмма классов и методов.



## **Приложение №2 «Алгоритм Ли. Принцип работы»**

**Алгоритм волновой трассировки** (волновой алгоритм, алгоритм Ли) — алгоритм поиска пути, алгоритм поиска кратчайшего пути на планарном графе.

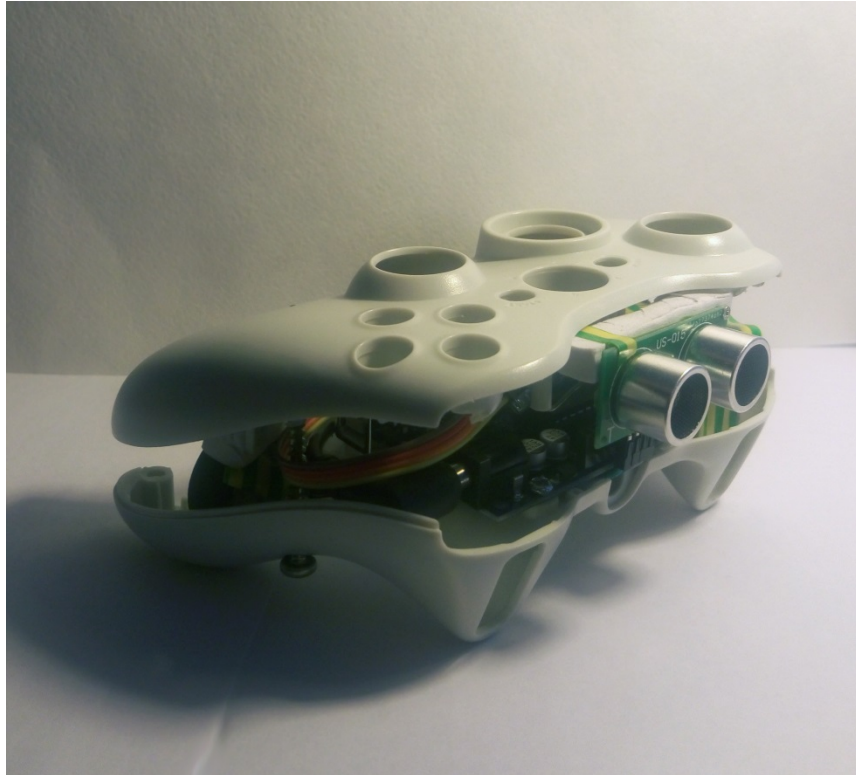
Принадлежит к алгоритмам, основанным на методах поиска в ширину.

В основном используется при компьютерной трассировке (разводке) печатных плат, соединительных проводников на поверхности микросхем. Другое применение волнового алгоритма — поиск кратчайшего расстояния на карте в компьютерных стратегических играх.

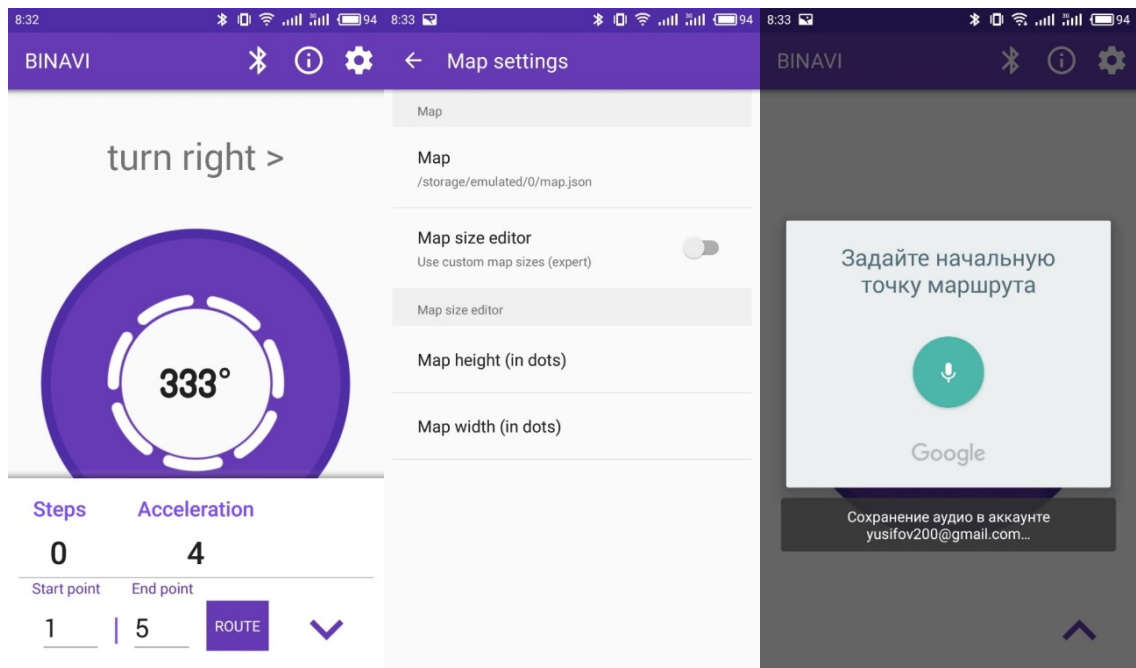
Принцип работы состоит из трёх этапов

- Инициализация
  - Ввод конечных и начальных точек
  - Проверка введенных точек на соответствие свободным полям
- Пуск волны
  - В каждой волне отмечаются индексом (номером волны по счёту, первый шаг – волна номер 1) все соседние свободные точки (по вертикали, по горизонтали), не отмеченные ранее. Если на каком-то этапе достигнута точка финиша, распространение волны прекращается. В противном случае путь не найден.
- Проложение пути
  - После того, как конечная точка отмечена, путь собирается в обратном порядке, начиная с конца, по ближайшим соседним ячейкам, причём индекс каждой новой ровно на 1 единицу меньше предыдущей. Так находится кратчайшее расстояние.

### Приложение №3 «Фото прототипа приставки»



### Приложение №4 «Скриншоты мобильного приложения»



## **СЕКЦИЯ IV. Системы безопасности**

### **Нанесение меток на технические устройства**

*Егоров Петр Константинович,*

*г. Москва, Школа №218, 11 класс*

*Научный руководитель: Троицкий Игорь Иванович,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н, доц. каф ИУ8*

#### **Введение**

Одни из первых меток, в нынешнем понимании этого слова, появились с введением в обращение бумажных ассигнаций. И сразу “народные умельцы” наводнили мир подделками. Правительства поняли необходимость защиты купюр – так появились водяные знаки.

Совершенствование технологий, достижения науки и техники в областях физики, химии и математики, развитие военного комплекса, потребность в слежении в рамках антитеррористических мероприятий и многие другие факторы привели к необходимости создания новых способов защиты не только денежных знаков, но и технических устройств.

#### **Цель работы**

Цель – выявить индивидуальные характеристики основных видов меток и оценить их, что позволит в дальнейшем выбрать оптимальную пару меток для нанесения на устройство. (Более продуктивным вариантом будет защита изделия двумя метками, нежели одной. При подделке одной из меток, оригинальное устройство определяется по второй).

Данное исследование актуально из-за учащения проблем с идентификацией продукции.

В работе предоставлена программа, которая определяет оптимальную пару меток по их совокупным признакам.

## Глава 1

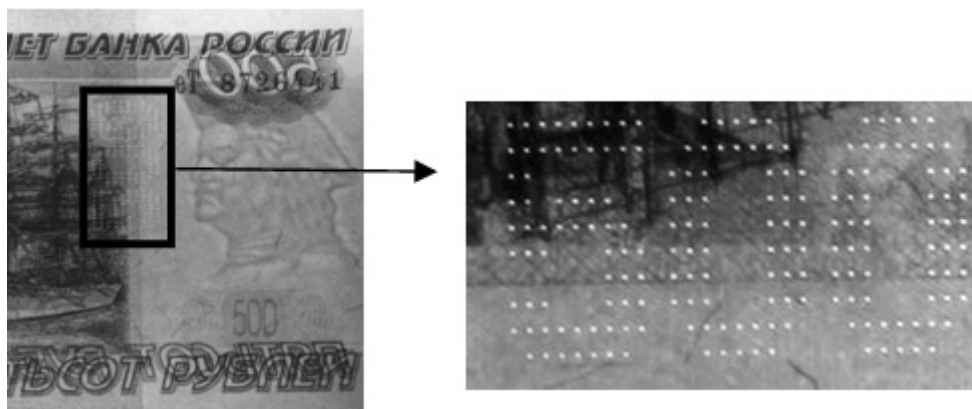
### 1.1. Классификация

**Метки** – это отличительный знак, помогающий определить подлинность данного предмета, идентифицировать его среди множества ему подобных.

**По способу считывания информации** метки делятся на:

- Человекочитаемые
- Машиночитаемые

**Человекочитаемые метки** – это метки, для обнаружения которых достаточно органов чувств и внимательности. Для выявления таких меток человеку не нужна помощь дополнительного технологического оборудования.



*Микропечать и микроперфорация – микро-рисунок, сделанный лазером (аккуратные ровные точки, углы и линии), хорошо различимый на просвет при дневном свете.*

**Машиночитаемые метки** – это метки, для обнаружения которых человеку необходимо специальное оборудование.



*Ультрафиолетовые метки – специальные люминесцентные волокна, которые ярко светятся под облучением ультрафиолетового освещения.*

## **1.2. Как выглядят метки на чертежах**

Указание на чертежах о маркировании и клеймлении изделий (ЕСКД ГОСТ 2.314-68)

Настоящий стандарт устанавливает правила нанесения на чертежи указаний о клеймении изделий всех отраслей промышленности.

Указания о клеймении помещают в технических требованиях чертежа и начинают словами: «Маркировать...» или «Клеймить...».

Указания о клеймении на чертежах помещают только в случае, если на изделии необходимо выделить определенное место клеймения определенного размера и способ нанесения клейма.

Место нанесения метки на изображении изделия отмечают точкой и соединяют ее линией-выноской со знаками маркирования или клеймения, которые располагают вне изображения. Знак клеймения – равносторонний треугольник высотой 10...15мм (рис.1). Знак маркирования – окружность диаметром 10...15мм (рис.2),

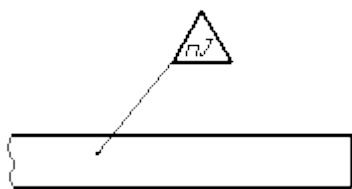


Рисунок 1 – Указание места нанесения клейма

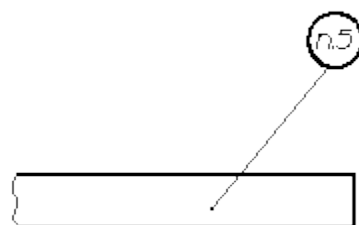


Рисунок 2 – Указание места нанесения маркировки

Внутри знака помещают номер соответствующего пункта технических требований, в котором приведены указания о маркировании и клеймении.

Знаки маркирования и клеймения выполняют сплошными основными линиями.

Если маркированию или клеймению подлежат определенные части изделия (головка болта, торец вала и т. п.), то знаки клеймения на чертеж не наносят, а место нанесения клейма указывают в технических требованиях.

Если указания о клеймении в технических условиях на изделие, то на чертеже изделия делают следующую запись: «Маркировать по ТУ...».

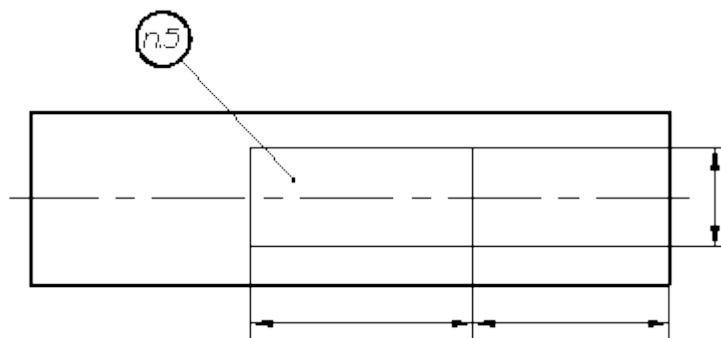


Рисунок 3 – Указание ограниченного участка поверхности для нанесения маркировки или клейма

Если маркировка и клеймо необходимы, но нанесение их на изделие нецелесообразно или невозможно по конструктивным соображениям, то в технических требованиях помещают соответствующее указание, например: «Маркировать... на бирке» или «Клеймить... на бирке».

При необходимости ограничить участок поверхности для нанесения маркировки или клейма наносят сплошной тонкой линией границы участка и указывают его размеры(рис.3) или изображают маркировку, или клеймо, наносимые на изделие.

Указания о маркировании и клеймении должны определять:

- а) содержание маркировки и клейма;
- б) место нанесения;
- в) способ нанесения (при необходимости);
- г) размер

Содержание маркировки	Обозначение
Товарный знак, наименование предприятия-изготовителя	Т
Индекс изделия	Ш
Обозначение изделия по основному конструкторскому документу	Ч
Заводской номер изделия*	Н
Марка материала	М
Номер плавки, порядковый номер в плавке	П
Технические данные	Х
Группа селективности	С
Знаки полярности, направления вращения, направления потока среды и др. данные, необходимые для монтажа	З
Дата изготовления	Д
Цена изделия	Ц



### **1.3. Основные типы меток и считыватели**

В работе рассмотрены следующие типы меток:

#### **Клейма на основе трудно смываемых красок**

Рассмотрим метку на примере маркировки мясных изделий.

Клеймо наносят на мясо в тушах, полутушах или четвертинах, а также на куски шпика после осмотра их ветеринарными специалистами. Клеймо одновременно обозначает упитанность и доброкачественность туш. Действующие клейма (рис. 1) содержат сокращенное наименование республики, номер предприятия и слово «ветосмотр».

Для клеймения используют безвредную фиолетовую или красную краску определенного состава. Фиолетовой краской клеймят говядину, баранину и свинину, направляемые в реализацию, для хранения и отгрузки. Красная краска применяется для клеймения говядины, баранины и свинины, используемых на месте для производства колбас, консервов, полуфабрикатов и других изделий. Козье и конское мясо во всех случаях клеймят красной краской.

*Круглую печать* ставят на мясо всех видов I категории упитанности, а также на свинину V категории.

*Квадратную печать* ставят на мясо всех видов II категории упитанности.

*Треугольную печать* ставят на тощее мясо всех видов и свинину IV категории упитанности.

*Печать ромбовидной формы* ставят на мясо хряков, а также на свинину, не соответствующую требованиям по показателям категории качества, используемую для промышленной переработки на пищевые цели.

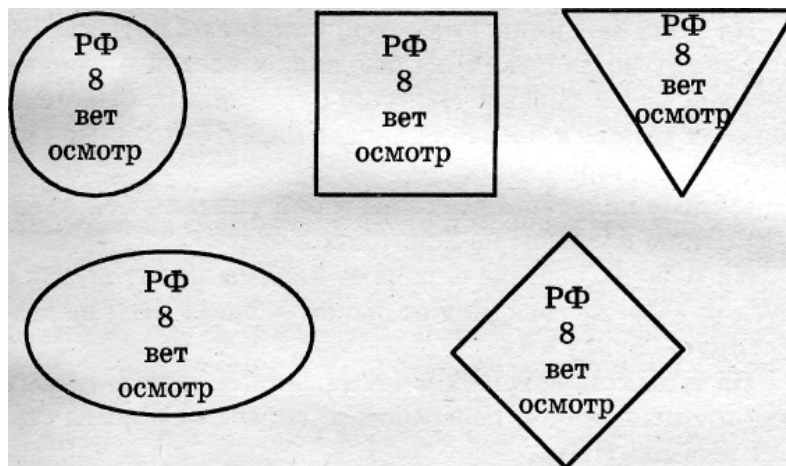


Рисунок 4 – Виды клейм категорий упитанности мяса: 1 - круглое; 2 - квадратное; 3 - овальное; 4 - треугольное; 5 - ромбовидное

Количество клейм и места их наложения на туше зависят от вида мяса и упитанности.

В Европе категории упитанности обозначаются буквами E, U, R, O, P.

К клеммам на несмываемой краске также относятся печати, например, на документах или медицинских справках.

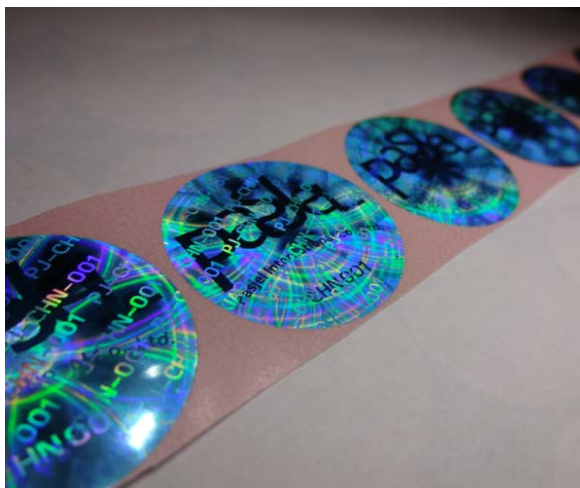


### Голографическая

Защитная голографическая метка выполнена в виде подслоя с покрытием из пластичного материала, на котором сформирован голографический рельеф с изменяющейся от вершины к основанию шириной рельефных полос. Рельефная полоса может иметь ширину вершины, большую, чем ширина основания. Ширина рельефной полосы может быть также выполнена изменяющейся периодически от вершины к основанию, в этом случае покрытие из пластичного материала

предпочтительно выполнить многослойным, а материалы слоев - с различными температурами размягчения.

Техническая задача изобретения - создание защитной голографической метки с повышенной защищенностью от прямого копирования. Главное преимущество – низкая цена, главный недостаток – непрочность.



### **Эффект Мессбауэра**

Мёссбауэровская или гамма-резонансная спектроскопия широко применяется в физических, химических и биологических исследованиях. Как правило, главным объектом исследования являются железосодержащие протеины с естественным изотопом, замещенным  $^{57}\text{Fe}$ . Техника мёссбауэровского мечения значительно расширяет области применения гамма-резонансной спектроскопии. Внедрение мёссбауэровских атомов в биологические структуры посредством химических реакций или биосинтеза с последующим исследованием гамма-спектра позволяет исследовать микроструктуру и динамические изменения исследуемого объекта.

Конечно, метод мёссбауэровской спектроскопии не столь широко применяется в химических исследованиях, как, например, известные методы инфракрасной и масс-спектроскопии. Это связано как с малой доступностью и сложностью оборудования, так и с ограниченностью круга объектов и решаемых задач. Ведь сам эффект наблюдается на ядрах далеко не любых элементов и изотопов. Однако, по сравнению с другими методами мёссбауэровская спектроскопия в исследованиях

при высоких давлениях отличается большей чувствительностью к изменениям энергии. [4]

### **Радионуклидная**

Йод ( $^{125}\text{I}$ ),  $T = 60$  дн. и другие радионуклиды являются источниками чистого  $\gamma$ -излучения. Из-за большого периода полураспада частиц, метка применяется для метки гормонов, определяемых в сыворотке крови больного.

Также используется для клеймения оружия и изделий в целях их защиты.

Для обнаружения используются специальные датчики. Однако Приборы имеют удобный интерфейс и не требуют от пользователя специальных технических навыков. Компактный размер, высокая чувствительность, удобный интерфейс делают приборы удобными даже в ежедневном использовании. Отличительными особенностями самых распространенных датчиков являются:

- Возможность идентификации радионуклидов без внешнего ПК
- Возможность передавать данные по Bluetooth (Android и iOS)
- Возможность привязки измерений к GPS координатам

Основным преимуществом нового прибора РМ1704А является то, что с его помощью пользователь может осуществить экспресс-анализ обнаруженного радионуклида. Приборы серии РМ1704А очень компактные и легкие, они способны не только обнаружить источник излучения, но и идентифицировать вещество, измерить мощность дозы и накопленную дозу.



### **Штрихкод**

Штриховой код — графическая информация, наносимая на поверхность, маркировку или упаковку изделий, представляющая возможность считывания её

техническими средствами — последовательность чёрных и белых полос разной ширины либо других геометрических фигур.

В нашей стране самыми распространенными штриховыми кодами являются EAN-13 из 13 цифр и EAN-8 из 8 цифр. (рис.2)

Код страны местонахождения банка данных о штрихкоде указывается двумя или тремя цифрами.



Рисунок 5 – EAN-13 и EAN-8

Цифры на коде:

- код страны местонахождения банка данных о штрих-коде;
- код изготовителя;
- код товара;
- контрольное число.

### **Принцип штрихового кодирования**

**Принцип штрихового кодирования** — кодирование алфавитно-цифровых символов в виде чередования черных и светлых полос различной ширины (штрихов и пробелов), считывание с помощью сканирующего устройства, которое расшифровывает коды и передает информацию на ЭВМ. ШК — одно из наиболее распространенных средств автоматической идентификации. Расшифровка кодов осуществляется сканирующими устройствами. Коды Европейской ассоциации товарной нумерации (EAN) состоят из 13 цифр (иногда — из 8 для малых размеров упаковки).

**Первые 2 (3) цифры** означают код страны-изготовителя (Великобритания — 50, Испания — 84, Германия — 400-440, Россия — 460-469, Китай — 690, Беларусь — 481).

**Следующие пять цифр (3-5 или 3-7)** - код предприятия-изготовителя присваивает централизованно национальный орган страны конкретной организации-изготовителю.

**Следующие пять (6-7 или 8-12)** - код товара, присваивается организацией-изготовителем или продавцом самостоятельно в виде регистрационного номера в пределах своего предприятия. В этих цифрах изготовитель может закодировать необходимые для идентификации данные: наименование, сорт, артикул, цвет, массу, размер и др.

**Последняя цифра** — контрольная, предназначенная для считывания штрих-кода сканером по алгоритму EAN. Контрольное число находят путем определенной последовательности арифметических действий.

За единицу ширины штриха принимается модуль — самый узкий штрих или пробел шириной 0,33 мм. Каждая цифра кодируется семью модулями,

которые сгруппированы в два штриха и два пробела. Например, цифра 4 представлена как 1011100. Ширина штрихов и пробелов — от одного до трех модулей.

Информацию о коде несут также ширина штрихов, пробелов и их сочетание. Номинальный размер символа EAN-13 от первого до последнего штриха — 31,35 мм. Вокруг кода должно быть пустое пространство, так что номинальная ширина составляет 37,29 мм. В начале и конце ШК помещены удлиненные краевые штрихи, указывающие на начало и конец сканирования.

### **Функции штрих-кода**

Штрих-код в отличие от многих информационных знаков выполняет не только общие функции информационного и идентифицирующего характера, но и **ряд дополнительных функций**:

- автоматизированная идентификация товаров с помощью считывающих устройств;
- автоматизированный контроль и учет товарных запасов;
- оперативное управление процессом товародвижения: отгрузкой, транспортировкой и складированием товаров;
- повышение скорости и культуры обслуживания покупателей;
- информационное обеспечение маркетинговых исследований.

## **RFID**

**RFID метка** - метка радиочастотной идентификации. Она состоит из интегральной схемы (чип), отвечающей за обработку и хранение информации, и антенны, которая принимает и передает сигнал.

RFID — это технология идентификации, предоставляющая больше возможностей по сравнению с традиционными системами маркировки. Наиболее распространенные RFID-метки, как и многие штрих-коды, представляют собой самоклеящиеся этикетки. Но если на штрих-коде информация хранится в графическом виде, то на метку данные заносятся и считываются при помощи радиоволн. [1]

### **Преимущества радиочастотной идентификации**

- небольшая стоимость чипа (наклейки) для занесения/считывания информации
- большая дальность распознавания метки
- отлично подходит для операций сборки и доставки
- Высокоскоростная передача данных между чипом и сканером при считывании информации
- Сервис и техническая поддержка по всему миру

### **Недостатки:**

- малый объем памяти (192 б)
- медленная передача данных между чипом и сканером при записи информации

- Большое минимальное расстояние между расположением двух меток

Одной из главных особенностей RFID-метки является тип памяти EEPROM (англ. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory - Электрически стираемая программируемая память). Это означает, что информацию на чипе можно перезаписывать неограниченное количество раз.

### **Где это применяются**

**Сфера применения RFID** постоянно расширяется. Технология востребована в тех отраслях, где требуется контроль перемещения объектов в реальном времени, интеллектуальные решения автоматизации, способность работать в суровых условиях эксплуатации, безошибочность, скорость и надежность. Ежедневно появляются сообщения о новых способах применения технологии.

**В библиотеке** RFID помогает найти в хранилище и выдать на руки читателю книги, предотвратить хищение. Исчезают очереди на выдаче. Сокращается время подбора и поиска нужного издания, упрощается инвентаризация.

**На складе** с помощью RFID в реальном времени отслеживается перемещение товаров, ускоряются процессы приема и отгрузки, повышается надежность и прозрачность операций и снижается влияние человеческого фактора.

**На производстве** с помощью RFID ведется учет сырья, контролируются технологические операции и качество продукта. Продукция получает своеобразный «электронный паспорт», что упрощает предоставление гарантии на продукцию.

В индустрии **потребительских товаров** и **розничных продаж** RFID-системы отслеживают товар на этапах цепи поставки, от производителя до прилавка. Товар вовремя выставляется на полку, не залеживается на складе и отправляется в те магазины, где на него высокий спрос.

RFID-метки применяются в маркировке шуб и других меховых изделий. Каждое изделие маркируется Контрольным (идентификационным) знаком (КиЗ) со встроенной в него RFID-меткой.



Кроме данных способов применения RFID, которые постоянно совершенствуются, существует множество областей, готовых принять технологию. Потенциал применения RFID огромен.

### **Компоненты RFID-системы**

- RFID-метки — устройства, способные хранить и передавать данные. В памяти меток содержится уникальный идентификационный код.
- **RFID-считыватели** — приборы, которые читают информацию с меток и записывают в них данные. Эти устройства подключаются к учетной системе, и работают автономно.
- Учетная система — программное обеспечение, которое накапливает и анализирует полученную с меток информацию и связывает все элементы в единую систему. Современные учетные системы (программы семейства 1С, корпоративные информационные системы — MS Ахарта, R3Com) совместимы с RFID-технологией и не требуют специальной доработки.



### **Какие бывают RFID-метки**

Технология RFID востребована во многих областях. Чтобы системы, основанные на технологии RFID, работали в любой среде, была разработана целая линейка RFID-меток. Условно RFID-метки делятся по следующим признакам:

#### **1. По типу питания:**

- Активные — используют для передачи данных энергию встроенного элемента питания (зона чтения до 100 метров);
- Пассивные — используют энергию, излучаемую считывателем (дальность до 8 метров).

#### **2. По видам памяти:**

- "RO" (Read Only) — данные записываются только один раз, сразу при изготовлении. Такие метки пригодны только для идентификации. Никакую новую информацию в них записать нельзя, и их невозможно подделать;
- "WORM" (Write Once Read Many) — кроме уникального идентификатора такие метки содержат блок однократно записываемой памяти, которую можно многократно считывать;
- "RW" (Read and Write) — такие метки содержат идентификатор и блок памяти для чтения/записи информации. Данные в них могут перезаписываться.

3. По исполнению (определяется целями и условиями использования RFID-меток):

- Самоклеящиеся бумажные или лавсановые метки;
- Стандартные пластиковые карты;
- Дисковые метки (в том числе с центральным отверстием для закрепления);
- Брелоки;
- Специальное исполнение для жестких условий эксплуатации.

Такое многообразие позволяет подобрать RFID-метки для любой задачи, в зависимости от нужд заказчика.

### Какие бывают RFID-считыватели



Приборы для считывания данных с меток бывают нескольких типов. По исполнению считыватели делятся на стационарные и переносные (мобильные).

#### ▪ Стационарные считыватели

Стационарные считыватели крепятся неподвижно на стенах, порталах и в других подходящих местах. Они выполняются в виде ворот, монтируются в стол

или закрепляются рядом с конвейером на пути следования изделий. По сравнению с переносными, считыватели такого типа обладают большей зоной чтения и мощностью и способны одновременно обрабатывать данные с нескольких десятков меток. Стационарные считыватели напрямую подключены к компьютеру, на котором установлена программа контроля и учета. Задача таких считывателей — поэтапно фиксировать перемещение маркированных объектов в реальном времени.

- **Мобильные считыватели**

Обладают сравнительно меньшей дальностью действия и зачастую не имеют постоянной связи с программой контроля и учета. Внутренняя память мобильных считывателей содержит записываемые данные с прочитанных меток (потом эту информацию можно загрузить в компьютер) и, так же как и стационарные считыватели, способны записывать данные в метку (например, информацию о произведенном контроле). В зависимости от частотного диапазона метки, дистанция устойчивого считывания и записи данных в них отличается.

- **Настольные считыватели**

Применяются в библиотеках, розничной торговле и т.д. Яркий примером применения настольного RFID-считывателя - использование в маркировке шуб и меховых изделий. RFID-считыватель используется в точках продаж, так и на складе производителя шуб и меховых изделий.

- **Портальные считыватели**

Портальный RFID-считыватель предназначен для регистрации [RFID-меток](#) в контролируемых им проходах. Портальный RFID-считыватель состоит из двух вертикальных стоек, внутри которых установлены 4 приёмопередающие антенны (по 2 в каждой). Антенны создают зону регистрации [RFID-меток](#), перекрывающую проход между стойками. Стенки стоек выполнены из радиопрозрачного материала и крепятся к полу при помощи анкеров. Считыватель работает автономно или под управлением внешнего программного обеспечения. Автономная работа RFID-считывателя применяется в

библиотечной системе, когда считанные данные [RFID-метки](#) используются для разрешения на перемещение [RFID-метки](#) и подаче сигнала тревоги.

### **Спектроскопическая**

Молекулярный спектральный анализ в УФ - и видимой областях спектра используется для качественного и количественного анализа органических и неорганических соединений (как непосредственно по спектрам поглощения, так и в растворе по специфическим реакциям на определенные группы, а в твердом состоянии - по спектрам отражения).

Метод молекулярной спектроскопии в видимой и УФ-области используется для сравнительного исследования объектов с целью установления их родовой, групповой принадлежности: окрашенных стекол, красителей волокон, вин, химических ловушек и идентификационных меток.[3]

### **ДНК**

Нуклеиновые кислоты легко метятся, что способствует распознаванию или очистке. Доступно несколько энзимных и химических методов для генерирования нуклеиновых кислот, меченных радиоактивными фосфатами, флуорофорами или нуклеотидами, видоизмененными биотином или дигоксигенином.

Существуют реагенты, с помощью которых возможно метить молекулы ДНК и РНК как на их концах, так и в определенных местах нуклеиновых кислот или в местах, выбранных в случайном порядке, или же на протяжении всей молекулы.

Анализируемые спирали ДНК для определения расположения сайта связывания белка могут быть помечены отдельно с 3'- и с 5'-конца.

Используют метки:

- **Радиоактивные** метки традиционно используют для мечения фрагментов ДНК для футпринтинга, данный способ мечения был разработан на методики секвенирования ДНК по методу [Максама-Гилберта](#). Данный вариант является

очень чувствительным, при помощи радиоактивной метки можно визуализировать малые количества ДНК.

- **Флюоресцентные** метки являются заменой опасным радиоактивным. Однако, флюоресцентное мечение является менее чувствительным методом визуализации ДНК, и низкие концентрации продуктов футпринтинга не могут быть детектированы. Для визуализации продуктов, меченных [флуорофорами](#) используют [секвенирующие](#) гели и методы [капиллярного электрофореза](#).

Представьте, что воры пробрались в офис вашей компании в выходной день. Сработала сигнализация, но злоумышленники успели улизнуть с добычей до приезда полиции. Камеры наблюдения зафиксировали только смутные контуры похитителей, непригодные для их идентификации. В такой ситуации поможет ДНК-маркировка. Обычная идентификация преступников по [ДНК](#) используется, если преступник оставил на месте преступления следы, содержащие его ДНК. Но, к сожалению, преступники так поступают не всегда.

Компания Applied DNA Sciences (ADNAS) предлагает технологию раскрытия преступлений с использованием ДНК-меток. ДНК-туман — это взвешенные в воздухе молекулы искусственной ДНК с известной биологически инертной последовательностью нуклеотидов. Возможные варианты ДНК-меток имеют триллионы уникальных последовательностей. Система безопасности может распылять молекулы одной метки для идентификации помещения, другой — для идентификации места внутри помещения. Возможно применение [RFID](#)-технологий, позволяющих распылять особые ДНК-метки для каждой украденной вещи.

Будучи распыленным в помещении, ДНК-туман проникает в одежду, обувь, волосы, кожу преступника и в украденные им предметы. Очистить тело, одежду и инструменты от ДНК-меток обычными методами практически невозможно.

Обнаружить ДНК-метки в мазках, взятых с тела и одежды подозреваемого, и сопоставить с метками, оставшимися на месте преступления, можно в течение 2-6 недель, а в перспективе — и нескольких лет. Современные определительные

приборы позволили сделать процесс обнаружения ДНК-меток недорогим и достаточно простым для выполнения неспециалистами.

Одним из таких приборов является **MinION** – портативное устройство считывания ДНК и РНК. MinION передает данные в реальном времени, чтобы анализ мог быть выполнен во время эксперимента, а рабочие процессы были полностью универсальными. Прибор весит менее 100 г и подключается к ПК или ноутбуку с помощью высокоскоростного кабеля USB 3.0. Никакой дополнительной вычислительной аппаратуры не требуется. Не ограничиваясь лабораторной средой, он был использован в горах, в джунглях, в Арктике и на Международной космической станции. MinION доступен в продаже, стоимость базового комплекта составляет около 1000 долл. США. [6]



Существуют два потенциальных способа «победить» ДНК-туман. Низкотехнологичный: совершать преступление в костюме биологической защиты. Высокотехнологичный: «заглушить» систему ДНК-тумана, помывшись специальным шампунем, содержащим миллионы ложных фрагментов ДНК. Это усложнит поиск среди них ДНК-меток, превращая его в поиск нужной иголки в стоге других иголок.

Компания Applied DNA Sciences недавно заключила эксклюзивный договор с датской компанией SmokeCloak, изготавливающей генераторы тумана для систем

безопасности, способные заполнять помещение со скоростью 1600 кубометров в минуту.

Таблица 1 - Индивидуальные характеристики рассматриваемых меток

Тип метки	Размеры, см <sup>2</sup>	Скрытность	Дальность обнаружения, см	Долговечность, года	Защита от доступа и подделки	Защита от несанкционированного уничтожения	Стоимость, руб	Стоимость сканера, руб
Клейма на основе трудно смываемых красок	11	1	50	1	1	1	250	500
Голографическая	1,5	1	50	1	1	1	10	500
Эффект Мессбауэра	≈1	2	2	0,1	2	2	≈10000	≈270000
Радионуклидная	≈1	2	3	0,17	2	2	≈10000	≈50000
Штрих-кодовая	3,8	1	10	1	1	1	400	2000
RFID	13	1	5	1	1	1	7	600
Спектроскопическая	≈1	2	4	0,5	2	1	40	120000
ДНК	≈1	2	2	0,1	2	2	8540 [5]	60000

Таблица 2 - Суммарные характеристики рациональных пар меток

Метки	Размер, см <sup>2</sup>	Скрытность	Дальность Обнаружения, см	Долговечность, года	Защита от доступа и подделки	Защита от несанкционированного уничтожения	Стоимость, руб	Стоимость сканеров, руб
Клеймо + голографическая	12,5	1	50	1	1	1	260	1000
Клеймо + штрих код	14,8	1	50	1	1	1	650	2500
Клеймо + RFID	24	1	50	1	1	1	257	1100
Голографическая + штрих код	5,3	1	50	1	1	1	410	2500
Голографическая + RFID	14,5	1	50	1	1	1	17	600
Штрих код + RFID	16,8	1	10	1	1	1	407	2600
Мессбауэр + радионуклидная	2	2	3	0,17	2	2	20000	320000
Мессбауэр + Спектроскопическая	2	2	4	0,5	2	2	10040	390000
Мессбауэр + ДНК	2	2	2	0,1	2	2	18540	330000
Радионуклидная + Спектроскопическая	2	2	4	0,5	2	2	10040	170000
Радионуклидная + ДНК	2	2	3	0,17	2	2	18540	110000
Спектроскопическая + ДНК	2	2	4	0,5	2	2	8580	180000
RFID + ДНК	13	2	5	1	2	2	8547	60600



## **Глава 2**

### **2.1. Постановка задачи**

Дано: множество меток, каждый тип метки предварительно описывается индивидуальными признаками (характеристиками). Составлена таблица рациональных пар, которые характеризуются суммарными показателями - по ним и определяется оптимальный вариант; задана степень важности каждого признака.

Задача: определить среди данных пар меток оптимальный вариант.

### **2.2. Описание**

Рассмотрим признаки и единицы измерения (см. таблицу 1 и 2):

1. Размеры (см) – габариты наносимой метки / наносимых меток
2. Скрытность (да/нет) – возможность скрыть от противника
3. Дальность обнаружения (см) – на какое расстояние надо поднести сканер, чтобы идентифицировать метку / метки
4. Долговечность (года) – Сколько метка / метки остается/остаются действительной/действительными
5. Защита от подделки (да/нет) – Возможность незаконно воспроизвести метку/метки
6. Стоимость (руб) – Цена метки/меток (материала)
7. Стоимость сканера (руб) – Цена сканера/сканеров, идентифицирующего/идентифицирующих метку/метки. Данные преобразованы в таблицы 1 (индивидуальные характеристики) и 2 (характеристики рациональных пар).

### **2.3. Методы решения**

Для определения оптимальной пары меток использован экспертный метод и метод обобщенного показателя.

Чтобы определить лучшую метку, таблица 2 была преобразована в матрицу  $A = \{a_{ij}\}$ , где  $i = \overline{1,13}$ ,  $j = \overline{1,8}$

Введем следующие обозначения:

$a_{ij}$  – значение  $j$  признака для  $i$  пары метки, где  $i$  – индекс пары,  $j$  – индекс признака;

$Sr_j$  – среднее значение  $j$  признака, где  $j$  – индекс признака;

$Dx_{ij}$  – нормированное значение  $j$  признака для  $i$  пары, где  $i$  – индекс пары,  $j$  – индекс признака;

$Pr_j$  – вес  $j$  признака, где  $j$  – индекс признака (обязательное условие: сумма весов должна быть равна единице  $\sum_{j=1}^8 Pr_j = 1$ );

Среднее значение каждого признака можно определить по формуле:

$$Sr_j = \frac{\sum_{i=1}^{13} a_{ij}}{13}$$

Нормированное значение признака

$Dx_{ij}$  рассчитывается по формуле:

$$Dx_{ij} = \frac{a_{ij}}{Sr_j}$$

**Экспертный метод** основан на том, что изначально заданы веса и значения признаков различных сочетаний меток. Оптимальное сочетание рассчитывается по формулам, использующим значения признаков и весов.

Максимальное значение находится по формуле:

$$\max_i F_i = \max_i \left( \sum_{j=1}^6 Pr_j Dx_{ij} + Pr_7 \frac{1}{Dx_{i7}} + Pr_8 \frac{1}{Dx_{i8}} \right)$$

Пара меток, обладающая наибольшим значением  $F$ , и будет являться оптимальным вариантом для экспертного метода.

**Метод обобщенного показателя:** изначально заданы значения признаков различных сочетаний меток. Оптимальное сочетание определяется с помощью формул, использующих значения и веса признаков данных пар меток. Для каждого сочетания вычисляется коэффициент, в котором числитель содержит признаки “больше - лучше”, а знаменатель – “Меньше - лучше”. Затем вычисляется максимальное значение коэффициента по формуле:

$$\max_i O_i = \max_i \frac{Dx_{i1}Dx_{i2}Dx_{i3}Dx_{i4}Dx_{i5}Dx_{i6}}{Dx_{i7}Dx_{i8}} = \max_i \frac{\prod_{j=1}^6 Dx_{ij}}{Dx_{i7}Dx_{i8}}$$

Соответственно, комбинация меток, обладающая наибольшим значением  $O$ , и будет являться оптимальным вариантом для метода обобщенного показателя.

#### 2.4. Блок-схема программы



#### Заключение

Результаты исследования:

- Рассмотрены основные типы меток и устройства, которые чаще всего применяются человеком.
- Были определены основные характеристики разных меток.
- Метки сгруппированы по парам
- Были определены методы для выбора лучшего сочетания.
- Составлена блок-схема программы.

- Написана программа, помогающая пользователю выбрать оптимальную пару меток, зная индивидуальные характеристики каждой.
- Выявлено, что оптимальными сочетаниями являются: по экспертному методу RFID-метка + голографическая метка; По методу обобщенного показателя RFID + ДНК метки.

### Перспективы исследования

Рассмотреть больше методов выбора, рассмотреть сочетания из 3 и более меток.

### Список литературы

- 1)Энциклопедия экономиста <http://www.grandars.ru>
- 2)Сандип Лахири. RFID. Руководство по внедрению The RFID sourcebook/ Дудников С. – Москва : Кудиц-пресс, 2007. – 312 с.
- 3)Драго Р. Физические методы в химии. Т. 2. — М.: Мир, 1981. — 456 с.
- 4)Gertz I. Likhtenshtein. Biophysical Labeling Methods in Molecular Biology - с.136
- 5)<https://www.jenabioscience.com>
- 6) <https://nanoporetech.com/minion>

### Приложение

Текст программы для определения оптимальных сочетаний по двум методам:

```
var
a: array [1..13, 1..8] of real; //двумерный массив для таблицы данных
Sr: array [1..8] of real; //одномерный массив для среднего значения каждой
характеристики
Dx: array [1..13, 1..8] of real; //двумерный массив для нормированного значения
Pr: array [1..8] of real; //одномерный массив для веса характеристики
F: array [1..13] of real; //одномерный массив для максимальных значений
O: array [1..8] of real; //одномерный массив для обобщенных значений
name: array [1..13] of string; //одномерный массив для названий комбинаций меток
sum, max: real; //временные переменные
i, j:integer; //переменные для циклов
Begin
//заполним массив названий комбинаций меток
```

```
name[1]:='Клеймо + Голографическая';
name[2]:='Клеймо + Штрих-код';
name[3]:='Клеймо + RFID';
name[4]:='Голографическая + штрих-код';
name[5]:='Голографическая + RFID';
name[6]:='Штрихкодовая + RFID';
name[7]:='Мессбауэр + радионуклидная';
name[8]:='Мессбауэр + спектроскопическая';
name[9]:='Мессбауэр + ДНК';
name[10]:='Радионуклидная + спектроскопическая';
name[11]:='Радионуклидная + ДНК';
name[12]:='Спектроскопическая + ДНК';
name[13]:='RFID + ДНК';
//заполним таблицу
a[1,1]:=12.5; a[1,2]:=1; a[1,3]:=50; a[1,4]:=1; a[1,5]:=1; a[1,6]:=1; a[1,7]:=260;
a[1,8]:=1000;
a[2,1]:=14.8; a[2,2]:=1; a[2,3]:=50; a[2,4]:=1; a[2,5]:=1; a[2,6]:=1; a[2,7]:=650;
a[2,8]:=2500;
a[3,1]:=24; a[3,2]:=1; a[3,3]:=50; a[3,4]:=1; a[3,5]:=1; a[3,6]:=1; a[3,7]:=257;
a[3,8]:=1100;
a[4,1]:=5.3; a[4,2]:=1; a[4,3]:=50; a[4,4]:=1; a[4,5]:=1; a[4,6]:=1; a[4,7]:=410;
a[4,8]:=2500;
a[5,1]:=14.5; a[5,2]:=1; a[5,3]:=50; a[5,4]:=1; a[5,5]:=1; a[5,6]:=1; a[5,7]:=17;
a[5,8]:=600;
a[6,1]:=16.8; a[6,2]:=1; a[6,3]:=10; a[6,4]:=1; a[6,5]:=1; a[6,6]:=1; a[6,7]:=407;
a[6,8]:=2600;
a[7,1]:=2; a[7,2]:=2; a[7,3]:=3; a[7,4]:=0.17; a[7,5]:=2; a[7,6]:=2; a[7,7]:=20000;
a[7,8]:=320000;
a[8,1]:=2; a[8,2]:=2; a[8,3]:=4; a[8,4]:=0.5; a[8,5]:=2; a[8,6]:=2; a[8,7]:=10040;
a[8,8]:=390000;
a[9,1]:=2; a[9,2]:=2; a[9,3]:=2; a[9,4]:=0.1; a[9,5]:=2; a[9,6]:=2; a[9,7]:=18540;
a[9,8]:=330000;
a[10,1]:=2; a[10,2]:=2; a[10,3]:=4; a[10,4]:=0.5; a[10,5]:=2; a[10,6]:=2;
a[10,7]:=10040; a[10,8]:=170000;
a[11,1]:=2; a[11,2]:=2; a[11,3]:=3; a[11,4]:=0.17; a[11,5]:=2; a[11,6]:=2;
a[11,7]:=18540; a[11,8]:=110000;
a[12,1]:=2; a[12,2]:=2; a[12,3]:=4; a[12,4]:=0.5; a[12,5]:=2; a[12,6]:=2;
a[12,7]:=8580; a[12,8]:=180000;
a[13,1]:=13; a[13,2]:=2; a[13,3]:=5; a[13,4]:=0.1; a[13,5]:=2; a[13,6]:=2;
a[13,7]:=8547; a[13,8]:=60600;
Pr[1]:=0.12; Pr[2]:=0.1; Pr[3]:=0.1; Pr[4]:=0.07; Pr[5]:=0.1; Pr[6]:=0.1;
```

```

Pr[7]:=0.2; Pr[8]:=0.2; //задаем вес характеристик
//Подсчитаем среднее каждой значение характеристики
sum:=0;
for j:=1 to 8 do //Перебираем характеристики комбинаций
begin
for i:= 1 to 13 do //Перебираем сами комбинации
sum:= sum + a[i,j]; //сумма средних значений
Sr[j] := sum/13; //заполним массив
end;
for i:= 1 to 13 do //Подсчитаем нормированные значения
begin
for j:= 1 to 8 do
begin
Dx[i,j]:=a[i,j]/Sr[j];
end;
end;
//Экспертный метод

for i:= 1 to 13 do
begin
sum:=0;
for j:= 1 to 6 do
sum:= sum + (Pr[j]*Dx[i,j]);
for j:= 7 to 8 do
sum:= sum + (Pr[j]*(1/Dx[i,j]));
end;
F[i]:=sum; //массив максимальных значений
max:=F[1];
j:=1;
for i:= 2 to 13 do
begin
if max <= F[i] then
begin
max:=F[i];
j:= i;
end;
end;
println('Оптимальное сочетание меток по экспертному методу: ',name[j]);
//метод обобщенного показателя
for i:=1 to 8 do
O[i]:= ((Dx[i,1]*Dx[i,2]*Dx[i,3]*Dx[i,4]*Dx[i,5]*Dx[i,6])/(Dx[i,7]*Dx[i,8]));

```

```
max:= 0[1];
j:= 1;
for i:= 2 to 8 do
  begin
    if max <= 0[i] then
      begin
        max:= 0[i];
        j:=i;
      end;
    end;
end;

println('Оптимальное сочетание меток по методу обобщенного показателя:',name[j]);
end.

Текст программы для определения оптимальной метки по двум методам:
var
a: array [1..8, 1..8] of real; //двумерный массив для таблицы данных
Sr: array [1..8] of real; //одномерный массив для среднего значения каждой
характеристики
Dx: array [1..8, 1..8] of real; //двумерный массив для нормированного значения
Pr: array [1..8] of real; //одномерный массив для веса характеристики
F: array [1..8] of real; //одномерный массив для максимальных значений
O: array [1..8] of real; //одномерный массив для обобщенных значений
name: array [1..8] of string; //одномерный массив для названий комбинаций меток
sum, max: real; //временные переменные
i, j:integer; //переменные для циклов
Begin
//заполним массив названий комбинаций меток
name[1]:='Клеймо';
name[2]:='Голографическая';
name[3]:='Мессбауэр';
name[4]:='Радионуклидная';
name[5]:='Штрих-код';
name[6]:='RFID';
name[7]:='Спектроскопическая';
name[8]:='ДНК';

//заполним таблицу
a[1,1]:=11; a[1,2]:=1; a[1,3]:=50; a[1,4]:=1; a[1,5]:=1; a[1,6]:=1; a[1,7]:=250;
a[1,8]:=500;
a[2,1]:=1.5; a[2,2]:=1; a[2,3]:=50; a[2,4]:=1; a[2,5]:=1; a[2,6]:=1; a[2,7]:=10;
a[2,8]:=500;
```

```

a[3,1]:=1; a[3,2]:=2; a[3,3]:=2; a[3,4]:=0.1; a[3,5]:=2; a[3,6]:=2; a[3,7]:=10000;
a[3,8]:=2700000;
a[4,1]:=1; a[4,2]:=2; a[4,3]:=3; a[4,4]:=0.17; a[4,5]:=2; a[4,6]:=2; a[4,7]:=10000;
a[4,8]:=500000;
a[5,1]:=3.8; a[5,2]:=1; a[5,3]:=10; a[5,4]:=1; a[5,5]:=1; a[5,6]:=1; a[5,7]:=400;
a[5,8]:=20000;
a[6,1]:=13; a[6,2]:=1; a[6,3]:=5; a[6,4]:=1; a[6,5]:=1; a[6,6]:=1; a[6,7]:=7;
a[6,8]:=600;
a[7,1]:=1; a[7,2]:=2; a[7,3]:=4; a[7,4]:=0.5; a[7,5]:=2; a[7,6]:=1; a[7,7]:=40;
a[7,8]:=120000;
a[8,1]:=1; a[8,2]:=2; a[8,3]:=2; a[8,4]:=0.1; a[8,5]:=2; a[8,6]:=2; a[8,7]:=8540;
a[8,8]:=600000;

Pr[1]:=0.12; Pr[2]:=0.1; Pr[3]:=0.1; Pr[4]:=0.07; Pr[5]:=0.1; Pr[6]:=0.1;
Pr[7]:=0.2; Pr[8]:=0.2; //задаем вес характеристик
//Подсчитаем среднее каждой значение характеристики
sum:=0;
for j:=1 to 8 do //Перебираем характеристики комбинаций
begin
for i:= 1 to 8 do //Перебираем сами комбинации
sum:= sum + a[i,j]; //сумма средних значений
Sr[j] := sum/8; //заполним массив
end;
for i:= 1 to 8 do //Подсчитаем нормированные значения
begin
for j:= 1 to 8 do
begin
Dx[i,j]:=a[i,j]/Sr[j];
end;
end;
//Экспертный метод

for i:= 1 to 8 do
begin
sum:=0;
for j:= 1 to 6 do
sum:= sum + (Pr[j]*Dx[i,j]);
for j:= 7 to 8 do
sum:= sum + (Pr[j]*(1/Dx[i,j]));
end;
F[i]:=sum; //массив максимальных значений

```



```
max:=F[1];
j:=1;
for i:= 2 to 8 do
  begin
    if max <= F[i] then
      begin
        max:=F[i];
        j:= i;
      end;
    end;
  end;
println('Оптимальная метка по экспертному методу: ',name[j]);
//метод обобщенного показателя
for i:=1 to 8 do
  O[i]:= ((Dx[i,1]*Dx[i,2]*Dx[i,3]*Dx[i,4]*Dx[i,5]*Dx[i,6])/(Dx[i,7]*Dx[i,8]));
  max:= O[1];
  j:= 1;
  for i:= 2 to 8 do
    begin
      if max <= O[i] then
        begin
          max:= O[i];
          j:=i;
        end;
      end;
    end;
  end;

  println('Оптимальная метка по методу обобщенного показателя:',name[j]);
end.
```

### **Результаты работы программ:**

Оптимальное сочетание меток по экспертному методу: RFID + ДНК  
Оптимальное сочетание меток по методу обобщенного показателя: Голографическая + RFID  
Оптимальная метка по экспертному методу: ДНК  
Оптимальная метка по методу обобщенного показателя: RFID.

## СЕКЦИЯ V. Радио-опто-электроника

### Обнаружение скрытых систем оптического видения с помощью эффекта световозвращения

*Козырев Владимир Дмитриевич,*

*г. Москва, ГБОУ Школа №315, 11 класс*

*Научный руководитель: Вязовых Максим Вячеславович,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент каф. РЛ2*

#### Введение

В настоящее время в связи с развитием и широким использованием скрытых систем оптического видения актуальной задачей является исследование и реализация методов их обнаружения. Назначение скрытых систем оптического видения весьма разнообразно: от списывания на олимпиадах и экзаменах до шпионажа (как экономического, так и политического) и скрытого наблюдения за объектами.

В наше время участились случаи использования pin-hole камер абитуриентами на различных письменных тестах, поэтому важной задачей является обнаружение скрытых систем оптического видения на одежде человека. Этот метод должен быть безопасным и быстросействующим. (т.к. перед олимпиадой необходимо проверить несколько сотен участников за минимально возможное время).

Существует два различных способа проверки на наличие скрытых систем оптического видения на одежде человека: контактный и бесконтактный. Контактный метод подразумевает прямой обыск человека и его личных вещей. Но этот метод не удастся претворить в жизнь по юридическим соображениям. Также уйдёт очень много времени на обыск большого количества людей. Бесконтактный метод подразумевает обнаружение камеры оптическим путём (эффект световозвращения) или электромагнитным (засечь электромагнитные волны, испускаемые камерой). Электромагнитный метод будет очень трудно реализовать, так как, во-первых, установки, способные засечь такое слабое электромагнитное поле очень дорогостоящие и крупногабаритные (это будет возможно только в

лабораторных условиях), во-вторых, будет множество электромагнитных полей от других источников, что сделает соотношение сигнал-шум очень маленьким.

Из всех рассмотренных выше вариантов самым простым в реализации и практичным для этого случая является метод световозвращения. Для решения данной проблемы в качестве излучателя будет использоваться ИК диод (его излучение безопасно для глаз человека), а приёмником ретроотражённого излучения будет pin-hole камера. Достоинство данного метода ещё в том, что можно собрать компактный прибор. Для вывода изображения с камеры подойдёт любой монитор, а для сборки прибора подойдёт самая обыкновенная pin-hole камера (стоимость 1-2 тыс. рублей). Поэтому реализация данного метода не требует больших материальных затрат. По времени данный способ работает быстро, достаточно с помощью прибора просканировать одежду человека.

#### **Эффект световозвращения принцип, световозвращательные параметры и характеристики.**

Эффект световозвращения основан на подсветке зондируемого объекта пучком света с последующей регистрацией блика на экране телевизионного видеоискателя или непосредственно глазом. Это возможно, так как во многих оптических или оптико-электронных приборах в задней фокальной плоскости приемного объектива располагается какой-либо отражающий функциональный элемент. К примеру, в приборах ночного видения таковым является фотокатод, в оптических прицелах - стекло с нанесённым на него изображением перекрестия прицела, в биноклях - также стекло с дальномерной сеткой. Исходя из законов геометрической оптики, пучок лучей зондирующей системы, попавший во входной зрачок такого прибора, сфокусируется и отразится от элемента, находящегося в фокальной плоскости объектива, и, пройдя в обратном ходе через тот же объектив, будет возвращен строго в направлении подсвета, где будет зарегистрирован приемной системой.

Такое отражение светового луча оптической системой в направлении, обратном направлению попадания в неё, называется световозвращением.

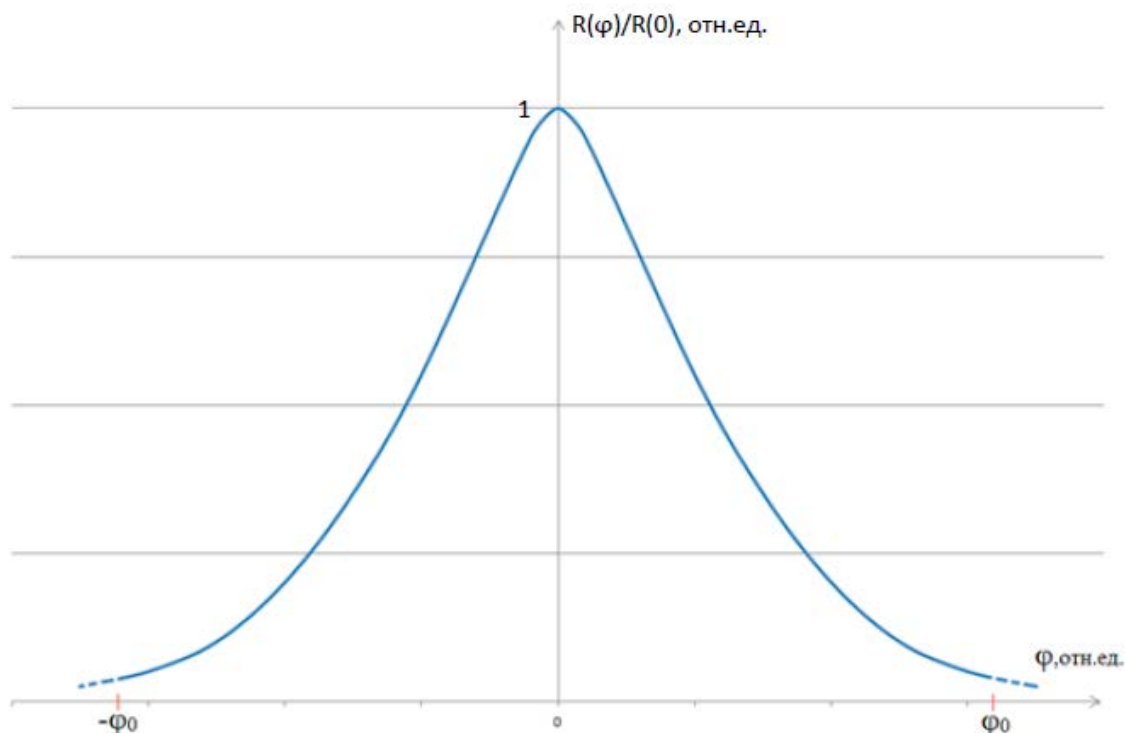
Величина, определяющая интенсивность световозвращения, называется показателем световозвращения (ПСВ) (обозначается  $R$ ). Показатель световозвращения равен отношению силы ретроотражённого оптико- электронным прибором излучения  $I$  [Вт/ср] к облучённости  $E$  [Вт/м<sup>2</sup>] входного зрачка оптической системы прибора:

$$R = \frac{I}{E}$$

Используя физический метод размерности получаем размерность показателя световозвращения - [м<sup>2</sup>/ср]. (Действительно, [Вт/ср]/[Вт/м<sup>2</sup>]= [м<sup>2</sup>/ср]).

В зависимости от конкретных параметров обнаружаемого прибора, (главным образом, таких, как размер входного зрачка, коэффициент отражения элемента, находящегося в фокальной плоскости его объектива, а также от длины волны и расходимости зондирующего луча) оптико- электронным прибором будет возвращено излучение, обладающее различной интенсивностью.

Самым важным фактором, определяющим ПСВ является эффективная площадь входного зрачка прибора  $S_{эфф}$  (проекция площади входного зрачка на плоскость, перпендикулярную направлению зондирующего пучка), так как именно от её величины зависит то, какая часть зондирующего пучка будет ретроотражена. Из определения  $S_{эфф}$  следует, что с увеличением угла пеленга ПСВ будет уменьшаться. Кроме того, оптический прибор имеет определённое поле (угол) зрения =  $2\varphi_0$ , ( $\varphi_0$  в одну сторону и  $\varphi_0$  в другую) из- за чего начиная с некоего критического угла  $\varphi_0$  световозвращение прекратится. Следовательно, зависимость ПСВ от угла пеленга, называемая пеленгационной характеристикой ПСВ прибора, имеет обычно следующий вид:



$$S_{эфф} = S_{зрачка} \times \cos\varphi_0$$

**Теоретический вывод №1:** для решения нашей задачи лучше всего использовать дуэльную ситуацию, когда угол пеленга почти равен 0. (т.е. в этом случае эффективная площадь входного зрачка прибора  $S_{эфф}$  будет максимальной, и максимальная часть зондирующего пучка будет ретроотражена).

Несомненно, наблюдатель не хочет, чтобы его прибор был обнаружен. Для этого он может снизить ПСВ, что затруднит обнаружение оптического устройства методом световозвращения. Но в нашем случае при обнаружении pin-hole камер на одежде человека в помещении не стоит опасаться защитных приспособлений. Использование диафрагм, бленд, поляризационных пластин сделает камеру заметной, а переоборудование устройства на другую длину волны (на невидимый диапазон) сделает списывание практически невозможным. (К тому же последнее технологически сложно и дорогостояще). **Теоретический вывод №2:** Для решения данной задачи можно использовать источник излучения с относительно большим расхождением лучей, так как прибор будет использоваться на маленьких дистанциях. (Подойдет прибор с предельной дальностью обнаружения 7-10 м).

**Зависимость ПСВ от длины волны, используемого диода. (уменьшение негативного влияния хроматической аберрации).**

Камеры, которые необходимо обнаружить работают на длинах волн видимого спектра (от 380 до 780 нм) и именно для световых волн данного диапазона они настроены (т.е. волны, принадлежащие данному диапазону будут чётко фокусироваться на оптическом элементе). Поэтому для повышения количества ретроотражённой энергии целесообразно использовать диод, излучение которого близко к видимому (диапазон 800-1000 нм). Если подсвечивать излучением, длина волны которого больше 1000 нм, то количество ретроотражённой энергии заметно снизится. Это связано с тем, что показатель преломления зависит от длины волны, и поэтому теперь лучи не будут полностью фокусироваться на световозвращающем элементе и, следовательно, не будут выходить параллельно входящим. Произойдёт рассеивание ретроотражённого излучения, что негативно скажется на яркости и чёткости блика.

**Устройство прибора для обнаружения скрытых систем оптического видения и обоснование его элементной базы.**

Основными частями данного прибора являются приёмный и передающий канал. Главная задача передающего канала – создать поле облучения требуемой интенсивности в объектной плоскости, необходимой для уверенной и точной регистрации блика. Он состоит из ИК диода и формирующей оптической системы (линзы, которая уже прикреплена к ИК диоду). Приёмный канал должен зарегистрировать отражённый блик и сфокусировать сигнал для отображения на мониторе. Он состоит из приёмной оптической системы (объектив камеры), ПЗС матрицы, имеющей аналоговый вывод изображения на телевизионный монитор. (см. элементную схему прибора)

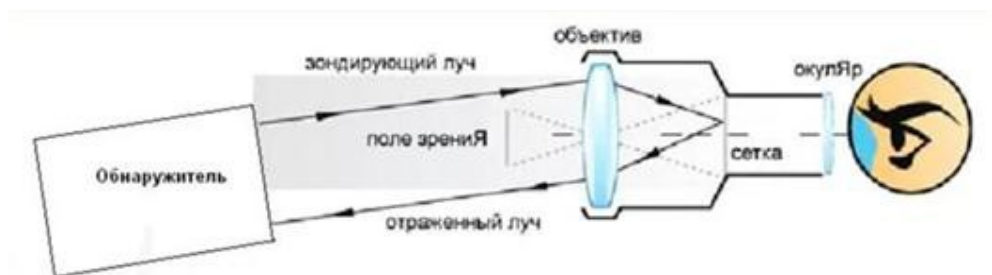


Рис. 1 Принцип работы прибора для обнаружения скрытых систем оптического видения

Для успешного использования прибора важно правильно подобрать ИК диод, камеру и батарею.

### Обоснование выбора ИК диода

- 1) ИК диод должен быть близок к видимому диапазону излучения (800- 1000 нм) для того чтобы блик был ярким и хорошо различимым. (см. теорию) Поэтому для создания прибора для обнаружения скрытых систем оптического видения был использован диод с длиной волны (880 нм).
- 2) Интенсивность излучения ИК диода должна быть достаточной для того чтобы на экране появился хорошо различимый блик. Яркость зависит от силы тока, протекающего через диод. Поэтому можно использовать источник тока фиксированного напряжения (в приборе используется батарея «Крона» 9В) и менять ток на диоде с помощью последовательно включённого сопротивления. По закону Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}$$

где I – сила тока (А), U – напряжение (В), R - сопротивление данного участка цепи (Ом).

Т.е., делая сопротивление реостата больше мы будем уменьшать силу тока и, следовательно, яркость ИК диода будет уменьшаться и наоборот.

Для того чтобы подобрать необходимую интенсивность излучения для каждой конкретной ситуации необходимо произвести светоэнергетический расчёт (СЭР). Но подобные расчёты выходят за рамки данной работы. Поэтому можно это сделать

проще, экспериментально. Для этого надо поместить камеру на предельной дальности (7-10 м), а затем необходимо регулировать сопротивление реостата до тех пор, пока на экране не появится чёткий и хорошо различимый блик. Плюсы второго метода в том, что он намного быстрее и не требует длинных математических и физических расчётов, причём все эти расчёты чем-то пренебрегают и имеют множество допущений. К тому же никогда нельзя учесть все негативные факторы.

Интенсивность излучения ИК диода должна быть тем больше, чем дальше обнаруживаемый объект и чем больше негативных факторов, которые рассеивают излучение диода. В нашем случае последних не наблюдается, а расстояние до обнаруживаемого объекта сравнительно небольшое (максимально 7-10 м). Следовательно, используя прибор для решения нашей задачи подойдёт сравнительно небольшая интенсивность.

3) Излучение диода не должно сильно расходиться (иначе мало энергии будет ретроотражено) и не должно быть слишком узким (иначе сканирование помещения займёт слишком много времени). Поэтому необходим компромисс. Оптимальным будет диапазон  $5 < 2\omega < 15$  градусов. В данном приборе используется ИК диод с углом расходимости  $2\omega = 8$  градусов.

#### **Обоснование выбора батареек**

Данная камера работает на напряжении в диапазоне от 9 до 12 В. Необходимо взять минимально возможное 9 В. Существует несколько способов создать данное напряжение. Можно взять 6 пальчиковых батареек по 1,5 В или 1 батарейку «Крону» 9 В. Оптимальным решением является использование «Кроны», так как у неё меньше массогабаритные характеристики при высокой ёмкости.

#### **Обоснование выбора камеры**

1) Камера должна иметь обзор примерно равный углу подсвета передающей оптической системы. Если угол будет сильно больше, то в поле зрения камеры попадёт много бесполезного фона и фоточувствительная область приёмника излучения будет использоваться очень нерационально. Если угол будет меньше чем у передающей оптической системы, то не всё ретроотражённое излучение будет



захватываться камерой и, следовательно, уменьшится ПСВ и блик на экране будет нечётким и плохо различимым. Поэтому в состав данного прибора вошла камера с углом видимости  $2\omega=14$  градусов.

- 2) Питание данной камера стандартное 9-12 В. Можно использовать любую 9В батарею.
- 3) Для того чтобы получить чёткую картину на экране надо сделать соотношение «сигнал-шум» как можно больше. Для этого необходимо отрезать всё лишнее видимое излучение (300-800 нм). Это можно сделать двумя методами: оптическим и электрическим. Вторым способом это сделать крайне сложно и дорого. К тому же подобное устройство будет крупногабаритным и соответственно не подойдёт для данного прибора. Оптическим метод намного легче реализуем и дешевле. Для решения данной задачи были использованы поляризационные пластины, т.к., вращая одну пластину относительно другой мы меняем коэффициент пропускания излучения и, соответственно, можем подбирать необходимый для данной ситуации контраст.
- 4) Матричный приёмник должен обладать высокой чувствительностью на длине волны приёма. Для этого подойдёт ПЗС матрица, которая хорошо принимает излучение на длине волны 0.8 мкм.

#### **Обоснование выбора корпуса**

При выборе корпуса необходимо учитывать, что он должен быть достаточно вместительным, но в тоже время компактным, прочным, не должен портится от нагревания. Также очень важной характеристикой корпуса является удобность в эксплуатации и эргономичность. Поэтому для создания данного прибора использовался корпус для РЭА G436. Габариты 120x60x30 мм позволяют уместить все компоненты прибора. Высокопрочный ABS- пластик не портится в диапазоне от -20 С до +100 С. Также конструкция данного корпуса изолирует содержимое от внешней пыли и влаги.

**Элементная база прибора**

- 1) G436, Корпус для РЭА 120x60x30 мм, пластик, светло-серый – 1 шт
- 2) Pin-hole камера – 1 шт
- 3) Диод 880 нм - 1 шт
- 4) Крона - 1 шт
- 5) Болт М2 - 4шт
- 6) Болт М3 – 4 шт
- 7) Выключатель пластмассовый – 1шт
- 8) Кнопка – 1 шт
- 9) Поляризационные пластины – 2 шт + крепление для поляризационных пластин – 1 шт

**Порядок сборки прибора (см. презентацию в Autodesk Inventor 2018)**

- 1) Взят готовый корпус G436.
- 2) В боковых створках корпуса с помощью сверлильного станка были сделаны отверстия под выключатель, кнопку и канал вывода изображения на монитор.
- 3) В эти отверстия с помощью эпоксидного клея были установлены выключатель, кнопка и канал вывода изображения на монитор.
- 4) В верхней крышке корпуса с помощью сверлильного станка были сделаны отверстия для выхода объектива камеры и диода.
- 5) С помощью эпоксидного клея были приклеены 4 стойки для камеры.
- 6) Камера была установлена на эти стойки и прикреплена с помощью болтов М2.
- 7) В корпус с помощью эпоксидного клея была установлена «Крона» и для удобства её замены был припаян к ней специальный разъём.
- 8) Диод был установлен в своё отверстие на верхней крышке корпуса.
- 9) К «Кроне» были припаяны провода.
- 10) Провода от батарейки были подведены через выключатель и кнопку и припаяны к камере и диоду.
- 11) Нижнюю и верхнюю крышку корпуса соединили с помощью 4 болтов М3.

12) На верхней крышке прибора было приклеено приспособление из двух вращающихся друг относительно друга пластмассовых крышек (дно у которых было предварительно удалено), в каждой из которых была приклеена поляризационная пластина.

13) Прибор готов!

14)

### **Постановка эксперимента и проверка эффективности прибора на практике**

Эксперимент проводился в МГТУ им. Н. Э. Баумана в компьютерном классе кафедры РЛ-2 (см. рис. 8 и 10). Цель эксперимента: проверить эффективность использования созданного прибора для обнаружения скрытых систем оптического видения. Эффективность использования прибора проверялась на близкой (1,5 м) (см. рис. 8) и более дальней дистанции (3 м) (см. рис. 9). Прибор может обнаружить скрытые системы оптического видения и на более значительных расстояниях (до 10 м), но для этого необходимо подобрать соответствующую интенсивность излучения. Но для решения нашей задачи (обнаружить скрытые системы оптического видения на одежде человека) дистанции 3 м достаточно.

#### **Для эксперимента использовались:**

- 1) Аналоговый монитор (см. рис. 2)
- 2) Прибор для обнаружения скрытых систем оптического видения (см. рис. 3 и 4)
- 3) Камеры для обнаружения: pin-hole (1 шт), фронтальная камера мобильного телефона (1 шт) и часы с встроенной скрытой камерой (1 шт). (см. рис. 5,6,7)

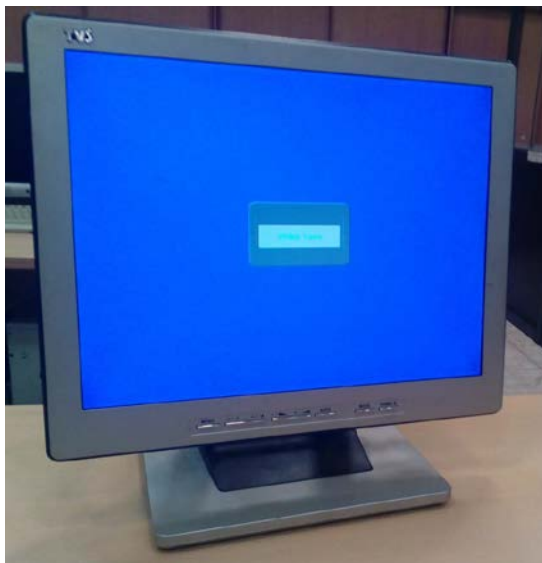


Рис. 2 Аналоговый монитор



Рис. 3 Прибор для обнаружения скрытых систем оптического видения  
(внешний вид)



Рис. 4 Прибор для обнаружения скрытых систем оптического видения  
(внутренние части)



Рис. 5 Фронтальная камера телефона (красным выделена непосредственно камера)



Рис. 6 Часы с встроенной скрытой камерой



Рис. 7 Pin-hole камера

### Ход эксперимента

1 часть (на ближней дистанции 1.5 м) (см. рис. 8)



Рис. 8 Ближняя дистанция

Часть комнаты за монитором была просканирована данным прибором и получен следующий результат (см. рис. 9)



Рис. 9 Результат сканирования на ближней дистанции (красным обведены блики камер)

**Вывод по 1 части эксперимента:** прибор отлично справился со своей задачей. Удалось не только быстро просканировать большую часть помещения, но и получить чёткие и однозначные блики камер.

**2 часть (сканирование на дистанции 3 м) (см. рис. 10)**



Рис. 10 Сканирование на дистанции 3 м. (красным выделены камеры, которые необходимо обнаружить)

Часть комнаты за монитором была просканирована данным прибором и получен следующий результат (см. рис. 11).



Рис. 11 Результаты сканирования комнаты с дистанции 3 м (красным цветом выделены блики камер)

**Вывод по 2 части:** Прибор отлично справился со своей задачей и на дистанции 3 м. Часть комнаты была быстро просканирована и были получены чёткие и хорошо различимые блики.

**Примечание:** На данных дистанциях тесты проводились под разными углами и по различным направлениям. К сожалению, на бумаге нельзя передать всю полноту эксперимента. Поэтому практическую часть полностью и со всеми деталями можно будет посмотреть в презентации.

**Итоги практической части: Прибор прошёл все тесты на отлично!**

### **Итоговой вывод**

В данной работе был изучен принцип обнаружения скрытых систем оптического видения **как теоретически:**

- 1) Рассмотрено что такое ПСВ и от чего он зависит.
- 2) Была изучена хроматическая аберрация и фокусировка камер.
- 3) Были изучены устройство и принцип работы прибора для обнаружения скрытых систем оптического видения.
- 4) Были изучены устройство диода и принцип его работы, а также значение прикреплённой к нему оптической линзы.
- 5) Были рассмотрены основные виды батарей.
- 6) Был изучен принцип работы камеры.
- 7) Были рассмотрены различные виды корпусов и алгоритм подбора, подходящего для данной работы.

### **Так и на практике:**

- 1) Был создан специальный прибор и с его помощью были обнаружены камеры на различных дистанциях.
- 2) Было рассмотрено устройство паяльника и его использование в соединении проводов.
- 3) Было рассмотрено устройство сверлильного станка и его использовании для создания отверстий, необходимой величины.



4) Была использована эпоксидная смола для склейки частей прибора друг с другом.

Для создания работы применялись различные программы: Microsoft Office Word, Excel, Power Point, Autodesk Inventor 2018 (создание 3 D деталей, блок схемы, сборки и анимации прибора) и Paint (для редактирования фотографий).

Была рассмотрена актуальность проблемы обнаружения скрытых систем оптического видения и её перспективы в будущем. Также, что очень важно, были рассмотрены основные способы модификации прибора.

**В результате**, был получен рабочий и эффективный прибор для обнаружения скрытых систем оптического видения, что доказано поставленными экспериментами.

## СЕКЦИЯ VI. Биомедицинская техника

### Разработка агрегата для проверки герметичности упаковки лекарственных препаратов

*Берман Владимир Леонидович,*

*г. Москва, ГБОУ «Лицей №1502 при МЭИ», 11 класс*

*Научный руководитель: Тикунов Анатолий Сергеевич,*

*ГБОУ «Лицей №1502 при МЭИ», педагог дополнительного образования*

#### **Введение**

Одно из главных требований к упаковке фармацевтических препаратов – полная герметичность, благодаря которой обеспечивается сохранность физико-химических свойств лекарств. В соответствии с фармакопейными требованиями, тест на герметичность проводят с использованием специализированного оборудования – вакуумного измерителя. Некоторые виды медицинских препаратов удобнее и выгоднее транспортировать до места расфасовки в больших емкостях, а именно в бочках объёмом до 120 литров. Емкости (меньшего объема) для дальнейшего хранения и использования препаратов и сырья в таком случае транспортируются отдельно. В процессе транспортировки может быть повреждена будущая упаковка. Эта проблема актуальна, так как в самом простом случае повреждение может грозить проникновением патогенных микроорганизмов в препарат, при инъекции эти микроорганизмы могут попасть в кровь пациента. Некоторые препараты реагируют с кислородом воздуха и/или парами воды, содержащимися в нём. Например, морфин (морфий), окисляясь, переходит в ядовитый оксидиморфин, многие витамины (например, А) разлагаются кислородом, некоторые анальгетики (бупренорфин) также теряют свои свойства при контакте с кислородом воздуха. Так же проверку необходимо производить автоматизированным образом, так как этого требуют большие объёмы. Аналогичных аппаратов не существует, есть лишь те, которые проверяют герметичность после розлива препаратов. Не проверяя герметичность ёмкости перед использованием можно утратить ценный препарат.

Значение автоматизации очень велико, так как применение автоматизированных систем позволяет в кратчайшие сроки осуществлять запуск цехов, легко контролировать объем и качество выпускаемой продукции, уменьшать затраты человеческого труда на осуществление технологического процесса. Анализ технологического процесса как объекта автоматизации является начальным этапом создания системы

автоматического управления технологическим аппаратом. Он проводится на основании априорной информации о технологическом процессе и аппарате, которая содержится в технической литературе и других источниках. В результате проведенного анализа инженер по автоматизации технологических процессов должен четко представлять перечень задач, которые будут решаться при автоматизации технологического процесса.

В настоящее время в различных областях техники широко применяют контроль изделий с помощью проникающих веществ. Методы испытаний различаются по виду проникающих веществ (жидкости или газы), назначению, областям применения, используемой технологической оснастке и др. Жидкие или газообразные пробные вещества проникают через несплошности конструкции вследствие наличия перепада давлений на ее стенке или за счет капиллярных сил. Для конструкций, работающих под избыточным относительно атмосферного давлением, перепад давлений считают положительным, для вакуумных – отрицательным, а для конструкций с разомкнутым объемом – равным нулю. Методы испытаний, при которых индикаторное вещество проникает через неплотности при положительном перепаде давлений, называют компрессионными, а при отрицательном – вакуумными. В зависимости от способа индикации первичной информации различают гидравлические, капиллярные, пузырьковые (пневматический, пневмогидравлический, вакуумный), монометрический

(падение и нарастание давления, дифференциальный, микроманометрический), химический, искровой, акустический, радиоактивный, галогенный, катарометрический и масс-спектрометрический методы испытаний. Области

применения методов определяются их чувствительностью к обнаружению течей, производительностью, стоимостью, безопасностью проведения работ, возможностью механизации и автоматизации контроля. Контролю на герметичность подвергают изделия, у которых на протяжении заданного времени должно сохраняться заданное давление рабочего или контрольного вещества либо утечка рабочего вещества не должна превышать допустимого значения. Эти величины задают в технических условиях (ТУ) на изготовление изделий. Таким образом, цель проекта заключается в разработке системы проверки герметичности емкости для фасовки препаратов или сырья перед использованием. Аппарат должен выполнять следующие функции:

- Иметь место для хранения емкостей перед проверкой (магазин)
- Автоматически выдавать их из магазина на проверку
- Проверять герметичность
- Анализируя данные проверки, разделить годные и негодные ёмкости для дальнейшего использования или утилизации

Исходя из цели, были поставлены следующие задачи:

- Изучить материал по данному вопросу
- Разработать конструкцию агрегата
- Подобрать нужные компоненты и материалы
- Собрать агрегат
- Протестировать агрегат

Предлагалось сконструировать аппарат конвейерного типа на основе пневматических узлов с программным управлением при помощи промышленного контроллера для наиболее быстрой и качественной проверки герметичности, также предполагалось использование высокоточного датчика вакуума для получения наиболее точных результатов проверки. Данная система должна уменьшить риск применения препаратов, испорченных вследствие контакта с воздухом, так как помимо одной проверки герметичности на производстве появится ещё одна непосредственно перед отправкой на хранение по месту употребления.

### **Выбор пневмоцилиндров**

Пневматический цилиндр – одна из составляющих пневмопривода, предназначенная для перемещения рабочего органа разных станков и

механизмов. Конструкция пневмоцилиндра, в отличие от поворотных исполнительных устройств, значительно проще и состоит из полой гильзы, внутри которой под давлением сжатого воздуха передвигается шток, создающий втягивающее и толкающее воздействие на механизм. Демпферы используются для понижения ударной нагрузки в конце хода штока. Если энергия удара небольшая, то данная роль отводится резиновым кольцам. В цилиндрах большого размера используется система удаления части воздуха с его дальнейшим выводом через дроссель. Разновидности цилиндров по принципу работы Пневматический цилиндр в зависимости от принципа работы может быть нескольких видов:

- Цилиндр одностороннего действия
- Цилиндр двустороннего действия

Конструкция одностороннего цилиндра подразумевает наличие только одного впускного отверстия, соответственно, рабочий ход механизм совершает только в одном направлении, в отличие от двустороннего цилиндра. Впускные отверстия в двустороннем цилиндре располагаются с обеих сторон, благодаря чему рабочий ход совершается в двух направлениях. Пневматический цилиндр делится на несколько видов в зависимости от конечного положения поршня:

- Двухпозиционный, имеющий две фиксированные крайние позиции
- Многопозиционные, в которых рабочий механизм может фиксироваться в разных положениях между двумя крайними позициями

Пневматические цилиндры в зависимости от назначения могут различаться по конструкции и исполнению отдельных ее элементов. К примеру, исполнительные устройства с двусторонним штоком используются в механизмах, требующих высокой устойчивости к боковым нагрузкам. Обеспечивается это креплением штока к двум опорам, располагающимся на большом расстоянии друг от друга.

Пневматический цилиндр с защищенным от проворачивания штоком используется в тех случаях, когда к нему

крепится инструмент. Специальные плоские фаски, цепляясь за направляющий элемент, ограничивают максимально допустимый крутящий момент. Плоские конструкции, оснащенные сплюснутыми гильзами, применяются с целью экономии монтажного пространства и защиты корпуса цилиндра от проворачивания. Тандем-цилиндр используется для увеличения усилия при сохранении диаметра гильзы. Конструкция таких цилиндров состоит из двух совмещенных в продольной плоскости цилиндров, имеющих общий шток. В полость деталей одновременно подается давление, что позволяет увеличить усилие на штоке в два раза. Текущая позиция цилиндра определяется при помощи специальных магнитных колец. Электромагнитные датчики фиксируют их положение и, соответственно, факт нахождения штока в определенном месте.

Проанализировав представленные выше данные, было решено использовать 3 тандем-цилиндра двустороннего для наилучшего перемещения и фиксации ёмкости при проверке герметичности. А также 2 обычных пневмоцилиндра двустороннего действия для перемещения укупора и создания разряжения.

Технические характеристики выбранных пневмоцилиндров: были выбраны 3 тандем-цилиндра серии TN (2 ход 100 мм, диаметр 16мм и 1 ход, диаметр 20), 2 пневмоцилиндра серии CBJ2B (ход 25 мм, диаметр 10). Подробная информация в приложении №1.

### **Выбор пневмораспределителей**

Пневматические распределители предназначены для управления движением потока рабочей среды (сжатого воздуха или любых других газов) за счет открытия одних входных и выходных каналов и перекрытия других. В данной статье рассмотрим, какими бывают пневмораспределители и какие особенности они имеют.

Главными параметрами любого распределителя являются:

- **Количество присоединительных отверстий (линий).** Обычно этот показатель варьируется от 2 до 5, не считая разъема, предназначенного для подачи управляющего сигнала. В зависимости от типа использования данные линии определяются как "вход" (подача воздуха в пневмораспределитель), "выход" (перенаправление в пневматическую систему) и "выхлоп" (сброс в атмосферу).
- **Количество возможных позиций переключения.** Различают двухпозиционные и трехпозиционные конфигурации распределителей. Трехпозиционный тип, помимо двух крайних, имеет среднее положение и позволяет осуществлять три варианта коммутации пневмолиний. Применяется только для пятилинейных пневмораспределителей.
- **Нормальная позиция.** Параметр указывает, в каком положении находится заслонка в момент, когда отсутствует управляющий сигнал. Нормально открытые распределители (НО) оставляют в этом случае канал свободным, нормально закрытые (НЗ) перекрывают его, а бистабильные меняют положение заслонки каждый раз, когда поступает управляющий сигнал, и остаются в этом положении до следующего импульса.

Производители в каталогах продукции чаще всего количество линий и позиций переключения распределителя обозначают цифрами, указанными через дробь. Возможные варианты: 2/2, 3/2, 4/2, 5/2, 5/3.

Например, описание функции распределителя может выглядеть как "3/2 (НО)", что указывает на трехлинейный, двухпозиционный, нормально открытый распределитель.

### **Управление пневмораспределителями**

Существует несколько различных способов управления пневмосистемой, причем каждая базовая модель распределителя может быть оснащена любым из перечисленных ниже элементов, в зависимости от задач и условий эксплуатации.

**Механическое управление.** К данному типу относятся такие типы концевых выключателей, как толкатель (плунжер), ролик и роликовый рычаг. Управление происходит за счет изменения положения движущихся узлов в системе. Возврат устройства осуществляется при помощи механической пружины.

**Ручное управление** позволяет переключить распределитель без подачи электрического управляющего сигнала. Для этого используются такие элементы, как кнопка, тумблер, педаль или ключ.

**Пневматическое управление** происходит благодаря воздуху, поданному в управляющий канал распределителя. Переключение позиции зависит от подачи давления управления непосредственно на золотник.

**Электромагнитное управление** осуществляется при помощи подачи электричества на соленоид. Возникшее в результате этого электромагнитное поле воздействует на металлический якорь, который своим перемещением создает управляющий сигнал.

Исходя из того, что необходимо перемещать пневмоцилиндр из одного положения во второе, фиксируя в этих положениях, а также что вся система будет управляться контроллером, было решено использовать пневмораспределитель "3/2 (НО)", то есть трехлинейный, двухпозиционный, нормально открытый распределитель для каждого пневмоцилиндра, то есть всего 5 пневмораспределителей такого типа. Были выбраны пневмораспределители модели 4V210-08. Технические характеристики в приложении №2.

### **Выбор датчика давления**

Датчики давления являются устройством, выдающим сигналы на выходе, зависящие от давления измеряемой среды. Сегодня не обходятся без точных датчиков определения давления. Они применяются в автоматизированных системах всех отраслей промышленности.

Многие датчики давления функционируют на преобразовании давления в движение механической части. Кроме механических элементов (трубчатые пружины, мембраны) для замеров используются тепловые и электрические системы.



Электронные элементы дают возможность осуществить производство датчиков давления на электронных элементах.

Датчик давления состоит из:

- Первоначальный преобразователь вместе с чувствительным элементом
- Корпус датчика, имеющий разные конструкции
- Электрическая схема

### **Волоконно-оптические**

Этот тип датчиков считается самым точным в работе, которая не имеет большой зависимости от изменений температуры. Элементом точной чувствительности действует оптический волновод. Давление в волоконно-оптических приборах определяется путем поляризации света, прошедшего по элементу чувствительности, и колебаниям амплитуды.

### **Оптоэлектронные датчики давления**

Датчики давления состоит из нескольких слоев, через которые проходит свет. Один слой меняет свойства от величины давления среды. Меняются 2 параметра: величина преломления и размер слоя. Методы изображены на рисунках. При изменении свойств будет изменяться характеристика света, проходящего через слой. Фотоэлемент производит регистрацию изменений. Преимуществом оптоэлектронных приборов стала высокая точность.

### **Магнитные**

Магнитные датчики давления еще называют индуктивными. Элементом чувствительности служит E-пластина, в центре расположена катушка, и проводящая мембрана. Она расположена на малом расстоянии от конца пластины. При подсоединении обмотки образуется магнитный поток, он идет через пластину, промежуток воздуха и мембрану.

### **Емкостные**

Датчики давления самой простой конструкции, состоящий из плоских электродов (2 шт.) с зазором. Электрод сделан мембраной, на нее давит измеряемое давление. Меняется размер зазора. Такой вид датчика образует конденсатор с

меняющимся зазором. Величина емкости конденсатора меняется при изменении промежутка от пластин или от электродов в данном случае.

### **Ртутные**

Также простая конструкция прибора. Действует по закону о сообщающихся сосудах. На одну емкость давит давление, которое нужно измерить. По величине другого сосуда определяется давление.

### **Пьезоэлектрические**

Элементом чувствительности в этом датчике служит пьезоэлемент. Это вещество, создающее электрический сигнал во время деформации. Такое свойство называется прямым пьезоэффектом. В измеряемой области находится пьезоэлемент, который образует ток, прямо зависящий от значения давления. Сигнал в датчике из пьезоматериала образуется только при деформации. При неизменном давлении нет деформации, поэтому датчик годен только для проведения замеров среды с быстро изменяемым давлением.

### **Пьезорезонансные**

В отличие от вышеописанного вида датчика здесь применяется обратный пьезоэффект, то есть, форма материала пьезоэлемента изменяется от тока подачи. Применяется резонатор в виде пластины из пьезоматериала. На пластину с двух сторон нанесены электроды. На них подключается по очереди напряжение питания с разным знаком, пластина производит изгиб в обе стороны в зависимости от полярности поданного напряжения и частоты. Если воздействовать на пластину силой, чувствительной мембраной к давлению, то резонатор изменит частоту колебаний. Частота резонатора укажет значение давления на мембрану, которая оказывает давление на резонатор.

### **Резистивные**

Другим названием этот датчик называется тензорезистор. Это элемент, который меняет собственное сопротивление при деформации. Такие тензорезисторы монтируют на мембрану, которая чувствительна к изменяющемуся давлению. В результате при приложении силы на мембрану происходит ее изгиб, из-за этого

изгибаются тензорезисторы, которые на ней закреплены. На тензорезисторах меняется сопротивление и значение тока цепи.

Есть несколько типов давления: барометрическое, избыточное, вакуумное, относительное, абсолютное. В нашем случае будет измеряться вакуумное давление. Для наших целей подойдёт высокоточный датчик давления любого типа, измеряющий вакуумное давление. Был выбран датчик модели PSB- V01P.

### **Выбор контроллера**

Для корректной работы агрегата необходимо 5 выходов и 9 входов. Подробнее приложение №4.

Таким образом, для корректного управления процессом проверки герметичности необходимо использовать базовую комплектацию контроллера Siemens LOGO! и один модуль расширения. Выбираем контроллер Siemens LOGO! 24RC, дисплей, напряжение питания/входы/выходы:24В/24В/реле, 8 дискретных входов/4 дискретных выхода, память на 200 блоков, расширяемый внешними модулями 24В AC/DC.

Основные характеристики:

- 8 дискретных входов, 4 дискретных выхода;
- 39 встроенных функции, сгруппированные в библиотеки логических (GF) и специальных (SF) функций
- 24 внутренних флага
- Встроенный календарь и часы (кроме LOGO! 24)
- Встроенный жидкокристаллический дисплей с поддержкой кириллицы и клавиатура
- Интерфейс для установки модуля памяти/батареи или подключения кабеля ПК для программирования с компьютера
- Интерфейс для подключения панели TD LOGO! или соединительного кабеля для аналогового модема
- Интерфейс расширения: до 24 дискретных входов + 8 аналоговых входов + 16 дискретных выходов+2 аналоговых выхода

Для управления технологическим процессом необходимо 9 дискретных входов, так как базовая комплектация ПЛК обеспечивает только 8 дискретных входов, то необходимо добавить модуль ввода-вывода. Напряжение питания этого модуля должно быть такое же, как и у самого ПЛК, то есть 24 В. Выбираем модуль ввода-вывода LOGO! DM8 24R, напряжение питания /входы: 24 В постоянного или переменного тока, 4 дискретных входа/4 релейных выхода.

Для питания ПЛК и модулей расширения выбираем стабилизированный источник питания с выходом 24 В/2,5 А. С помощью программного обеспечения Logo!Soft Comfort необходимо составить программу, которая будет управлять процессом проверки герметичности.

### **Программное обеспечение**

Для составления пневматической и электрической схемы установки было решено использовать программное обеспечение FluidSim(p)

Программа FluidSim разработана компанией Festo Didactic и предназначена для конструирования схем пневмопривода и пневмоавтоматики с ручным, электрическим и электронным управлением. Она позволяет исследовать работу составленных схем в различных режимах с использованием мультипликации. Имеется аналогичная программа для моделирования работы гидропривода.

Интерфейс программы такой же, как и большинства приложений Windows. Работа начинается с выбора пункта главного меню программы File-New. На экране размещено два окна – библиотека компонентов (Component Library) и окно проекта. Для того, чтобы поместить тот или иной элемент библиотеки в окно проекта, достаточно выделить его левой клавишей мыши и, удерживая ее, перетащить в окно проекта.

Среда программирования LOGO!Soft Comfort предназначена для создания алгоритмов работы приборов, относящихся к классу «программируемых реле». Эти приборы применяются для построения автоматизированных систем управления, а также для замены релейных систем защиты и контроля. При использовании ПР требуется меньше переключающих устройств для решения ряда задач малой

автоматизации, что снижает затраты на проектирование и изготовление систем, а также повышает их надежность.

Программное обеспечение LOGO!SoftComfort позволяет пользователю разработать коммутационную программу по собственному алгоритму с последующей записью ее в энергонезависимую память прибора.

#### **Алгоритм работы**

Отметка А.

Начальное положение: укупор поднят, остальные пневмоцилиндры втянуты. Ёмкость перемещается в зону проверки. Опускается укупор. Откачивается воздух. Происходит проверка герметичности. Если ёмкость герметична, то продолжение с отметки В. Если ёмкость негерметична, то продолжение с отметки С.

Отметка В.

Ёмкость перемещается дальше по рабочей зоне. Ёмкость перемещается на первый скат. Продолжение с отметки А.

Отметка С.

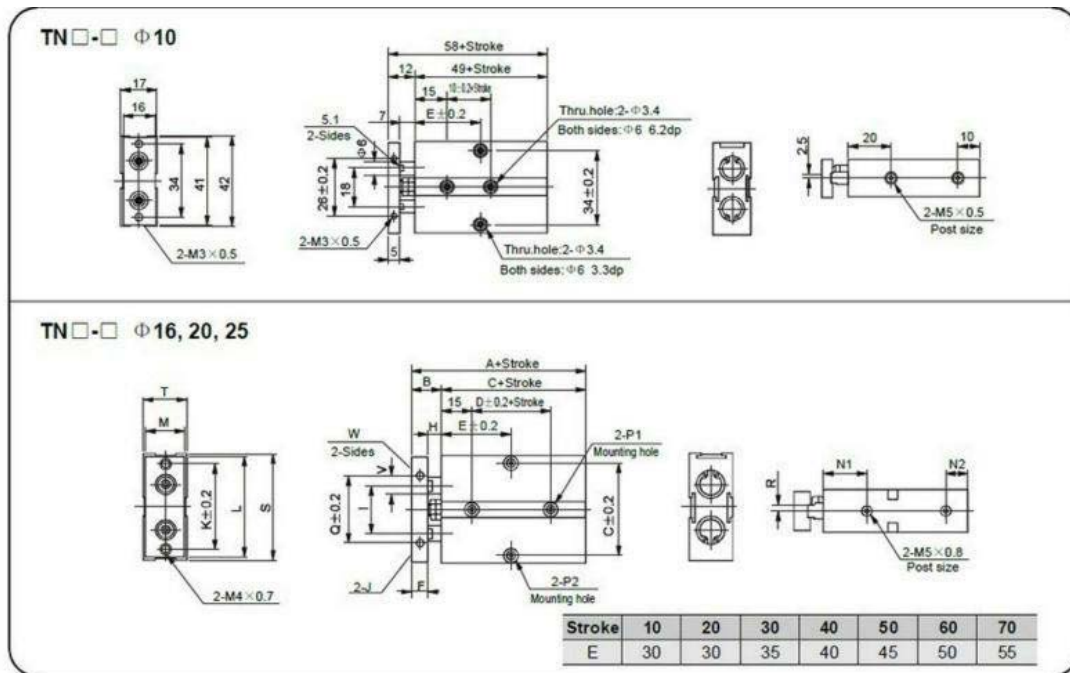
Ёмкость остаётся на месте. Ёмкость перемещается на второй скат. Продолжение с отметки А.

**Список источников**

- [1] <http://fb.ru/article/272794/pnevmaticheskiy-tsilindr-tehnicheskie-harakteristiki>
- [2] <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/datchiki-davleniia/>
- [3] <http://www.pnevmomash.ru/stati/klassifikaciya-pnevmaticheskikh-raspredelitelej>
- [4] <http://www.geo-ndt.ru/pribor-11753-pribor-dlya-proverki-germetichnosti-ypakovki-pk.htm>
- [5] <http://phct.ru/inspektionnaya-mashina-dlya-proverki-na-germetichnost-ilt/>
- [6] <http://www.festo-didactic.com/ru-ru/4441/486/fluidsim/fluidsim-5.htm?fbid=cnUucnUuNTcxLjI5LjE4LjU5MS43OTc1>
- [7] <https://support.industry.siemens.com/tf/WW/en/posts/logo-soft-comfort-v8-1/156338?page=0&pageSize=10>
- [8] <https://labfarma.ru/information/articles/219/>
- [9] <http://www.erection.ru/publications/2-04.pdf>
- [10] Метрологическое обеспечение машиностроительного производства. Комплекс учебно-методических материалов. Кайнова В. Н., Тесленко Е. В. Нижний Новгород, 2006 год.
- [11] Пневматические приводы и средства автоматизации. Учебное пособие. Москва, Форум, 2004 год

## Приложение №1

### Серия TN



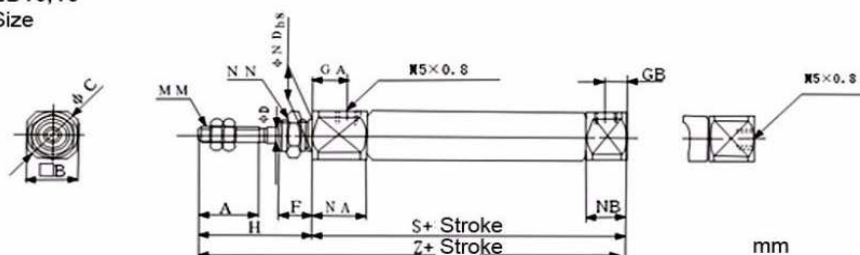
Bore size(mm)	A	B	C	D	Stroke	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	F	G	H	I
16	68	15	53	20	E	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	87.5	100	8	47	7	24
20	78	20	58	20	E	35	35	40	45	50	55	60	65	70	75	87.5	100	10	55	10	28
25	81	19	62	30	E	40	40	45	50	55	60	65	70	75	80	92.5	105	10	66	9	34

Bore size(mm)	J	K	L	M	N1	N2	P1	P2	Q	R	S	T	V	W
16	M4×0.7dp5	47	53	20	22	11	Both sides: Φ7.5dp7.2mm Thru hole: Φ4.5	Both sides: Φ8dp4.5mm Thru hole: Φ4.5	34	3	54	21	8	6.1
20	M4×0.7dp5	55	61	24	25	12	Both sides: Φ7.5dp7.2mm Thru hole: Φ4.5	Both sides: Φ8dp4.5mm Thru hole: Φ4.5	44	3.5	62	25	10	8.1
25	M4×0.7dp6	66	72	29	27	12	Both sides: Φ7.5dp7.2mm Thru hole: Φ4.5	Both sides: Φ8dp4.5mm Thru hole: Φ4.5	56	6	73	30	12	10.1

### Модель: CDJ2B10

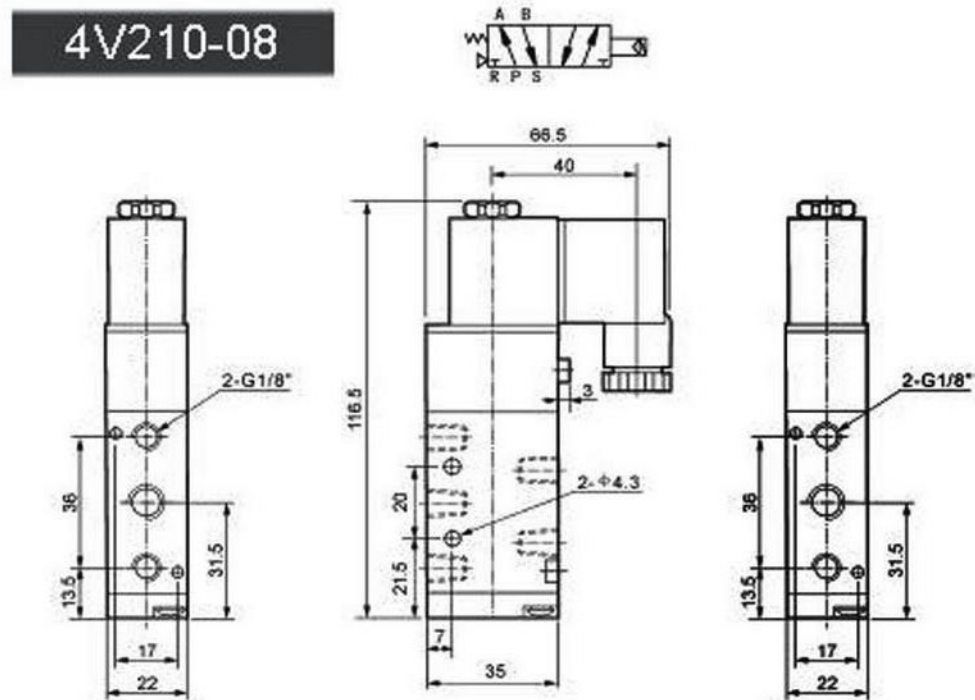
Bore (mm)	10	16	20	25	32
Motion Pattern	Double Action Or Single Action				
Working Medium	Air				
Proof Pressure	<b>1.5 MPA</b>				
Operating Pressure Range	<b>0.1-0.9 Mpa</b>				
Ambient And Fluid Temperature	-5~70°C(No Freezing)				
Port Size	M5×0.8				Rc1/8
Cushion	Rubber Bumper				
Stroke Adjustable Range	0-10mm Compared To The Standard Stroke				

### CJ2B10,16 Size



Bore(mm)	A	B	C	D	F	GA	GB	H	MM	NA	NB	NDh8	NN	S	T	Z
10	15	12	14	4	8	8	5	28	M4×0.7	12.5	9.5	8	M8×1.0	46	-	74
16	15	18	20	5	8	8	5	28	M5×0.8	12.5	9.5	10	M10×1.0	47	-	75

## Приложение №2



Модель	4V210-08
Способ работы	2/5
Размер порта	Воздуховод = Воздушная розетка = G1/4"
Жидкость для жидкости	40 микрон фильтруемый воздух
Эксплуатация и обслуживание	и Тип внутри пилота
Эксплуатационное давление	0.15 ~ 0.8мпа
Макс давления	1.2мпа
Температурный режим	5 ~ 50 с
Потребляемая мощность	АС: 2.5Вт
Изоляция катушек и класс защиты	Класс F. ip65
Напряжение питания	DC24В



### Приложение №3

Тип давления		Тип давления			
		Разрежение	Стандартный тип		Комбинированный тип
модель	NPN выход	PSA-V01 PSB-V01	PSA-01 PSB-01	PSA-1 PSB-1	PSA-C01 PSB-C01
	PNP выход	PSA-V01P PSB-V01P	PSA-01 P PSB-01 P	PSA-1 P PSB-1P	PSA-C01P PSB-C01P
Диапазон номин. давл.		0.0 ~ 101.3kPa	0~100.0kPa	0~1,000kPa	-100.0~100kPa
Отображаемый и установленный диапазон давления		5.0~ 101.3kPa	-5.0~110.0kPa	-50~-1,100kPa	-101.3~110kPa
Макс. диапазон давл.		2-х кратное номинальное давление		1.5 кратное ном. давление	2-х кратное ном. давление
Среда применения		Воздух, безокислительный газ			
Напряжение питания		12V-24В пост. тока ± 10%(Пульсации мощности P-P:Макс. 10%)			
Ток потребления		Макс. 50мА			
Управляющий выход		■NPN выходы с открытым коллектором – Ток нагрузки : Макс. 100мА, Напряжение нагрузки : Макс. 30В пост. тока , Остаточное напряжение : Макс. 1В ■PNP выходы с открытым коллектором- Мах. ток протекания : Макс. 100мА, Остаточное напряжение : Макс. 2В			
Гистерезис(*1)		1 разряд (2разряда/psi) зафиксирован			2разряда зафиксированы
Повторная ошибка		±0.2%Д.И. ±1 разряд			±0.2% Д.И. ±2 разряда
Время реакции		Варианты: 2.5мсек, 5мсек, 100мсек, 500мсек			
Защита от кор.замыкания		встроенная			
Аналоговый выход		■ Выходное напряжение : 1-5В пост.тока ±2% Д.И. ■ Нулевая точка:в пределах 1В пост.тока ±2% Д.И. ■Интервал: в пределах: 4В пост.тока ±2% Д.И. ■ Линейность : в пределах ±2% Д.И. ■ Разрешение : Приблизительно 1/200 ■ Полное выходное сопротивление : 1кОм			
Тип дисплея		3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> разрядный светодиодный семисегментный дисплей			
Мин.интервал отображения		1 разряд (2разряда/psi)			2 разряда
Единицы измерения давления		kPa, kgf/cm <sup>2</sup> , bar, psi, mmHg, mmH <sub>2</sub> O, inHg	kPa, kgf/cm <sup>2</sup> , bar, psi		kPa, kgf/cm <sup>2</sup> , bar, psi, mmHg, mmH <sub>2</sub> O, inHg
Параметры управляющего выхода и изм.темпер.		(*2) Макс. ±1% Д.И.			Макс. ±2% Д.И.
Параметры темпер-ры аналогового выхода		Мах. ±2% Д.И. (при 25°C)			
Температура окр. среды		-10°C ~ +50°C(в незамерзающем состоянии)			
Температура хранения		-20°C ~ +60°C (в незамерзающем состоянии)			
Влажность окр. среды		35 ~85% относительной влажности			
Влажность при хранении		35 ~85% относительной влажности			
Уровень вибраций		Амплитуда 1.5мм при частоте of 10 ~ 55Гц в X, Y, Z направлениях в течение 2 часов			
Материал		■ PSA Bf front case: PC, rear case : PC (стеклянная вкладка), напорное отверстие : отлитый по давлением(цинк) ■PSB Bf case, напорное отверстие : PA			
Класс защиты		IP40(IEC классификация)			
Кабель		Ø 4mm, 5P, длина : 2м			
Стандарт		CE			
Вес		PSA : приблизительно. 120гр, PSB : приблизительно. 70г			

\*Д. И. (Диапазон измерения) : установленный диапазон давления

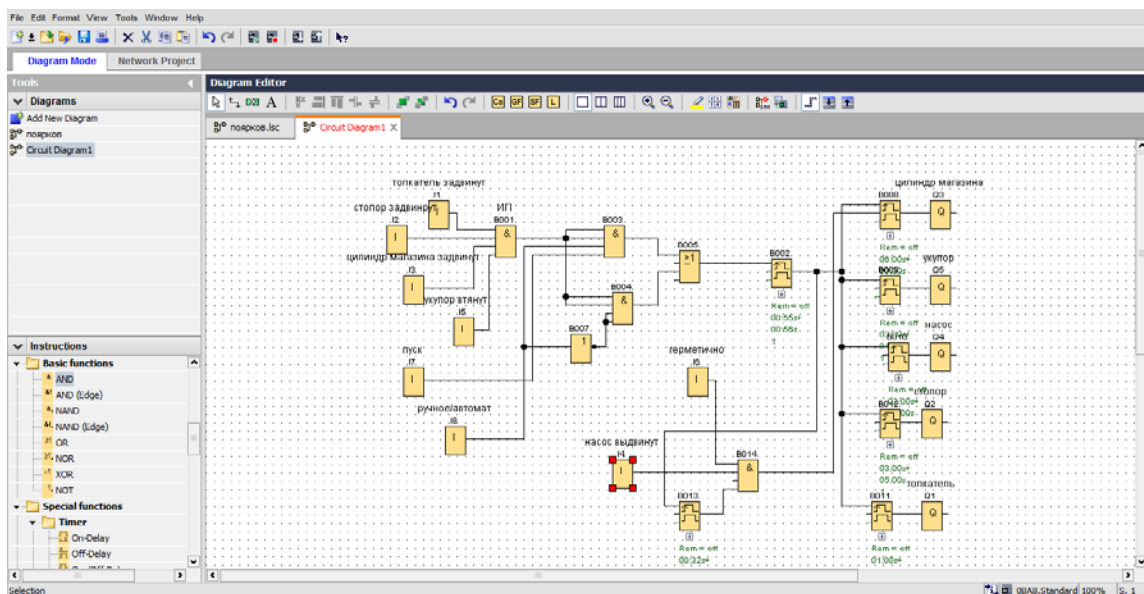
\*(\*1) параметры гистерезиса настраиваются при работе выхода в режиме F-1.

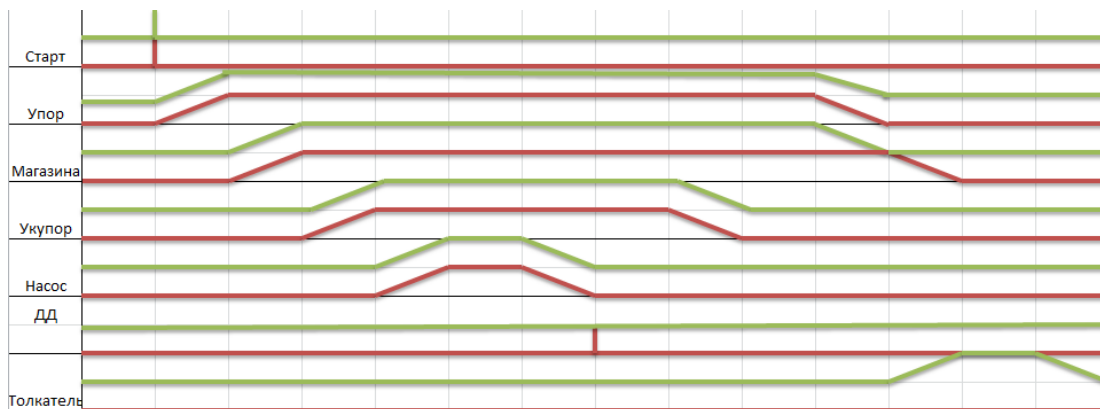
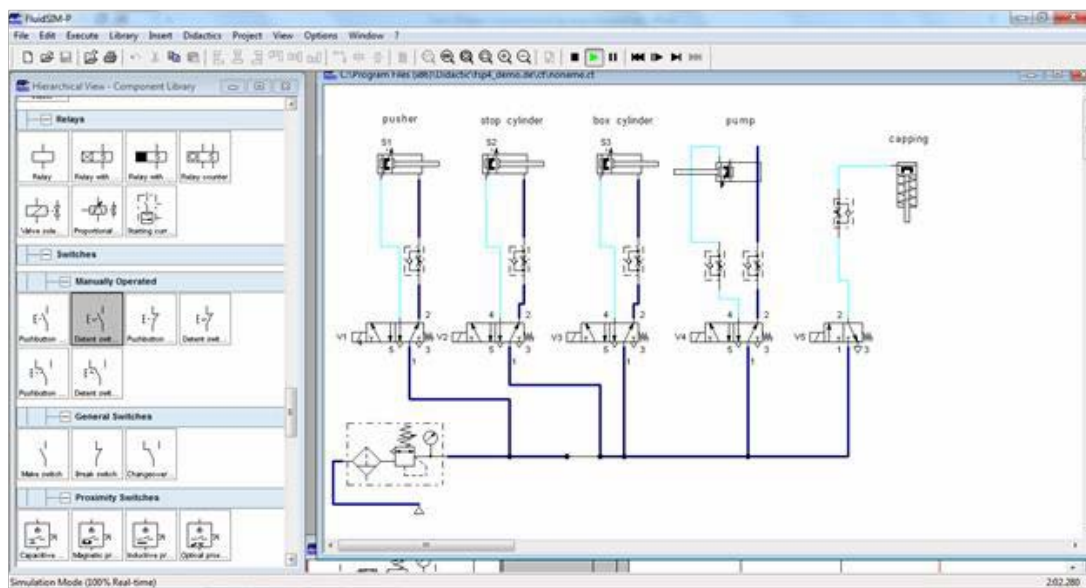
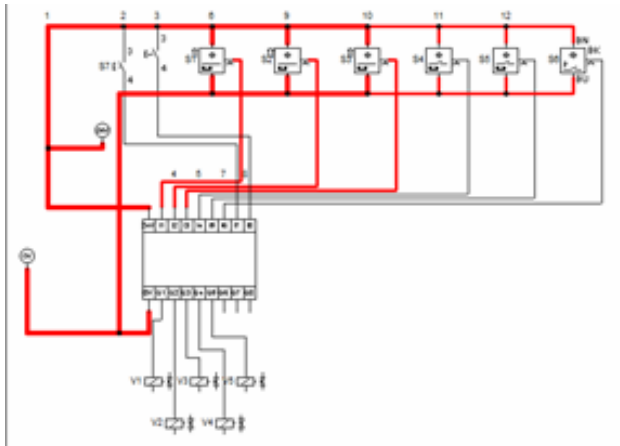
\*(\*2) макс. +1% при 25°C.

## Приложение №4

I1	геркон s1(толкатель втянут)
I2	геркон s2(стопор втянут)
I3	геркон s3(цилиндр магазина втянут)
I4	геркон s4(насос выдвинут)
I5	геркон s5(укупор втянут)
I6	датчик давления s6(герметично)
I7	кнопка s7(пуск)
I8	кнопка с фиксацией(ручное/автомат)
Q1	пневмораспределитель v1(толкатель)
Q2	пневмораспределитель v2(стопор)
Q3	пневмораспределитель v3(цилиндр магазина)
Q4	пневмораспределитель v4(насос)
Q5	пневмораспределитель v5(укупор)

## Приложение №5





## Приложение №6

### Аналоги

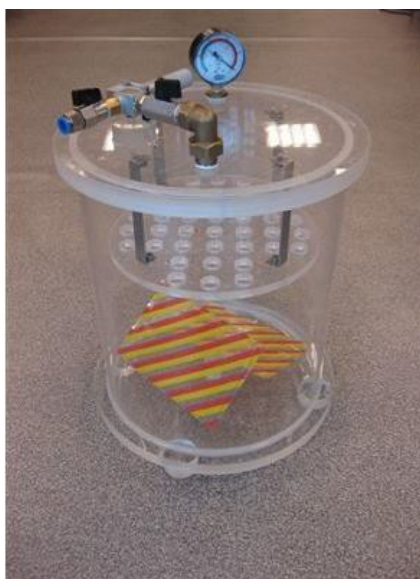
Инспекционная машина для проверки на герметичность iLT – это прибор, где ампула проверяется на целостность в момент подачи разряда тока высокого напряжения на стеклянный контейнер. За счёт кругового вращения проверяется вся поверхность ампулы на микротрещины во время одного испытания.



Прибор для проверки герметичности упаковки ПК. Прибор предназначен для контроля герметичности следующих видов тары:

тары:

- банок металлических и полимерных (контроль герметичности)
- бутылок и бутылей полимерных (контроль герметичности)
- продукции фасованной в мягкую тару



## **СЕКЦИЯ VII. Специальное машиностроение**

### **Разработка четырёхногой шагающей платформы**

*Архипова Александра Сергеевна,*

*г. Москва, МАОУ Лицей научно-инженерного профиля, 11 класс*

*Научный руководитель: Смородин Дмитрий Игоревич,*

*ЦДО «КВАНТОРИУМ», РКК «ЭНЕРГИЯ», преподаватель робототехники  
инженер-конструктор*

#### **Введение**

#### **Актуальность решаемой проблемы**

Колёсный робот-марсоход «Opportunity» за одиннадцать лет своей миссии прошел по красной планете всего 40 километров, а его близнец

«Spirit» уже через 7,5 км завяз в песке [11]. Проходимость колесной роботизированной техники при изучении других тел Солнечной системы недостаточна. Это стало одной из главных причин выхода из строя не только

«Spirit», но и китайского лунохода «Юйту» [7].

Стадо антилоп гну за день способно преодолевать расстояние до 50 км по пересечённой местности, горные серны резво взбираются на непокоримые кручи, а многотонные слоны с легкостью перемещаются по бездорожью [3]. Подобные сравнения наглядно показывают преимущества ходьбы, как способа передвижения в природных условиях, а также в опасной для человека среде. В связи с этим во многих странах активно ведутся разработки шагающих машин и роботов, схожих с живыми существами.

Роботом в современном представлении называется автономное устройство, выполняющее определенную работу в автоматическом режиме [4]. Для эффективного передвижения в среде обитания человека, работы с машинами и оборудованием сконструированных для людей, роботу достаточно не более четырёх педипуляторов. Биоморфный робот кроме этого ему нужно быть устойчивым как на четырёх, так и на трёх педипуляторах, в том числе при ходьбе по пересеченной местности. Кроме этого он должен отличаться повышенной маневренностью и

проходимостью, иметь низкие энергозатраты на единицу пути, быть способным в автоматическом режиме избирать точки опоры и, конечно же, быть мобильным в антропоморфной среде.

Человеку необходим альтернативный способ передвижения, так как в быстроразвивающемся мире потребность в вездеходных машинах только

возрастает. Нам нужны транспортные платформы для роботов, которые могут быть полезны во всех сферах деятельности человека. Пусть это будет поход в магазин с тяжёлыми сумками или освоение новой планеты с каменистым грунтом – везде найдется место применения шагающих роботов, которые в будущем будут отвечать всем требованиям энергоэффективности и безопасности.

Ходьба созданных на данный момент «четвероногих» шагающих роботов пока не совершенна, она требует значительных затрат энергии. В полной мере не решена задача правильного выбора точек опоры для педипуляторов. Современным шагающими роботам необходимо затрачивать энергию и в положении покоя, что может приводить к перегреву и возгоранию обмоток электродвигателей [11, 9]. В связи с этим круг использования существующих биоморфных шагающих платформ существенно ограничен, особенно при использовании их в опасных для человека условиях на Земле.

Все это определило актуальность избранной темы и послужило основанием для выполнения данного исследования. Реализация полученных данных позволит создать совершенную энергоэффективную биоморфную шагающую платформу для роботов и транспортных средств.

#### **Гипотеза исследования**

Вначале исследования мною была сформулирована гипотеза: **если конструкция шагающей платформы будет точнее воспроизводить природный аналог – четвероногое животное и копировать алгоритмы естественных локомоций, то ее ходьба станет более совершенной, а энергоэффективность возрастет.**

### **Цель исследования**

Разработать квадропедипуляторную биоморфную шагающую платформу, способную к воспроизведению естественных локомоций животных.

### **Задачи исследования**

1. Сконструировать бипедипуляторную и квадропедипуляторную экспериментальную модель для обучения программированию, работе с электроникой, а также составлению алгоритмов естественных локомоций.
2. Спроектировать и собрать крупногабаритный прототип квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы из пластика, научиться работать на 3D принтере с программой 3D моделирования.
3. Предложить концепцию энергоэффективности квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы и разработать конструкцию для ее реализации.
4. Сконструировать и изготовить полномасштабную квадропедипуляторную биоморфную шагающую платформу с использованием шарниров с гибкими элементами.
5. Написать алгоритмы естественных локомоций в виде программного кода и опробовать их на квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформе.

### **Основная часть исследования**

#### **Материалы и методы исследования**

Материалы и методическую помощь в реализации проекта предоставил ЦДО «Кванториум». На его базе с использованием лазерного резака, 3D- принтера, паяльной станции, сверлильного и шлифовального станков выполнялись наши конструкции. Для их изготовления использовались такие материалы, как полилактид (ПЛА) и поливиниловый спирт (ПВА) для изготовления деталей конструкций на 3D принтере, оргстекло и фанера для работы на лазерном резаке, сплавы алюминия и сталь, другие металлы из которых изготавливались части шагающей платформы. Применены электронные составляющие: Arduino UNO в

качестве микроконтроллера, плата дополнительных функций Multiservo Shield, стабилизаторы напряжения, сервоприводы, аккумуляторы. Использовалась программа 3D моделирования «КОМПАС» и «AutoCAD», «ServoStudio» для управления сервоприводами и среда программирования «Arduino IDE».

Изучение локомоций животных и достижений современной робототехники проведено по литературе, публикациям в сети интернет, фото- и видео- материалов. Инструментом для обработки полученной информации был компьютер.

На моделях и прототипах практически отрабатывалась реализация алгоритмов естественных локомоций животных. Методика проведения экспериментов состояла из четырёх этапов:

- 1) составление алгоритмов различных локомоций в виде схематического изображения,
- 2) написание программного кода для воспроизведения алгоритма,
- 3) тестирование программы на квадроциклистуляторной модели,
- 4) воспроизведение алгоритма на квадроциклистуляторной биоморфной шагающей платформе.

В качестве примеров естественных локомоций изучены способы передвижения лошади, антилопы гну и слона.

Моя работа является экспериментально-конструкторским исследованием, так как было создано несколько действующих моделей и установок, а также испытательный стенд. Основными методами моего научного исследования явились метод синтеза и анализа качественных и количественных показателей, полученных в ходе работы, а также экспериментальный метод.

### **Основные этапы реализации проекта и их обсуждение**

На первых этапах работы над проектом была изучена литература, посвященная робототехнике, мехатронике и анатомическим особенностям животных, а также Интернет-ресурсы подобной тематики. Проведено сопоставление уже сделанных четырёхпедипуляторных шагающих роботов друг с другом. Это позволило выявить



их основные недостатки, в частности: низкую энергоэффективность и устойчивость. Видеоролики в сети Интернет послужили мне примерами для написания собственных алгоритмов естественных локомоций. В книгах по анатомии я узнала о свойствах суставов живых существ, их изучение натолкнуло меня на мысль о создании аналогичных конструкций технике. Полезной была информация о пропорциях четвероногих животных, прежде всего о соотношении длин сегментов их конечностей. По видеозаписям в интернете мне удалось изучить алгоритмы движений животных, сопоставить их с алгоритмами существующих роботов и придумать свои.

На следующем этапе работы над проектом был изготовлен прообраз модели шагающей платформы с двумя педипуляторами из деревянных спиц, соединенных четырьмя сервоприводами TowerPro Micro Servo SG90 (Рис. 1), на котором я научилась работать с электроникой и программировать. Управляющей платой стала Arduino UNO.

Далее из фанеры на лазерном резачке изготовлена экспериментальная модель квадропедипуляторной платформы размерами 18x9x16 см, оснащенная восемью такими же сервоприводами TowerPro Micro Servo SG90, Arduino UNO и расширением для их управления Multiservo Shield (Рис. 2). На ней отработаны некоторые алгоритмы естественных локомоций животных, а именно: приседание, прыжок, циклический алгоритм ходьбы [8].

Затем в программе 3D моделирования разработан прототип шагающей платформы, детали которого распечатаны на 3D принтере, а некоторые элементы выполнены на лазерном резачке. Конструкция имела раму и четыре педипулятора из пластиковых трубок, в каждом по две степени свободы, которыми управляли сервоприводы Towerpro MG995 (Рис. 3). Сначала был создан один педипулятор, главной его конструкторской сложностью стала разработка коленного и бедренного шарниров. После утверждения оптимальной конструкции педипулятора, были изготовлены все четыре, которые соединены с рамой. Особенностью прототипа стали специализированные крепления и приспособления для управления

сервоприводами, а также оригинальный коленный шарнир содержащий кривошип. Управляющей платой, как и на экспериментальной модели квадропедипуляторной платформы, была Arduino UNO, а также использовалось расширение для управления большим количеством сервоприводов - Multiservo Shield. В экспериментах выявлены существенные недостатки прототипа, такие как люфт в шарнирных соединениях, малая мощность используемых сервоприводов и низкая прочность пластиковой конструкции, что стало понятно в процессе сборки и тестирования.

Анализ и синтез данных, полученных при сборке и испытании прототипа шагающей платформы, позволил сконструировать квадропедипуляторную биоморфную шагающую платформу из металла с более мощными сервоприводами DS3218 RC (Рис. 4). Её ширина составляет

21 сантиметр, длина 57 сантиметров, а высота 75 сантиметров. Платформа состояла из верхней панели с закрепленной на ней электроникой и четырёх педипуляторов - двух передних и двух задних. Управляющей платой являлось Arduino UNO, использовано расширение Multiservo Shield для управления восемью сервоприводами (Рис. 8) Для удобства работы с квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформой, был изготовлен испытательный стенд, на котором платформа находилась в подвешенном положении (Рис. 5). Так было удобнее отрабатывать алгоритмы естественных локомоций. Особенностью конструкции стало воспроизведение естественных пропорций, а также использование шарниров с гибкими элементами (Рис. 6 и 7), подобных суставам со связками у животных, что ранее в технике никогда не применялось. Более подробно данные шарниры описаны в нашей заявке на изобретение [1]. Энергоэффективность платформы обеспечивалась воспроизведением в конструкции пропорций реальных четвероногих животных, использованием автоматически стопорящихся коленных шарниров, применением возвратных пружин – аналогов мышц, а также использованием шарниров с гибкими элементами в качестве бедренных шарниров (Рис. 9). Положительными свойствами данных шарниров является то, что в процессе шага гибкие элементы разгружают трущиеся поверхности шарнира, что уменьшает

трение скольжения, стопорят движения в сагиттальной и фронтальной плоскости, а также способны разгружать электромеханические приводы.

Дополнительный вклад в энергоэффективность квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы привнесло применение в ее конструкции витых пружин, которые обеспечивали обратные движения и стабилизировали педипуляторы в оптимальном для поддержания устойчивости положении. Таким образом, было доказано, что сходство конструкции с природным аналогом приводит к улучшению воспроизведения естественных локомоций и повышению стабильности платформы в положении покоя и при ходьбе.

В соответствие с естественными локомоциями животных написаны алгоритмы естественных локомоций в виде программного кода – приседание, прыжок, ходьба, рысь, галоп, пассаж, аллюр. Перед написанием программного кода для алгоритма, выполнялся ряд схематичных рисунков, показывающих положение шагающей платформы в каждый момент времени. Изначально, отработка движений проводилась на испытательном стенде, на котором квадропедипуляторная биоморфная шагающая платформа была закреплена на подвесах и не касалась поверхности опоры. Затем передвижения платформы реализовывалось по ровной твердой поверхности. В связи с недостаточной мощностью сервоприводов отдельные виды естественных локомоций на практике воспроизвести не удалось, прежде всего, те, в которых присутствует фаза полёта – бег, прыжок, галоп. Алгоритм ходьбы воспроизводился удовлетворительно, но было отмечена недостаточность автостабилизации квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы. При этом конструктивные новшества позволили ей поддерживать положение устойчивого равновесия в покое при отсутствии питания сервоприводов, то есть без расхода заряда батареи.

## **Заключительная часть исследования**

### **Заключение**

В процессе работы над проектом мною было освоено программирование на языке Arduino, технология создания чертежей и пространственных моделей в средах 2D и 3D моделирования. Я поняла принцип работы лазерного резака и 3D принтера, узнала новые материалы и области их использования. На первом этапе работы над проектом мною были изучены литературные источники, интернет-статьи, фото и видео материалы. Синтез полученных данных позволил перейти к следующему второму этапу работы – созданию бипедипуляторной экспериментальной модели, на которой я смогла отработать полученные знания в области электротехники и программирования, а также первичные навыки монтажа. На третьем этапе работы была создана квадропедипуляторная экспериментальная модель, она послужила базой для отработки алгоритмов естественных локомоций четвероногих животных. Электрическая схема модели, аналогично которой создавались схемы прототипа и шагающей платформы, представлена на рис.

7. На четвертом этапе разработан прототип квадропедипуляторной шагающей платформы, который состоял из рамы и четырёх педипуляторов. Изготовление последних помогло мне найти новые технические решения в области монтажа сервоприводов и подвижных соединений. Технические недостатки конструкции прототипа я учла при разработки реальной квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы, что стало пятым этапом реализации моего проекта. Её сборка потребовала от меня умения работать на ручных станках, таких как гильотина, шлифовальный и сверлильный станок. Я научилась пользоваться ручной дрелью, шуруповёртом и электролобзиком. Вместе с наставниками из Кванториума удалось проделать эту непростую работу. Далее, на шестом этапе реализации

проекта, мною были сначала схематично начерчены, а потом представлены в виде программного кода алгоритмы естественных локомоций для квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы. Наиболее ярким результатом проделанной работы явилось воспроизведение машиной особого вида

ходьбы животных - пассажа, она может также воспроизводить приседание на передние и задние педипуляторы.

Полученные в процессе работы над проектом данные и конструкторские решения, примененные в нашей шагающей платформе, позволяют создать биоморфного квадропедипуляторного энергоэффективного робота, а также транспортную систему, способных воспроизводить алгоритмы естественных локомоций животных и работать при любой степени пересечённости местности.

### **Выводы**

1. Создание экспериментальных моделей эффективно при обучении программированию и работе с электроникой.
2. Конструирование пластикового прототипа при проектировании квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы позволяет выявить основные недостатки, которые могут быть учтены в конструкции реальной машины.
3. Повышение энергоэффективности квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы позволяет достичь соблюдение пропорций животных и введение в ее конструкцию шарниров с гибкими элементами – аналогов естественных суставов со связками.
4. Полномасштабная квадропедипуляторная биоморфная шагающая платформа, имеющая пропорции четвероногого животного, а также содержащая шарниры с гибкими элементами, технически исполнима и может воспроизводить естественные локомоции.
5. Алгоритмы естественных локомоций могут быть записаны в виде программного кода, протестированы на экспериментальных моделях и успешно воспроизведены на квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформе.

### **Практические рекомендации**

1. При создании шагающих биоморфных платформ для роботов, транспортных средств и научно-исследовательских комплексов рационально использовать шарниры с гибкими элементами.
2. Для отработки алгоритмов естественных локомоций эффективно использовать испытательные стенды с подвесами.
3. На начальных этапах разработки шагающей платформы удобно создавать её уменьшенные прототипы и модели.
4. Соблюдение пропорций реального животного при создании биоморфной шагающей платформы позволяет добиться естественного воспроизведения локомоций.
5. Плечевой и бедренный шарниры должны располагаться как можно ближе к средней линии биоморфной шагающей платформы, это обеспечивает её маневренность при ходьбе.

### **Области применения результатов**

Шагающая техника обладает повышенной проходимостью и маневренностью, так как точки опоры выбираются дискретно. Поэтому она будет незаменима при работе в опасной для человека среде, например, при авариях на атомных станциях, на полигонах, где проводится захоронение опасных веществ. Также возможна работа и при чрезвычайных ситуациях природного характера, например, при пожарах и после землетрясений.

Люди живут в городе, где все предусмотрено для их передвижения, поэтому и шагающему роботу будет удобно передвигаться в антропоморфной среде. Возможно, он сможет заменить социального работника, сопровождая пожилых людей и оказывая им помощь. Биоморфные шагающие платформы могут стать новым видом индивидуального транспорта для людей, живущих или работающих в условиях бездорожья. Также, они могут пригодиться в экспедициях, перенося тяжелые грузы, приборы и инструменты. На базе шагающих роботов возможно создать особый вид сельскохозяйственной техники, которая сможет работать в

горных районах, рационально используя посевную площадь, а также не нарушать структуру почвы. Шагающие роботы найдут себя и во всех областях экстремальной робототехники.

Биоморфная шагающая платформа, которую мы разрабатываем, станет надежным помощником тем, кто исследует далекие планеты, работает в опасных условиях на Земле, а также всем тем, для кого любознательность - стимул для изучения окружающего мира во всех его проявлениях.

### **Сравнение предложенных методов решения с известными**

На данный момент уже создан квадроцикл-робот-транспортёр (LS3), робот собака (Spot), робот кот (Wildcat), в которых используются гидравлические приводы [10, 12, 13]. Самым энергоэффективным шагающим роботом является Xinghe, который, приспособлен для передвижения только по гладкой поверхности. В данной конструкции применен электропривод и используется система пружин и тяг [5]. Сравнительный анализ квадроцикл-робот-шагающей платформы с современными аналогами показывает, что её конструкторское решение уникально. Ни в одном современном шагающих роботов не используются шарниры с гибкими элементами, а также коленные шарниры, созданные по аналогии с одноименными суставами животных. Методом решения проблемы по созданию эффективной квадроцикл-робот-шагающей платформы стало воспроизведение естественного в технике. Это доказывает и воспроизведение естественных пропорций животного, а также использование пружин - аналогов мышц и расположение шарниров как можно ближе к средней линии платформы.

### **Научно-техническая новизна**

1. Воспроизведение естественных пропорций в квадроцикл-робот-шагающей платформе.
2. Использование в конструкции квадроцикл-робот-шагающей платформы шарниров с гибкими элементами, подобных суставам животных.
3. Использование в шарнирных соединениях пружин в качестве аналогов мышц.

4. Использование самостопорящихся шарниров со смещенной осью вращения.
5. Воспроизведение алгоритмов естественных локомоций на биоморфной квадропедипуляторной шагающей платформе.

### **Планы на будущее**

Изготовленная квадропедипуляторная биоморфная шагающая платформа ещё неустойчива, как новорожденный олененок. Поэтому следующим этапом станет разработка системы стабилизации и маневрирования для квадропедипуляторной биоморфной шагающей платформы. Это сложная задача, которая требует глубоких знаний в области механики, математики и мехатроники. Есть идея использовать конструкцию

в виде песочных часов с гидрогелем вместо песка, который будет переливаться в противофазе наклона корпуса, или тяжелую гирю, которая будет вращаться в горизонтальной плоскости и гасить колебания системы. Все замыслы требуют дальнейших экспериментальных исследований, поэтому я хочу им заняться уже в университете.

### **Список литературы**

- [1] Архипов С.В., Архипова А.С. Шарнир с гибкими элементами. Заявка на изобретение №2014142675/11(068934) от 22.10.2014 г.
- [2] Бранков Г. Основы биомеханики. М. Мир, 1981, 254 с.
- [3] Брезина, М.Ф. (2008). Современная школьная энциклопедия. Мир животных. Москва: Росмен.
- [4] Кулаков, Б.Б., & Беляев, В.В. (2013). Антропоморфные роботы как новая сфера применения гидроприводов. Инженерный журнал: наука и инновации, 4. Retrieved April 19, 2015, from URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/682.html>



- [5] Рекорд ходьбы среди роботов: 134 километра за 54 часа. Дата обновления: 26.12.2017. URL: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=2684946&cid=2161> (Дата обращения: 08.10.2017)
- [6] Слон устроен как полноприводный автомобиль. Дата обновления 29.03.2010. URL: [http://www.origins.org.ua/page.php?id\\_story=1098](http://www.origins.org.ua/page.php?id_story=1098) (Дата обращения: 7.12.2017)
- [7] Столкновение с камнем стало возможной причиной поломки лунохода Юйту. (2014, July 21). Retrieved April 19, 2015, from <http://ria.ru/space/20140721/1016877140.html>
- [8] Филиппов С.А. Уроки робототехники. М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2017, 176 с.
- [9] Электроприводы роботов. (2011, April 9). Retrieved April 19, 2015, from <http://robot-develop.org/archives/1590>
- [10] Legged Squad Support System. Дата обновления: 20.09.2017. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Legged\\_Squad\\_Support\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Legged_Squad_Support_System) (Дата обращения: 17.10.2017)
- [11] Spirit and Opportunity. (2015, April 18). Retrieved April 19, 2015, from [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/mer/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/mer/index.html)
- [12] Spot Is Boston Dynamics' Nimble New Quadruped Robot. Дата обновления: 02.10.2015. URL: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/spot-is-boston-dynamics-nimble-new-quadruped-robot> (Дата обращения: 15.12.2017.)
- [13] WildCat. Дата обновления: 05.10.2013. URL: <https://www.bostondynamics.com/wildcat> (Дата обращения: 23.11.2017)

## Приложение

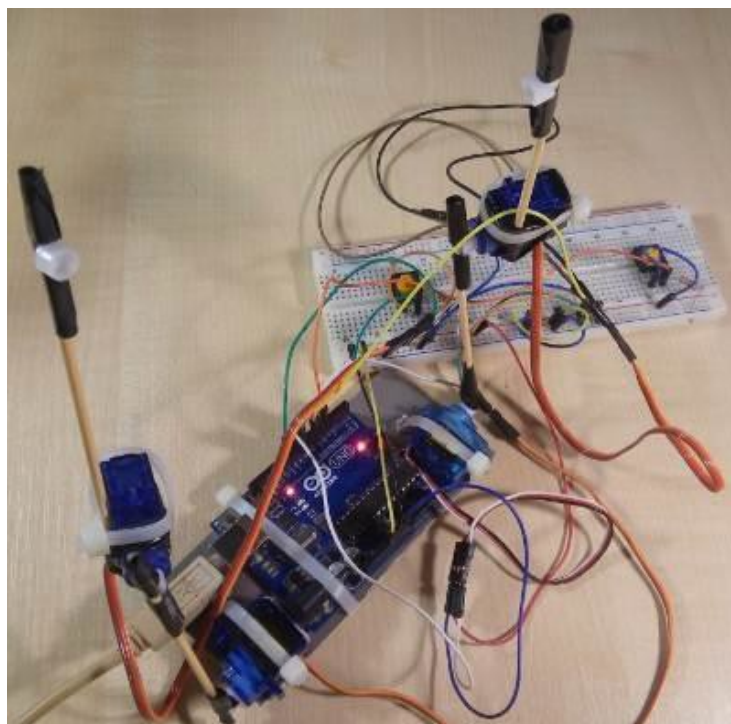


Рис. 1 Бипедипуляторная экспериментальная модель.

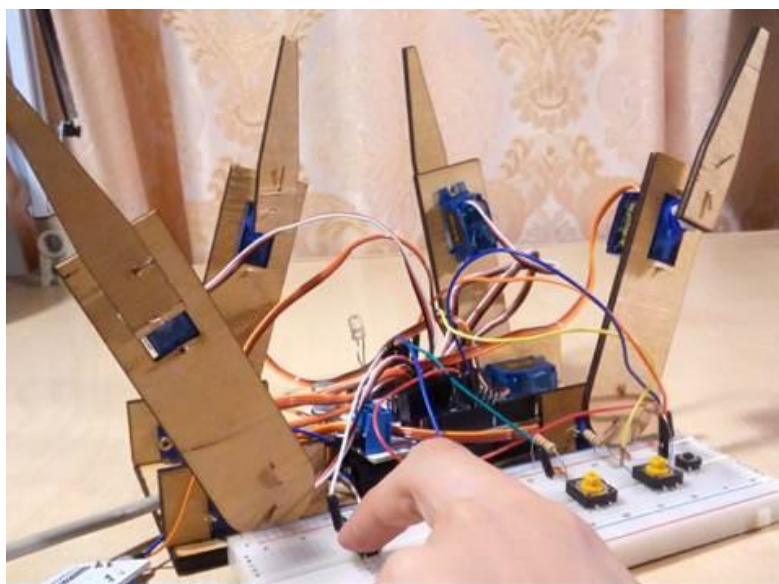


Рис. 2 Квадропедипуляторная экспериментальная модель.

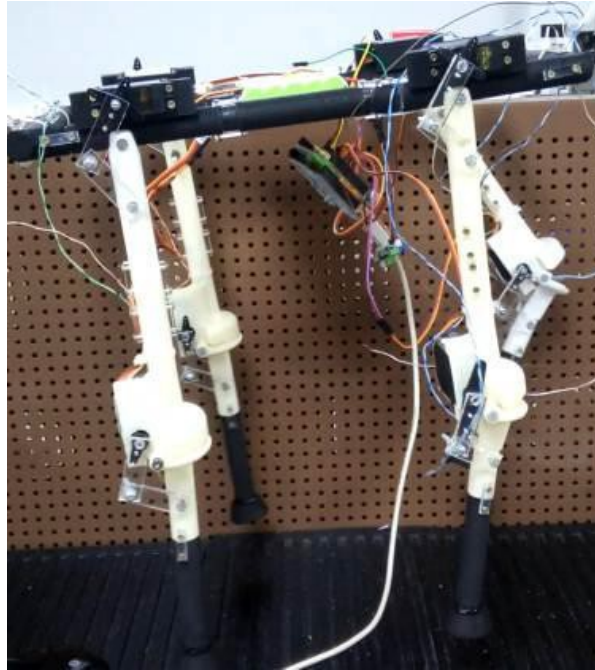


Рис. 3 Прототип квадропедиупуляторной биоморфной шагающей платформы.



Рис. 4 Квадропедиупуляторная биоморфная шагающая платформа.



Рис. 5 Квадропедикулярная биоморфная шагающая платформа подвешенная на испытательном стенде.

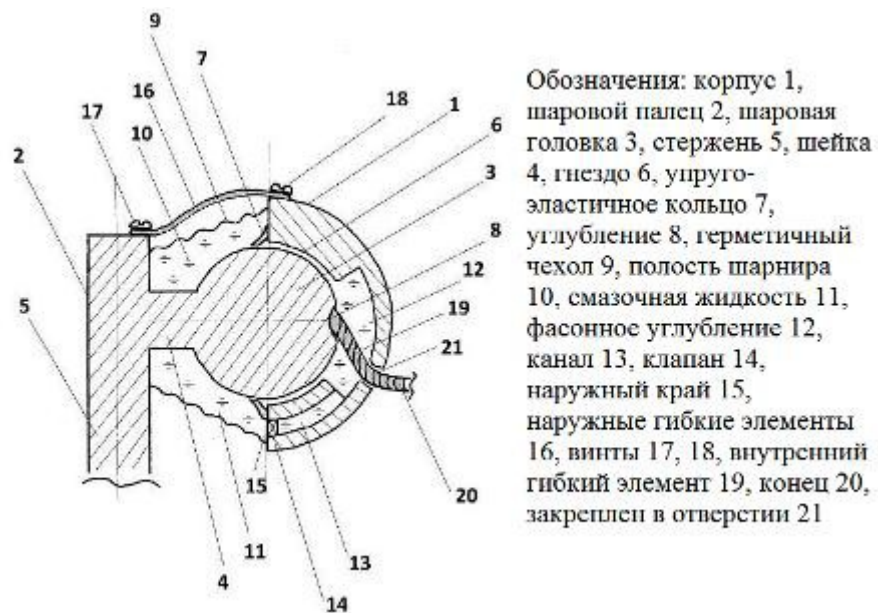


Рис.6 Шаровой шарнир с гибкими элементами.

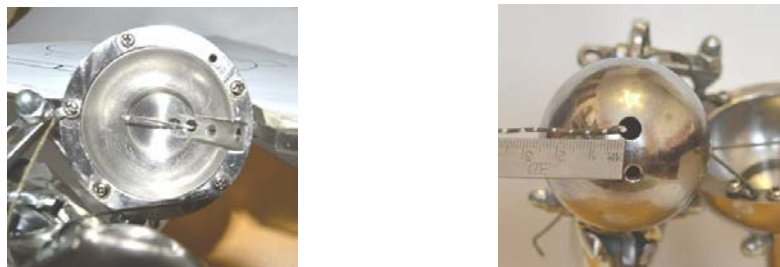


Рис. 7 Шаровой шарнир с гибкими элементами в разобранном виде

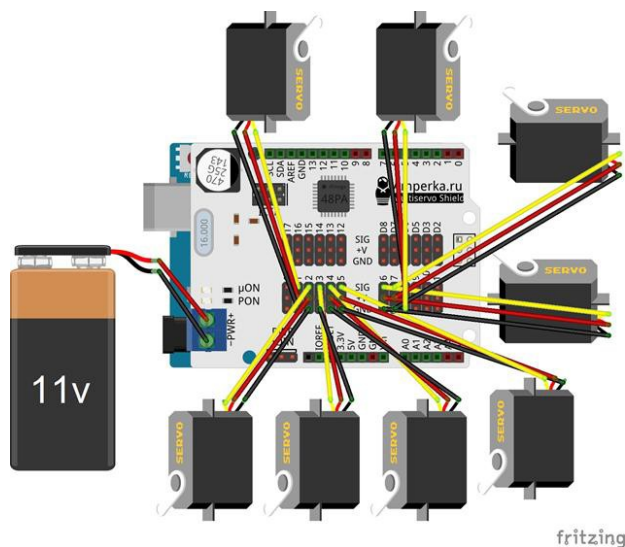


Рис. 8 Принципиальная электрическая схема

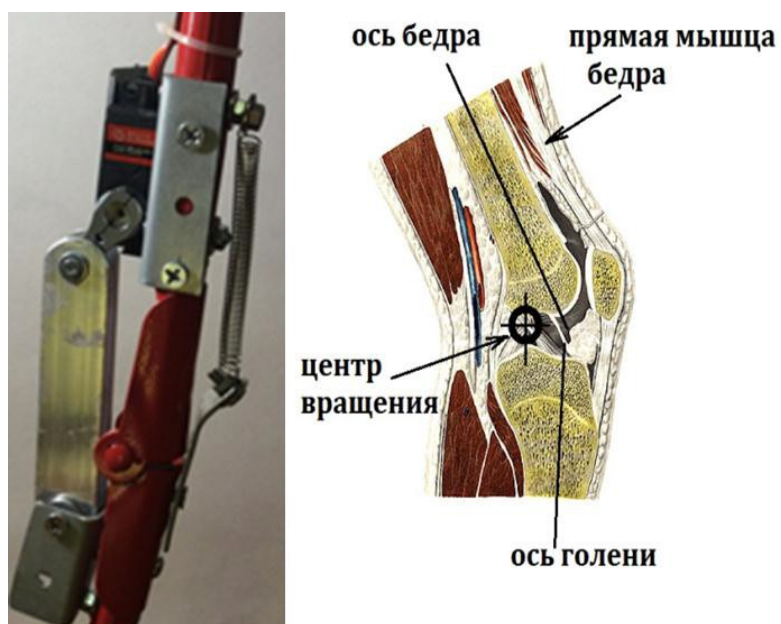


Рис. 9 Самостопорящийся коленный шарнир и его природный аналог

## **Проектирование и оценка характеристик шасси робота-миноискателя**

*Парамошин Дмитрий Владимирович,*

*г. Москва, Школа имени Маршала В.И.Чуйкова, 11 класс*

*Научный руководитель: Стадухин Антон Алексеевич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент каф. СМ-9*

### **Постановка задачи**

Существует множество роботов для уничтожения мин, но роботов для обнаружения мин крайне мало. Серийных моделей нет вообще. Задачей нашего проекта стала разработка такого робота, постройка прототипа ходовой части.

Измерение ходовых характеристик конструкции, проведение различных опытов для получения этих значений и сравнение полученных результатов с результатами, вычисленными по формулам. Проведение ходовых испытаний и вычисление основных параметров гусеничной конструкции.

### **Цель работы:**

Целью работы является создание автономного робота на гусеничном ходу, способного обнаружить мину(металлические объекты). Для успешного выполнения задач робот должен действовать автономно в окружающем пространстве. Конструкция должна быть адаптирована к работе в окружающей среде. Требуется грязезащита, влагозащита, герметичность электроники. Робот должен самостоятельно обнаруживать мину и сигнализировать об этом оператору.

Целью работы также является измерение ходовых характеристик робота-сапера, сравнение их с ранее вычисленными по формулам значениями.

Описание технических характеристик, измерение различных показателей механизмов и вычисление неизмеримых характеристик. Сравнение известных характеристик с табличными значениями.

### **Введение**

Об актуальности: непрерывное увеличение конфликтов с применением минирования ведет к усовершенствованию способов обнаружения и ликвидации мин. Одним из них стали роботизированные машины или роботы-саперы.

Роботы способны выполнять работу быстрее и точнее, чем любой человек. Потеря работоспособности робота никогда не сравнится с утратой человеческой жизни. Именно по этим причинам роботизированные машины начали активно использоваться войсками.

Способов обезвредить мину несколько, вот основные из них:

1) Непосредственный подрыв мины:

Тяжелый предмет воздействует на мину, чем вызывает ее детонацию. К машинам, использующим данный метод можно отнести: противоминные катки-тралы, барабаны с цепями (как на роботе Уран-10) и многие другие.

2) Воздействие на мину ударной волной.

Уничтожение мины взрывом, вызывающим подрыв мин. Данный способ используется для проделывания прохода в узких минных полях, для прохода пехоты и техники по образовавшемуся коридору, очищенному от мин.

3) Обнаружение и извлечение мин человеком.

В данном методе разминирования сапер должен самостоятельно обнаружить и разминировать мину, что связано с высоким риском для него.

4) Обнаружение и уничтожение мин роботом.

В таком методе разминирования робот обнаруживает и уничтожает мину самостоятельно, действуя по программе, или работает дистанционно управляемый оператором-сапером. Стоит отметить, что при таком варианте работы человек не подвергается опасности.

**Обзор основных роботов-саперов, существующих на данный момент:**

**1) Роботы осмотра и дистанционного разминирования.**

Роботы осмотра и разминирования предназначены для военного и гражданского применения.

Это, как правило, мобильные управляемые платформы,

предназначенные для осмотра предметов или точек, которые вызывают подозрения в опасности. Для этого платформы оснащены камерами, передающими видео на дисплей пульта оператора. С помощью таких систем можно перемещать

подозрительные предметы или уничтожать их, вызывая их подрыв в месте, где они найдены или перемещая их в другое место, где взрыв вызовет меньше разрушений. Для этого платформы оборудованы одним или двумя роботизированными манипуляторами. Бывают гусеничными и колесными. Характерен для них небольшой размер, отсутствие брони и малый вес (Рис. 1).

К данным роботам относятся:

1) Вездеход-ТМЗ:

Проведение аудио-видео разведки объектов и территорий в условиях слабопересеченной местности, городской инфраструктуры и в помещениях. Осмотр днищ салонов и багажных отделений транспортных средств. Доставка, установка и дистанционное приведение в действие взрывоопасных устройств при любой освещенности.

2) iRobot 510 PackBot:

Робот для манипуляций, обнаружения и исследования. Гусеничный. Применяется солдатами США в боевых условиях. По сравнению с аналогами отличается небольшими размерами, что позволяет использовать их в сложных боевых условиях. Он также более быстрый и позволяет осуществлять различные операции, необходимые бойцам. Дальность действия - около сотни метров.

Несколько камер обеспечивают круговой обзор, также есть камера на манипуляторе, поэтому можно видеть, что робот захватывает. Управление джойстиком пульта.

3) «Варан»:

Робот создан для дистанционной разведки, поиска и первичного осмотра подозрительных на взрывное устройство предметов с помощью телевизионных камер и специального навесного оборудования, дистанционное обезвреживание, загрузка объектов в контейнеры для эвакуации, а также выполнение технологических операций. Принят на вооружение.

И менее известные:

4) «Кобра-1600»



5) [РТС-РР](#)

6) Andros HD

## **2) Роботы разминирования (Рис. 2)**

1) Проход-1:

Роботизированный комплекс разминирования. Разработчик –

Уралвагонзавод, на базе бронированной машины разминирования БМР-3М "Вебрь". Дистанционно управляемый. С тралом ТМТ-С и устройством для уничтожения противобортовых мин. Ходовая часть Т-90 с 1000-сильным двигателем. Передняя часть прикрыта контейнерами динамической защиты. Вооружение: 12.7 мм пулемет; 8 гранатометов для дымовых завес. Робот управляется с мобильного командного пункта. Робот способен работать автоматически. Может создавать проходы в минных полях шириной 4.5 метра, обезвреживая контактные и магнитные мины. Летом 2016 года завершились государственные испытания.

2) Уран-10:

Многофункциональный телеуправляемый мобильный комплекс

разминирования. Оснащен бойковым тралом или зубчатым рыхлителем. Может оснащаться манипулятором с захватом. Предназначен для борьбы с минами и прodelывания проходов в минных полях. Робот оснащен тяжелым бронированием и защитным экраном в передней части корпуса. Подрыв мины производится из-за механического воздействия на мину ударом раскрученных на цепи стальных грузов.

### **Описание разработанной конструкции робота**

#### **Обоснование выбора конструкции шасси**

За основу ходовой была принята гусеничная платформа с четырьмя независимыми гусеницами.

Гусеничная база проигрывает в скорости колесной, но благодаря большей площади контакта, гусеницы позволяют роботу эффективнее перемещаться по пересеченной местности.

Большая площадь контакта обеспечивает лучшую проходимость по грязи и слабонесущим грунтам. Эта же площадь обеспечивает лучшее трение о поверхность, что позволяет роботу сохранять сцепление с грунтом на склонах и спусках и избежать пробуксовки на слабонесущих грунтах.

Треугольная форма гусениц также обеспечивает увеличение высоты преодолеваемых препятствий. Передний каток треугольной гусеницы находится выше катка плоской гусеницы (при прочих равных). Там, где плоская гусеница упрется в преграду катком, треугольная гусеница переедет препятствие из-за увеличенной высоты оси переднего ведущего катка. Приподнятость катка над поверхностью также обеспечивает лучшую защиту мотора от воды и грязи по сравнению с плоской гусеницей, где все катки расположены в один ряд.

Приподнятость мотора также позволяет увеличить дорожный просвет, что положительно влияет на проходимость (Рис. 3).

#### **Автономность всех четырех моторов**

Одной из важнейших характеристик конструкции, работающей в полевых условиях, должны являться надежность и проходимость. Проходимость обеспечивается четырьмя автономными моторами. Гусениц тоже четыре, причем они соединены попарно, и прикреплены к корпусу не жестко, а на пружинах-амортизаторах. При наезде на препятствие гусеничная тележка на амортизаторе приподнимается передним катком, такая конструкция позволяет увеличить высоту объектов, на которые может взобраться робот, что повышает проходимость, так как максимальная высота преодолеваемых препятствий определяется, как высота оси переднего катка гусеницы. Его подъем ведет к увеличению преодолеваемых препятствий.

Особенно хочется отметить, что при поломке мотора, застревании гусеницы или повреждении и потере катков одной из гусениц другие гусеничные моторы способны обеспечить прямолинейное движение робота-сапера, повороты, преодоление невысоких препятствий. Эта особенность сильно повышает живучесть

конструкции, позволяя роботам добираться до базы даже с поврежденным мотором и трансмиссией.

### **Металлическая база**

Основа робота состоит из двух направляющих, площадок для крепления отсека с электроникой, а так же переднего и заднего моста с моторами и гусеницами. (Рис. 4)

Прочности пластика было недостаточно (это показали испытания прототипов «1» и «2»). Именно из-за этого база робота выполнена из гнутого листового алюминиевого сплава, что обеспечивает высокую прочность и надежность, не внося помехи в работу металлоискателя, как если бы она была выполнена из железа. Моторы также закреплены на металлической базе, что позволяет повысить прочность, увеличить долговечность и износостойчивость конструкции. Катки и редукторы выполнены из стали, что увеличивает срок службы и дает возможность работать в широком диапазоне температуры, влажности, и прочих враждебных условиях. Все детали плотно крепятся к базе и даже при падении с небольшой высоты конструкция не пострадает. (Рис.4).

### **Корпус**

Для защиты электроники от воздействия окружающей среды: влаги, грязи, механического воздействия и т.д. был спроектирован корпус с отсеком для электроники. Корпус создавался в среде разработки FreeCAD. Все электронные компоненты установлены на своих местах в специально рассчитанных и созданных пазах и точках крепления. Платы закреплены на стойках, в центре корпуса робота, под крышкой. Такая компоновка позволяет обеспечить надежность взаимодействия электроники и ее механическую прочность. Весь корпус изготовлен из SBS пластика толщина стенок 5мм, что обеспечивает прочность отсека и его защищенность. В корпусе созданы отверстия для вывода проводов к моторам, закреплении кармана с аккумулятором. Также присутствуют отверстия для доступа к программным портам платы, что позволяет быстро подключать робота к компьютеру и оперативно изменять программу под конкретные нужды.

В корпусе предусмотрен быстрый доступ ко всей электронике через откидную крышку. Это позволяет оперативно исправлять неисправности и быстро заменять севшие аккумуляторы на новые. Такая конструкция повышает удобство настройки, эксплуатации и ремонта (Рис. 5).

### **Отсек с электроникой**

Для управления и передвижения роботу требуются различные электрические компоненты, плата управления, аккумулятор, питающий моторы.

Электроника робота состоит из:

#### **1) Платы управления Arduino MEGA**

Обеспечивает оперативное исполнение программы с достаточным объемом памяти, для реализации сложных алгоритмов. Большое количество портов также позволяет подключить множество датчиков и обрабатывать входящие с них значения.

#### **2) Преобразователя напряжения (12->5 В)**

На роботе смонтирован аккумулятор 12 вольт. Плата и детектор рассчитаны на 5 вольт, но двигателям для максимально эффективного передвижения требуется 12 вольт. Из-за таких значений напряжения на разных частях электроники, потребовалось собрать маленькую плату-преобразователь. Она преобразует напряжение от аккумулятора, но также есть выход 12 вольт, идущий напрямую к драйверам моторов.

#### **3) Блока управления моторами на контролерах**

Так как напряжение управления, выдаваемое платой Arduino, составляет 5 вольт, то нам понадобилось применить драйвер управления моторами, который 5-ти вольтовые управляющие сигналы превращает в силовое напряжение 12 вольт для питания моторов.

#### **4) Платы радиуправления**

Программа не всегда может быть эффективна, зачастую требуется вмешательство человека в работу робота, именно по этой причине создано два режима работы:

- полностью автоматическая программа
- радиоуправление

Такая особенность позволяет оператору управлять роботом на сложных участках местности и эффективно действовать там, где программа движения оказывается недостаточно точной или опасной для робота (сильно пересеченная местность, водные преграды на пути робота, крутые склоны, обрывы, косогор и т. д.)

#### 5) Аккумулятор

Используются литиевые аккумуляторы, емкостью 2200 МА\Ч, с напряжением 12 В. Этого хватает на 1.5 часа движения в штатном режиме или на 0.5 часа на максимальной мощности. При таких характеристиках аккумулятор обладает малой массой и габаритами. Смена осуществляется за несколько минут, что помогает быстро менять батареи и не прерывать работу робота на длительное время. Это также помогает при ремонте и взаимодействии с малоквалифицированным оператором.

#### 6) Антенны

Нужна для работы радиоуправления. Дальность связи радиосигнала оставляет (на открытой местности) 150-200 метров.

#### 7) Вспомогательных деталей: резисторов, светодиодов, макетных плат.

Все эти детали нужны для согласования плат и световой индикации работы отдельных частей схемы (рис. 6).

#### **Кронштейн**

Для перевозки полезной нагрузки (катушки металлоискателя) было создано крепление в передней части робота. Помимо катушки металлоискателя на подвижном кронштейне, возможна установка других приспособлений: камеры, различных датчиков, усиленной антенны и т. д. Кронштейн может иметь различную

форму и выдерживает до 3 кг полезной нагрузки. Может полностью демонтироваться для облегчения конструкции.

### **Этапы работы над проектом**

К существующей модели робота пришли не сразу. В начале работы робот представлялся совсем другим. Но после сборки двух прототипов и их испытаний стало понятно, каким нужно сделать итогового робота.

В процессе работы были построены три работоспособных версии прототипа:

#### **1) Версия «1»**

Робот был собран на базе конструктора Lego. На основе созданной модели выявлялись и обрабатывались основные принципы будущей конструкции. Металлодетектор из ручного детектора был вынесен за пределы платформы. Модель передвигалась на двух плоских гусеницах. Управление осуществлялось платой Arduino UNO. Использовались два мотора без редуктора. Моторы имели малую мощность и не были способны эффективно двигаться. Как макет для отработки принципов дальнейших модификаций робота эта схема была хороша, но были выявлены недостатки: ненадежность, слабая проходимость, малая чувствительность металлодетектора, недостаточное усилие моторов. Данная модель была использована для постройки следующей конструкции (Рис.7).

#### **2) Версия «2»**

Робот был создан из собственноручно разработанных деталей, напечатанных на 3D принтере. Для разработки деталей использовалась среда проектирования FreeCad. Моторы были заменены на более мощные, для их подключения к плате управления с малым напряжением была собрана электронная схема управления двигателями. Гусеницы были заменены с плоских на треугольные, с тремя катками, что обеспечило большую проходимость и увеличило возможную высоту преодолеваемых препятствий. Катушка детектора была размещена в задней части корпуса. На моторах были смонтированы редукторы, понижающие скорость, но увеличивающие крутящий момент. На данном этапе разработки робот не был способен эффективно работать.

Отсутствовала защита электроники, база была слишком широкой и слабой из-за большой ширины и малого дорожного просвета. Широкая база робота с небольшим клиренсом имела низкие характеристики по проходимости. Моторы не могли обеспечить достаточную мощность для заезда на препятствие. Памяти платы Arduino UNO не хватало для вычисления всех данных. (Рис. 8)

### **3) Версия «3»**

Была создана с учетом недостатков первых двух. На металлической платформе установлены четыре мотора с редукторами. Передний и задний мосты имеют независимую подвеску. Четыре отдельных гусеницы позволяют роботу переезжать гораздо более высокие препятствия. Катушка металлодетектора заменена на более мощную. Создана система управления моторов платой Arduino MEGA и радиоуправление всеми моторами дистанционно. Корпус для защиты электроники был разработан в среде Freecad и напечатан на 3D принтере. Подробно об этой модели рассказано выше, в описании работы (Рис.9).

#### **Достигнутый этап**

На данном этапе работы робот почти полностью готов. Производится измерение ходовых характеристик и создание подробных чертежей всей конструкции в сборе.

Был создан работоспособный образец робота-сапер, учитывающий недостатки своих предшественников. Проходимость прототипа выше, чем у версий 1-2, но для работы на очень пересеченных участках он еще не пригоден.

#### **В ходе работы были выявлены следующие недостатки:**

- 1) Не достаточное сцепление с твердой поверхностью из-за малого веса и узких выступов на гусеницах.
- 2) Чувствительность аккумуляторов к холоду (резкое ухудшение характеристик аккумуляторов при низких температурах)
- 3) Недостаточная защита от влаги. Корпус не герметичен, и при полном погружении под воду электронику зальет водой.

- 4) Не способность робота искать мины, не содержащие металлических частей (они не вызывают возмущение поля катушки и металлоискатель не реагирует на такой объект)

**Дальнейшее улучшение проекта:**

- 1) Монтаж на робота гироскопического датчика.

Что позволит роботу точно двигаться в заданном направлении с минимальной погрешностью. Так же позволит сделать маршрут робота более точным.

- 2) Создание маркер обнаруженных мин.

Так как робот не способен уничтожить мину, он должен подать сигнал о ее обнаружении. Помимо звукового сигнала и световой индикации, робот должен оставлять долгосрочную метку это может быть пятно краски, метка или какой-либо маркер места.

- 3) Увеличение емкости аккумулятора. Это позволит роботу дольше находиться в автономном режиме без обслуживания и подзарядки, что увеличит ресурс работы. Все это позволит создать виртуальную карту местности и отмечать найденные мины на ней.

- 4) Улучшение программы сканирования минных полей, рационализация программного кода.

- 5) Монтаж на робота камеры и получение изображения дистанционно

- 6) Увеличение мощности двигателей, возможно, установка новых редукторов.

Теперь, когда база робота полностью готова, можно приступать к вычислению характеристик конструкции и проведению ходовых испытаний.

**Основные технические характеристики робота:**

Масса — 2,1 кг Габариты : Длина- 0,39 м

Ширина- 0,2 м

Высота- 0,22 м

Скорость по ровной поверхности (идеальное трение) — 0,5 м/с Запас хода на одном аккумуляторе — 1,5 часа



Максимальная высота преодолеваемых препятствий — 0,08 м Радиус разворота  
0-0,2 м

Максимальный преодолеваемый подъем (угол) - 30° Тяговая сила — 20 Н

Мощность всего робота — 10 Вт Коэф. Сцепления(бетон)- 0,07

Коэф. Сопротивления прямолинейному движению – 0,38 Косогор  
(максимальный угол) – 53

### **Выводы:**

Данного робота можно использовать для поиска любых металлических объектов. Конструкция также получилась достаточно удачной и ее можно использовать как базу для сборки других робототехнических роботов (монтировать камеру, ставить следящие и обнаруживающие датчики).

Данный робот может обнаруживать мины, не подрываясь на них за счет своей малой массы. Кроме того, робот, работающий дистанционно, может сохранять жизни и здоровье людей, работая в опасных минных полях.

Конструкция имеет множество возможностей для модернизации. Плата позволяет смонтировать еще много различных датчиков, что позволит подробнее изучить поведение гусеничного движителя в различных ситуациях. Измерить различные параметры поведения двигателей. Провести экстремальные тесты конструкции.

## Приложения



Рис.1



Рис. 2

Плоская гусеница



Треугольная гусеница

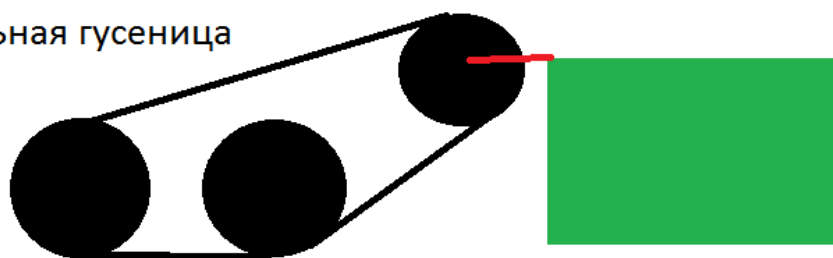


Рис. 3



Рис. 4

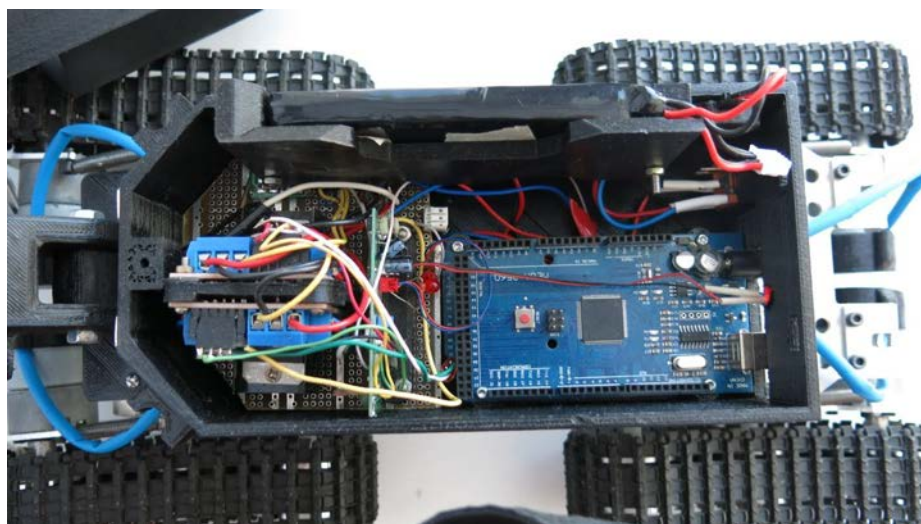
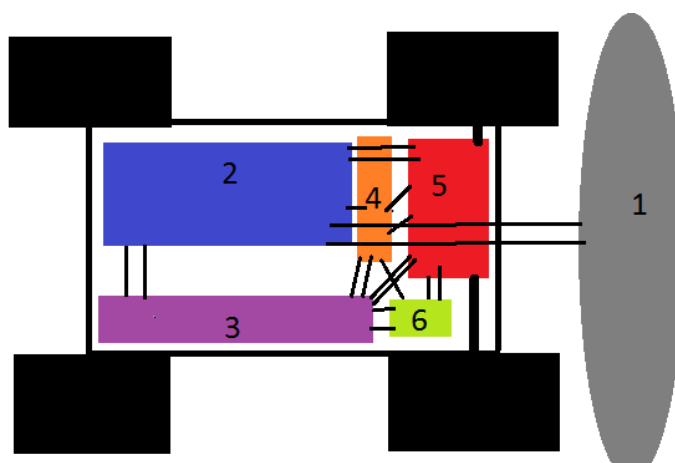


Рис. 5



1)Детектор 2) Плата Arduino MEGA 3)Батарея 2200 мА\ч  
4)Радиомодуль 5)Драйвер управления моторами 6)Преобразователь

Рис.6

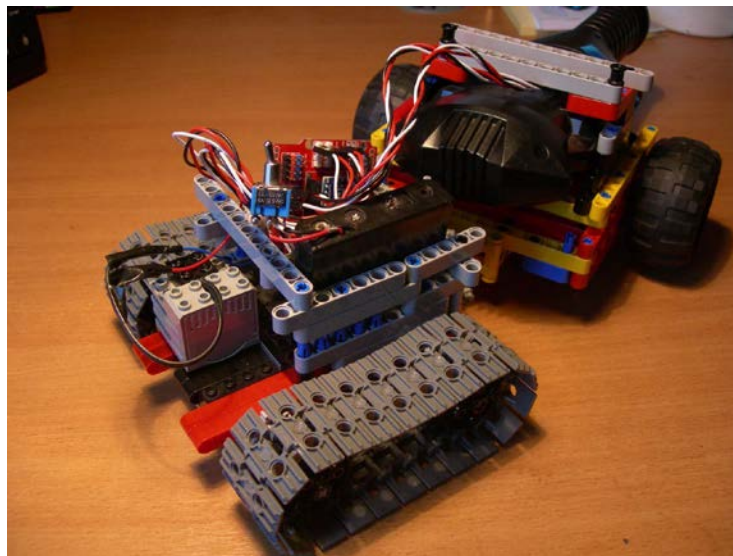


Рис.7

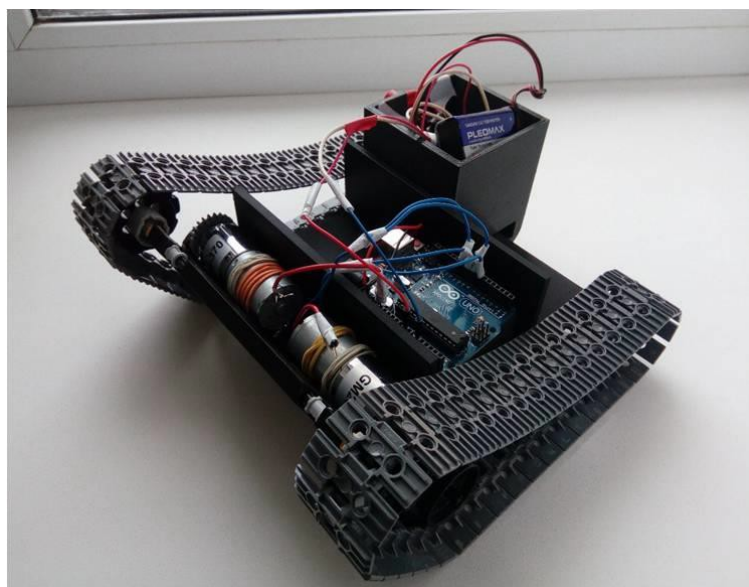


Рис.8

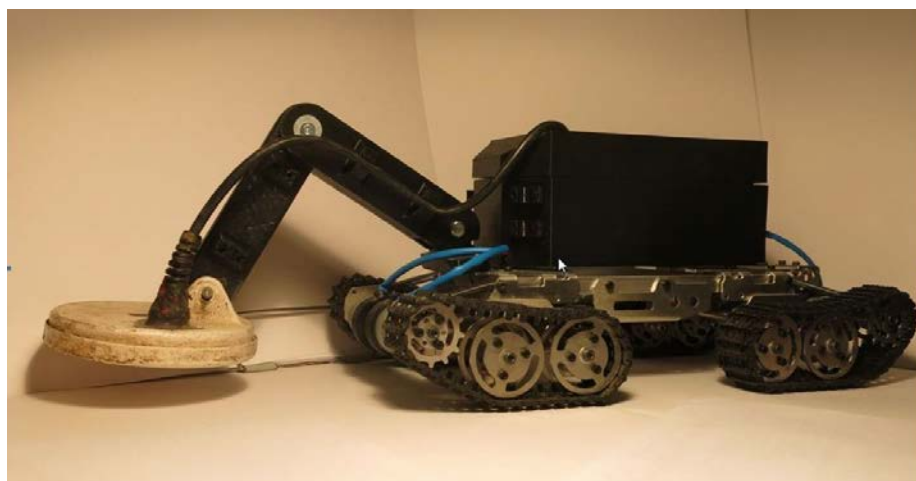


Рис.9

## СЕКЦИЯ VIII. Энергетика и экология

### **Влияние автомобильного транспорта на экологию мегаполиса**

*Теплова Елизавета Максимовна,*

*г. Москва, ГБОУ «Школа №167 имени Маршала Л.А. Говорова», 11 класс*

*Научный руководитель: Зотов Василий Владимирович,*

*ФГАОУ "НИТУ "МИСиС", к. т. н., доцент каф. Горного оборудования, транспорта и машиностроения*

#### **Аннотация**

Транспорт – основное средство, определяющее мобильность человека в современном мире. Без него в условиях мегаполиса практически невозможно функционирование предприятий, компаний и организаций. Их работники тратят в день не менее часа на дорогу с использованием различных видов транспорта. Однако транспорт оказывает отрицательное влияние на окружающую среду, а, следовательно, и на здоровье людей. Основное влияние оказывают выхлопные газы, выделяющиеся в атмосферу. В них содержится около 200 различных веществ, наносящих вред здоровью человека и

других живых организмов. Для того чтобы понять, какие меры нужно принимать для решения экологических проблем, необходимо провести комплексное исследование посредством наблюдения и опытов. В рамках исследования был выбран один из транспортных участков г. Москвы. Для определения загруженности автотранспортом данного участка была запланирована видеосъёмка перекрёстка в течение недели три раза в день в одно и то же время. Анализ видеосъёмки позволил определить количество различного вида транспорта, проезжающего через перекрёсток в исследуемые периоды времени, в том числе в час-пик.

По итогам проведенных наблюдений был произведён расчёт массового количества выбросов веществ, выделяющихся автомобилями в атмосферу на данном участке. Из расчётов понятно, что количество вредных веществ, выделяющихся в атмосферу, настолько велико, что может отрицательно влиять на здоровье людей. Для того, чтобы оценить количество выбросов автотранспорта на рассматриваемом

участке, были взяты пробы снега и выполнен его химический анализ. Выполненное исследование подтвердило наличие загрязнений, вызываемых эксплуатацией автомобильного транспорта, что оказывает отрицательное влияние на состояние окружающей среды.

Действенными мерами противодействия загрязнениям могут стать регулирование транспортных потоков, разработка двигателей с более высоким КПД, потребляющих меньше топлива.

Для дальнейшего развития исследования запланировано: определение выбросов вредных веществ для всех типов автомобилей во все времена года, а также влияние режима работы светофоров на загрязнение окружающей среды.

### **Введение**

Экологическая ситуация – один из наиболее значимых критериев, определяющих качество жизни людей. Известно, что состояние окружающей среды напрямую влияет на здоровье жителей города, страны и мира в целом. Стремительное развитие промышленности в настоящее время оказывает негативное влияние на экологию: истощение природных ресурсов, выделение различных вредных веществ в атмосферу, литосферу и гидросферу и так далее. Ухудшение состояния окружающей среды, несомненно, ведёт к возникновению угрозы жизни и здоровью людей. Поэтому проблема экологической ситуации в мире сейчас стоит очень остро. Наибольшими очагами ухудшенной экологической ситуации являются мегаполисы, в которых сосредоточены крупные производственные объекты, а также большое количество автотранспорта, увеличивающееся с каждым годом.

### **Актуальность**

В наше время люди всё чаще задумываются о том, как уменьшить и предотвратить угрозу окружающей среде. Одним из главных загрязнителей является автомобильный транспорт, а именно: выхлопные газы, выделяющиеся в атмосферу. Актуальность работы состоит в том, что проводится комплексное исследование влияния автотранспорта на экологию мегаполиса. Такое исследование позволит

оценить это влияние и понять, какие пути решения данной проблемы можно рассматривать в ближайшем будущем.

**Цель:** исследовать влияние автомобильного транспорта на экологию мегаполиса на примере отдельного дорожного участка г. Москвы.

**Задачи:**

- 1) Используя различные источники информации, исследовать, как влияет автомобильный транспорт на состояние здоровья жителей и обстановку в городах.
- 2) Провести собственное наблюдение:
  - А) С помощью видеокамеры провести серию съёмок рассматриваемого участка дороги в течение недели в фиксированное время.
  - Б) Посчитать количество транспортных средств, проезжающих по выбранному участку дороги.
  - В) Рассчитать количество выбросов, производимых различными видами транспорта.
- 3) Сделать выводы о влиянии автомобильного транспорта на экологическую ситуацию мегаполиса на примере выбранного участка, дать рекомендации относительно её улучшения.

**Обзор проблемы**

Транспорт – одна из ведущих отраслей материального производства. Он является основой географического разделения труда. Без транспорта невозможным было бы преодоление зачастую огромного территориального разрыва между производством и потреблением товаров и услуг, а также общение людей. Объём и структура перевозок зачастую отражают структуру и уровень экономики, транспорт во многом определяет размещение производственных сил, способствует специализации стран и районов[1].

Но, к сожалению, транспорт оказывает и отрицательное влияние, прежде всего, на окружающую среду. Загрязнение её происходит из-за шума, попадания в атмосферу продуктов сгорания топлива, испарения и протекания в почву и воду

нефтепродуктов, которые наносят вред всем живым организмам, теплового и электромагнитного излучения [2]. Одним из самых главных факторов является, безусловно, загрязнение атмосферы выхлопными газами. Главный загрязнитель атмосферы – это автомобильный транспорт: в городах, население которых 250 тысяч человек и более (от крупных городов до сверхкрупных), на него приходится 2/3 всех выбросов в воздушный бассейн [1].

В выхлопных газах автомобилей содержится около 200 различных веществ, наносящих вред здоровью человека и других живых организмов. Например, бензапирен оказывает мутагенное действие, обладает свойством биоаккумуляции, может вызывать злокачественные опухоли у животных [3].

Симптомы при отравлении сернистым газом — насморк, кашель, охриплость, сильное першение в горле и своеобразный привкус. При вдыхании сернистого газа более высокой концентрации — удушье, расстройство речи, затруднение глотания, рвота, возможен острый отёк лёгких. [4]. Газы также могут привести к заболеваниям дыхательной системы, например, к дыхательной недостаточности, гаймориту, ларинготрахеиту, бронхиту, бронхопневмонии [5].

Неслучайно во многих передачах, новостных лентах появляются сообщения о том, что прогулки, занятия спортом в городской среде не приносят никакой пользы, а лишь ухудшают состояние здоровья. Например, в 2016 году на сайте информационно-аналитической газеты «ЕВРОСМИ» была опубликована статья о том, что «проехать на велосипеде на работу вовсе не полезно, а смертельно опасно для здоровья» [6]. Выхлопные газы также могут быть причиной аварийных ситуаций, создавая на дорогах клубы дыма, как было, например, в городе Кемерово. На сайте «Газета Кемерово» была опубликована статья о том, что «из-за газового завеса водители могут не заметить пешеходов, которые в нарушение ПДД выбегают на дорогу вне пешеходного перехода» [7]. Жители различных городов также считают выхлопные газы автомобилей главными загрязнителями воздуха. Такого мнения, например, воронежцев [8] и москвичей [9].



Таким образом, мы выяснили, что выхлопные газы автомобилей негативно влияют на обстановку в различных городах и на здоровье проживающих в них людей.

### **Собственное наблюдение**

Для того чтобы выяснить, какое количество выхлопных газов автомобильного транспорта выделяется в атмосферу, необходимо было провести собственное наблюдение. Для этого был выбран участок, представляющий собой пересечение улиц Смольная и Беломорская. Для определения загруженности автотранспортом данного участка была запланирована видеосъёмка перекрёстка в течение недели три раза в день в одно и то же время:

- утро – 6:30-7:30
- день – 15:30-16:30
- вечер – 18:30-19:30

Рассматриваемый участок представляет собой перекрёсток двух улиц с четырёхполосным движением, регулируемый пятью светофорами. На перекрёстке движение предусматривает повороты, а также наземные переходы для пешеходов.

Анализ видеосъёмки позволил определить количество различного вида транспорта, проезжающего через перекрёсток в различные периоды времени, в том числе в час-пик (см. приложение 1). Для этих же отрезков времени рассматривался анализ дорожной ситуации с помощью приложения «Google-карты» (см. приложение 2).

### **Анализ данных**

При обработке данных с видеосъёмки фиксировался проезд транспорта через перекрёсток во всех направлениях. Сводная информация по количеству легковых автомобилей, движущихся во всех направлениях, представлена в приложении 3.

Вычисление массового количества выбросов легковых автомобилей производится по формуле

$$M_i = m_{1ij} * L_{ij} * K_{Ti} * i * 10^{-6}, \text{ т,}$$

где  $m_{1ij}$  – пробеговый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества легковым автомобилем с двигателем  $j$ -го рабочего объёма,  $L_{ij}$  – пробег легкового автомобиля с двигателем  $j$ -го рабочего объёма (в данном случае величина равна расстоянию от предыдущего светофора до рассматриваемого нами участка – 0,4 км),  $K_{Ti}$  – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населённых пунктов, зависящий от типа населённого пункта,  $i$  – количество автомобилей. Наиболее распространённый рабочий объём двигателя среди автомобилей, владельцами которых являются городские жители, – 1,6 литров, поэтому нами принят для расчётов именно такой показатель. Величины и коэффициенты взяты в соответствии с рекомендациями [10] (результаты см. в приложении 4).

Из расчётов становится понятно, что количество вредных веществ, выделяющихся в атмосферу, огромно, что может отрицательно повлиять на жизнь людей. А ведь это только легковые автомобили, есть же ещё и грузовые, и автобусы, и маршрутные такси, которые тоже выделяют в атмосферу вредные вещества!

Также для того, чтобы оценить количество выбросов автотранспорта, была проведена съёмка среза снега, чтобы проанализировать его состояние (фото среза снега см. в приложении 5).

### **Выводы и пути решения проблемы**

Проведя исследование, можно сделать вывод о том, что автомобильный транспорт оказывает отрицательное влияние на состояние окружающей среды и требуются срочные меры для уменьшения воздействия. Подобные меры уже применяются. Например, в Екатеринбурге с 2017 года внедряют в массовое использование газовые автобусы [11]. Также действенными мерами могут стать регулирование транспортных потоков, разработка двигателей с более высоким КПД, потребляющих меньше топлива.

**Направления дальнейшего развития исследования вредных выбросов автотранспорта:**

1. проведение химического анализа осадков на предмет содержания в них вредных веществ;
2. Видеосъёмка и расчёт данных выбросов вредных веществ, для всех типов автомобилей во все времена года;
3. Учёт режима работы светофоров.

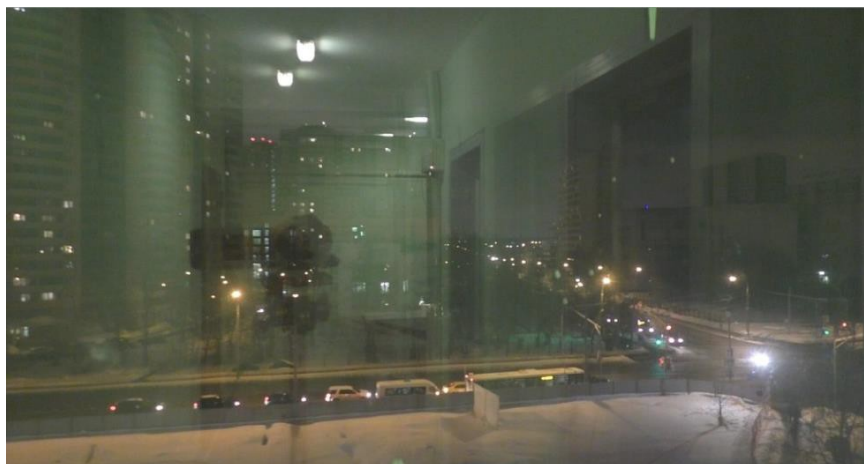
**Источники**

- [1] Максаковский В.П. География. Экономическая и социальная география мира. 10 класс: учеб. Для общеобразовательных организаций: базовый уровень//В.П. Максаковский. - 22-е изд. //Просвещение, 2014, стр. 150-159.
- [2] Стадник М.Е. Негативное воздействие компонентов транспортной системы на состояние окружающей среды / М. Е. Стадник // Научный диалог. – 2013. – № 12(24) :Общественные науки. – С. 38–47.
- [3] Википедия – свободная энциклопедия. Бензапирен  
[//https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BD](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BD)
- [4] Википедия – свободная энциклопедия.  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4\\_%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%8B\(IV\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%8B(IV))
- [5] Скороходов С.А., Шарапов Р.В. Выхлопные газы. //ЖУРНАЛ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. Издательство: Издательский Дом "Академия Естествознания" (Пенза). Тип: статья в журнале - научная статья. Номер: 3-1. Год: 2009. Страницы: 91
- [6] Ученые: проехаться на велосипеде на работу вовсе не полезно, а смертельно опасно для здоровья//ЕВРОСМИ – информационная аналитическая газета (<http://www.eurosmi.ru/>)

- [7] Кемеровских водителей предупреждают об опасности выхлопных газов// Газета Кемерова.14.11. 2016 г. (<http://gazeta.a24.ru/>)
- [8] Большинство воронежцев считает, что сильнее всего на окружающую среду влияют выхлопные газы от автомобилей//Изд. Комсомольская правда. 10.12.2016. (<http://www.vrn.kp.ru/>).
- [9] Жители Москвы считают автотранспорт главной угрозой для экологии города// Управа района Северное Медведково города Москвы. 10.12.2015 (<http://smedvedkovo.mos.ru/>)
- [10] Чмыhalова С.В. Оценка воздействия автотранспортной системы горных предприятий на атмосферу: Учебное пособие// Апатиты, ООО «Апатит-Медиа», 2014, стр. 39-52.
- [11] В 2017 году на улицы Екатеринбурга выйдут новые газовые автобусы// изд.
- [12] «Наша газета» - новостной портал Екатеринбурга. 14.12.2016 (<http://ngzt.ru/>)

## Приложение 1

### Дорожная ситуация на перекрёстке в различные периоды времени



Дорожная ситуация на перекрёстке, наблюдаемая утром.



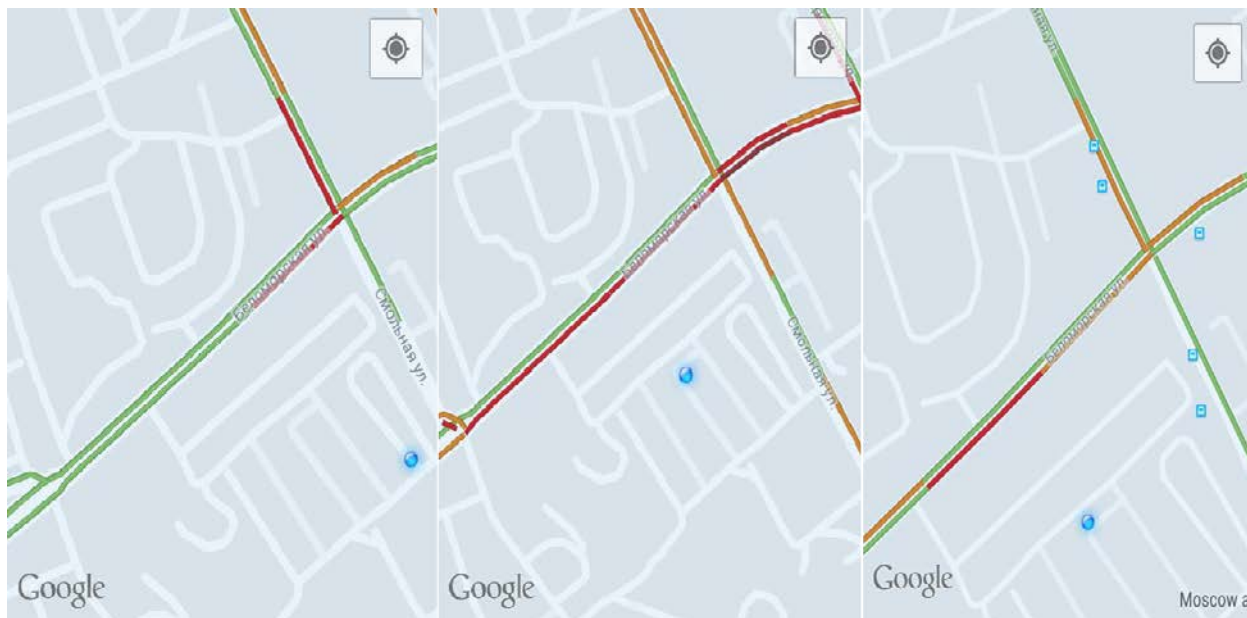
Дорожная ситуация на перекрёстке, наблюдаемая днём.



Дорожная ситуация на перекрёстке, наблюдаемая вечером

## Приложение 2

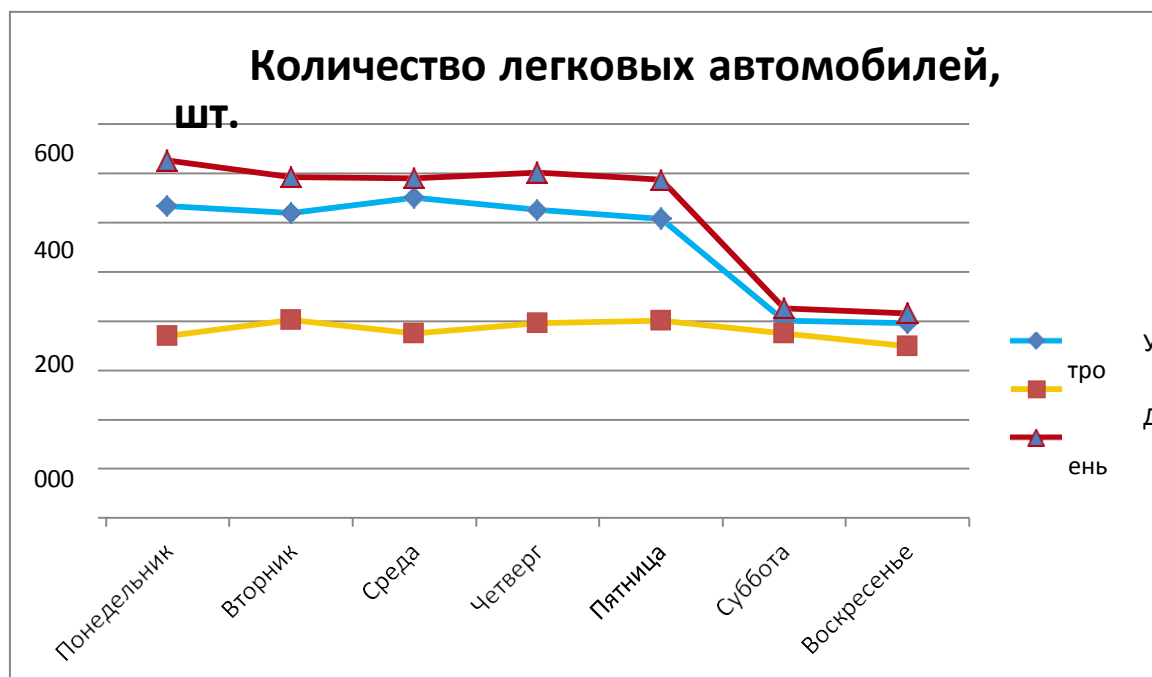
Дорожная ситуация, зафиксированная про помощи специального приложения «Google-карты»



## Приложение 3

Нагруженность перекрёстка автомобильным транспортом в течение недели в рассматриваемые часы

	Утро	День	Вечер	
Понедельник	1266	739	1451	
Вторник	1238	803	1385	
Среда	1301	750	1379	
Четверг	1251	790	1403	
Пятница	1216	801	1373	
Суббота	802	750	850	
Воскресенье	791	698	831	



#### Приложение 4

### Результаты вычислений массового количества выбросов легковых автомобилей

День	Кол-во легковых автомобилей, шт			$L_{ij}$ , км	$m_{1ij}$ , г/км				$K_{Ti}$				Выбросы, г			
	Утро	День	Вечер		CO	CH	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	CH	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	CH	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Пн.	1266	739	1451	0,4	13	2,6	1,5	0,076	1	1	3	1,25	18491	3594	6221	131,3
Вт.	1238	803	1385	0,4	13	2,6	1,5	0,076	1	1	3	1,25	17815	3563	6167	130,2
Ср.	1301	750	1379	0,4	13	2,6	1,5	0,076	1	1	3	1,25	17836	3567	6174	130,3
Чт.	1251	790	1403	0,4	13	2,6	1,5	0,076	1	1	3	1,25	17909	3581	6199	130,9
Пт.	1216	801	1373	0,4	13	2,6	1,5	0,076	1	1	3	1,25	17628	3525	6102	128,9
Сб.	802	750	850	0,4	13	2,6	1,5	0,076	1	1	3	1,25	12496	2499	4325	91,3
Вс.	791	698	831	0,4	13	2,6	1,5	0,076	1	1	3	1,25	12064	2413	4176	88,2

## Приложение 5

**Результаты съёмки срезов снега, находящегося на различном расстоянии от дороги**



Срез снега, находящегося на расстоянии 1 м от дороги.



Срез снега, находящегося на расстоянии 5 м от дороги.



Срез снега, находящегося на расстоянии 10 м от дороги.



Срез снега, находящегося на расстоянии 20 м от дороги.



## **СЕКЦИЯ IX. Автоматизация, робототехника и механика**

### **Разработка и прочностной расчет конструкции автоматизированного комплекса приготовления продуктов**

*Герасимов Андрей Дмитриевич,*

*г. Москва, ГБОУ Лицей №1535, 11 класс*

*Научный руководитель: Сорокин Федор Дмитриевич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., профессор кафедры «Прикладная механика» (РК-5)*

#### **Введение**

Автоматизированный комплекс приготовления продуктов (далее АКПП) представляет собой совершенно новый прибор на основе широко известного мангала.

По внешнему виду АКПП существенно отличается от обычного мангала, т.к. в его устройстве использованы различные механизмы и системы управления, позволяющие приготавливать традиционные продукты (мясо, рыбу, овощи и т.д.) с минимальным участием человека. Более того, применяемая система автоматизации позволяет удаленно контролировать процесс приготовления продуктов.

Конструирование устройств подобного рода ставит перед разработчиком большое количество инженерных задач, а именно: расчет прочностных характеристик механизмов, подверженных наибольшей нагрузке при работе комплекса, оценку воздействия высоких температур теплоносителя на различные узлы комплекса.

Автоматизация АКПП предъявляет высокие требования как к аппаратным, так и к программным средствам управления и контроля за процессом приготовления продуктов. Прежде всего, наибольшую сложность представляет считывание и обработка информации о температуре теплоносителя и приготавливаемого продукта, а также передача и обработка полученной информации на устройстве удаленного управления (смартфон, персональный компьютер, планшет). Особое место занимает алгоритм контроля и управления процессом приготовления

продуктов, учитывающий большое количество параметров, характеризующих температуру, время приготовления и работу шаговых двигателей.

Необходимо отметить, что на рынке на данный момент отсутствуют близкие аналоги разрабатываемого АКПП. Поэтому, чтобы занять свободную рыночную нишу комплекс помимо уникальных характеристик должен обладать умеренной ценой.

### **Описание конструкции автоматизированного комплекса приготовления продуктов**

На рис.1.1 изображен поперечный разрез АКПП, где можно видеть конструктивные особенности комплекса. Далее представим перечень основных элементов АКПП:

1. Винт
2. Гайка (приварена к основанию (5))
3. Шаговый двигатель
4. Держатель двигателя
5. Внешний короб мангала с ножками
6. Внутренний короб мангала
7. Направляющая пластина
8. Направляющие уголки
9. Держатель для шампуров
10. Полка для шаговых двигателей
11. Теплоизолятор
12. Болт и барашковая гайка
13. Шампур
14. Блок управления двигателями
15. Шаговый двигатель

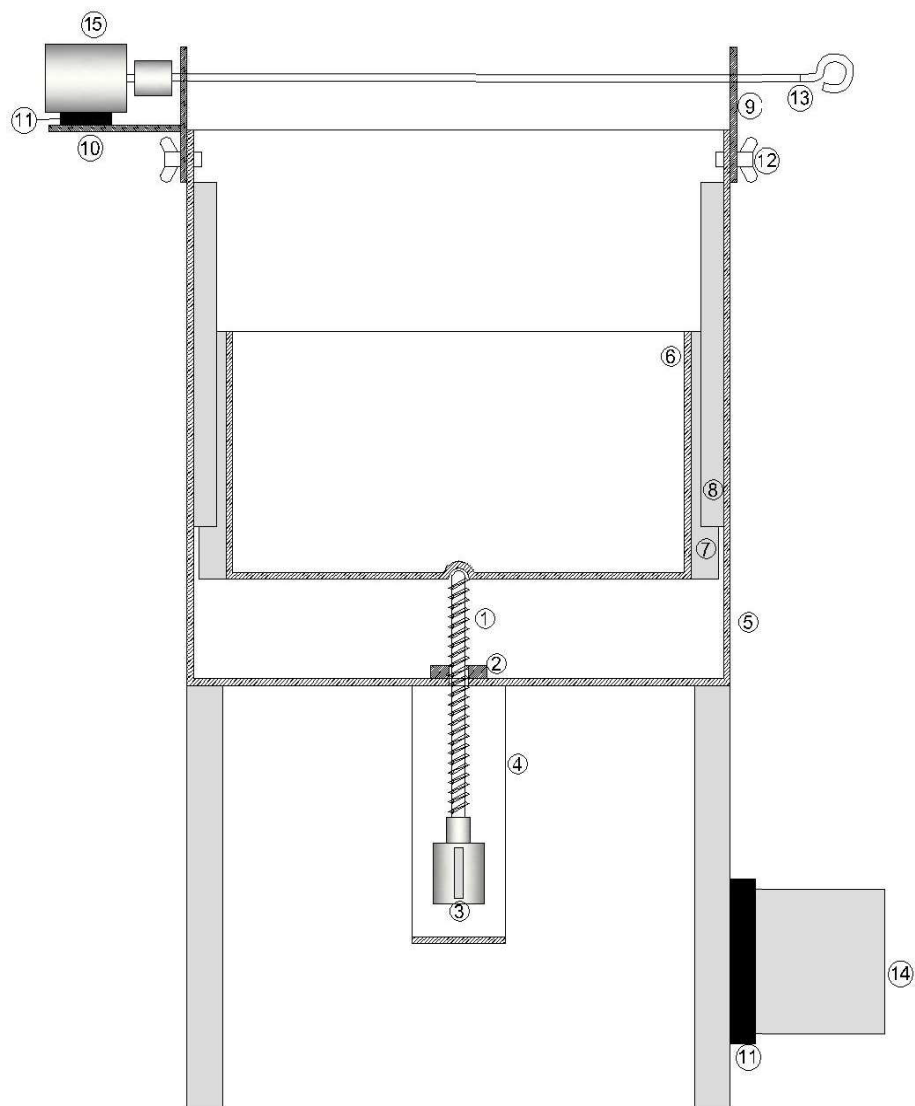


Рис.1.1

На рисунке выше не показан штатив с датчиком-тепловизором, который закреплен над коробом АКПП. Датчик соединен с блоком управления двигателями кабельным шлейфом, выдерживающим высокие температуры. Аналогичный шлейф идет от шаговых двигателей, вращающих шампуры. Также возможна установка на внешний корпус вентиляторов для обдува углей с целью повышения температуры горения теплоносителя.

На рис.1.2 изображен вид сверху АКПП, где показаны внешний и внутренний корпуса с направляющими.

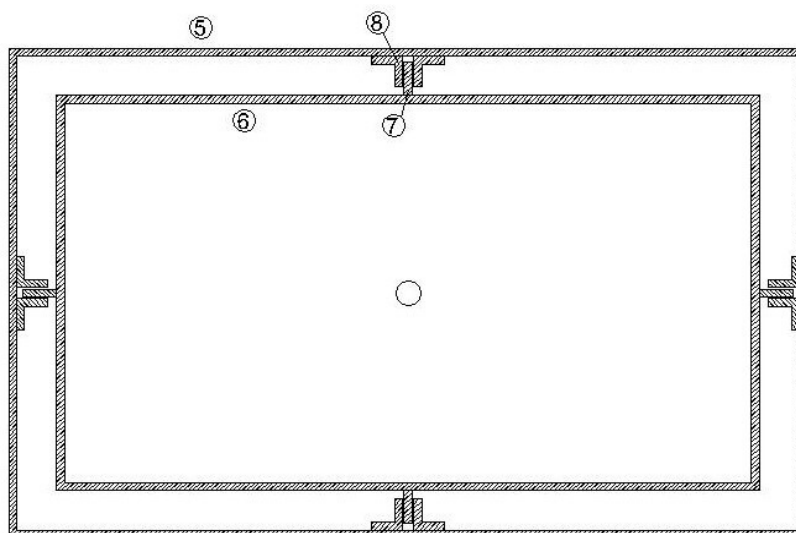


Рис. 1.2

Чертежи в нескольких проекциях вы можете увидеть в Приложении 1.

В связи с тем, что АКПП будет эксплуатироваться в основном вне закрытых помещений и при различных погодных условиях, а также с целью придания данному устройству долговечности, основные узлы комплекса будут сделаны из нержавеющей стали (стенки корпуса 2 мм). Корпуса шаговых двигателей обычно изготавливаются из алюминия, который также не подвержен коррозии. Герметичный короб блока управления с целью экономии предполагается делать из пластмассы: серийно выпускаемые электрические корпуса легко выдерживают температуру до 100°C без потери свойств материала.

### **Принцип работы автоматизированного комплекса приготовления продуктов**

Принцип работы АКПП состоит в следующем. Теплоноситель (древесный уголь) тлеет на дне внутреннего короба АКПП. Шаговый двигатель подъемного механизма вращает винт, который за счет гайки, закрепленной на основании внешнего короба, поднимает внутренний короб вверх или вниз, регулируя тем самым температуру в зоне шампуров или решетки (в зависимости от того, что установлено). Внутренний короб двигается вдоль направляющих внешнего короба, см. рис.1.1 и 1.2. Вал двигателя закреплен на винте. Боковые направляющие двигателя перемещаются внутри направляющих прорезей в узле держателя

двигателя. Двигатель поднимается и опускается вместе с вращающимся винтом. Шампуры с продуктами вращаются шаговыми двигателями, обеспечивая тем самым равномерный прогрев продуктов по заданному алгоритму.

Также можно отметить, что для удобства обслуживания данного оборудования предусмотрены съемные держатели шампуров, а также съемная полка шаговых моторов, позволяющая положить решетку вместо шампуров и осуществлять сервисное обслуживание после приготовления продуктов.

На рис.1.1 вы можете видеть блок управления, в котором расположен контроллер ARDUINO, работающий либо от постоянной сети, либо от аккумуляторов и передающий информацию по WiFi (или Bluetooth) на управляющее устройство (далее УУ) — компьютер, планшет, смартфон.

Контроллер считывает данные с датчика-тепловизора о температуре теплоносителя и температуре внешней поверхности приготавливаемых продуктов, передает эту информацию на УУ, получает команды от УУ и выполняет их, поднимая или опуская внутренний короб с теплоносителем, а также вращает шампуры, обеспечивая равномерное приготовление продуктов.

### **Основная конструкция узла подъемного механизма, альтернативный вариант конструкции и их сравнение**

На рис 2.1 изображен узел подъёмного механизма с шаговым двигателем, перемещающимся вдоль держателя, и винтом, поднимающим внутренний короб.

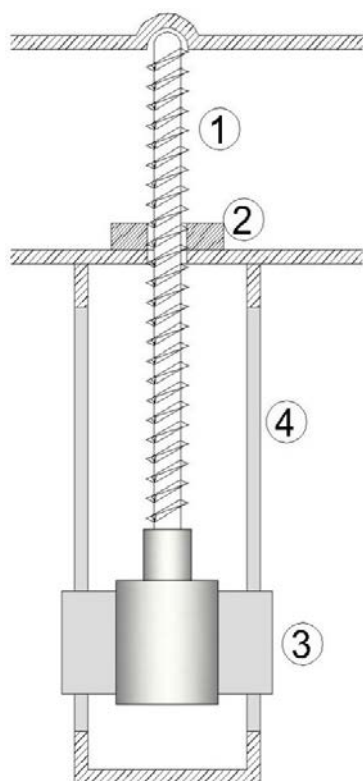


Рис 2.1



Рис 2.2\*

\* рисунок взят с сайта [www.servotechnica.ru](http://www.servotechnica.ru)

На рис.2.2 изображен альтернативный вариант подъёмного механизма, представляющий собой шаговый двигатель с зубчатой рейкой и шестернёй. Несмотря на красоту альтернативного варианта, его изготовление представляет высокую сложность, так как необходима высокоточная обработка зубчатой передачи, что трудно реализуемо при малых производствах, а стоимость готового решения у крупных производителей достаточно высока.

Исходя из вышеизложенного был выбран первый вариант, см. рис. 2.1., он прост в изготовлении и стоимость его компонентов не высока.

### **Расчет критических нагрузок на узел подъёмного механизма, методы решения**

Задача расчёта таких нагрузок широко известна в книгах по сопротивлению материалов, в частности, большое количество информации можно найти в книге В.И.Феодосьева «Сопротивление материалов» [1].

Для случая движения внутреннего короба по направляющим внешнего короба АКПП на рис. 2.3 схематично показано воздействие сил на стержень (винт), причём стержень является аналогом винта подъёмного механизма.

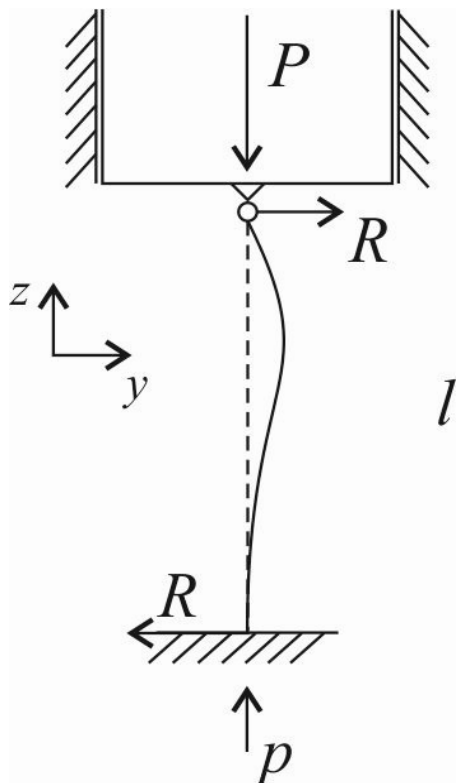


Рис. 2.3

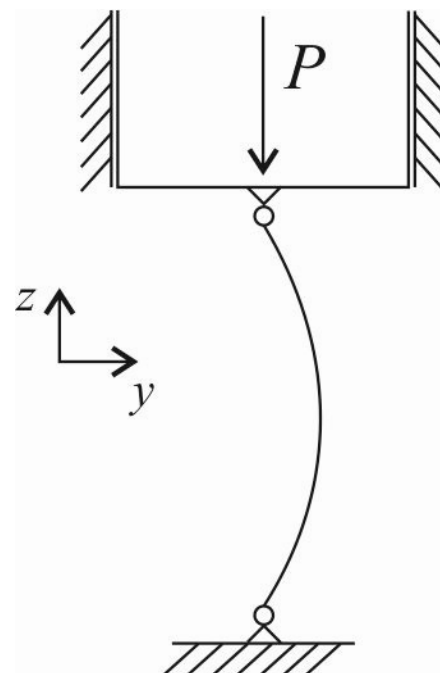


Рис. 2.4

Как видно из рис.2.3 верхний конец стержня (винта) ведет себя так, как будто он прикреплен к шарниру, а нижний конец жестко заделан в основании. В АКПП в качестве жесткой заделки выступает гайка, жестко прикрепленная к основанию внутреннего короба.

На рисунках выше  $P$  — внешняя сила (в АКПП вес внутреннего короба с теплоносителем),  $R$  — сила реакции опоры.

Задача расчета  $R_{кр}$  — критической силы, которая выводит стержень из состояния устойчивого равновесия, решается несколькими способами.

Самым известным из которых является задача Эйлера (см. рис.2.4), в книге В.И. Феодосьева стр.513 (см. [1]). Как видно из рис.2.4 в задаче Эйлера нет жёсткой заделки основания, но общее решение можно адаптировать под условия нашей задачи.

Более подробно задача Эйлера описана в Приложении 2. Приведем формулу расчета  $R_{кр}$  для задачи Эйлера в общем виде:

$$P_{кр\ min} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(\mu \cdot \ell)^2}$$

- $R_{кр}$  — критическая нагрузка
- $E$  — модуль упругости
- $I_x$  — момент инерции поперечного сечения
- $\mu$  — коэффициент приведения длины
- $\ell$  — нагруженного участка винта (участок (1) на рис. 2.1, на графиках далее  $L = \ell$ )

Параметр  $\mu$  — это коэффициент приведения длины к классической задаче Эйлера (в которой  $\mu=1$ ), в которой действует та же сила  $P$ , что и в рассматриваемом примере. Также параметр  $\mu$  интерпретируется как обратная величина количества полуволен синусоиды, которые «умещаются» в длине стержня.

В нашей задаче исходя из геометрической интерпретации деформации стержня количество полуволен будет равно 1,5. Из чего следует, что  $\mu$  равно 2/3.

Более точным методом расчета  $R_{кр}$  является метод, опирающийся на векторные уравнения равновесия стержня (см. [1]. стр.21 и стр.522), а точнее на их упрощенную интерпретацию, в которой нет упругого основания, и есть сосредоточенная сжимающая сила  $P$ . Результатом расчетов по данному методу в нашей задаче является аналогичное решение для  $R_{кр}$ , что и в «задаче Эйлера», но только  $\mu = 0,699$ .

Как будет видно из расчетов, представленных далее по обоим методам, значения для  $R_{кр}$  отличаются, хотя и не намного.

Учитывая, что на практике берут значения критического напряжения с запасом, то производить расчеты можно, используя оба метода. Однако «точный» метод дает лучшие результаты, что видно из сравнения критических напряжений.



Метод Эйлера дает завышенную оценку критического напряжения. Приведем далее расчеты в MS-Excel для  $\mu$ , равного 2/3 (задача Эйлера) и для  $\mu$ , равного 0,699 («точный метод»).

На рис.3.1-3.4 и рис.4.1,4.2 вы можете видеть результаты расчета  $R_{кр}$  в Ньютонах для диаметра стержня 8мм и  $\mu = 2/3$ . Также можно видеть численные значения  $R_{кр}$  и  $\sigma_{кр}$  (напряжение в МПа) для различных длин стержня. Длины стержня (винта), как видно из рисунка подъемного механизма, изменяются при поднятии и опускании верхнего короба. На рис.4.1,4.2 можно видеть расчет критического напряжения в МПа для различных диаметров

стержня (винта). На рис.4.2 помимо трех графиков критического напряжения для различных диаметров стержня (винта) также приведены уровни минимального значения предела текучести при температуре 20°C ( $R_{тек}$ ) выражены в МПа (линия выделена «красным»). Также можно увидеть уровень запаса по минимальному пределу текучести  $R_{зап} = R_{тек}/1,5$  (по ГОСТ Р 52857.1- 2007, см. [2]).

Необходимо также отметить, что предел текучести для нержавеющей стали марки 07X18H13M2, которую предполагается использовать в конструкции равен 220МПа при 20°C (см. [3]).

### Расчет в MS Excel величин Rкр для винта диаметром d

(верхий рисунок для всего интервала значений L, нижний рисунок для интервала L от 0.05 до 0.20)

E (Па)	196 000 000 000
Iх (м^4)	$(\pi*d^4)/64=$ 2.0106E-10
$\pi$	3.141592654
$\mu$	0.666666667
d (м)	0.008

Площадка, к которой прикладываем силу:	
A (м^2)	5.0265E-05

L (м)	Rкр (Н)	σкр (МПа)
0.20	21 878	435
0.19	24 242	482
0.18	27 010	537
0.17	30 281	602
0.16	34 184	680
0.15	<b>38 894</b>	<b>774</b>
0.14	44 649	888
0.13	51 782	1 030
0.12	60 772	1 209
0.11	72 324	1 439
0.10	<b>87 512</b>	<b>1 741</b>
0.09	108 040	2 149
0.08	136 738	2 720
0.07	178 596	3 553
0.06	243 089	4 836
0.05	<b>350 048</b>	<b>6 964</b>
0.04	546 951	10 881
0.03	972 357	19 344
0.02	2 187 803	43 525
0.01	8 751 212	174 100

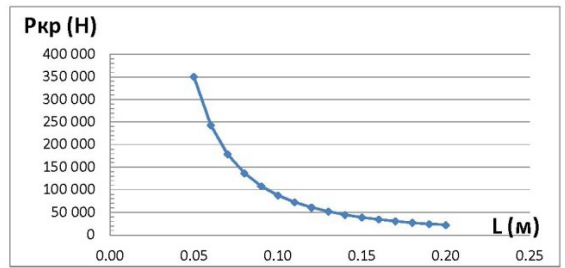
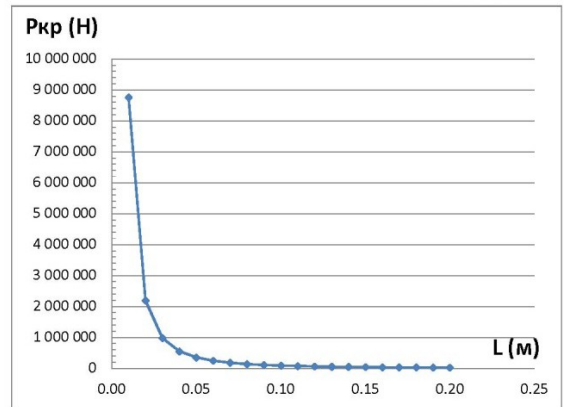


Рис. 3.3

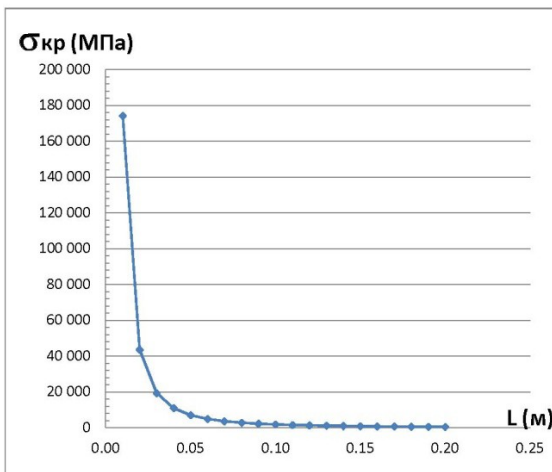
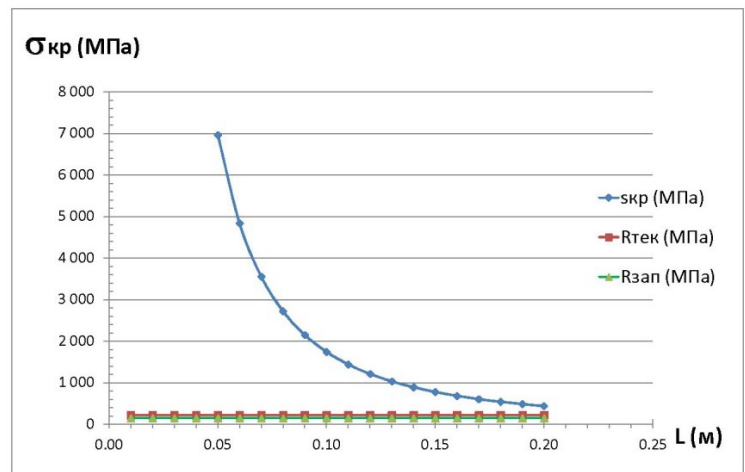


Рис. 3.4



## Зависимость величин $\sigma_{кр}$ для винта от $L$ для различных $d$

(верхий рисунок для всего интервала значений  $L$ , нижний рисунок для интервала  $L$  от 0.05 до 0.20)

$L$ (м)	$\sigma_{кр}$ (МПа)		
	$d = 4\text{мм}$	$d = 6\text{мм}$	$d = 8\text{мм}$
0.20	109	245	435
0.19	121	271	482
0.18	134	302	537
0.17	151	339	602
0.16	170	383	680
0.15	193	435	774
0.14	222	500	888
0.13	258	579	1 030
0.12	302	680	1 209
0.11	360	809	1 439
0.10	435	979	1 741
0.09	537	1 209	2 149
0.08	680	1 530	2 720
0.07	888	1 999	3 553
0.06	1 209	2 720	4 836
0.05	1 741	3 917	6 964
0.04	2 720	6 121	10 881
0.03	4 836	10 881	19 344
0.02	10 881	24 483	43 525
0.01	43 525	97 931	174 100

$E$ (Па)	196 000 000 000
$I_x$ (м <sup>4</sup> )	$(\pi \cdot d^4) / 64 = 2.0106E-10$
$\pi$	3.141592654
$\mu$	0.666666667

Рис. 4.1

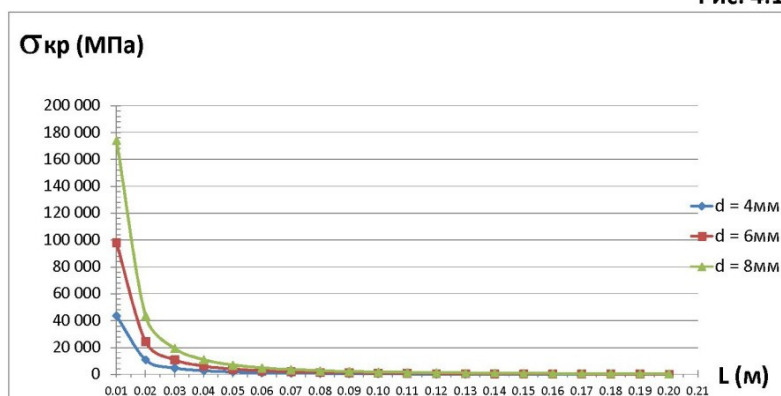
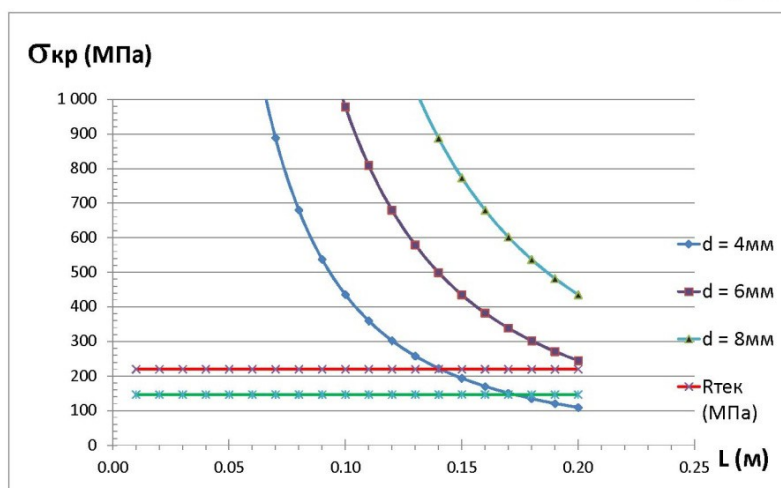


Рис. 4.2



Аналогично, на рис.5.1-5.4 и рис.6.1,6.2 вы можете видеть результаты расчета  $R_{кр}$  в Ньютонах для диаметра стержня 8мм и  $\mu = 0,699$ . Также можно видеть численные значения  $R_{кр}$  и  $\sigma_{кр}$  (напряжение в МПа) для различных длин стержня. Длины стержня (винта), как видно из рисунка подъемного механизма, изменяются при поднятии и опускании верхнего короба. На рис.6.1,6.2 можно видеть расчет критического напряжения в МПа для различных диаметров стержня (винта). На рис.6.2 помимо трех графиков критического напряжения для различных диаметров стержня (винта) также приведены уровни минимального значения предела текучести при температуре 20°C ( $R_{тек}$ ) выражены в МПа. А также уровень запаса по минимальному пределу текучести  $R_{зап} = R_{тек} / 1,5$  (по ГОСТ Р 52857.1-2007).

### Расчет в MS Excel величин Rкр для винта диаметром d

(верхний рисунок для всего интервала значений L, нижний рисунок для интервала L от 0.05 до 0.20)

E (Па)	196 000 000 000
Iх (м^4)	$(\pi*d^4)/64=$ 2.0106E-10
π	3.141592654
μ	0.699
d (м)	0.008

Площадь, к которой прикладываем силу:	
A (м^2)	5.0265E-05

3.4181E-01

L (м)	Rкр (Н)	σкр (МПа)
0.20	19 901	396
0.19	22 051	439
0.18	24 569	489
0.17	27 544	548
0.16	31 095	619
0.15	35 379	704
0.14	40 614	808
0.13	47 103	937
0.12	55 280	1 100
0.11	65 788	1 309
0.10	79 603	1 584
0.09	98 276	1 955
0.08	124 380	2 474
0.07	162 456	3 232
0.06	221 120	4 399
0.05	318 413	6 335
0.04	497 521	9 898
0.03	884 482	17 596
0.02	1 990 084	39 591
0.01	7 960 334	158 366

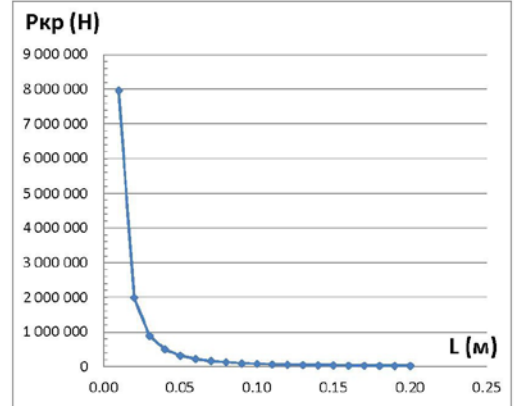


Рис. 5.1

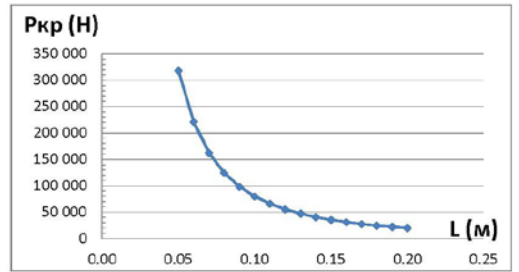


Рис. 5.2

Рис. 5.3

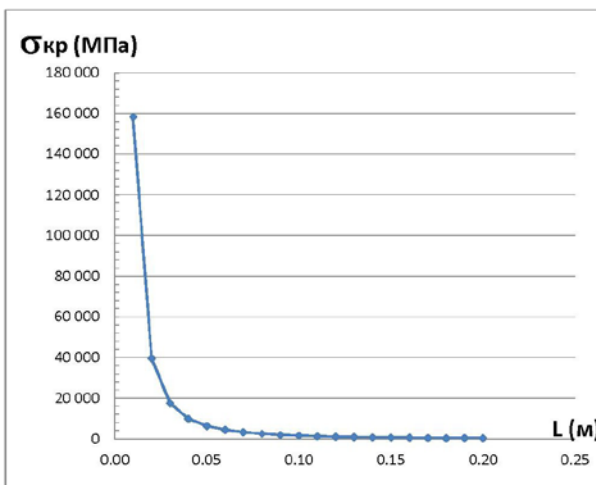
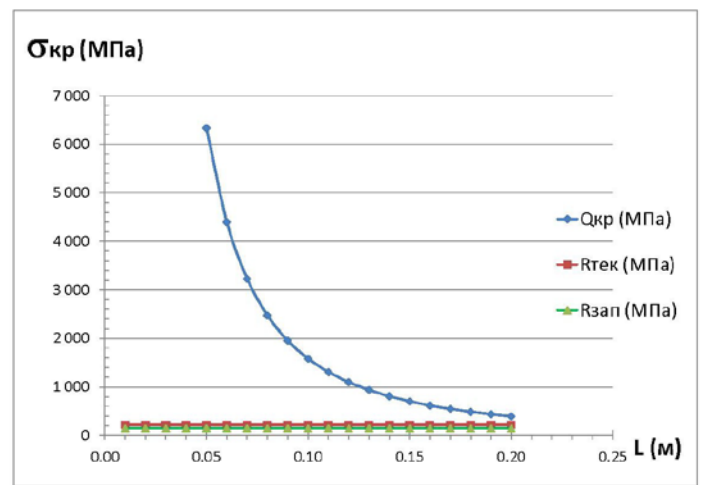


Рис. 5.4



Из рис.4.2 мы видим, что графики для диаметра стержня равного 6мм и 8мм удовлетворяет уровню запаса по текучести. Аналогичную картину мы можем наблюдать и на рис.6.2, который отражает расчет по «точному методу». См. рисунок ниже.

## Зависимость величин $\sigma_{кр}$ для винта от L для различных d

(верхий рисунок для всего интервала значений L, нижний рисунок для интервала L от 0.05 до 0.20)

L (м)	$\sigma_{кр}$ (МПа)		
	d = 4мм	d = 6мм	d = 8мм
0.20	99	223	396
0.19	110	247	439
0.18	122	275	489
0.17	137	308	548
0.16	155	348	619
0.15	176	396	704
0.14	202	454	808
0.13	234	527	937
0.12	275	619	1 100
0.11	327	736	1 309
0.10	396	891	1 584
0.09	489	1 100	1 955
0.08	619	1 392	2 474
0.07	808	1 818	3 232
0.06	1 100	2 474	4 399
0.05	1 584	3 563	6 335
0.04	2 474	5 568	9 898
0.03	4 399	9 898	17 596
0.02	9 898	22 270	39 591
0.01	39 591	89 081	158 366

E (Па)	196 000 000 000
Ix (м <sup>4</sup> )	$(\pi \cdot d^4) / 64 = 2.0106E-10$
$\pi$	3.141592654
$\mu$	0.699

Рис. 6.1

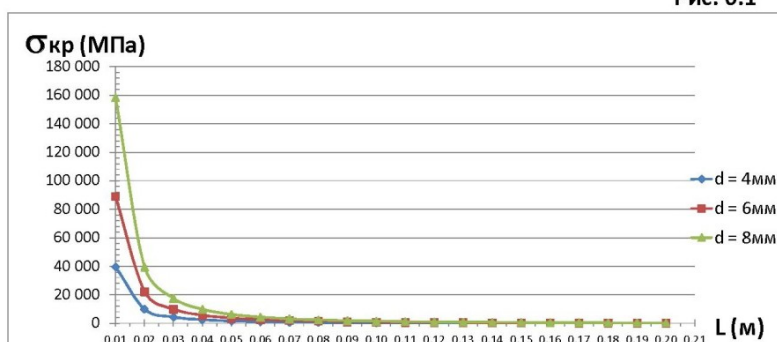
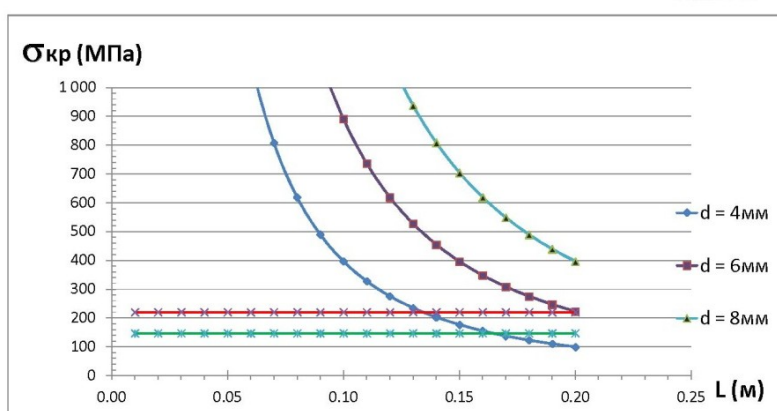


Рис. 6.2



Поскольку винт подъемного механизма является ключевым элементом конструкции, и его деформация приведет к выходу из строя АКПП, то основным результатом произведенных расчетов является определение критических параметров диаметра винта, при котором выполняется условие по минимальному запасу текучести и прочности.

Таким образом, начиная с диаметра 6мм и выше винт, при рассматриваемых реальных нагрузках, никогда не выйдет из состояния устойчивого равновесия и будет сохранять вертикальную ось, что важно для нормального функционирования всего подъемного механизма и для предотвращения заклинивания винта в гайке в результате деформации.

Известно, что наличие резьбы на винте снижает его прочностные характеристики, см. [1] стр.495, поэтому остановимся на диаметре 8мм.

### Влияние температуры на винтовой механизм

В данном параграфе рассмотрим влияние температуры на винтовой механизм и на внутренний короб АКПП.

На рис.7.1. приведен график зависимости сопротивления на разрыв  $\sigma_B$  в МПа и предела текучести  $\sigma_{0.2}$  в МПа (см. левую шкалу рис. 7.1) и относительного удлинения  $\varepsilon$  в % (см. правую шкалу рис. 7.1) от температуры в градусах Цельсия, см. источник [3].

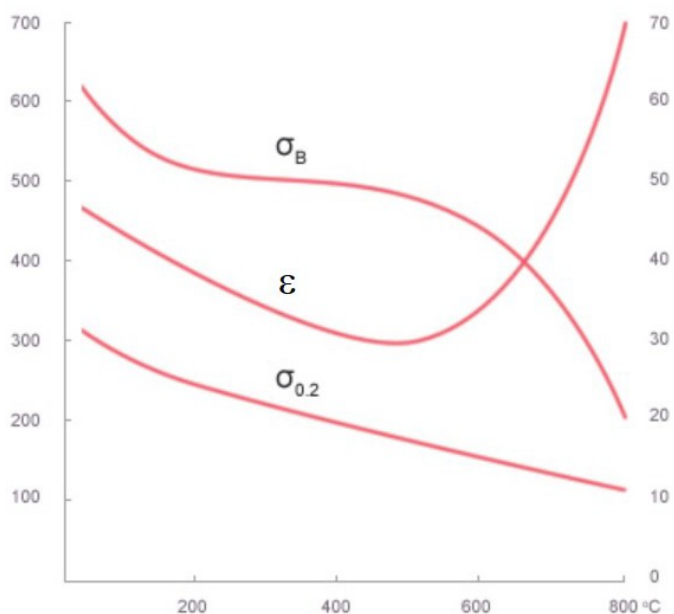


Рис. 7.1

Как видно из графиков для нержавеющей стали марки 07X18H13M2, которую предполагается использовать в конструкции, в диапазоне температур от 0 до 400°C конструкции подъемного механизма ничто не угрожает. Интуитивно понятно, что даже при температуре нагрева внутреннего короба до 400°C и выше, винт вряд ли нагреется хотя бы до 200°C, уж очень мала площадь соприкосновения винта и короба всего  $2.8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  для винта 6 мм в диаметре.

Эта проблема решается в принципе установкой асбестовой прокладки (показатели теплопроводности асбеста очень низкие, коэффициент теплопроводности асбеста — 0.35, а стали — 52) между винтом и внутренним коробом, это предотвратит нагрев в принципе и еще снизит трение поверхности винта и короба.

### Температурное расширение короба при нагреве

Предотвращение негативного влияния температуры на внутренний короб является более существенной задачей, так как на практике при интенсивном горении теплоносителя внутренний короб может нагреваться до 500°C, и возникает температурное расширение внутреннего короба, которое больше, чем температурное расширение внешнего короба (его сильнее охлаждает окружающий воздух).

К сожалению, асбестовые прокладки уже не применимы в силу вредности асбеста для здоровья человека, поэтому необходимо конструктивно учесть зазоры, чтобы предотвратить заклинивание направляющих внутреннего и внешнего коробов АКПП.

Внутренний короб характеризуется параметрами ШхГхВ (глубина, ширина, высота), рассчитаем Линейное удлинение (ЛУ), см. [4], по формуле

$$\text{ЛУ} = \alpha * 10^{-6} * (T - 27) * L,$$

T — температура нагрева, L — длина детали (м).

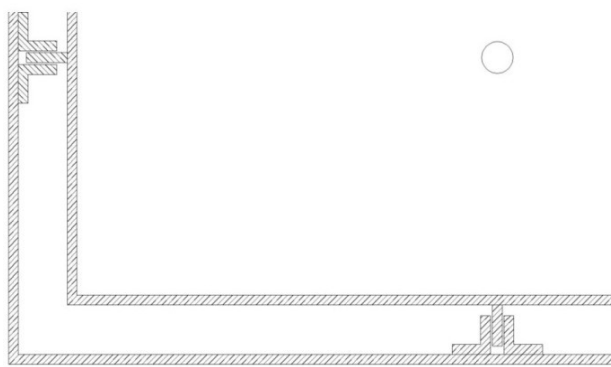


Рис. 7.2

Для площадки размером 0.3м (Глубина) и 0.4м (Ширина) получаем по данной формуле для 527°C, ЛУ по Глубине = 0,0027м (2.7мм), ЛУ по Ширине = 0,0036м (3.6мм) Следовательно в конструкции АКПП будут сделаны зазоры 3 и 4мм, округляя вышеприведенные числа. См. рис.7.2 — внутренний короб с направляющими на внешнем коробе (часть рис.1.2)

## Методы считывания информации о температуре приготавливаемого продукта



Рис. 8.1

Одним из способов является применение термощупов, см. рис.8.1 справа, а точнее «сетки» из термощупов в каждом узле которой установлен термощуп и этот термощуп выступает как датчик температуры в определенной точке пространства.

Например, по 5 шт. на каждый шампур, если их 10, то всего 50 точек замера температуры в районе шампуров.

Основным недостатком данного метода измерения является то, что измеряется температура не самого продукта или его поверхности, а температура окружающей среды вблизи приготавливаемого продукта.

Основным преимуществом термощупов является низкая цена.

Наиболее прогрессивным методом является использование тепловизора, который определяет температуру продукта и температуру окружающей среды на расстоянии с помощью встроенных инфракрасных сенсоров температуры.

Уже появились недорогие тепловизоры, а точнее компактные инфракрасные сенсоры, которые можно использовать для бытовых целей.

Точность определения температуры тепловизором достаточно высока, что делает возможным качественную автоматизацию и учет различных температурных режимов приготовления продуктов.

Разместив тепловизор над АКПП на обычном штативе, можно получать информацию о приготовлении в реальном времени и обрабатывать на компьютере, смартфоне или планшете считываемые параметры и посылать управляющие



сигналы шаговым двигателям АКПП, вентиляторам обдува теплоносителя в зависимости текущих параметров.

### **Автоматизация комплекса, элементная база**

Объекты автоматизации АКПП в виде его составных частей:

- шаговый двигатель внутреннего короба ШД1
- шаговый двигатель шампуров ШД<sub>i</sub>  $i=2, \dots, n$
- вентиляторы обдува теплоносителя (древесного угля).

Контрольные датчики

- сенсор MLX90621 для замера температуры по сетке 32x24 в режиме реального времени, всего обрабатывается  $32 \times 24 = 768$  температурных зон (далее С1)



Рис. 8.2

### **Устройства сбора данных**

- контроллер ARDUINO DUE

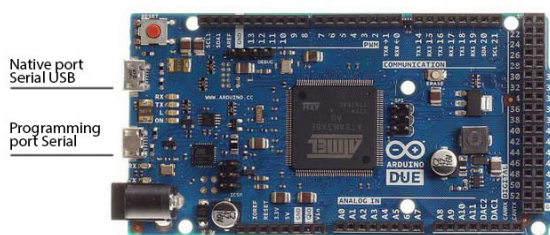


Рис. 8.2

Устройства передачи данных

- USB порт, WiFi, Bluetooth интерфейсы контроллера ARDUINO DUE
- USB порт, WiFi, Bluetooth интерфейсы ПК, планшета, смартфона,

Устройства обработки информации

- компьютер, планшет, смартфон, программное обеспечение для обмена данными с ARDUINO DUE (поставляется вместе с данным контроллером), программное обеспечение для реализации алгоритма управления и контроля АКПП, о котором пойдет речь далее (ПОк)

### **Описание алгоритма приготовления продуктов**

ПОк в каждый момент времени получает следующую информацию от контроллера ARDUINO DUE:

- 1) Температура по 768 точкам сенсора, обозначим  $t_i^1$  температуру над шампуром, т.е. это температура наружной поверхности приготавливаемого продукта,  $t_i^2$  — температура в промежутках между шампурами.
- 2) От шагового двигателя ШД<sub>1</sub> — положение внутреннего короба, от шаговых двигателей ШД<sub>i</sub> — положение шампуров.
- 3) ПОк отслеживает начало приготовления продуктов на каждом ШД<sub>i</sub>, пользователь нажимает кнопку «Старт» для каждого шампура, на который нанизан продукт. ПОк ведет индивидуальный счетчик  $t_i$  для каждого шампура с момента старта.
- 4) Через определенные интервалы времени  $\tau_i$  для каждого шампура происходит его переворачивание на  $180^\circ$  для замера температуры  $t_i^1$  поверхности приготавливаемого продукта. Причем счётчик  $t_i$  на момент переворота временно останавливается. После замера шампур поворачивается еще на  $180^\circ$ ,  $t_i$  продолжает свой отсчет.
- 5) Время  $t_i\text{MAX}$  устанавливается индивидуально для каждого типа продуктов и зависит от размеров продукта и пожеланий пользователя к степени прожарки. На первоначальном этапе  $t_i\text{MAX}$  подбирается экспериментально.
- 6) Также необходим параметр, регулирующий поворот шампура на угол  $\alpha$ . Его можно положить равным  $36^\circ$ . Следовательно. Полный поворот продукта будет осуществлен за 10 мини-поворотов. Поэтому  $t_i\text{MAX}$  будет кратно 10.

- 7) Пусть  $a_i$  задает количество поворот в минуту. По истечении  $t_{iMAX}$  (конечного времени приготовления) ПОк посылает пользователю сообщение об окончании процесса приготовления на данном шампуре. ПОк может снизить температуру через ШД<sub>1</sub>, опустив внутренний короб, чтобы не допустить пережаривания. Также ПОк может сообщить пользователю об окончании приготовления продукта и снизить температуру, если в ходе очередного замера через  $\square$  обнаружит, что для данного типа продукта достигнута максимальная температура поверхности  $T_{iMAX}$ .
- 8) Обозначим  $T_j$  оптимальную температуру жарки того или иного продукта, зависящую от его типа. (где  $j$  — тип продукта). Каждый  $T_j$  контролируется ПОк в режиме реального времени и определяется экспериментально.  $T_j$  контролируется через замеры  $t_i^2$ .
- 9) В случае если  $t^2$  отклоняется от  $T$  на экспериментально полученную величину  $\sigma_j$ , то ПОк дает команду ШД<sub>1</sub> на увеличение температуры путем подъема внутреннего короба или уменьшения путем опускания, а также на включение обдува вентиляторами теплоносителя для поднятия температуры. Если вышеописанные действия не привели к подъему температуры до необходимого уровня, то ПОк сообщает пользователю о проблеме.

#### **Технико-экономическое обоснование автоматизированного комплекса**

В любой инновационной разработке рано или поздно встает вопрос о стоимости пусть даже и опытного образца. Сделав некоторые предположения о трудозатратах и стоимости материалов, постараюсь выйти на конечную сумму.

Расчеты представлены в таблице в Приложении 4, получилась оценка себестоимости 19037 рублей.

Из оценочной таблицы в Приложении 4 видно, что получается весьма внушительная сумма, однако обычный мангал из нержавейки стоит в районе 5000 рублей, отсюда вытекает, что автоматизация добавляет еще 14000 рублей. Цена рядового смартфона находится в этом ценовом диапазоне, учитывая, что данный АКПП будет служить долго, так как сделан из нержавейки, сэкономит массу

свободного времени владельцу, сделает невозможным порчу ценных продуктов из-за пережарки и принесет большое количество приятных минут энтузиастам домашней автоматизации, уверен, что АКПП найдет своего потребителя.

### Выводы

На мой взгляд исследование, проведенное в данной работе, достигло заявленных целей и автор вплотную подошел к изготовлению опытного образца, решив большинство инженерных задач и задач автоматизации. Были сделаны прочностные расчеты, расчеты влияния температуры на наиболее уязвимые детали комплекса, разработан алгоритм управления и контроля за процессом приготовления продуктов, подобраны необходимые средства и материалы для успешного воплощения рассмотренного в работе АКПП. Был сделан оценочный расчет себестоимости АКПП, который позволил с оптимизмом смотреть на будущее развитие этой инновационной разработки.

### Список литературы

- [1] Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999, 592 с.
- [2] ГОСТ Р 52857.1-2007 <http://docs.cntd.ru/document/1200063255>
- [3] Характеристики нержавеющей стали марки 07X18H13M2 <http://goodner.ru/services/info/marks/316l-ti>
- [4] Зубченко А.С., Колосков М.М., Каширский Ю.В. и др. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 2003.
- [5] Сайт разработчиков инфракрасного сенсора MLX90621 <https://www.melexis.com/>
- [6] Стоимость чипа MLX90621 <https://www.digikey.com/product-detail/>
- [7] Стоимость стали 07X18H13M2 <http://www.atissteel.ru/nerzhavejshhij-prokat/nerzhavejshhij-list/list-aisi-316/>

## Приложение 1

Изображение АКПП, три разреза

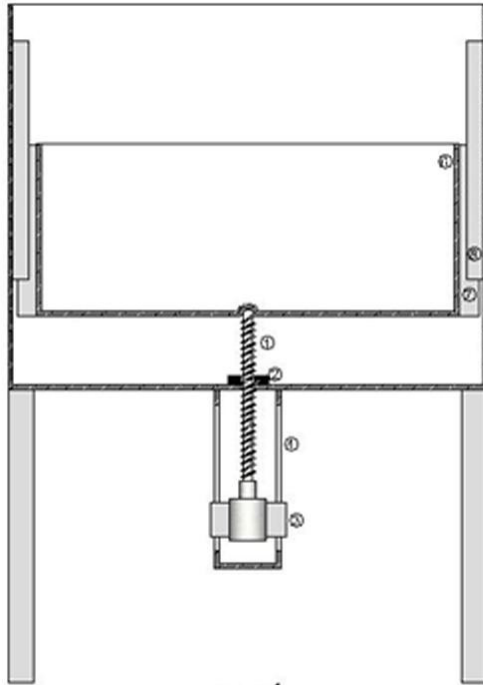


рис.1

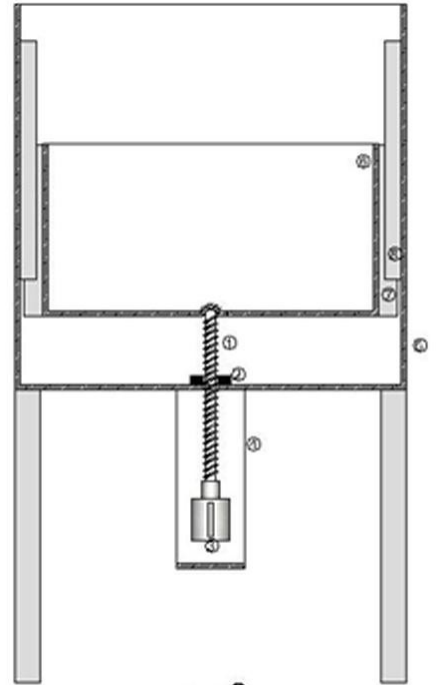


рис.2

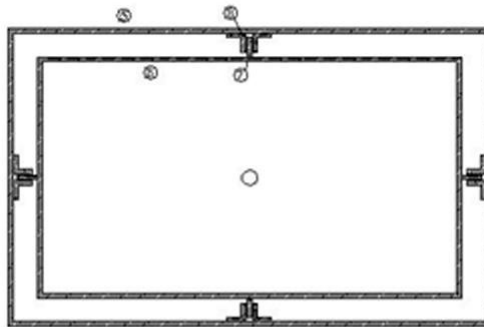


рис.3

**Приложение 2.** В данном приложении с минимальным редактированием приведено решение задачи Эйлера из учебника В.И.Феодосьева.

Положим, что по какой-то причине сжатый стержень несколько изогнулся. Рассмотрим условия, при которых возможно равновесие стержня с изогнутой осью. На рис.13.9б, показана часть стержня и действующие на нее силы. Отсеченная часть стержня находится в равновесии, поэтому сумма моментов относительно точки  $O$  равна нулю:

$$M + Py = 0, \quad (13.4)$$

или

$$EJy'' + Py = 0. \quad (13.5)$$

Изгиб стержня при потере устойчивости происходит в плоскости минимальной жесткости, и поэтому под  $J$  здесь следует понимать минимальный момент инерции сечения.

Обозначим

$$\frac{P}{EJ} = k^2. \quad (13.6)$$

Тогда уравнение (13.5) примет вид

$$y'' + k^2y = 0, \quad (13.7)$$

откуда

$$y = C_1 \sin kz + C_2 \cos kz. \quad (13.8)$$

Постоянные  $C_1$  и  $C_2$  находим из граничных условий ( $z = 0$  и  $z = l$ ). В рассматриваемом случае имеем при  $z = 0$   $y = 0$ ; при  $z = l$   $y = 0$ ,

В результате получаем систему однородных алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot 1 &= 0; \\ C_1 \sin kl + C_2 \cos kl &. \end{aligned}$$

Как известно из линейной алгебры, чтобы система однородных линейных уравнений имела нетривиальное решение, необходимо, чтобы ее определитель был равен нулю, т.е.

$$D = \det \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \sin kl & \cos kl \end{bmatrix} = 0.$$

Раскрывал определитель, находим

$$\sin kl = 0. \quad (13.9)$$

В данном простом примере уравнение (13.9) можно получить и без выписывания определителя. Из условия при  $z = 0$   $y = 0$  следует, что  $C_2 = 0$ ; а из условия при  $z = l$   $y = 0$  получаем  $C_1 \sin kl = 0$ . Произвольная постоянная  $C_1 \neq 0$ . При  $C_1 = C_2 = 0$  получаем тривиальное  $y \equiv 0$ , которое нас не интересует, так как при новой форме равновесия стержня его осевая линия не прямолинейна. Поэтому  $\sin kl = 0$ . Но в более сложных задачах, требующих использования вычислительной техники, для определения критических сил определитель необходим.

Из уравнения (13.9) следует, что  $kl = \pi n$ , где  $n$  — произвольное целое число. Учитывая выражение (13.6), получаем  $P = \pi^2 n^2 EJ/l^2$ . Это означает, что для того чтобы стержень сохранял криволинейную форму, необходимо, чтобы сила  $P$  принимала определенное значение. Наименьшая сила  $P$ , отличная от нуля, будет при  $n = 1$ :

$$P = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}. \quad (13.10)$$

Эта сила носит название *эйлеровой* или *критической силы*.

При  $n = 1$  имеем  $kl = \pi$ , и уравнение упругой линии (13.8) принимает вид

$$y = C_1 \sin \frac{\pi x}{l}.$$

Стержень изгибается по полуволне синусоиды с максимальным прогибом  $C_1$ .

При любом целочисленном значении  $n$

$$y = C_1 \sin \frac{\pi n z}{l}.$$

Для описания закритического поведения стержня при больших прогибах следует использовать полное нелинейное уравнение равновесия. Поскольку при больших прогибах  $\frac{1}{\rho} = EJ/\rho$ , где  $\rho$  — радиус кривизны изогнутой оси стержня, то из уравнения (13.4) находим

$$\frac{EJy''}{(1 + y'^2)^{3/2}} + Py = 0.$$

**Приложение 3.** В данном приложении с минимальным редактированием приведено решение “точного метода” из учебника В.И.Феодосьева.

Рассмотрим частный случай уравнения (13.16), когда жесткость стержня постоянна и он нагружен сосредоточенной сжимающей силой (упругого основания нет, т.е.  $\varkappa = 0$ ). Из (13.16) получаем

$$y^{IV} + k^2 y'' = 0 \quad (k^2 = P/EJ). \quad (13.17)$$

Интегрируя два раза это уравнение, находим

$$y'' + k^2 y = C_1 z + C_2. \quad (13.18)$$

Общее решение уравнения (13.17) имеет вид

$$y = C_3 \cos kz + C_4 \sin kz + \frac{C_1}{k^2} z + \frac{C_2}{k^2}. \quad (13.19)$$

**ПРИМЕР 13.5.** Определить критическую силу для последнего случая закрепления стержня, показанного на рис. 13.13. Граничные условия имеют вид: при  $z = 0$   $y' = 0$ ; при  $z = l$   $y = y'' = 0$ .

Из граничных условий при  $z = 0$  и  $z = l$  получаем

$$\begin{aligned} k^2 C_3 + C_2 &= 0; \\ k^3 C_4 + C_1 &= 0; \\ C_3 \cos kl + C_4 \sin kl + \frac{C_1}{k^2} l + \frac{C_2}{k^2} &= 0; \\ C_3 k^2 \cos kl + C_4 k^2 \sin kl &= 0. \end{aligned} \quad (13.23)$$

Приравняв определитель системы уравнений (13.23) нулю:

$$D = \begin{vmatrix} k^2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & k^3 & 1 & 0 \\ \cos kl & \sin kl & l/k^2 & 1/k^2 \\ k^2 \cos kl & k^2 \sin kl & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0, \quad (13.24)$$

после преобразований получаем уравнение для вычисления критической силы:

$$\operatorname{tg} kl = kl. \quad (13.25)$$

Численное решение полученного уравнения даст наименьший корень  $(kl)_{\min} = 4,49$ . Так как  $k^2 = P/EJ$ , то после преобразований находим уточненное значение коэффициента  $\mu = 0,699$ , что незначительно отличается от Приближенного значения, равного 0,666.



## Приложение 4

### Стоимость работ и материалов АКПП

	Наименование	Ед.	Изм.	Цена (Руб)	Сумма (руб)
1	Нержавеющая сталь марки 07X18H13M2 лист 2 мм, см. [7]	8	кг	265	2 120
2	Нержавеющая сталь марки 07X18H13M2 винт	0.2	кг	80	12
3	Нержавеющая сталь марки 07X18H13M2 гайки	1	шт	10	10
4	Шаговые моторы	9	шт	500	4 500
5	Стоимость режущего инструмента 10% от ст. листа	1	уп	212	212
6	Стоимость расходников 5% от ст. листа	1	уп	106	106
6	Стоимость чипа MLX90621, см. [6]	1	шт	2 337	2 337
7	Стоимость платы и вспомогательных микросхем	1	уп	1 300	1 300
8	Стоимость Arduino Due	1	шт	1 440	1 440
9	Стоимость коробки для блока управления	1	шт	300	300
10	Шлейфы и кабели	1	уп	300	300
11	Стоимость работ механика по сборке	5	ч	500	2 500
12	Стоимость работ по монтажу печатных плат	2	ч	1 000	2 000
13	Штатив для чипа MLX90621	1	шт	500	500
14	Вентиляторы обдува углей	2	шт	700	1 400
<b>ИТОГО:</b>					<b>19 037</b>

**СЕКЦИЯ X. Инженерный бизнес и менеджмент****Расширение рынка оказания услуг в области аэронавигационной информации на примере коммерческой организации**

*Куренков Сергей Эдуардович,*

*г. Москва, Инженерная школа №1581, 11 класс*

*Научный руководитель: Клементьева Светлана Вячеславовна,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Доцент кафедры ИБМ-2*

**История аэронавигационной информации.**

Первый, кому пришла идея собрать информацию о навигации во время полета, был Элрей Бордж Джеппесен (Elrey Borge Jeppesen). Он понял, что пилоту довольно трудно обходиться без какого-либо материала, помогающего более точно ориентироваться в воздушном пространстве. В начале 1930-х годов, работая пилотом в компании Varney Airlines, он начал составлять карты для обеспечения навигации во время полетов. Собранный им информация и нарисованные схемы вначале предназначались для личного использования, но вскоре пилот понял, что у его записей есть коммерческий потенциал. Копии его сборника стали продаваться по 10 долларов. Постепенно, коллекция карт расширялась благодаря другим пилотам, которые передавали Джеппесену свои записи. В конце 1930-х Джеппесен стал работать в United Airlines, эта компания стала первой, использовавшей его карты. Постепенно составление сборника стало отнимать слишком много времени и стало основным источником заработка для своего создателя. Он оставил работу пилота и создал фирму Jeppesen, первую компанию в мире, которая предоставляет информационные услуги для авиакомпаний и пилотов. Сегодня компания выпускает ряд сборников радионавигационной информации и карты для полетов по правилам визуальных полетов, схемы захода на посадку и взлета, литературу по авиации, учебные пособия. Продукция предназначена для разных потребителей, включая частную и коммерческую авиацию, преподавателей в авиашколах и т. д., также компания выпускает пособия и программное обеспечение для планирования полетов и обеспечивает услуги по планированию полетов.

**Текущая обстановка по аэронавигационному обеспечению пользователей воздушного пространства Российской Федерации.**

В настоящее время на рынке аэронавигационного обеспечения пользователей воздушного пространства Российской Федерации действуют несколько специализированных организаций. Качество аэронавигационной информации - важный элемент безопасности полетов. Основной государственной организацией является Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр аэронавигационной информации» (ФГУП «ЦАИ»). Остальные региональные производители имеют частную форму собственности, благодаря которым на данном сегменте рынка формируется конкуренция. Самым крупным предприятием, созданным на коммерческой основе, является Закрытое акционерное общество «Межрегиональный аэронавигационный Центр «АВИАКОМИНФО» (ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО»).

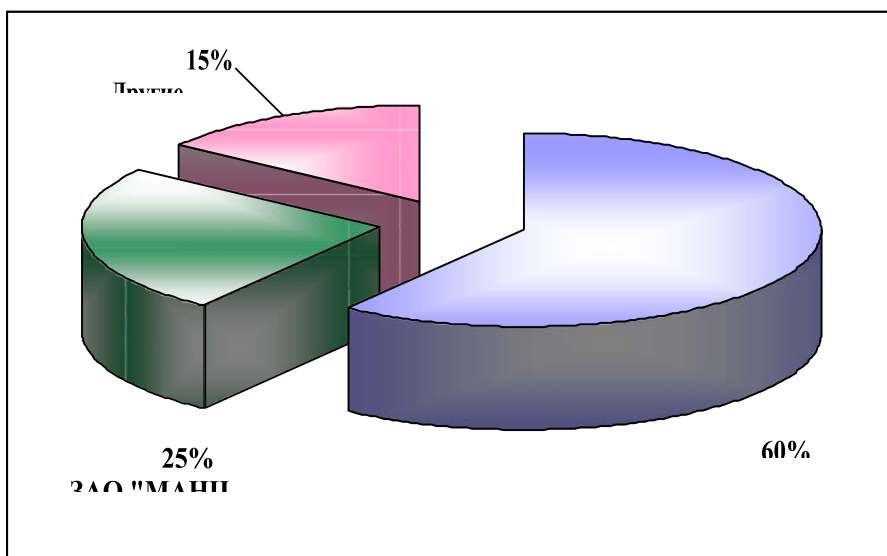


Рис. 1. Диаграмма распределения рынка между организациями, участвующими в области оказания услуг аэронавигационной информации

Основным видом предоставления аэронавигационной информации является печатная и электронная продукция, которая обновляется с интервалом, определенным Международными стандартами и Рекомендуемой практикой (цикл AIRAC – 28 дней).

## **Анализ деятельности предприятия ЗАО "МАНЦ "АВИАКОМИНФО".**

### **Общие сведения о предприятии**

ЗАО "МАНЦ "АВИАКОМИНФО" — компания на российском рынке услуг по обеспечению потребностей экипажей авиакомпаний, государственной авиации, пилотов аэроклубов, авиации ДОСААФ (Добровольное общество содействия армии, авиации и флоту) и других пользователей воздушного пространства в документах аэронавигационной информации (Сборники АНИ, маршрутные авиационные карты для выполнения полетов по воздушным трассам в пространстве классов «С» и «А», и ниже нижнего эшелона в пространстве классов «С» и «G»).

### **Основная деятельность:**

- сбор, обработка, хранение аэронавигационной информации;
- разработка и издание на ее основе документов (публикаций) аэронавигационной информации;
- обеспечение спутниковыми аэронавигационными системами и их информационное сопровождение;
- разработка схем маневрирования в районе аэродрома;
- проведение геодезических работ.

### **Основные виды продукции:**

- маршрутные карты воздушных трасс России и сопредельных государств;
- маршрутные карты местных воздушных линий России и сопредельных государств;
- электронные версии карт и документов АНИ;
- аэронавигационные паспорта (АНПА (аэронавигационный паспорт аэропорта), АНПВ (аэронавигационный паспорт вертодрома), АНППП (аэронавигационный паспорт посадочной площадки)) для владельцев и эксплуатантов аэродромов и посадочных площадок;
- инструкции по производству полетов в районе аэродрома для владельцев и эксплуатантов;
- настенные карты для залов управления полетами и штурманских комнат.

Дополнительно ЗАО "МАНЦ "АВИАКОМИНФО" обеспечивает потребителей авиационными аксессуарами:

- кейсы различных форматов для хранения и транспортировки документов аэронавигационной информации;
- штурманские портфели с дополнительными папками;
- полетные сумки с двумя отделениями и держателями карандашей и ручек;
- специальные папки для маршрутных карт и аэродромных схем на кольцевых замках, с кармашками различного предназначения;
- штурманское снаряжение (навигационные треугольники, линейки, расчетчики и т.п.)

Потребителями ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО» являются более 270 авиакомпаний на территории РФ и сопредельных государств. Самыми крупными потребителями являются:

Таблица 1 Перечень клиентов компании

<b>Название компании</b>	<b>Доля выручки от компании</b>
Авиация МЧС России	6,2%
Авиация ФСБ России	9,3%
Авиация МВД России	13,1%
Войсковые части ВВС России	7,8%
Авиакомпания «Баркол»	3,4%
Авиакомпания «Газпромавиа»	2,5%
Авиакомпания «Грозный Авиа»	2,9%
Авиакомпания «Конверс Авиа»	2,7%
Нефтеюганский объединенный авиаотряд	5,4%
Специальный летный отряд «Россия»	2,8%

Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева	3,4%
Региональный технический центр авиационной информации, сертификации и связи	2,9%
Московский центр автоматизированного управления воздушным движением (МЦ АУВД)	4,1%
Прочие авиакомпании, аэроклубы и владельцы частных воздушных судов	33,5%

Большинство клиентов компании являются крупными коммерческими и государственными структурами такими как Авиация МВД России, Авиация ФСБ России, Авиация МЧС России, Войсковые части ВВС России, Специальный летный отряд «Россия», Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева и другие.

#### **Организационная структура управления предприятием**

Среднесписочная численность персонала организации составляет 30 человек. (Структура организации производства представлена на рисунке 2).

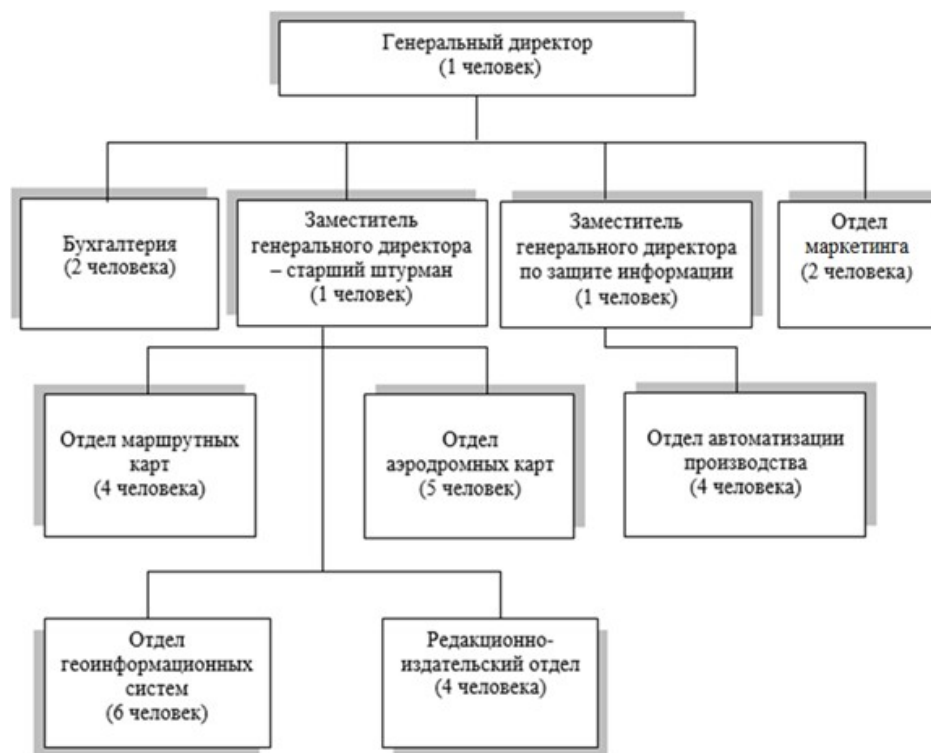


Рис. 2. Организационная структура управления предприятием

- Генеральный директор. Основной задачей директора является эффективное управление предприятием.
- Главный бухгалтер находится в прямом подчинении генерального директора. Он обеспечивает организацию бухгалтерского учета на предприятии и контроль за рациональным, экономным использованием всех видов ресурсов, сохранностью собственности, активным воздействием на повышение эффективности хозяйственной деятельности предприятия. Формирует отдел бухгалтерии, а также организует его эффективную работу. В подчинении находится бухгалтер, который способствует выполнению функций и обязанностей главного бухгалтера с помощью делегирования полномочий.
- Старший штурман находится в прямом подчинении генерального директора. В его задачи входит контроль соблюдения обновлений цикла AIRAC у подчиненных ему отделов. Разрешение спорных ситуаций при разработке схем, разработка схем АНПА и АНППП.
- Заместитель генерального директора по защите информации находится в прямом подчинении генерального директора. В его обязанности входит

- своевременное обеспечение предприятия новой аэронавигационной информацией, обеспечение защиты интеллектуальной собственности компании, управление отделом автоматизации.
- Отдел маршрутных карт находится в подчинении старшего штурмана. В его задачи входят: обработка аэронавигационной информации, разработка маршрутных карт, разработка схем, обработка АИП стран СНГ.
  - Отдел маркетинга находится в подчинении генерального директора. В его задачи входят: работа с потребителями, управление ассортиментом компании.
  - Отдел аэродромных карт находится в подчинении старшего штурмана. В его задачи входят: обработка аэронавигационной информации, разработка аэродромных карт, разработка схем.
  - Отдел геоинформационных систем находится в подчинении старшего штурмана. В его задачи входят: выезд на аэродромы, посадочные площадки, вертодромы для снятия координат, высот, обработки геодезических данных, составление отчетов.
  - Редакционно-издательский отдел находится в подчинении старшего штурмана. В его задачи входят: проверка выпускаемой бумажной продукции, составление листов поправок для всех сборников аэронавигационной информации, печать продукции, обеспечение сотрудников предприятия необходимой информацией, представленной в бумажном формате.
  - Отдел автоматизации находится в подчинении заместителя генерального директора по защите информации. В его обязанности входит своевременное обновление базы аэронавигационных данных, проверка выпускаемой продукции, обработка НОТАМ (оперативно распространяемая информация об изменениях в правилах проведения и обеспечения полётов и аэронавигационной информации), обработка геоинформационных данных и разработка АНПА и АНППП, ведение базы аэронавигационных данных.



### **Анализ экономической деятельности предприятия**

В 2017 году предприятием было реализовано продукции на сумму 46 миллионов рублей.

Реализация продукции в денежном выражении, сложилась следующим образом:

- Карты для визуальных полетов – 24,2 млн. руб. (51%);
- Карты воздушных трасс – 1,4 млн. руб. (3%);
- Карты планирования – 3,5 млн. руб. (8%);
- Сборники аэронавигационной информации (и поправки) – 4,9 млн. руб. (11%);
- Электронная база аэронавигационных данных – 0,5 млн. руб. (1%);
- Сборники местных воздушных линий (и поправки) – 1,5 млн. руб. (3%);
- Электронный программный продукт «MapSource» – 0,5 млн. руб. (1%);
- Разработка АНПА или АНПП – 4,4 млн. руб. (10%);
- Аксессуары – 3,2 млн. руб. (7%);
- Расчетно-аналитические и полиграфические услуги – 2,2 млн. руб. (5%).

Самыми распространенными продуктами реализации были карты для визуальных полетов (51%) и сборники аэронавигационной информации (11%).

Важнейшим компонентом анализа деятельности предприятия является анализ затрат на выпуск продукции (себестоимость продукции).

Себестоимость продукции — это сумма всех затрат предприятия на производство и реализацию товаров, продукции и услуг. [6]

Для выпуска продукции предприятие затрачивает средства на приобретение исходных материалов (в нашем случае информации). В процессе производства используются оборудование, компьютерная техника и прочие материалы. Ремонт и замена износившейся техники также требуют определенных затрат. В изготовлении продукции принимают участие все работники предприятия, и всем им выплачивается заработная плата. От нее производятся следующие отчисления (для предприятий на упрощенной системе налогообложения (УСН)):

НДФЛ – налог на доходы физических лиц – 13 % от (фонда оплаты труда (ФОТ)) из средств работника;

Страховые и накопительные взносы в Пенсионный Фонд – 22% из средств работодателя;

Взносы в Фонд Социального страхования (ФСС) – 2,9% из средств работодателя;

Взносы в Фонд Социального страхования - страхование от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний - В зависимости от вида деятельности – от 0,2% и выше из средств работодателя;

Взносы в Федеральный Фонд медицинского страхования (ФФМС) – 5,1% из средств работодателя;

В итоге работодатель платит не менее 30% от ФОТ.

Работник платит (Работодатель за него перечисляет в бюджет) 13 % от ФОТ.

На реализацию продукции предприятие затрачивает определенные средства. Если все эти затраты выразить в денежной форме и сложить, то мы получим себестоимость продукции.

В себестоимость продукции включают следующие затраты:

- на исследование рынка;
- на организацию производства, включая расходы на управление;
- на совершенствование технологии и организации производственного процесса, а также улучшение качества изготавливаемой продукции;
- на сбыт продукции (транспортировка, реклама, хранение и др.);
- на подготовку новых продуктов производства и освоение выпуска;
- набор и подготовку кадров;
- другие денежные расходы предприятия, связанные с выпуском и реализацией продукции.

В 2017 году на затраты компании ушло 36 млн. руб. (Таблица 2) Затраты сложились следующим образом:

- Информационное обеспечение – 5,4 млн. руб. (14,0%);
- Материальные затраты (*авиационные аксессуары*) – 1,4 млн. руб. (3,8%);

- Вспомогательные материалы – 1,4 млн. руб. (4%) в т.ч:

*Бумага (1,5%);*

*тонеры и картриджи (0,8%);*

*прочие расходные материалы (1,7%);*

- Затраты на оплату труда – 16,3 млн. руб. (45,3%);

- Отчисления от заработной платы в т.ч: - 4.1 млн.руб. (11,5%);

*Фонд социального страхования Российской Федерации (ФСС -0,5 млн. руб. (1,4%));*

*Федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС - 0,5 млн. руб. (1,4%));*

*Территориальный фонд обязательного медицинского страхования (ТФОМС - 0,3 млн. руб. (0,9%));*

*Пенсионный фонд Российской Федерации (ПФРФ -2,8 млн. руб. (7,9%));*

- Амортизация - 0,7 млн. руб. (1,9 %);

- Прочие расходы – 7 млн. руб. (19,6 %);

*Аренда (8,2%);*

*Типографские расходы (7,2%);*

*Почтовые расходы (0,5%);*

*Прочие (3,7%).*

Таблица 2 - Затраты ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО» в 2017 году (тыс. руб.)

Статьи затрат	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	ИТОГО
<b>Информационное обеспечение</b>	397,2	267,8	298,8	464,7	508,4	445,3	369,0	487,1	431,9	474,8	440,0	457,1	5042,2
<b>Материальные затраты (авиационные аксессуары)</b>		52,3		285,4	57,0	198,0	20,5	109,6	498,4	17,4	89,9	31,7	1360,2
<b>Вспомогательные материалы</b>	230,3	57,9	94,1	23,2	90,5	128,1	147,4	127,6	131,3	236,4	57,5	108,2	1432,5
<i>Бумага</i>	48,4	31,8	40,1	11,6	46,2	78,1	73,7	64,9	42,1	24,5	35,1	47,6	544,1
<i>Тонеры, картриджи</i>	16,1	17,4	26,7	10,2	26,2	25,6	32,4	40,2	32,5	7,9	17,3	37,9	290,5
<i>Прочие расходные материалы</i>	165,8	8,7	27,3	1,4	18,1	24,3	41,3	22,5	56,7	204,0	5,2	22,7	597,9

Затраты на оплату труда	1464,1	1916,4	1322,8	1337,1	1244,2	1209,3	1185,8	1194,1	1296,6	1355,0	1398,5	1357,7	16281,7
Отчисления с з/платы в т.ч.:	371,9	486,8	336,0	339,6	316,0	307,2	301,2	302,5	329,3	344,2	355,2	344,9	4134,7
ФСС РФ	43,9	57,5	39,7	40,1	37,3	36,3	35,6	35,8	38,9	40,7	42,0	40,7	488,4
ФФОМС	43,9	57,5	39,7	40,1	37,3	36,3	35,6	35,0	38,9	40,7	42,0	40,7	487,6
ТФОМС	27,8	36,4	25,1	25,4	23,6	23,0	22,5	22,7	24,6	25,7	26,6	25,8	309,4
ПФР	256,2	335,4	231,5	234,0	217,7	211,6	207,5	209,0	226,9	237,1	244,7	237,6	2849,3
Амортизация	56,4	56,4	56,4	56,4	56,4	56,4	56,4	56,4	56,3	56,3	56,3	56,2	676,3
Прочие расходы	499,9	462,1	466,9	585,1	509,8	812,2	604,9	453,1	430,2	771,8	770,9	667,6	7034,5
Аренда	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	2940
Типографские расходы	150,7	98,2	79,7	225,3	134,3	429,0	240,0	75,0	85,6	408,7	375,4	279,1	2581,1
Почтовые расходы	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	183,6
Прочие	88,9	103,6	126,9	99,5	115,2	122,9	104,6	117,8	84,3	102,8	135,12	128,2	1329,82
<b>ВСЕГО затраты</b>	<b>3019,7</b>	<b>3299,6</b>	<b>2575,0</b>	<b>3091,5</b>	<b>2782,4</b>	<b>3156,4</b>	<b>2685,3</b>	<b>2730,4</b>	<b>3174,1</b>	<b>3256,0</b>	<b>3168,3</b>	<b>3023,4</b>	<b>35962,1</b>

Таблица 3 - Реализация продукции ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО»  
в 2017 году (тыс. руб.)

Продукция/ месяц	Карты для визуальных полетов	Карты воздушных трасс	Карты планирования	Сборник и АНИ+Поправки	Сборник и МВЛ+Поправки	Электронная база аэронавигационных данных	MapSource	Разработка АНПА	Аксессуары	Расчетно-аналитические и полиграфические услуги	ИТОГО
Январь	1868,5	222,3	101,1	144,6	144,3	68,2	75,0	131,4	93,9	77,1	2926,4
Февраль	1733,0	185,1	455,9	633,3	75,1	13,1	14,4	575,7	411,2	293,7	4390,5
Март	1544,4	99,3	119,7	171,2	150,2	71,1	58,7	155,6	111,2	391,1	2872,5
Апрель	749,3		701,1	848,3	80,4	70,1	77,1	771,2	550,9	79,4	3927,8
Май	1903,3	479,3	102,2	146,1	90,7	50,9	56,0	132,9	94,9	67,8	3124,1
Июнь	4712,0	117,1	77,4	93,7	190,3	7,1	22,2	85,1	60,8	213,1	5578,8
Июль	2711,2		412,2	589,4	91,4	17,1	18,8	535,9	382,8	40,4	4799,2
Август	1287,5	64,6	302,7	366,3	147,1	33,3	36,6	333,0	237,8	169,9	2978,8
Сентябрь	699,7	55,4	603,9	863,6	66,4	35,0	8,1	785,0	560,7	400,5	4078,4
Октябрь	1599,6	55,6	272,2	329,4	107,1	17,1	18,8	299,4	213,9	152,8	3065,9
Ноябрь	2392,1	12,7	332,2	475,0	140,4	52,1	57,3	431,9	308,5	220,3	4422,5
Декабрь	2963,6	85,0	29,7	217,1	190,8	48,3	58,1	197,4	141,0	100,7	4031,7
<b>ИТОГО</b>	<b>24164,2</b>	<b>1376,4</b>	<b>3510,3</b>	<b>4878,0</b>	<b>1474,2</b>	<b>483,4</b>	<b>501,1</b>	<b>4434,5</b>	<b>3167,6</b>	<b>2206,8</b>	<b>46196,6</b>

Таблица 4 - Структура затрат ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО»  
в 2017 году (тыс. руб.)

Статьи затрат	ИТОГО
<b>Информационное обеспечение</b>	<b>14,0%</b>
<b>Материальные затраты (авиационные аксессуары)</b>	<b>3,8%</b>
<b>Вспомогательные материалы</b>	<b>4,0%</b>
<i>Бумага</i>	1,5%
<i>Тонеры, картриджи</i>	0,8%
<i>Прочие расходные материалы</i>	1,7%
<b>Затраты на оплату труда</b>	<b>45,3%</b>
<b>Отчисления от з/платы в т.ч.:</b>	<b>11,5%</b>
<i>ФСС РФ</i>	1,4%
<i>ФФОМС</i>	1,4%
<i>ТФОМС</i>	0,9%
<i>ПФР</i>	7,9%
<b>Амортизация</b>	<b>1,9%</b>
<b>Прочие расходы</b>	<b>19,6%</b>
<i>Аренда</i>	8,2%
<i>Типографские расходы</i>	7,2%
<i>Почтовые расходы</i>	0,5%
<i>Прочие</i>	3,7%
<b>ВСЕГО затраты</b>	<b>100,0%</b>



Анализ затрат на производство отражает максимальный удельный вес статьи «Затраты на оплату труда» и «Отчисления от заработной платы», в сумме - 56,8 %. Это обусловлено тем, что производство аэронавигационной информации является интеллектуальным продуктом, где определяющим компонентом затрат является человеческий фактор.

Статья «Информационное обеспечение» - 14,8% отражает затраты на приобретение исходной аэронавигационной информации у официальных источников.

Статья «Вспомогательные материалы» - 4,0% отражает затраты внутри организации на производство аэронавигационной информации.

Статья «Материальные затраты» - 3,8% отражает затраты на приобретение авиационных аксессуаров у производителей данных товаров.

Статья «Амортизация» - 1,9% отражает перенесение по частям стоимости основных средств по мере их износа на стоимость продукции.

Статья «Прочие расходы» - 19,6% содержит прочие расходы предприятия в течение его производственно-хозяйственной деятельности.

Экономический эффект полученный в результате деятельности предприятия характеризует прибыль. Получение прибыли на предприятии означает, что полученные доходы превышают все расходы, связанные с его деятельностью.

В течение 2017 года прибыль от реализации продукции ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО» составила 10 млн. руб.

На предприятии предусматриваются плановые мероприятия по увеличению прибыли: увеличение выпуска продукции, улучшение качества продукции, расширение рынка продаж.

В результате данного мероприятия, будет расширен рынок предоставляемых услуг в области аэронавигационной информации, и как следствие будет увеличен доход компании.

### **Новый способ применения аэронавигационной информации.**

Для увеличения прибыли руководство компании решило выйти на новый сегмент рынка и расширить перечень оказываемых услуг для пользователей аэронавигационной информации, а именно расчет максимальной безопасной высоты жилых строений (препятствий).

В общем случае препятствиями могут являться:

- Мачты сотовой связи;
- Строения;
- Трубы;
- ЛЭП (Линии электропередач);
- Естественные препятствия (горы, холмы и т.п.);
- Стеллы, рекламные щиты;
- Радиотехническое оборудование;

Для обеспечения безопасного пролета препятствий для захода на посадку должны учитываться минимальные безопасные высоты пролета препятствий, высота полета на промежуточном этапе захода на посадку, высота круга и минимальная безопасная высота (МБВ).

Для решения поставленной задачи руководство компании разработало следующую последовательность шагов:

- 1) Выезд геодезистов на территорию заказчика с целью сбора данных о территории, на которой будет производиться строительство объектов (либо объект уже построен), для изучения возможного влияния на существующие в настоящее время параметры процедур выполнения полетов в районе аэродромов. В данном случае специалист исследует высоты строений относительно Балтийской системы высот, снимает их координаты.
- 2) Обработка собранных данных отделом автоматизации с помощью специализированного ПО. Анализ результатов обработки данных и построение максимальных предельно допустимых абсолютных высот строительных сооружений в границах земельного участка.

3) Написание отчета о проделанной работе. Выдача отчета и заключения с рекомендациями для компании заказчика.

Выполнение данных работ положительно повлияет на положение компании на рынке аэронавигационного обеспечения пользователей воздушного пространства Российской Федерации.

Минимальная рыночная стоимость услуги составит 180 000 рублей.

Цена формируется исходя из запросов заказчика, исследуемой территории, объемов строительства, сложности проведения геодезической съемки, поэтому максимальную стоимость достаточно трудно спрогнозировать. Так как на рынке строительных компании преимущественно находятся крупные субъекты, то примем среднюю стоимость работ равную 400 000 рублей.

Плановые затраты (без учета инфляции и повышения заработной платы) останутся на прежнем уровне, т.к. для выполнения данной работы у компании имеются все необходимые специалисты.

Предполагаемый объем работ в первый год составит 0-2 заказа/месяц.

Таблица 5 - Предполагаемое количество заказов за предстоящий год

Месяц	Количество заказов	Выручка (тыс. руб)
Январь	1	400
Февраль	1	400
Март	2	800
Апрель	1	400
Май	1	400
Июнь	0	0
Июль	1	400
Август	2	800
Сентябрь	2	400
Октябрь	1	400
Ноябрь	0	0
Декабрь	1	400
<b>Итого</b>	<b>13</b>	<b>5200</b>



Таблица 6 - Динамика прибыли от реализации продукции  
в 2017 году (тыс. руб.)

Наименование	янв	фев	март	апр	май	июнь	июль	август	сент	окт	ноя	дек	ИТОГО
Выручка от реализации	2926,4	4390,5	2872,5	3927,8	3124,1	5579	4799,2	2978,8	4078,4	3065,9	4423	4031,7	46197
Затраты на реализацию	3019,7	3299,6	2575	3091,5	2782,4	3156,4	2685,3	2730,4	3174,1	3256	3168,3	3023,4	35962
Прибыль от реализации	-93,3	1090,9	297,5	836,3	341,7	2422	2113,9	248,4	904,3	-190,1	1254	1008,3	10235

Таблица 7 - Динамика прибыли от реализации продукции  
в 2018 году (тыс. руб.)

Наименование	янв	фев	март	апр	май	июнь	июль	август	сент	окт	ноя	дек	ИТОГО
Выручка от реализации	3326,4	4790,5	3672,5	4327,8	3524,1	5579	5199,2	3778,8	4478,4	3465,9	4423	4431,7	50997
Затраты на реализацию	3019,7	3299,6	2575	3091,5	2782,4	3156,4	2685,3	2730,4	3174,1	3256	3168,3	3023,4	35962
Прибыль от реализации	306,7	1490,9	1097,5	1236,3	741,7	2422	2513,9	1048,4	1304,3	209,9	1254	1408,3	15035

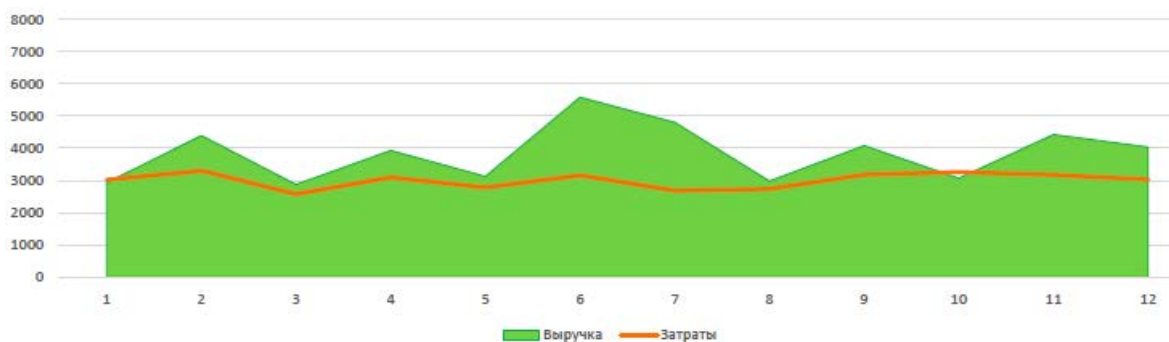


Рис. 3 Диаграмма показателей выручки и затрат в 2017 году

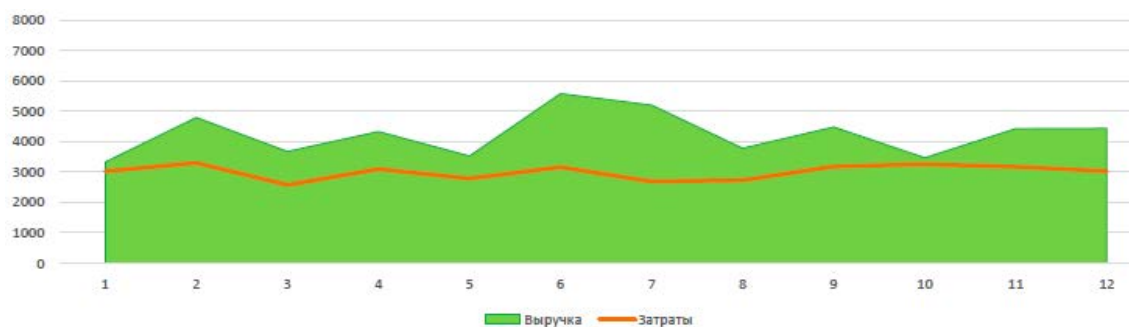


Рис. 4 Диаграмма показателей выручки и затрат в 2018 году

## Заключение

Предприятие ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО», является самым крупным предприятием, созданным на коммерческой основе на рынке аэронавигационного обеспечения пользователей воздушного пространства Российской Федерации. Данный рынок требует от участников постоянного изучения спроса заказчиков, с целью максимального удовлетворения растущего объема потребной информации.

Компания имеет потенциал для захвата нового сегмента рынка, за счет предложения уникальной услуги по расчету максимальной безопасной высоты жилых строений.

Расчеты подтвердили, что предложение данной услуги, положительно повлияет на экономическую ситуацию в компании (было установлено, что чистая прибыль увеличится на 46,8% в год), что позволит руководству найти новые средства для инвестиций в инновации в сфере геодезии, автоматизации производства, маркетинга и другим, для расширения компании и последующего выхода на международный рынок.

Исходя из результатов проведенной работы, можно сделать заключение о том, что проект является перспективным для внедрения на данном предприятии.

## Список источников.

- [1] <http://www.aviacominfo.com> - официальный сайт предприятия ЗАО «МАНЦ «АВИАКОМИНФО»
- [2] Экономика 10-11 класс/ Под ред. д.э.н. С.И. Иванова. 2004 г.
- [3] <http://www1.jepesen.com/index.jsp> - официальный сайт компании Jeppesen.
- [4] <http://www.caiga.ru> - Федеральное Государственное Унитарное Предприятие «Центр Аэронавигационной Информации» (ФГУП «ЦАИ»)
- [5] Аналитический маркетинг: что должен знать маркетинговый аналитик: учеб. пособие – М.: ИНФРА-М, 2013. – 287 с
- [6] <http://www.grandars.ru/college/ekonomika-firmy> - информация.

## **Разработка бизнес-плана создания мембранной установки производства азота из воздуха**

*Лойко Степан Андреевич,*

*г. Москва, ГБОУ СОШ №1935, 11 класс*

*Научный руководитель: Юрченко Наталья Юрьевна,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, к. т. н., доцент*

### **Резюме проекта**

#### **Цель, задачи и срок проекта**

Проект рассматривает прогнозные финансовые показатели Старт-апа, целью которого является создание производства наукоемкой и высокотехнологичной продукции – мембранных газоразделительных модулей получения азота для авиастроения, а именно для системы нейтрального газа для самолетов.

Срок проекта, рассматриваемого в бизнес-плане – 5 лет.

#### **Задачи работы:**

1. Ознакомиться и проанализировать учебную литературу, посвященную стратегическому управлению предприятием, бизнес-планированию и методам оценки эффективности бизнес-проектов.
2. Выбрать объект производства высокотехнологичной продукции для дальнейших исследований.
3. Разработать бизнес-плана создания мембранной установки производства азота из воздуха.
4. Проанализировать финансовые показатели, полученные в ходе разработки бизнес-плана и сделать выводы об эффективности предложенного предприятия.

План действий включает следующие важные шаги:

- подписание долгосрочного договора продажи продукции с ведущими авиастроительными компаниями;
- получение долгосрочного кредита;
- покупка интеллектуальной собственности (патента) на технологию производства мембранного волокна;

- аренда производственного помещения;
- набор технического и административного персонала;
- покупка оборудования для производства мембранного волокна и газоразделительных модулей;
- выпуск первой партии серийной продукции и прохождение сертификации продукции по требованиям Межгосударственного авиационного комитета (МАК);
- производство и продажа серийной продукции.

### **Сведения о фирме и персонале**

Планируемая организационно-правовая форма компании – Общество с ограниченной ответственностью.

Среднесписочный состав персонала:

- основной производственный персонал – 13 человек
- вспомогательный производственный персонал – 6 человек
- административный персонал – 5 человек
- коммерческий персонал – 3 человека

ИТОГО, персонал компании составляет 27 человек.

### **Показатели проекта: потребность в финансировании, результаты, эффект**

Срок окупаемости проекта (РР) в условиях инфляции на уровне 7.5 % составляет 1,25 года.

Объем инвестиций в нематериальные активы (покупка патента) составляет 60 млн.руб., в основные средства производства – 268 млн.руб. Для инвестирования проекта предполагается использовать заемный капитал в виде долгосрочного кредита.

Кредитные средства расходуются на старте проекта следующим образом:

1 квартал 2018 г.:

- покупка патента производства полуволоконной мембраны – 60 млн.руб.
- аванс за оборудование для производства модулей генерирования азота – 134 млн.руб.

2 квартал 2018 г.:

- финальный платеж за оборудование для производства модулей генерирования азота – 134 млн.руб.

3 квартал 2018 г.:

- монтаж и наладка оборудования для производства модулей генерирования азота силами собственного персонала и представителями производителей оборудования. Производство первой партии модулей для сертификации.

4 квартал 2018 г. - старт производства.

За время выхода на окупаемость (5 кварталов) предприятию потребуется дополнительно 30 млн.руб. на обеспечение прямых, общепроизводственных, административных и коммерческих расходов, а также около 30 млн.руб. на обеспечение фонда оплаты труда и выплаты страховых взносов.

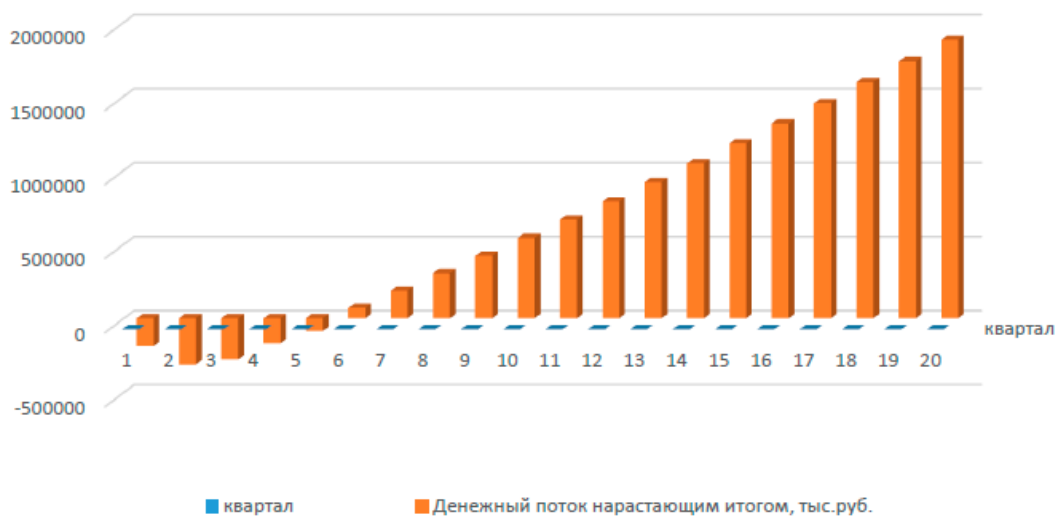
Отчет о движении денежных средств (тыс. руб.)		Ед.	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	5 кв.	6 кв.
<b>Денежные потоки от операционной деятельности</b>		тыс. руб.	-5 207	-7 541	1 088	44 739	95 619	167 209
Поступления от продаж	тыс. руб.	0	0	12 462	69 789	113 700	193 395	
Затраты на материалы	тыс. руб.	0	0	-1 529	-8 563	-13 951	-19 371	
Затраты на оплату труда	тыс. руб.	-3 114	-3 171	-3 229	-6 043	-6 889	-7 014	
Общие затраты	тыс. руб.	-1 034	-1 053	-1 072	-1 368	-1 393	-1 418	
Налоги	тыс. руб.	-1 059	-3 317	-5 544	-9 076	-25 849	-42 913	
НДС полученный		0	0	1 901	10 646	17 344	29 501	
НДС уплаченный		29 751	20 601	397	1 515	2 341	3 171	
НДС к уплате в бюджет (+) / возврату (-)			-29 751	-50 352	-48 848	-39 717	-24 714	1 616
Страховые взносы в госуд. внебюджетные фонды			1 059	1 078	1 098	2 055	2 342	2 385
Налог на имущество			0	2 239	4 446	4 381	4 317	4 253
Налог на прибыль			0	0	0	2 640	19 190	34 660
Выплата процентов по кредитам		тыс. руб.	0	0	0	0	30 000	44 530

<b>Денежные потоки от инвестиционной деятельности</b>	тыс. руб.	-183 402	-114 999	31 258	64 919	17 034	32 967
Инвестиции в основные средства	тыс. руб.	-194 000	-134 000	0	0	0	0
Инвестиции в оборотный капитал	тыс. руб.	10 598	19 001	31 258	64 919	17 034	32 967
<b>Денежные потоки от финансовой деятельности</b>	тыс. руб.	201 000	120 000	0	-130 000	-120 000	-70 000
Поступления учредительного капитала	тыс. руб.	1 000	0	0	0	0	0
Поступления акционерного капитала	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0
Целевое финансирование	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0
Поступление кредитов	тыс. руб.	200 000	120 000	0	0	0	0
Возврат кредитов	тыс. руб.	0	0	0	-130 000	-120 000	-70 000
Выплата дивидендов	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0
<b>Суммарный денежный поток за период</b>	тыс. руб.	12 391	-2 540	32 346	-20 342	-7 347	130 176
<b>Денежные средства на конец периода</b>	тыс. руб.	12 391	9 852	42 198	21 856	14 509	144 685

Отчет о движении денежных средств наглядно показывает необходимость кредитования в первом квартале (200 млн.руб.) и втором квартале (120 млн.руб.). К концу шестого квартала предприятие полностью выплачивает заемные средства и проценты по ним.

Денежный поток нарастающим итогом без учета дисконтирования на конец анализа составляет 1 881 431 тыс.руб.

Ежеквартальный денежный поток нарастающим итогом

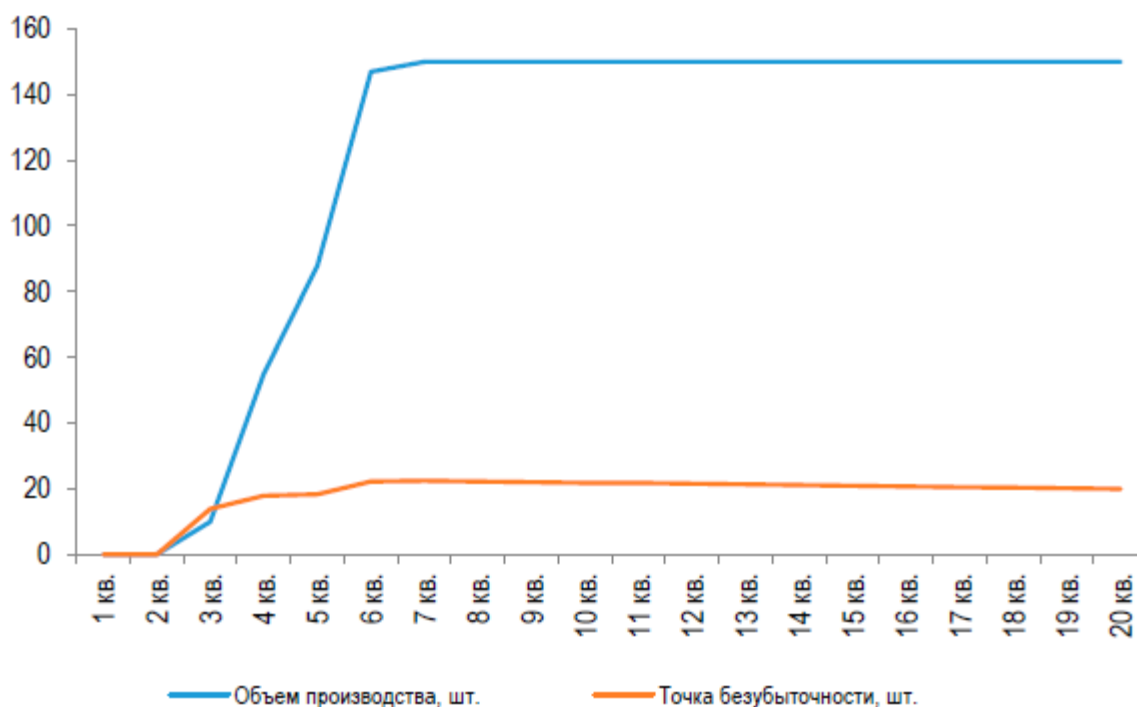


Чистая приведенная стоимость (NPV) составляет 851 957 тыс. руб.

Индекс прибыльности (PI) равен 3, что говорит о крайне выгодном вложении капитала.

Динамика точки безубыточности показывает высокий запас прочности производства, составляющий более 550 %.

### Динамика точки безубыточности



Анализ себестоимости продукции показывает, что продукт является высоко маржинальным, что свойственно для наукоемкой продукции, имеющей ограниченное количество производителей на рынке.

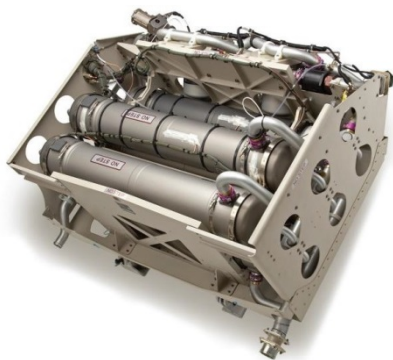
Анализ себестоимости единицы продукции Продукт 1	2018		2019		2020		2021		2022	
	руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%
Расходы на заработную плату и ЕСН	144968	31%	85065	28%	82910	27%	89128	28%	95813	28%
Материальные расходы	65379	14%	138069	46%	148424	49%	159556	49%	171523	50%
Общепроизводственные расходы	14966	3%	6680	2%	6511	2%	6999	2%	7524	2%
Административные расходы	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Коммерческие расходы	13017	3%	6432	2%	9635	3%	11213	3%	12054	4%
Амортизация	95146	20%	28949	10%	26182	9%	26182	8%	26182	8%
Налоги	131059	28%	38018	13%	32217	11%	30123	9%	28028	8%
<b>Себестоимость единицы Продукта 1</b>	<b>464535</b>	<b>100%</b>	<b>303212</b>	<b>100%</b>	<b>305879</b>	<b>100%</b>	<b>323201</b>	<b>100%</b>	<b>341123</b>	<b>100%</b>

Анализ показателей рентабельности		Ед.	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Маржа валовой прибыли</b>							
Валовая прибыль	тыс. руб.		32 683	497 384	606 922	653 598	703 775
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Маржа валовой прибыли</b>	%		<b>47%</b>	<b>82%</b>	<b>84%</b>	<b>84%</b>	<b>84%</b>
<b>Маржа чистой прибыли</b>							
Чистая прибыль	тыс. руб.		10 560	431 558	458 217	494 948	534 708
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Маржа чистой прибыли</b>	%		<b>15%</b>	<b>71%</b>	<b>63%</b>	<b>63%</b>	<b>64%</b>
<b>Рентабельность продаж (маржа EBIT)</b>							
Операционная прибыль	тыс. руб.		24 266	481 799	588 623	633 505	682 175
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Рентабельность продаж (маржа EBIT)</b>	%		<b>35%</b>	<b>80%</b>	<b>81%</b>	<b>81%</b>	<b>81%</b>
<b>Маржа EBITDA</b>							
EBIT	тыс. руб.		24 266	481 799	588 623	633 505	682 175
Амортизация	тыс. руб.		12 203	15 424	15 424	15 424	15 424
EBITDA	тыс. руб.		36 469	497 222	604 046	648 929	697 599
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Маржа EBITDA</b>	%		<b>52%</b>	<b>82%</b>	<b>83%</b>	<b>83%</b>	<b>83%</b>

Гарантия возврата кредита обусловлена тем, что на момент начала производственной деятельности предприятия продукция является крайне востребованной, высоко маржинальной. С учетом политики импортозамещения все предприятия государственного сектора обязаны применять отечественную продукцию.

### Анализ положения дел в отрасли

Производство мембранных газоразделительных модулей является наукоемким и высокотехнологичным. Существует всего лишь несколько иностранных компаний, производящих аналогичную продукцию: Parker Inc. (США), Air Liquid (США), Generon (США), Air Products, (США), Ube (Япония):





Модули компании Parker являются признанными лидерами на рынке, т.к. обладают самыми низкими массогабаритными параметрами по отношению к производительности модуля по производимому потоку азота.

Российские аналоги серийного производства данной продукции отсутствуют. Однако, разработки конкурентоспособного мембранного модуля успешно проводятся. Так, например, компания «7ТЕХ», г. Москва, совместно со специалистами из РХТУ им. Д.И. Менделеева заявили о создании технологии производства газоразделительного волокна, не уступающего по характеристикам зарубежным аналогам.

#### *Характеристика товара*

Для сравнения технических параметров произведены замеры селективности и проницаемости волокон по паре кислород/азот.

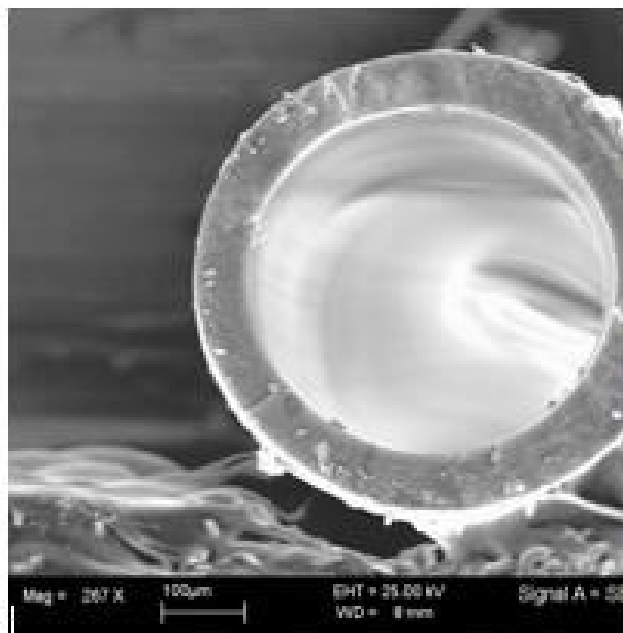
Таблица 1. Технические параметры отдельных волокон Parker.

Номер испытуемого образца	Наружный диаметр, мкм	Толщина стенки, мкм	Проницаемость по кислороду, л/м <sup>2</sup> /ч/ати	Селективность в паре O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>
1	520	65	216,5	4,53
2	520	65	167,6	3,85
3	520	65	189,2	3,94
4	520	65	201,6	4,42
5	520	65	220,4	4,33

Таблица 2. Технические параметры отдельных волокон ООО «7 ТЕХ».

Номер испытуемого образца	Наружный диаметр, мкм	Толщина стенки, мкм	Проницаемость по кислороду, л/м <sup>2</sup> /ч/ати	Селективность в паре O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>
1	550	75	265,2	4,41
2	540	65	253,7	4,22
3	540	85	387,2	3,63
4	520	70	309,6	3,92
5	540	65	207,1	4,65

Мембранное полое волокно 7TEX на срезе:  
Диаметр волокна – 550 мкм.



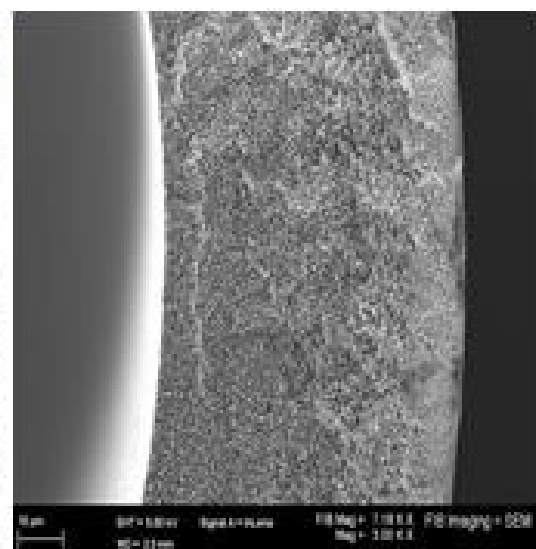
Пучок волокон 7TEX

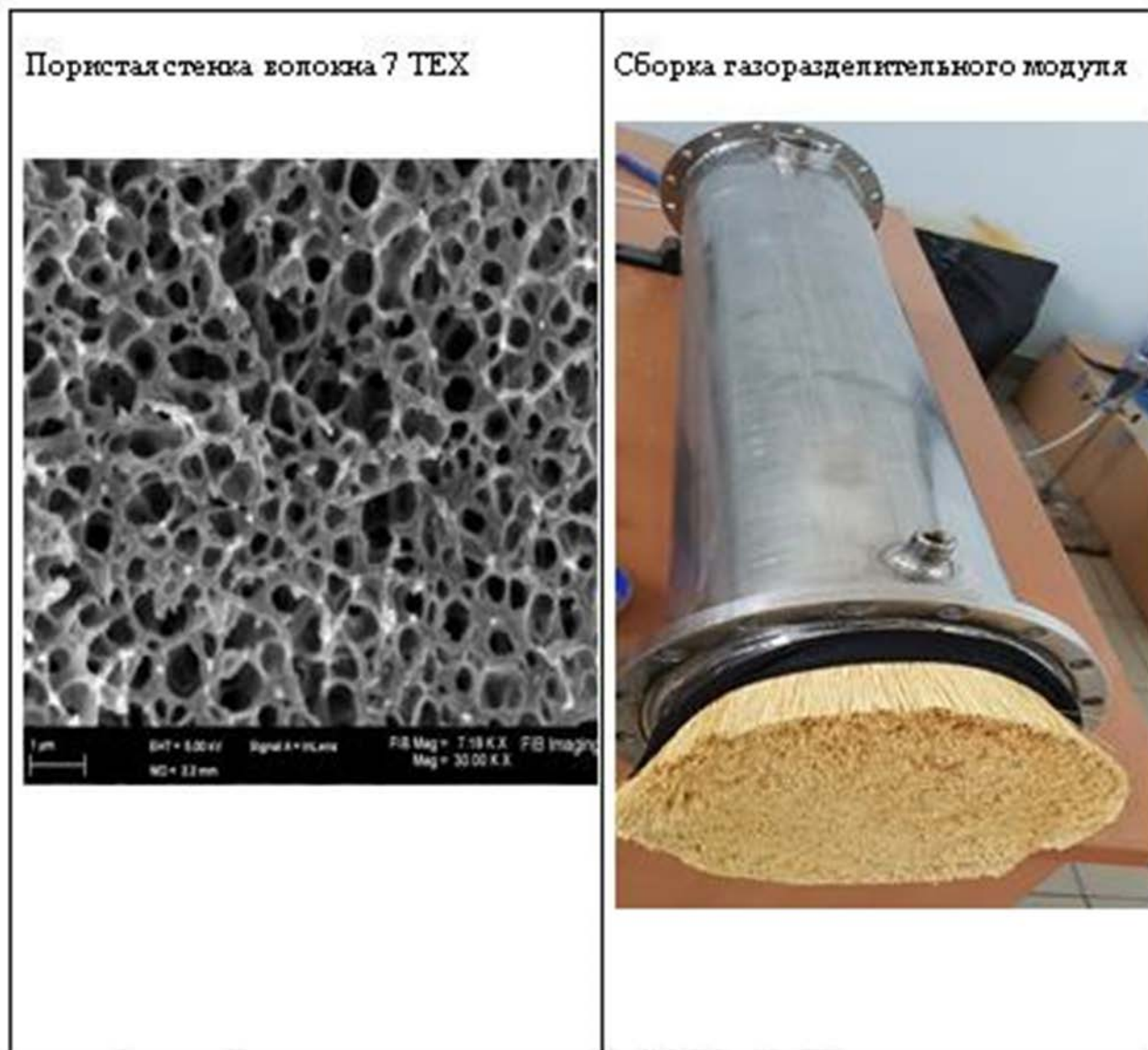


Электронная микрофотография среза волокна 7TEX



Пористая стенка волокна 7TEX





Фотографии предоставлены компанией ООО «7ТЕХ»

В связи с тем, что компанией 7ТЕХ пройдены предварительные научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР), представляет дальнейший интерес построение инвестиционного бизнес-плана предприятия, серийно производящего газоразделительные модули для получения азота из воздуха.

Согласно техническому паспорту на модуль компании Parker (см. приложение...), модуль имеет производительность по азоту с концентрацией 90% около 10.5 г/сек при давлении на входе в аппарат 3 ати и температуре входного воздуха около 60 град.С. Вес модуля 8.2 кг. Согласно представленной выше таблице

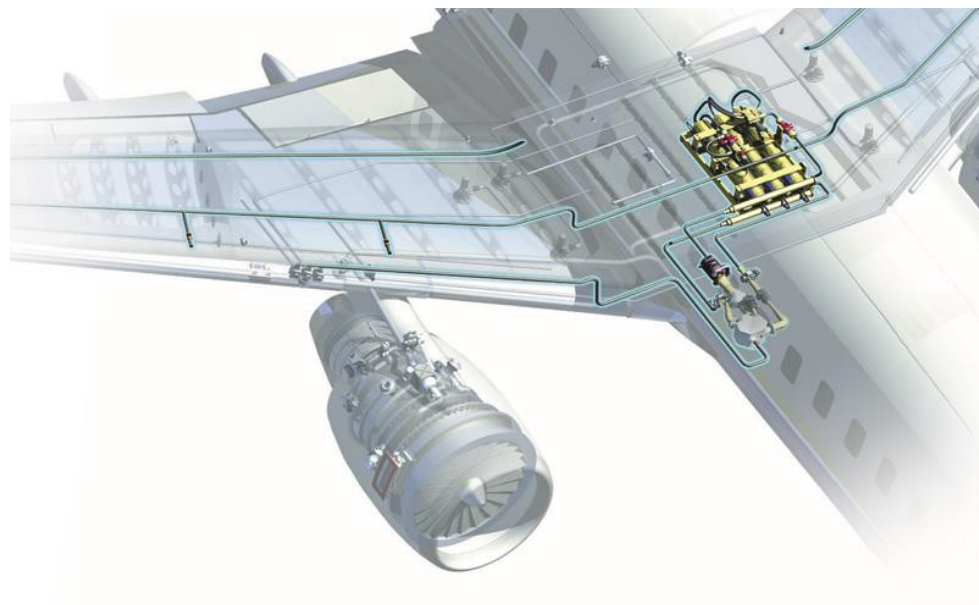
характеристик волокна компании 7TEX, технические характеристики продукции являются аналогичными.

Жизненный цикл продукта составляет не менее 10 лет.

Для определения цены продажи нашего модуля важно знать цену конкурентного аналога. Так, например, розничная цена вышеуказанного модуля Parker с учетом стоимости доставки, уплаты НДС и таможенной пошлины для конечного потребителя составляет около 1 млн. 770 тыс. руб./ шт., а для OEM-компаний (компаний-производителей комплектного оборудования) цена составляет на 20% ниже розничной. Таким образом, для установления конкурентного преимущества перед компанией Parker, цена продажи нашего модуля должна быть на 10% – 20% ниже цены для OEM- компаний и лежать в диапазоне 1 млн. 133 тыс. руб./шт - 1 млн. 274 тыс. руб./шт.

#### **Маркетинг и сбыт продукции**

В качестве базового заказчика в настоящем бизнес-плане будет принято авиастроение, т.к. данная отрасль имеет поддержку государства и долгосрочный план финансирования, утвержденный план производства самолетов. Эти факторы минимизируют финансовые риски. Данная продукция применяется в системе нейтрального газа на каждом современном самолете для предотвращения воспламенения паров топлива в топливных баках:



Согласно данным компании "Гражданские самолеты Сухого" в ближайшие пять лет компания рассчитывает держать продажи на уровне 35-40 самолетов SSJ-100 в год. А общий спрос с 2017-го по 2036-й годы, по подсчетам специалистов, может превысить 2300 судов. (источник <http://superjet100.info/news:2275>).

Корпорация Иркут создала перспективный среднемагистральный самолет серии MC-21. В планах компании выпуск не менее 75 самолетов в год.

Глава "Объединенной авиастроительной корпорации" (ОАК) Юрий Слюсарь в интервью "Россия 24" сообщил, что ОАК к 2025 году планирует выйти на производство минимум 120 гражданских самолетов в год. По его словам, речь идет о **30-35 самолетах Sukhoi Superjet 100, 70 — MC-21** и 12-15 самолетов Ил-114. (РИА Новости <https://ria.ru/economy/20170817/1500522167.html>)

Для оценки плана выпуска газоразделительных модулей для производства азота необходимо оценить производительность бортовой установки производства азота. Необходимо понимать, в каком из режимов полета потребление азота является максимальным. Результаты расчетов показывают, что наибольшая производительность по азоту требуется в режиме аварийной посадки с минимальным запасом топлива в баках и с максимально-допустимой высоты (потолка) полета. В момент аварийной посадки давление атмосферы снаружи топливных баков резко нарастает, т.к. по мере снижения самолета увеличивается атмосферное давление. Если внутри топливных баков не производить выравнивание давления при помощи генерирования и подачи азота, то крылья самолета и топливные баки в фюзеляже могут разрушиться.

Самая критическая работа установки производства азота начинается на спуске с высоты 12500 метров до нулевой точки на поверхности земли. Давление на высоте 12500 м составляет 0.18 ата (абсолютных атмосферы). Давление на земле - 1 ата. Объем баков с минимальным запасом топлива известен из характеристик самолетов, допустимая скорость аварийного снижения самолета указана в пособии авторов П.Т. Бехтер, В.П. Бехтер "Практическая аэродинамика", и составляет 13.2 минуты или 0.22 часа.

С помощью закона Бойля-Марриота ( $P \times V = \text{const}$ ) определим производительность установки нейтрального газа для самолета SSJ-100:

$$Q_{\text{SSJ-100}} = K3 \times (P_0 \times V_{\text{тс}} - P_{12500} \times V_{\text{тс}}) / T_{\text{авар.снж.}} = (1 \text{ ата} \times 15,805 - 0.18 \text{ ата} \times 15,805) / 0.22 = 1,2 \times 59 \text{ нм}^3/\text{ч} = 71 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

где  $Q_{\text{SSJ-100}}$  – производительность установки по азоту,  $\text{нм}^3/\text{ч}$   $K3$  – коэффициент запаса мощности, принимаем равным 1,2.  $P_0$  – атмосферное давление на поверхности земли, ата

$P_{12500}$  – атмосферное давление на высоте 12500 метров, ата

$V_{\text{тс}}$  – объем топливных баков самолета SSJ-100,  $\text{нм}^3$  за вычетом минимального запаса топлива

$T_{\text{авар.снж.}}$  – предельно допустимая скорость аварийного снижения, час.

Температурной погрешностью, обусловленной разностью температур воздуха на разных высотах пренебрегаем, т.к. климатическая система самолета обеспечивает постоянную температуру воздуха на входе в систему нейтрального газа.

Для самолета SSJ-100 максимальная производительность бортовой установки нейтрального газа составляет 71  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , а для самолета MC-21 – 134  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , т.к. объем топливной системы данного самолета составляет 30  $\text{нм}^3$ . Производительность одного газоразделительного модуля Parker диаметром 170 мм и длиной 1040 мм составляет около 22  $\text{нм}^3/\text{ч}$  при качестве продуктового азота 90% и давлении исходного воздуха на входе в модуль – 3 ата. Производительность нашего аналога составит также 22  $\text{нм}^3/\text{ч}$  при тех же условиях. Таким образом, на основании представленных данных можно рассчитать годовой объем производства газоразделительных модулей:

Количество газоразделительных модулей для самолета SSJ-100 составит  $71 (\text{нм}^3/\text{ч}) / 22 (\text{нм}^3/\text{ч}) = 3.23 \text{ шт} = 4 \text{ шт}$ .

Количество газоразделительных модулей для самолета MC-21 составит  $134 (\text{нм}^3/\text{ч}) / 22 (\text{нм}^3/\text{ч}) = 6.09 \text{ шт} = 6 \text{ шт}$ .

Годовой план производства газоразделительных модулей составит  $4 \times 35 + 6 \times 70 = 560 \text{ модулей/год}$ .

Данная продукция может быть востребована в нескольких отраслях промышленности:

- сельское хозяйство: создание овоще- и фруктохранилищ- хранение фруктов и овощей в инертной среде азота;
- нефте- и газодобыча: оборудование для опрессовки и продувки трубопроводов азотом;
- химическая, нефте- и газоперерабатывающая промышленность: автоматизированные системы пожаротушения. Для активного расширения рынка сбыта потребуются шаги по увеличению объема производства, а также по снижению цены продажи и себестоимости продукции.

### **Логистика производства**

Месячный грузооборот компании при выходе производства на проектную мощность 150 модулей в квартал составляет:

по полимеру – 250 кг/месяц

по растворителю – 750 кг/месяц по компаунду – 165 кг/месяц

по корпусам модуля – 200 кг/месяц по готовой продукции – 450 кг/месяц

по отходам производства – 915 кг/месяц

Анализ необходимых площадей производственных и складских помещений показывает, что для размещения основного технологического процесса необходимо помещение площадью 400 м<sup>2</sup> высотой потолков не менее 6 метров. Склады сырья – не более 100 м<sup>2</sup>, склад готовой продукции – не более 100 м<sup>2</sup>. Помещения должны быть оборудованы вентиляцией, системой кондиционирования воздуха.

Наиболее эффективный способ доставки сырья и отгрузки готовой продукции осуществляется автотранспортом до ближайших логистических терминалов ЖД, АВИА или автоперевозчиков.

## Производственный план

### Описание производственного процесса

Производственный процесс производства газоразделительного модуля разделяется на несколько операций:

- производство мембранного полого волокна и его сушка
- укладка мембранного полого волокна в готовый корпус
- компаундирование мембранного полого волокна в корпусе и обрезка торцов компаунда
- тестирование модуля, заполнение паспорта и упаковка продукции

Производство мембранного полого волокна происходит в несколько этапов.

1 этап – приготовление полимерного раствора;

2 этап – приготовление оборудования (заливка полимерного раствора, залив растворителя в ванны);

3 этап- промывка волокна в ванне с чистой водой; 4 этап -сушка волокна;

5 этап- нарезание волокна на пучки необходимой длины.

Получившиеся пучки укладывают в готовые корпуса. После чего модуль отправляется на компаундирование при помощи центробежной машины. Концы застывшего компаунда отрезают при помощи специальной пилы, для того, чтобы открыть каналы внутри волокна. Далее модуль проходит различные тесты на проницаемость по азоту, кислороду, воздуху, а также на герметичность компаунда.

### Планирование закупки оборудования и сметная стоимость работ.

Для обеспечения работы предприятия необходимо осуществить закупку, монтаж и наладку основного технологического оборудования.

Наименование оборудования	Стоимость оборудования и работ по монтажу и наладке, под ключ, тыс. руб.
Линия для формования волокна	120 000
Оборудование для компаундирования	18 000



Оборудование для тестирования	40 000
Оборудование для синтеза полимера	90 000
<b>Итого:</b>	<b>268 000</b>

Сроки изготовления, поставки, монтажа и наладки оборудования составляют 6 месяцев.

**План обеспечения предприятия трудовыми ресурсами.**

Персонал: численность		Ед.	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	5 кв.	6 кв.	7 кв.
<b>Основной производственный персонал</b>									
Главный технолог	Количество сотрудников	чел.	1	1	1	1	1	1	1
Технолог	Количество сотрудников	чел.	2	2	2	2	2	2	2
Оператор формовочной и заливочной установок	Количество сотрудников	чел.	0	0	0	8	8	8	8
Лаборант	Количество сотрудников	чел.	0	0	0	2	2	2	2
<b>Всего сотрудников</b>		чел.	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
<b>Вспомогательный производственный персонал</b>									
Уборщица	Количество сотрудников	чел.	1	1	1	1	2	2	2
Грузчик	Количество сотрудников	чел.	1	1	1	1	2	2	2
Водитель	Количество сотрудников	чел.	1	1	1	2	2	2	2
<b>Всего сотрудников</b>		чел.	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Административный персонал</b>									
Главный бухгалтер	Количество сотрудников	чел.	1	1	1	1	2	2	2
Бухгалтер	Количество сотрудников	чел.	2	2	2	2	2	2	2
Логистик	Количество сотрудников	чел.	1	1	1	1	1	1	1
<b>Всего сотрудников</b>		чел.	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Коммерческий персонал</b>									
Менеджер по закупкам	Количество сотрудников	чел.	0	0	0	1	1	1	1
Менеджер по продажам	Количество сотрудников	чел.	0	0	0	2	2	2	2
<b>Всего сотрудников</b>		чел.	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Всего сотрудников</b>		чел.	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>

Примечание: с 5 и по 20 квартал количество сотрудников не изменяется.

Расходы на заработную плату представлены поквартально, начиная со старта проекта и по 8-й квартал. Далее зарплаты индексируются в соответствии с темпом инфляции.

<b>Всего расходы на заработную плату и страховые взносы в квартал</b>	тыс. руб.	4 173	4 249	4 326	8 098	9 231	9 399	9 571	9 745
---	-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

### План обеспечения предприятия материальными ресурсами.

Для производства единицы продукции используются следующие материалы:

<b>Прямые материальные расходы</b>			
Модуль генерирования азота ДУ150			
Полимер			
Мат. расходы на ед. продукции	кг		5,00
Цена единицы (с НДС)	руб.		13570,00
Растворитель			
Мат. расходы на ед. продукции	литр		15,00
Цена единицы (с НДС)	руб.		165,00
Компаунд			
Мат. расходы на ед. продукции	кг		3,30
Цена единицы (с НДС)	руб.		650,00
Корпус модуля			
Мат. расходы на ед. продукции	шт		1,00
Цена единицы (с НДС)	руб.		75000,00

При выходе производства на полный план (150 шт/квартал) ежеквартальная стоимость закупки сырья составит около 20 млн.руб./квартал.

Общепроизводственные ежеквартальные расходы со старта проекта и 8-й квартал представлены ниже:

<b>Общепроизводственные расходы в квартал</b>									
Электричество (с НДС)	тыс. руб.	12	12	12	51	52	53	54	55
в том числе НДС	тыс. руб.	2	2	2	8	8	8	8	8
Аренда (с НДС)	тыс. руб.	450	458	467	475	484	493	502	511
в том числе НДС	тыс. руб.	69	70	71	72	74	75	77	78
Водоснабжение (с НДС)	тыс. руб.	32	33	33	144	147	149	152	155
в том числе НДС	тыс. руб.	5	5	5	22	22	23	23	24
Водоотведение (с НДС)	тыс. руб.	40	41	41	170	173	176	179	183
в том числе НДС	тыс. руб.	6	6	6	26	26	27	27	28
<b>Всего общие производственные расходы в квартал</b>	тыс. руб.	<b>534</b>	<b>544</b>	<b>554</b>	<b>840</b>	<b>855</b>	<b>871</b>	<b>887</b>	<b>903</b>
в том числе НДС	тыс. руб.	81	83	84	128	130	133	135	138

Ежеквартальное потребление электроэнергии при выходе на полный производственный план (150 шт/квартал) составляет около 10 500 кВтч/квартал.

Для производства продукции необходимо помещение суммарной площадью 600 м<sup>2</sup>. При среднегодовой ставке аренды 3000 руб/м<sup>2</sup>/год ежеквартальная стоимость аренды составит около 450 тыс.руб./квартал.

Учтены затраты на водоснабжение и водоотведение, которые составляют около 320 тыс.руб./квартал.

Для оценки экологического воздействия предприятия на окружающую среду необходимо провести расчеты класса опасности отходов и стоимость их утилизации. Предположительно, отходы относятся к 4-му классу опасности (вещества малоопасные). Утилизация отходов не включена в проект, но предположительные затраты составят не более 30 тыс.руб./квартал.

### **Организационный план**

Старт проекта должен состояться только после создания команды производственного персонала.

Ключевая компетенция в производстве мембранных газоразделительных модулей возлагается на главного технолога. Требования к его квалификации: высшее химико-технологическое образование, специальность – переработка полимеров. Наиболее близкая отрасль промышленности – производство синтетических волокон. Важным квалификационным требованием является знание технического английского языка.

На главного технолога возлагается задача контроля монтажа и наладки закупаемого оборудования.

На главного технолога возлагается руководство всем техническим персоналом, а именно – технологами, операторами формовочной машины, операторами заливочной машины для компаундирования, лаборантами, обеспечивающими входной контроль сырья и контроль качества продукции.

Модель стимулирования сотрудников должна опираться на такие факторы, которые зависят исключительно от этого человека. Например, если работа оператора формовочной машины не приводила к браку или перерасходу сырья – имеет смысл мотивировать таких сотрудников различными методами поощрения.

Календарный план обеспечения персоналом представлен в разделе 6.3.

При попытке описания бизнес-процессов получается большое количество работ. Для того, чтобы повысить эффективность обработки большого количества информации, работы нужно правильно структурировать. Для этого бизнес-процессы, существующие в компании делят на четыре группы, каждая из которых обладает своими отличительными особенностями.

Основные бизнес-процессы – генерируют доходы компании;

Обеспечивающие бизнес-процессы – поддерживают инфраструктуру компании,

Бизнес-процессы управления – управляют компанией,

Бизнес-процессы развития – развивают компанию.

Описание основных бизнес-процессов технологического подразделения представлены ниже в таблицах

время	главный технолог	время	технолог 1,2
9.00 - 18.00	проверка выполнения плана формовки волокна в предыдущую смену	9.00 - 18.00	приготовление формовочного раствора
	проверка протоколов контроля качества волокна		контроль качества приготовленного формовочного раствора
	анализ причин брака, если таковой имеется		приготовление композиции компаунда
	проверка протоколов контроля качества конечного продукта		контроль качества приготовленного компаунда
	анализ причин брака, если таковой имеется		заявка на склад на поставку материалов для следующего дня работы

время	оператор формовочной машины 1,2,3,4	время	оператор заливочной машины 1,2,3,4	время	лаборант 1,2
круглосуточно, посменно	<p>приготовление формовочной машины к формовке волокна, настройка фильер и механизмов протяжки волокна</p> <p>заливка формовочного раствора и запуск формовочной машины</p> <p>контроль технологических параметров формовки</p>	круглосуточно, посменно	<p>прием готового волокна</p> <p>прием готового компаунда</p> <p>прием и входной контроль корпуса модуля</p>	9.00 - 18.00	<p>входной контроль сырья</p> <p>тестирование свежееотформованного волокна</p> <p>тестирование готовой продукции, заполнение паспорта изделия</p>
	<p>снятие волокна с бобин</p> <p>постобработка снятого волокна</p> <p>остановка формовки и отмывка линии формования</p> <p>заявка на склад на поставку материалов для отмывки линии</p> <p>заявка в транспортный отдел на утилизацию отходов</p>		<p>заправка волокна в корпус модуля</p> <p>установка кассеты с корпусом и волокном в заливочную машину, заправка заливочной машины порцией компаунда</p> <p>запуск заливочной машины и контроль технологических параметров заливки</p> <p>Снятие кассеты с модулем и обрезка торцов компаунда</p> <p>заявка на склад на материалы</p>		упаковка готовой продукции
			заявка в транспортный отдел на утилизацию отходов		

### **Финансовый план**

Основная цель финансового планирования – это контроль над соотношением доходов и расходов предприятия, способствующий получению прибыли. Для достижения цели требуется определить:

1. Размер капитала, необходимого для обеспечения производства.
2. Источники финансирования.
3. Перечень неотъемлемых расходов на оборудование, материалы, аренду помещения, привлечение персонала, рекламу, оплату коммунальных счетов и налогов и т.д.
4. Условия для максимального извлечения прибыли и обеспечения финансовой устойчивости.
5. Стратегию достижения инвестиционной привлекательности предприятия.
6. Промежуточные и конечные результаты деятельности в финансовом плане.

Главная задача ФП заключается в создании эффективного механизма, управляющего всеми финансовыми ресурсами предприятия и демонстрирующего инвесторам выгодную перспективу денежных вложений.

Законодательством РФ установлены три формы финансовой отчетности, присутствие которых в бизнес-плане обязательно:

1. Отчет о движении денежных средств.
2. Отчет о прибылях и убытках.
3. Баланс предприятия.

Отчет о движении денежных средств с начала работы предприятия и по 8 квартал включительно представлен ниже:

Отчет о движении денежных средств (тыс. руб.)		Ед.	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	5 кв.	6 кв.	7 кв.	8 кв.
<b>Денежные потоки от операционной деятельности</b>	тыс. руб.		-5 207	-7 541	1 088	44 739	95 619	167 209	110 875	112 996
Поступления от продаж	тыс. руб.		0	0	12 462	69 789	113 700	193 395	200 942	204 609
Затраты на материалы	тыс. руб.		0	0	-1 529	-8 563	-13 951	-19 371	-20 217	-20 586
Затраты на оплату труда	тыс. руб.		-3 114	-3 171	-3 229	-6 043	-6 889	-7 014	-7 142	-7 273
Общие затраты	тыс. руб.		-1 034	-1 053	-1 072	-1 368	-1 393	-1 418	-2 087	-2 125
Налоги	тыс. руб.		-1 059	-3 317	-5 544	-9 076	-25 849	-42 913	-60 621	-61 629
НДС полученный	тыс. руб.		0	0	1 901	10 646	17 344	29 601	30 662	31 211
НДС уплаченный	тыс. руб.		29 751	20 601	397	1 515	2 341	3 171	3 402	3 464
НДС к уплате в бюджет (+) / возврату (-)	тыс. руб.		-29 751	-60 352	-48 848	-39 717	-24 714	1 616	27 260	27 747
Страховые взносы в госуд. внебюджетные фонды	тыс. руб.		1 059	1 078	1 098	2 055	2 342	2 385	2 428	2 473
Налог на имущество	тыс. руб.		0	2 239	4 446	4 381	4 317	4 263	4 188	4 124
Налог на прибыль	тыс. руб.		0	0	0	2 640	19 190	34 660	26 755	27 285
Выплата процентов по кредитам	тыс. руб.		0	0	0	0	30 000	44 530	0	0
<b>Денежные потоки от инвестиционной деятельности</b>	тыс. руб.		-183 402	-114 999	31 258	64 919	17 034	32 967	6 263	3 321
Инвестиции в основные средства	тыс. руб.		-194 000	-134 000	0	0	0	0	0	0
Инвестиции в оборотный капитал	тыс. руб.		10 598	19 001	31 258	64 919	17 034	32 967	6 263	3 321
<b>Денежные потоки от финансовой деятельности</b>	тыс. руб.		201 000	120 000	0	-130 000	-120 000	-70 000	0	0
Поступления учредительного капитала	тыс. руб.		1 000	0	0	0	0	0	0	0
Поступления акционерного капитала	тыс. руб.		0	0	0	0	0	0	0	0
Целевое финансирование	тыс. руб.		0	0	0	0	0	0	0	0
Поступление кредитов	тыс. руб.		200 000	120 000	0	0	0	0	0	0
Возврат кредитов	тыс. руб.		0	0	0	-130 000	-120 000	-70 000	0	0
Выплата дивидендов	тыс. руб.		0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Суммарный денежный поток за период</b>	тыс. руб.		12 391	-2 540	32 348	-20 342	-7 347	130 178	117 138	116 318
<b>Денежные средства на конец периода</b>	тыс. руб.		12 391	9 852	42 198	21 856	14 509	144 685	261 823	378 141

Отчет о прибылях и убытках с начала работы предприятия за 5 лет представлен ниже:

Прогнозный Отчет о прибылях и убытках		Ед.	2018	2019	2020	2021	2022
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Себестоимость</b>	тыс. руб.		-37 021	-106 554	-118 884	-126 644	-134 985
Материалы	тыс. руб.		-8 552	-62 818	-73 025	-78 502	-84 389
Оплата труда	тыс. руб.		-8 683	-15 246	-16 389	-17 619	-18 940
Налоги, относимые на текущие результаты	тыс. руб.		-2 952	-5 184	-5 572	-5 990	-6 440
Общепроизводственные расходы	тыс. руб.		-4 630	-7 883	-8 474	-9 110	-9 793
Амортизация	тыс. руб.		-12 203	-15 424	-15 424	-15 424	-15 424
<b>Валовая прибыль</b>	тыс. руб.		32 683	497 384	606 922	653 598	703 775
Административные расходы	тыс. руб.		-5 784	-8 882	-9 549	-10 265	-11 035
Коммерческие расходы	тыс. руб.		-2 633	-6 702	-8 751	-9 828	-10 565
<b>Прибыль (убыток) от продаж</b>	тыс. руб.		24 266	481 799	588 623	633 505	682 175
Налоги, относимые на финансовые результаты	тыс. руб.		-11 066	-16 881	-15 851	-14 820	-13 790
Проценты к уплате	тыс. руб.		0	74 530	0	0	0
<b>Прибыль до налогообложения</b>	тыс. руб.		13 200	539 447	572 772	618 685	668 385
Налог на прибыль	тыс. руб.		-2 640	-107 889	-114 554	-123 737	-133 677
<b>Чистая прибыль (убыток)</b>	тыс. руб.		10 560	431 558	458 217	494 948	534 708
			ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА

Прогнозный баланс предприятия за 5 лет работы представлен ниже:

Прогнозный Отчет о финансовом состоянии		Ед.	2018	2019	2020	2021	2022
<b>1. АКТИВЫ</b>							
<b>Внеоборотные активы</b>							
Нематериальные активы	тыс. руб.		48 305	45 763	43 220	40 678	38 136
Основные средства	тыс. руб.		217 458	204 576	191 695	178 814	165 932
Незавершенные капитальные вложения	тыс. руб.		0	0	0	0	0
<b>Итого Внеоборотные активы</b>	тыс. руб.		265 763	250 339	234 915	219 492	204 068
<b>Оборотные активы</b>							
Запасы	тыс. руб.		0	0	0	0	0
Дебиторская задолженность	тыс. руб.		0	0	0	0	0
Авансы поставщикам	тыс. руб.		8 416	19 247	20 895	22 462	24 147
НДС к получению	тыс. руб.		39 717	0	0	0	0
Денежные средства и их эквиваленты	тыс. руб.		21 856	378 141	865 479	1 390 780	1 956 961
<b>Итого Оборотные активы</b>	тыс. руб.		69 989	397 387	886 374	1 413 242	1 981 108
<b>Итого АКТИВЫ</b>	тыс. руб.		335 752	647 726	1 121 289	1 632 734	2 185 176
			ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА



2. ПАССИВЫ						
<b>Собственный капитал</b>						
Уставный капитал	тыс. руб.	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Целевое финансирование	тыс. руб.	0	0	0	0	0
Нераспределенная прибыль (+) / убыток (-)	тыс. руб.	10 560	442 118	900 335	1 395 283	1 929 991
<b>Итого Собственный капитал</b>	тыс. руб.	<b>11 560</b>	<b>443 118</b>	<b>901 335</b>	<b>1 396 283</b>	<b>1 930 991</b>
<b>Долгосрочные обязательства</b>						
Долгосрочные кредиты и займы	тыс. руб.	190 000	0	0	0	0
<b>Итого Долгосрочные обязательства</b>	тыс. руб.	<b>190 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Краткосрочные обязательства</b>						
Краткосрочные кредиты и займы	тыс. руб.	0	0	0	0	0
Кредиторская задолженность	тыс. руб.	0	0	0	0	0
Авансы покупателей	тыс. руб.	69789	204609	219954	236451	254185
Задолженность перед персоналом	тыс. руб.	0	0	0	0	0
Задолженность по выплате процентов	тыс. руб.	64403	0	0	0	0
<b>Краткосрочные обязательства</b>	тыс. руб.	<b>134 192</b>	<b>204 609</b>	<b>219 954</b>	<b>236 451</b>	<b>254 185</b>
<b>Итого ПАССИВЫ</b>	тыс. руб.	<b>335 752</b>	<b>647 726</b>	<b>1 121 289</b>	<b>1 632 734</b>	<b>2 185 176</b>

## Оценка эффективности проекта и рисков его реализации

Анализ показателей рентабельности		Ед.	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Маржа валовой прибыли</b>							
Валовая прибыль	тыс. руб.		32 683	497 384	606 922	653 598	703 775
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Маржа валовой прибыли</b>	%		47%	82%	84%	84%	84%
<b>Маржа чистой прибыли</b>							
Чистая прибыль	тыс. руб.		10 560	431 558	458 217	494 948	534 708
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Маржа чистой прибыли</b>	%		15%	71%	63%	63%	64%
<b>Рентабельность продаж (маржа EBIT)</b>							
Операционная прибыль	тыс. руб.		24 266	481 799	588 623	633 505	682 175
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Рентабельность продаж (маржа EBIT)</b>	%		35%	80%	81%	81%	81%
<b>Маржа EBITDA</b>							
EBIT	тыс. руб.		24 266	481 799	588 623	633 505	682 175
Амортизация	тыс. руб.		12 203	15 424	15 424	15 424	15 424
EBITDA	тыс. руб.		36 469	497 222	604 046	648 929	697 599
Выручка	тыс. руб.		69 704	603 937	725 806	780 242	838 760
<b>Маржа EBITDA</b>	%		52%	82%	83%	83%	83%

<b>Рентабельность активов по чистой прибыли</b>						
Чистая прибыль	тыс. руб.	10 560	431 558	458 217	494 948	534 708
Средние активы	тыс. руб.	-	491 739	884 508	1 377 012	1 908 955
<b>Рентабельность активов по чистой прибыли</b>	<b>%</b>	<b>-</b>	<b>88%</b>	<b>52%</b>	<b>36%</b>	<b>28%</b>
<b>Рентабельность активов по EBIT (ROA)</b>						
Операционная прибыль	тыс. руб.	24 266	481 799	588 623	633 505	682 175
Средние активы	тыс. руб.	-	491 739	884 508	1 377 012	1 908 955
<b>Рентабельность активов по EBIT</b>	<b>%</b>	<b>-</b>	<b>98%</b>	<b>67%</b>	<b>46%</b>	<b>36%</b>
<b>Рентабельность чистых активов (RONA)</b>						
Чистая прибыль	тыс. руб.	10 560	431 558	458 217	494 948	534 708
Средние чистые активы	тыс. руб.	-	275 305	627 735	1 106 860	1 624 230
<b>Рентабельность чистых активов по EBIT</b>	<b>%</b>	<b>-</b>	<b>157%</b>	<b>73%</b>	<b>45%</b>	<b>33%</b>
<b>Рентабельность собственного капитала по чистой прибыли (ROE)</b>						
Чистая прибыль	тыс. руб.	10 560	431 558	458 217	494 948	534 708
Средний собственный капитал	тыс. руб.	-	227 339	672 226	1 148 809	1 663 637
<b>Рентабельность собственного капитала</b>	<b>%</b>	<b>-</b>	<b>190%</b>	<b>68%</b>	<b>43%</b>	<b>32%</b>
Темп прироста рентабельности собственного капитала	%	-	-	-64%	-37%	-25%
Среднее значение рентабельности собственного капитала	%					83%
<b>Рентабельность инвестированного капитала (ROIC)</b>						
Операционная прибыль	тыс. руб.	24 266	481 799	588 623	633 505	682 175
Инвестированный капитал	тыс. руб.	201 560	443 118	901 335	1 396 283	1 930 991
Средний Инвестированный капитал	тыс. руб.	-	322 339	672 226	1 148 809	1 663 637
<b>Рентабельность чистых активов по EBIT</b>	<b>%</b>	<b>-</b>	<b>179%</b>	<b>70%</b>	<b>44%</b>	<b>33%</b>

Риски проекта:

- Срыв сроков поставки оборудования;
- Срыв сроков сертификации продукции;
- Снижение плана выпуска самолетов;
- Срыв поставок сырья (полимера).

## ВЫВОДЫ:

В ходе моей работы:

- изучена и проанализирована учебная литература, посвященная стратегическому управлению предприятием, бизнес-планированию и методам оценки эффективности бизнес-проектов,

- выбран объект производства высокотехнологичной продукции для дальнейших исследований,
- разработан бизнес-плана создания мембранного модуля производства азота из воздуха, проанализированы финансовые показатели, полученные в ходе разработки бизнес-плана и сделаны выводы об эффективности предложенного предприятия

## СЕКЦИЯ XI. Фундаментальные науки

### Причина образования разряда молнии и методы защиты

*Деткова Милена Владимировна,*

*г. Москва, ГБОУ Школа №1357, 11 класс*

*Научный руководитель: Андреев Александр Григорьевич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, доцент, кандидат технических наук*

#### **Введение**

В последние годы природных явлений, возникающих как чрезвычайные ситуации, становится всё больше и безусловно изучение каждого из них важно для обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. Каждое из них несёт не только опасность для жизни, но и материальный ущерб. Некоторые ЧС сложно предсказать, а некоторые не предсказываются совсем.

Молния, как природное явление несёт в себе необычайную красоту, мощь и конечно же опасность. Ведь молнии представляют угрозу для всего живого. Если молния попадает в грудную клетку человека, то происходит моментальная остановка сердца, и сразу наступает смерть. Также очень малы шансы выжить при попадании молнии в голову. Если электрический разряд поражает руки или ноги, то человек получает сильные ожоги. Почти всегда после удара молния оставляет на теле потерпевшего витиеватые рисунки, по форме напоминающие саму молнию.

Есть на нашей планете места, где грозовая активность практически не прекращается, а есть, где гроз не бывает десятилетиями. Но статистика утверждает, что в масштабах планеты грозовые разряды ударяют во всё, что стоит на земле, с интенсивностью около ста ударов в секунду. А самих гроз на планете бушует одновременно порядка 2000. Убытки только от пожаров и взрывов, вызванных этим явлением, в ряде случаев колоссальные. Так же каждый год от прямого удара молнии гибнет от 6 до 24 тысяч человек в мире. По некоторым оценкам в России от удара молнии за год гибнет свыше 550 человек.

Цель проекта заключается в изучении причин возникновения молнии, а также рассмотрения механизма работы молниеотвода.

К задачам работы относятся:

- составить краткий обзор литературы по исследованию молнии;
- рассмотреть вопрос о молниезащите и сравнить разные способы защиты;

### **1. Механизм развития разряда молнии**

Молния представляет собой явление электрического разряда в атмосфере. Генератором молний являются грозовые (кучево-дождевые) облака, в которых происходит разделение положительных и отрицательных электрических зарядов. Молнии могут также возникать в снежных и песчаных бурях, при извержении вулканов, ядерных взрывах (рис. 1).

Разряд молнии происходит между грозовым облаком и землей, между облаками или различными областями одного и того же облака. При движении воздушных потоков из-за разности температуры в различных частях атмосферы происходит электризация трением, и внутри облака (тучи) образуется пространственный заряд, объёмная плотность которого  $\rho$  является функцией координат пространства. Объёмный заряд с меньшей плотностью  $\sigma$  существует в пространстве между облаком и землёй. При движении заряженного облака над поверхностью земли, которую мы считаем проводником, наводится (явление электростатической индукции) заряд знаком противоположным знаком заряда облака.

На земле заряд распределён с поверхностной плотностью  $\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$ , которая меняется от точки к точке земли. Естественно, что наибольшая плотность поверхности заряда будет находиться под облаком, если мы рассматриваем вертикальную молнию. Металлические предметы, находящиеся на поверхности земли, также заряжаются зарядом, знак которого противоположен знаку заряда облака. Таким образом, между облаком и землёй возникает область с электрическим полем, величина которого определяется накопленным в облаке зарядом и разностью потенциалов между облаком и точками поверхности земли. Наблюдателю они представляются в виде ярко светящихся зигзагообразных линий с многочисленными разветвлениями.

При определённых условиях возникают пробой в воздухе, разряд, развивающийся в лидерной форме, представляет собой последовательный ряд стримеров (узкие светящиеся каналы ионизованного газа) сдвинутых один по отношению к другому в пространстве и во времени. В результате перемещения электронов вдоль последовательно развивающихся стримеров разогревается канал лидера до нескольких тысяч градусов (ионизация в канале), что определяет возможность продвижения искрового разряда через гигантские расстояния между грозowymi облаками и землей (возвышающимися над землей предметами). Перемещение электронов вдоль стримеров приводит к образованию объемного заряда вокруг разогретого искрового канала, полярность которого соответствует знаку заряда облака. [1]

В настоящее время предложенный механизм развития искрового разряда является общепринятым.

## **2. Молниезащита**

Способы защиты от удара молнии основаны на уменьшении заряда на поверхности Земли от грозового облака. Существуют следующие виды внешней молниезащиты:

- молниеприёмная сеть;
- натянутый молниеприёмный трос;
- молниеприемный стержень.

Они, как правило, состоят из следующих элементов:

- Токоотвод — часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.
- Заземлитель — проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду

Можно рассмотреть способ защиты от молнии, уменьшающий вероятность пробоя воздушного промежутка, вблизи охраняемого объекта, который можно

назвать молниеотводом. На рисунке 2 представлен пример защиты антенн системы мобильной связи.

В технике существует ещё внутренняя молниезащита, которая представляет собой совокупность устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Назначение УЗИП защитить электрическое и электронное оборудование от перенапряжений в сети, вызванных резистивными и индуктивными связями, возникающих под воздействием тока молнии.

Эффективным способом защиты от удара молнии может быть применение металлических штырей (молниеотводов), расположенных вокруг охраняемого объекта (рис. 3). Метод защиты основан на том, что с заземлённого штыря должен "стекать" заряд. Опытным путём установлено, что поверхность круга с радиусом  $R \approx H$  (где  $H$  высота молниеотвода), оказывается областью, с уменьшенной плотностью заряда и в эту область вероятность попадания молнии уменьшается. Охраняемый объект по возможности должен находиться в области пересечения нескольких "кругов". [2]

"Стекание" заряда с поверхности земли происходит благодаря ионизации воздуха, которая усиливается самим штырём.

Учитывая, что в нашем случае отсутствуют быстроменяющиеся токи и электрические поля, можно рассматривать процессы как электростатические. А это значит, что заряды проводника распределяются по поверхности, и плотность  $\sigma$  распределения зависит от кривизны поверхности. Для ионизации необходимы электрические поля, и они создаются заточенными концами молниеотводов.

Вблизи поверхности заряженного проводника напряжённость электрического поля  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  (принимая  $\epsilon \approx 1$ ).

Максимальная напряжённость поля будет на острие молниеотвода, где кривизна самая большая. В расчётах я принимала  $r_{крив}$  кончика молниеотвода  $\approx 1$  мм. Нам не известна величина поверхностной плотности заряда  $\sigma$  на штыре, но так как

при н. у. пробой воздуха начинается  $E_{проб} \approx 3 * 10^6 \frac{В}{м}$ , мы его использовали в расчётах, как напряжённость поля вблизи острия.

Вблизи конца молниеотвода поле резко неоднородное. Известно, что в неоднородном поле молекулы, которые представляют собой диполи (это относится как к полярным, так и неполярным) испытывают, кроме действия вращательного момента, силовое воздействие. И сила, действующая на диполь, определяется по формуле  $F = -p \frac{dE}{dr}$  (мы рассматриваем радиальное распределение электрического поля).

В качестве одной из возможной причины ионизации воздуха рассмотрим соударение молекул, ускоряемых полем.

### **2.1 Ионизация соударяемых молекул (диполей) в неоднородном электрическом поле.**

Исходим из того, что воздух — смесь газов:

$$O_2 \approx 20,95\% \approx 21\%$$

$$N_2 \approx 78\%$$

Учтём наличие в воздухе паров воды, т.е. молекул  $H_2O$

Известно, что молекулы некоторых газов представляют собой диполи с дипольным моментом  $p=qd$ , который имеет различную величину у молекул разных газов. Например,  $p_{H_2O} \approx 0.6 * 10^{-29} Кл * м \approx 1,86Д$ , где Д – единица измерения дипольного момента в СИ.  $1Д = 0,33 * 10^{-29} Кл * м$ . [3]

Молекула  $H_2O$  – полярная. Она обладает моментом даже при отсутствии поля. Молекулы кислорода и азота приобретают дипольный момент несколько меньшей величины и только при попадании во внешнее поле.

В неоднородном электрическом поле, которое существует вблизи острия штыря, диполи испытывают действия вращательного момента и силы,



направленные в сторону источника поля и равной  $F = -p \frac{dE}{dr}$ . Мы предполагаем поле вблизи острия штыря имеющим радиальное направление (рис. 4)

Будем считать, что  $E_r = \frac{A}{r^2}$ , где  $A$  – некоторая константа. Тогда

$$\frac{dE_r}{dr} = -\frac{2A}{r^3} = E_0 \left( -\frac{2}{r} \right), \text{ где } E_0 \text{ – электрическое поле вблизи поверхности штыря.}$$

Поскольку пробой воздуха при н.у. наступает при  $E = 3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$  будем считать  $E_0$  равной этой величине. Тогда на молекулы будет действовать сила  $F = p \frac{2}{r} E_0$ , которая для молекул газов, составляющих воздух, примерно одинакова:  
 $F = 0,6 \cdot 10^{-29} \cdot \frac{2}{10^{-3}} \cdot 3 \cdot 10^6 \approx 3,6 \cdot 10^{-20} \text{ Н}$ . Эта сила заставит двигаться молекулы с ускорением.

Поскольку сила переменна, то скорость движения молекул может быть найдена путём решения дифференциального уравнения. Не имея опыта работы с такими уравнениями, я оценила максимальное ускорение, которое приобретёт молекула вблизи острия  $a_{\max} = \frac{2 p E_0}{r_0 m} = 3,7 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$ .

В действительности среднее ускорение для произвольного расстояния  $r$  будет иметь выражение  $\frac{2 p E_0}{(r - r_0) m} \cdot \ln \frac{r}{r_0}$ .

Оценим путь, на котором под действием средней силы молекула может приобрести энергию достаточную для ионизации встречной нейтральной молекулы

$$\Delta E = E_{\text{ион}} = \frac{2 p E_0}{r} (r - r_0). \quad \text{Следовательно,} \quad \text{путь} \quad \text{равен}$$

$$l = r - r_0 = \frac{E_{\text{ион}}}{2 p E_0} = \frac{12 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-23} \cdot 3 \cdot 10^6} \approx 5,3 \cdot 10^2 \approx 530 \text{ м}, \text{ что практически нереализуемо.}$$

Таким образом, ионизация за счёт ударов диполей исключается.

## 2.2 Ионизация свободными электронами.

Оценим возможность ионизации газов за счёт ускорения электронов, получаемые за счёт внешнего ионизатора (радиоактивный распад элементов земной поверхности и космическое излучение).

На свободный электрон действует сила  $F_{эл} = e * E$

где  $e$  – заряд электрона и равен  $1,6 * 10^{-19}$

А в качестве напряжённости поля, мы принимаем максимальную напряжённость поверхности штыря:  $E \approx E_0$

По справочнику физических величин находим минимальную энергию, необходимую для ионизации молекулы  $H_2O$ :  $E_{ион(H_2O)} = 12,64 * 1,6 * 10^{-19}$  Дж

Приравнивая энергию ионизации и максимальную энергию электрона, получаемую им за счёт работы электрического поля на расстоянии  $r - r_0$ , находим тот путь, в конце которого разогнанный электрон может “развалить” молекулы воды, т. е. получить положительный ион и свободный электрон:

$$E_{ион} = F_{эл} \cdot (r - r_0) = E_0 e \cdot (r - r_0)$$

Тогда путь равен  $l = r - r_0 = \frac{E_{ион}}{eE_0} \approx \frac{12,6 * 1,6 * 10^{-19}}{1,6 * 10^{-19} * 3 * 10^6} \approx 4,2 * 10^{-6}$  м, что соизмеримо со средней длиной свободного пробега  $\lambda$  молекулы  $H_2O$ .

Таким образом, электроны, оказавшиеся в сильном поле острия, могут ионизировать нейтральные молекулы газов воздуха, поддерживая процесс ионизации на конечном расстоянии от молниеотвода. Получается аналог самостоятельного разряда, что и обнаруживается часто в виде шипения и искрения вблизи молниеотвода в предгрозовой ситуации.

Образовавшиеся при ионизации ионы в нашем случае движутся к острию и тем самым способствуют уменьшению плотности заряда на нём. Однако нужно учитывать, что ионы являются малоподвижными зарядами в силу своей большой массы. Поэтому расстояние  $\approx 10^{-6}$  м они будут проходить за очень долгое время, в

течение которого быстрые электроны смогут ионизировать огромное число молекул, при которых опять же образуются медленные ионы.

Таким образом, ответственных за ионизацию воздуха можно считать свободные электроны.

### **3. Вывод**

Проведя исследование, можно сделать вывод, что “стекание” зарядов, совпадающих по знаку с зарядами на молниеотводе, и “натекание” зарядов с противоположным знаком на молниеотвод приводит к снижению вероятности удара молнии в зону, отчерченную на рисунке 3.

Для защиты от поражения электрическим током, сохранения электрооборудования и безопасных условий работы необходим комплексный подход с применением всех необходимых мер по предотвращению случайного поражения человека электрическим током.

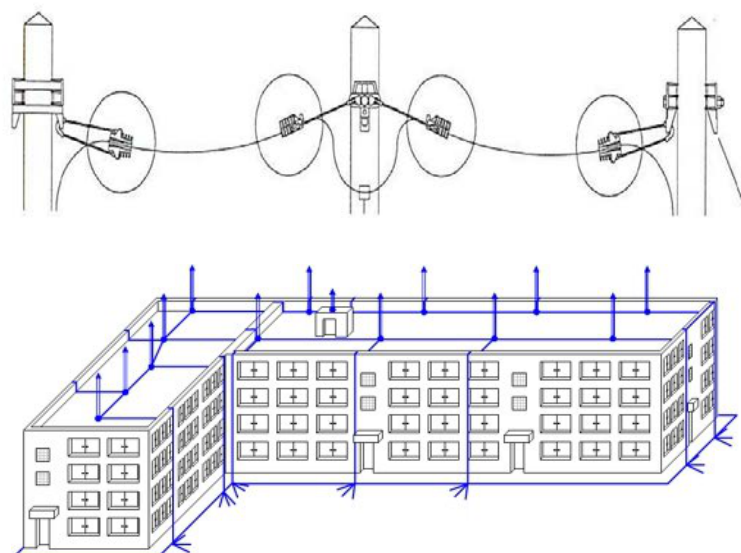
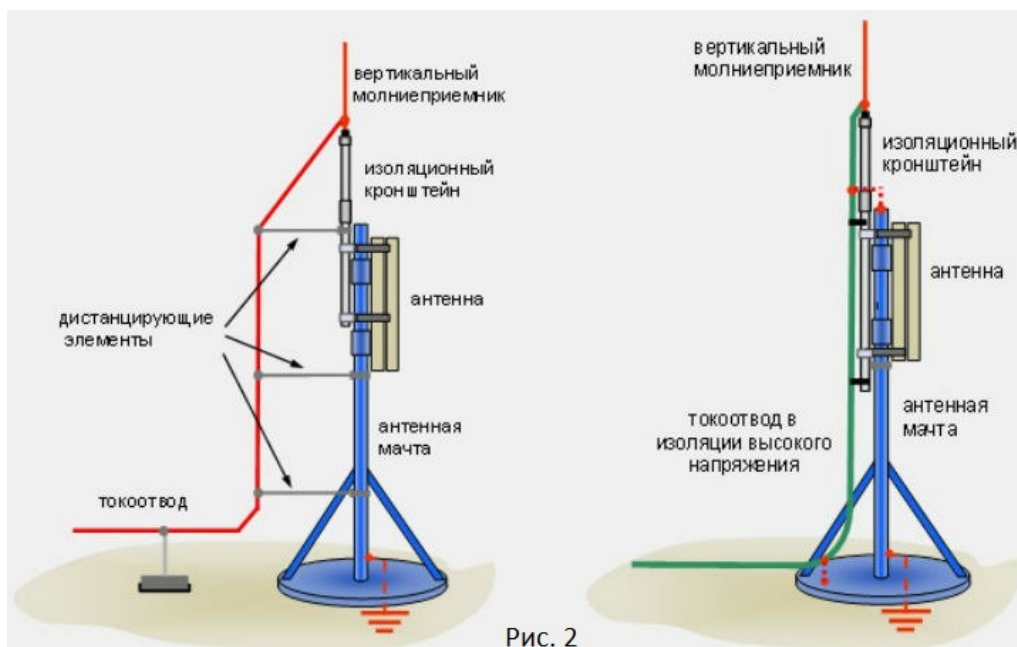
Проведённая работа не гарантирует абсолютной точности расчётов, поскольку были сделаны упрощающие выражения, но качественно подтверждает возможность рассмотренной молниезащиты.

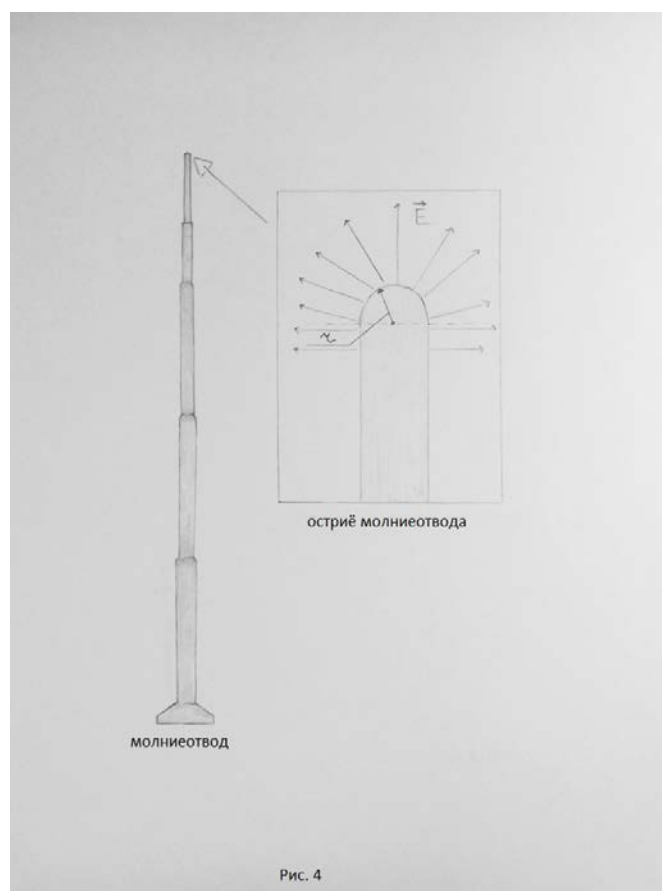
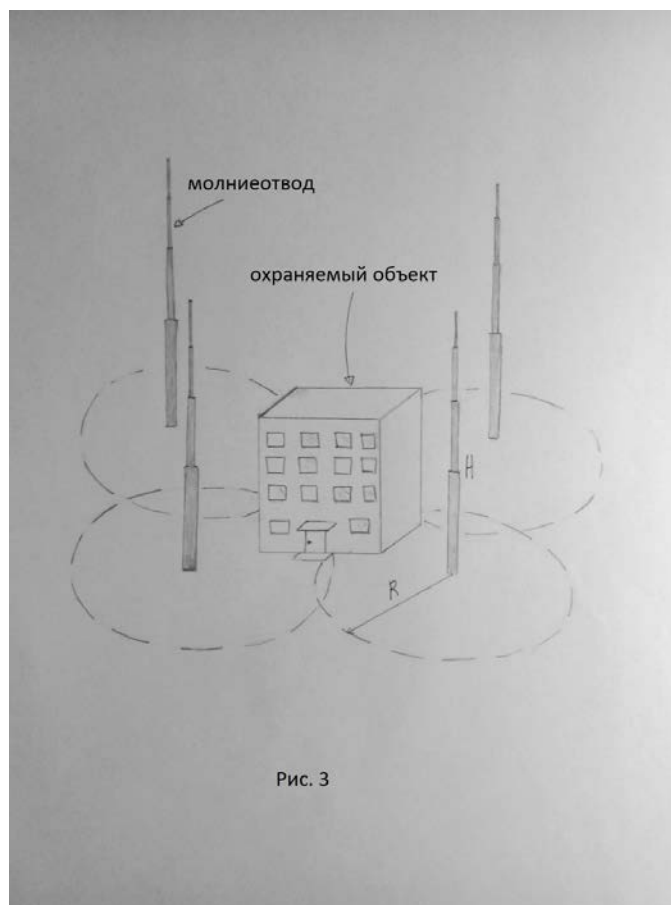
### **4. Литература**

[1] СПбПУ им. Петра Великого «Журнал технической физики» под ред. Г.Н. Александров, 2006 года, том 76, выпуск 12

[2] «Методические указания по защите распределительных электрических сетей от грозových перенапряжений». — М.: ОАО «РОСЭП», АО «ФСК ЕЭС», 2004

[3] Справочные таблицы неорганической химии МИТХТ им. Ломоносова (2005 г.)





## **Распознавание рака легких по снимкам КТ**

*Ржаксинский Виктор,*

*г. Москва, МБОУ СОШ № 7 с УИОП 11А, 11 класс*

*Научный руководитель: Чередниченко Александр Всеволодович,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент кафедры ФН2 "Прикладная математика"*

### **Введение**

С каждым годом данных становится все больше и больше, мы тонем в потоке информации. Огромные объемы информации требуют обработки и анализа, и это касается всех сфер нашей жизни. Но если мы коснемся одной из важнейших тем нашей жизни - здоровья, то в случае медицинской обработки больших данных это становится вопросом жизни и смерти.

Ранее оперативно учесть множество медицинских показателей в процессе диагностики было технически невозможно. Но с ростом вычислительных мощностей и появлением новых методов анализа данных в здравоохранения приходят современные технологии. Процесс внедрения информационных технологий в каждом регионе происходит по-разному по причине масштаба проектов и общего уровня развития регионов, но это уже неизбежный процесс. Но автоматизация это не только хранение карточек пациентов в электронном виде и онлайн запись к врачам это анализ всех накопленных данных и проведение прогнозной аналитики. На текущий момент именно методы математического анализа позволяют решать подобные задачи.

Одна из крупнейших IT компаний Google в 2015 году представила библиотеку Tensorflow, куда были собраны самые передовые достижения среди методов машинного обучения. Библиотека представляет собой новое поколение внутренней технологии DistBelief, которая была разработана командой Google Brain для множества задач, таких как поиск изображений и улучшения алгоритма распознавания речи. Как показывает практика в автоматическом анализе данных заинтересованы во многих отраслях, так как подобная аналитика оказывается лучше чем может дать человек, ведь он не может осознать весь объем полученной информации, полагаясь только на частные наблюдения.

Методы машинного обучения позволяют создавать модели, способные анализировать данные и на их основании формировать прогноз. Целью данного проекта является разработка и реализация алгоритма, способного определить рак легких на ранней стадии развития болезни по снимкам компьютерного томографа, при помощи языка python и открытых библиотек tensorflow, numpy, matplotlib, pandas, math, cv2, dicom, os.

### **Анализ проблемы**

Согласно данным на 2015 год средняя продолжительность в жизни составляет 70.5 года, за счет чего Россия занимает 110 место в мире по данному показателю. Необходимо его улучшить.

### **Средняя продолжительность жизни по странам. Табл. 1.**

<b>Рейтинг</b>	<b>Страна</b>	<b>Средняя продолжительность Жизни</b>
<b>1</b>	<b>Япония</b>	<b>83,7</b>
<b>2</b>	<b>Швейцария</b>	<b>83,4</b>
<b>3</b>	<b>Германия</b>	<b>83,1</b>
<b>4</b>	<b>Австралия</b>	<b>82,8</b>
<b>5</b>	<b>Испания</b>	<b>82,8</b>
<b>...</b>		
<b>110</b>	<b>Россия</b>	<b>70,5</b>
<b>111</b>	<b>Казахстан</b>	<b>70,2</b>

По данным Всемирной организации охраны здоровья основными причинами смертности в нашей стране являются: ишемическая болезнь сердца, инсульт, ХОБЛ, Рак легких, респираторные инфекции нижних дыхательных путей.

Среди перечисленных заболеваний особенно выделяется рак легких.



Рис. 1 - Основные причины смертности.

Рак легких – самая распространенная форма рака. Она появляется в эпителиальной ткани пораженного легкого и распространяется по организму [3].

На текущий момент полностью вылечить это заболевание возможно только на первой стадии.

Таблица 2 - Стадии рака легких.

Стадия рака легких	5-ти летняя выживаемость при активном лечении	Размер опухоли	Метастазы
1	61,40%	3 - 5 см	Локальное поражение
2	43,50%	5-7 см	Поражение лимфоузлов
3	19,60%	более 7 см	Поражение других органов
4	0%	более 7 см	Поражение мозга



Но на этой стадии он не проявляет ярко выраженных симптомов, люди зачастую не знают, что они больны.

Для обнаружения раковой опухоли используются следующие методы диагностики: флюорография, бронхоскопия, компьютерная томография. Кратко рассмотрим каждый из методов.

**Флюорография.** Этот метод заключается в использовании флюорографического аппарата для сканирования тканей. Применяется для выявления заболеваний органов грудной клетки, например, выявлять скрыто протекающие заболевания легких, воспаление легких, туберкулез и т. д. Применяется в основном при массовых обследованиях.

**Плюсы:** быстрота выполнения, компактность аппаратов, относительно низкая стоимость процедуры. **Минусы:** невысокое качество диагностики, для сканирования используется ионизирующее рентгеновское излучение, которое повышает вероятность возникновения раковых заболеваний. (Стоимость около 1500 руб.)

**Бронхоскопия.** Этот метод заключается в использовании специального зонда для визуального осмотра легких. Он позволяет эффективно диагностировать болезни в легком. **Плюсы:** высокое качество диагностики. **Минусы:** это крайне неприятная процедура, требуется высокая квалификация врача, невозможно найти новообразования за пределами бронх, возможны осложнения. (Стоимость около 10000 руб.)

**Компьютерная томография (КТ).** Самый современный из перечисленных методов. Он позволяет изучать организм на основании различной проницаемости тканей рентген излучению. При помощи данного метода можно увидеть патологические изменения легких, бронхов и трахеи и их аномалии в 3D изображении. **Преимущества:** высокая эффективность диагностики всех форм рака легких. **Недостатки:** необходим анализ большого объема информации. (Стоимость 4000-8000 руб.)

Каждый из этих методов имеет свои плюсы и минусы. Но даже самое лучшее оборудование не может застраховать от человеческого фактора. Анализ и диагностика производится специалистом.

- Врачебная ошибка является третьей основной причиной смертности в США.

Специалист же является источником ошибок, поэтому необходимо автоматизировать этот процесс для снижения вероятности неверной диагностики. Это позволит снизить смертность от рака легких за счет снижения вероятности неправильной диагностики.

### **Анализ данных**

Машинное обучение — класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач. Для построения таких методов используются средства математической статистики, численных методов, методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные техники работы с данными в цифровой форме.

На сегодняшний день машинное обучение активно применяется во многих отраслях. Например, Google переводчик использует машинное обучение для более качественного перевода текстов, а Skype Translator позволяет качественно переводить речь в реальном времени. А Алиса Яндексa может играть роль помощника: находить необходимую информацию, использовать сервисы. И все это по голосовому запросу.

Рассмотрим некоторые наиболее известные методы машинного обучения:

- Дерево принятия решений. Дерево принятия решений — средство поддержки принятия решений, которое использует древовидный граф или модель принятия решений. Наиболее продвинутый вариант данного метода **Random forest**. Этот вариант кластера деревьев генерирует и обучает «лес» деревьев принятия решений. Преимущества: способность эффективно обрабатывать данные с большим числом признаков и классов, высокая параллелизуемость и масштабируемость. Недостатки: большой размер полученной модели.

- Логистическая регрессия. Логистическая регрессия представляет собой мощный статистический способ прогнозирования вероятности возникновения некоторого события с одной или несколькими независимыми переменными. Выражается формулой:

$$F(x, w) = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

где  $x$  – входная переменная,  $w$  – весовой коэффициент. Может быть использовано для анализа карт признаков.

- Нейронные сети – это громадный распределенный параллельный процессор, состоящий из элементарных единиц обработки информации, накапливающий экспериментальные знания для последующей обработки. Основным компонентом нейронной сети является нейрон.

Искусственный нейрон (формальный нейрон) – элемент искусственных нейронных сетей, моделирующий некоторые функции биологического нейрона. Нейрон имеет группу аксонов (входов) и аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Математически, искусственный нейрон обычно представляют как некоторую нелинейную функцию от единственного аргумента — суммы всех входных сигналов.

$$o_i = \varphi \left( \sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0 x_0 \right)$$

где  $w$  – вектор весов связей нейрона,  $x$  – вектор входов нейрона. Данную функцию называют функцией активации или функцией срабатывания.

$$\varphi(c) = \frac{1}{1 + e^{-c}}$$

$c$  – сумма всех входных сигналов. Общая схема нейрона:

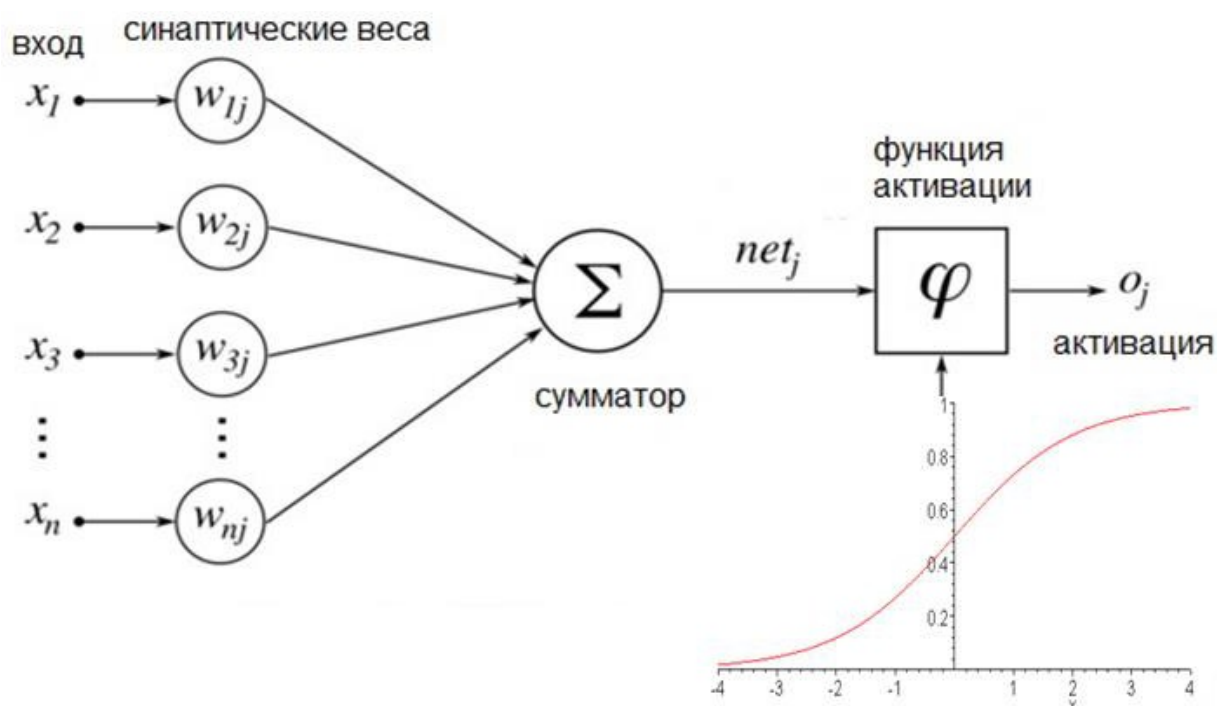


Рис. 2 - Структура нейрона.

Наиболее передовым классом методов машинного обучения является Глубокое обучение (**Deep learning**). Некоторые его методы были известны

ранее но не могли быть использованы в связи с ограниченными вычислительными ресурсами того времени. Основное развитие это направление получило с 2006 года в связи ростом характеристик компьютеров. Большинство методов Глубокого обучения включают в себя нейронные сети различной архитектуры. Это позволяет формировать нелинейные классификаторы различной сложности. Были рассмотрены некоторые из них:

- Автокодировщик (автоинкодер, автоассоциатор) – специальная архитектура нейронной сети способная поддерживать процесс обучения без учителя. Простейшая архитектура автокодировщика — сеть прямого распространения, без обратных связей, наиболее схожая с персептроном и содержащая входной слой, промежуточный слой и выходной слой. В отличие от персептрона, выходной слой автокодировщика должен содержать столько же нейронов, сколько и входной слой. Основными применениями

автокодировщика является снижения размерности входных данных для дальнейшей обработки или визуализации [1].

- Сверточные нейронные сети. Они копируют процесс обработки изображений в мозгу. Их особенностью является операция свертки, в процессе которой выделяются уникальные паттерны исходных данных. Каждый слой выделяет паттерны более высокого уровня, формируя карту признаков. Ее можно проанализировать сравнительно простыми методами. В данном проекте используется однослойная нейронная сеть [4].

Таким образом, сверточные сети лучше всего подходят для решения задачи обработки КТ снимков.

### Реализация

Приведем задачу к общему виду. Дано:

$$x = \begin{bmatrix} x_1^1 & \dots & x_1^n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^1 & \dots & x_m^n \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$$

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_k \end{bmatrix}$$

$$f(x, w) = \bar{y}$$

$$S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2$$

Цель:

$$S(w) \rightarrow \min$$

где  $x$  - матрица входных данных (КТ снимки),  $y$  - целевые значения (диагнозы врачей),  $f$  - модель,  $w$  - весовые коэффициенты модели,  $S$  - функция ошибки.

Для решения данной задачи была использована следующая структура модели (рис. 3). Модель построена на нейронных сетях глубокого обучения, которые используются для решения задач распознавания изображений.

Данная задача сводится к оптимизации квадратичной функции ошибки (рис. 4). Наилучшим методом для данной задачи является метод градиентного спуска или родственный ему.

Обучение модели производится с помощью метода стохастического градиентного спуска. Этот метод позволяет обучать модель не на всей выборке сразу, что требует существенных вычислительных ресурсов, а на отдельных объектах. Одна эпоха обучения занимает в среднем 1 час [2].

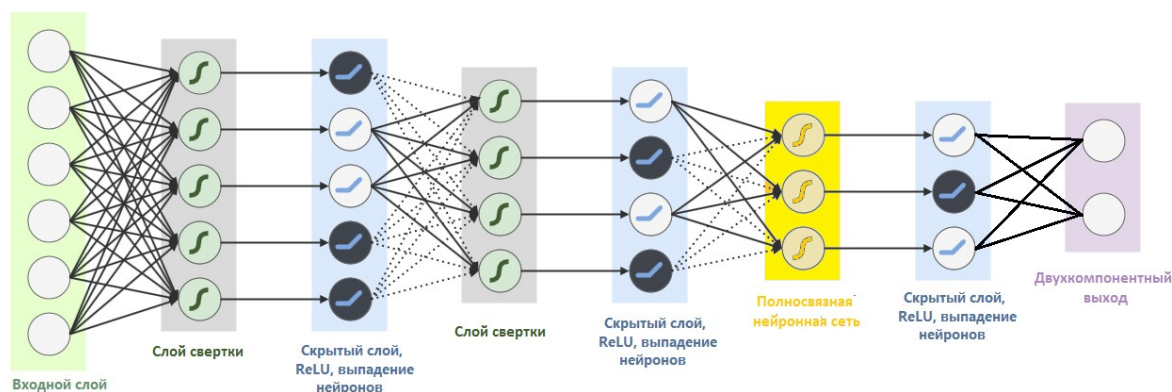


Рис. 3 - Структура модели.

Нейронная сеть анализирует снимки легких на наличие отклонений от нормы и выдает вероятность принадлежности объекта (пациента) к классам больных и здоровых.

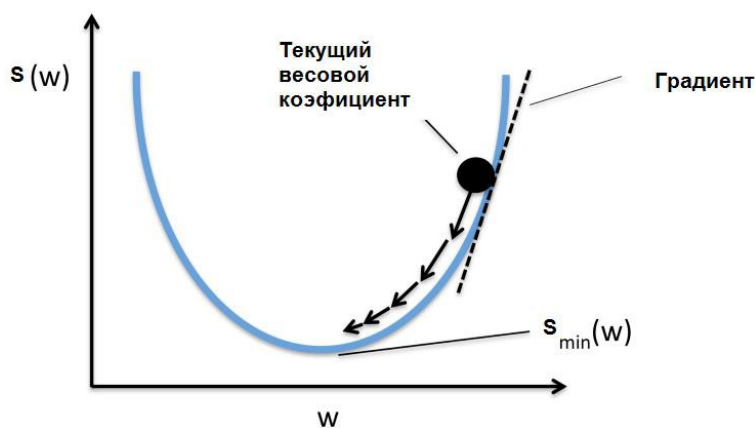


Рис. 4 - Градиентный спуск на квадратичной функции ошибки

Для обучения диагностирующей модели были использованы данные с конкурса Data Science Bowl 2017 [12]. Это результаты КТ сканирования 1596 пациентов с поставленным диагнозом врача. Сканирующая головка компьютерного томографа двигаясь вдоль тела формирует карту плотности тела пациента. Разрешающая способность зависит от модели аппарата, у одних 1 мм у других 5 мм. Этого вполне достаточно для поиска раковых опухолей на первой стадии, когда ее размер не превышает 3

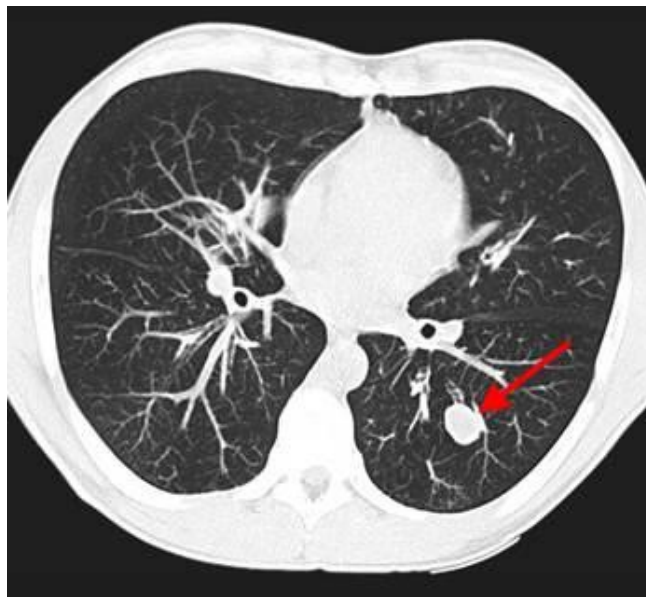


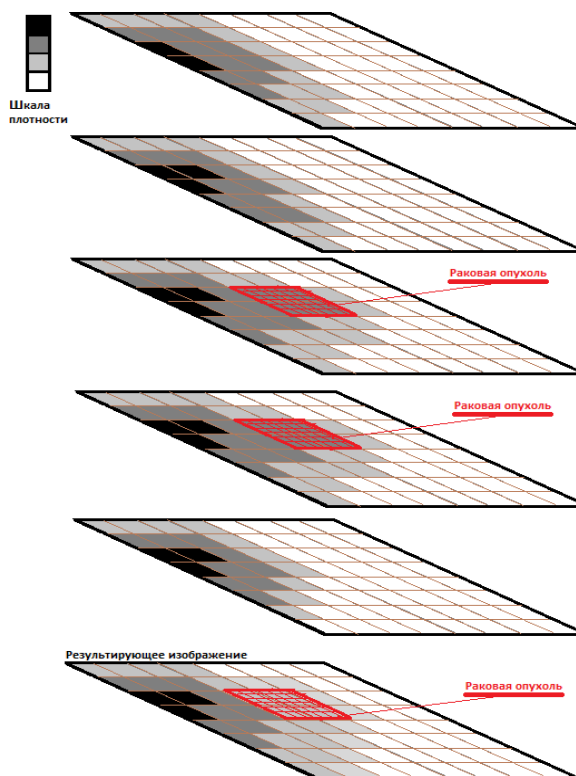
Рис. 5 - КТ изображение рака легких

Так как существуют ограничения по объему вычислительных ресурсов, размер входных данных был снижен путем объединения снимков (рис. 6). Снимки разделяются на 20 одинаковых пакетов. Находится среднее арифметическое между значениями соответствующих элементов изображений. Например, если при сканировании было получено 100 изображений, то на первой стадии новообразование можно увидеть на двух снимках. Как видно на рисунке визуальная аномалия, обозначающая наличие рака не теряется.

Для реализации выбранного алгоритма была использована библиотека глубокого обучения Tensorflow [5]. TensorFlow — свободная программная библиотека для машинного обучения на языке Python, которая используется для решения различных задач распознавания изображений, речи, машинного перевода.

В данный момент она используется в научно-исследовательской работе и в десятках коммерческих продуктов Google, в том числе в Google Search, Gmail, Photos, Youtube, Translate, Assistant, а так же всевозможных системах распознавания, в том числе распознавания речи. Главные преимущества этой технологии:

- Это открытая библиотека.
- Ее поддерживает **Google Brain Team**.
- Она поддерживает возможность распределенных расчетов без существенных изменений исходного кода.
- На текущий момент это самая востребованная библиотека глубокого обучения.



**Рис. 6 - Снижение размерности изображений.**

Обучение модели производилось с помощью встроенного в библиотеку метода стохастического градиента `tf.train.AdamOptimizer`.

При стандартном градиентном спуске для корректировки параметров модели используется градиент. Градиент обычно считается как сумма градиентов, вызванных каждым элементом обучения. Вектор параметров изменяется в направлении антиградиента с заданным шагом. Поэтому стандартному



градиентному спуску требуется один проход по обучающим данным до того, как он сможет менять параметры.

При стохастическом градиентном спуске значение градиента аппроксимируются градиентом функции стоимости, вычисленном только на одном элементе обучения. Затем параметры изменяются пропорционально приближенному градиенту. Таким образом параметры модели изменяются после каждого объекта обучения. Для больших массивов данных стохастический градиентный спуск может дать значительное преимущество в скорости по сравнению со стандартным градиентным спуском. Подобная методика повышает скорость подбора оптимальных весов.

### **Как это работает?**

Теперь, когда мы определили задачу, ввод и вывод, давайте думать о том, как подбираться к решению. Мы хотим, чтобы компьютер мог различать все данные ему изображения и распознавать уникальные особенности, признаки наличия рака. Когда мы смотрим на снимок, мы можем отнести его к конкретному классу, если у изображения есть характерные особенности, которые можно идентифицировать, такое как аномалия в бронхах. Аналогичным образом компьютер может выполнять классификацию изображений через поиск характеристик базового уровня, например границ и искривлений, а затем с помощью построения более абстрактных концепций

Компьютер может легко различать простые объекты такие как прямые и наклонные линии, преобразуя изображение в набор простых паттернов – карту признаков (рис. 7). Следующим шагом из простых паттернов можно выделить паттерны более высокого уровня. Подобным образом действует зрительная кора головного мозга [9,10].

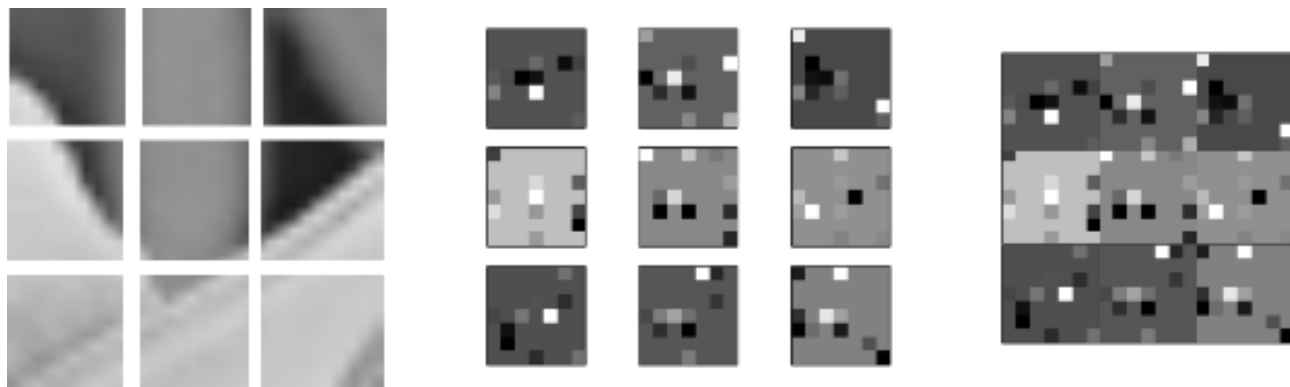


Рис. 7 - Формирование паттернов.

Первые слои нейронной сети преобразуют изображение в высокоуровневое представление структуры легкого. Следующие слои выделяют признаки характерные для больных раком.

### **Решенные проблемы**

В процессе разработки были решены следующие проблемы:

- На этапе подготовки и нормализации данных, модуль, предназначенный для снижения размерности входной матрицы, давал на выход данные непостоянной размерности. Например, размер обработанных данных у одних пациентов составлял 20 снимков, у других 19, а у некоторых 21 снимок. Поэтому был создан модуль, добавлявший недостающие части и удаляющий избыточные.
- На этапе обучения была решена проблема переобучения модели, путем использования встроенной функции `tf.nn.dropout`. суть метода заключается в том, что в процессе обучения выбирается слой, из которого случайным образом выбрасывается определенное количество нейронов, которые выключаются из дальнейших вычислений. Такой приём улучшает эффективность обучения и качество результата. Более обученные нейроны получают в сети больший вес. Это позволило повысить обобщающую способность модели и справиться с переобучением.
- На этапе запуска модели была обнаружена ошибка инициализации переменных, из-за которой не происходил расчет модели. Для решения

данной проблемы был изменен процесс инициализации переменных. Это позволило несколько повысить производительность исправиться с ошибкой.

- При добавлении нового слоя нейронной сети сильно снизилось качество распознавания, поэтому была задействована функция `tf.nn.batch_normalization`. Это позволило существенно повысить предсказательную способность модели.

### Оценка качества модели

Стандартом оценки результатов модели являются метрики, основанные на матрице ошибок: точность, полнота, F-мера.

$$\theta = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\mu = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F = (\beta^2 + 1) \frac{\theta * \mu}{\beta^2 \theta + \mu}$$

где  $\theta$  – точность,  $\mu$  – полнота, F – F-мера, TP – верный правильный ответ, FP – неверный положительный ответ, FN – ложный отрицательный ответ,  $\beta$  – константа.

Данные вычислений сведем в таблицу 1.

Таблица 3 - Основные метрики модели

Метрики	Значения
Точность	0.282
Полнота	0.696
F-мера	0.402
$\beta$	1
Порог	0.508

Ошибки в матрице, (табл. 4): здоровый, которого назвали больным, FP обозначенный желтым и больному поставили неверный диагноз FN обозначенная красным. В первом случае человек пройдет дополнительное обследование, а во втором может погибнуть. Поэтому следует минимизировать ошибку FN для задачи медицинской диагностики. Ведь даже значение этой метрики включает в себя тех людей, которые пострадают из-за некачественной диагностики. На основании результатов тестирования полученной модели, из 400 пациентов 189 (71+118) были диагностированы правильно, 180 были ошибочно отправлены на дополнительное обследование и 31 пациенту неправильно поставили диагноз.

Рассмотрим основные метрики оценки классификатора. Точность системы в пределах класса – это доля документов действительно принадлежащих данному классу относительно всех объектов которые система отнесла к этому классу. Полнота системы – это доля найденных классификатором объектов принадлежащих классу относительно всех документов этого класса в тестовой выборке.

Таблца. 4 - Матрица ошибок.

		Экспертная оценка	
		Да	Нет
Оценка модели	Да	71	180
	Нет	31	118

Такие показания метрик говорят о том, что модели сложно разделить по разным классам больных и здоровых пациентов. Возможно, что это вызвано сжатием первичных изображений или недостаточной разрешающей способностью КТ сканера.

Также важно обращать внимание на другие параметры пациента, такие как анализы показателей крови, мочи. Показатели изменяются, когда начинается

процесс заболевания в организме. Объединение этих источников информации позволит модели более качественно делать прогноз – необходимо расширить перечень информации на входе модели, чтобы повысить ее точность и предсказательную способность.

Задача модели не заменить врача, а дать ему подсказку. По мере накопления статистической информации, использования более сложных моделей, роста вычислительных мощностей, использования новых входных параметров, качество модели будет постепенно расти.

### **Вывод**

В этой работе я попытался решить задачу медицинской диагностики. Была разработана и обучена модель, способная эффективно находить рак на начальных стадиях.

Хотя и требуется существенная доработка системы, разработанный алгоритм может снизить вероятность смертности, вызванной человеческим фактором, помогая врачу, подсказывая, на что следует обратить внимание. К примеру, когда врачу бывает сложно верно диагностировать заболевание, особенно если у него не слишком много практики или конкретный случай далёк от его профессионального опыта. Нейронные сети не заменяют квалифицированного специалиста, а являются помощником для него.

Кроме снимков компьютерного томографа, необходимо анализировать другие виды медицинской информации о пациенте, что положительно повлияет на точность прогноза. Помимо этого, модель можно развивать по таким направлениям:

- Повышение предсказательной способности. Основной целью дальнейшего развития является увеличения метрик качества модели. Этого можно достичь путем снижения уровня сжатия входных данных, повышение сложности структуры нейронной сети, которая анализирует карту признаков, увеличение количества слоев свертки, обучение на сбалансированной выборке.

- Увеличение спектра диагностируемых болезней. Это возможно путем анализа различных видов аномалий легких, особенностей структуры или локальных очагов поражения. Но для реализации подобного алгоритма необходимы специальным образом размеченные данные. Несмотря на существующие трудности это самое перспективное направление развития.
- Персональный медицинский ассистент. Еще одним перспективным направлением является постоянный мониторинг здоровья при помощи носимых гаджетов. На текущий момент уже активно внедряются фитнес браслеты, «умные» кроссовки. Но их возможностей не хватает для постоянного мониторинга здоровья.

В данном проекте продемонстрировано только одно из возможных применений машинного обучения. На данный момент это одно из наиболее активно развивающихся направлений, которое приносит пользу людям уже сейчас.

### **Список литературы**

1. Нейронные сети полный курс/Сайман Хайкин.-2-е изд. перевод с англ. М.:Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104
2. ADAM: A METHOD FOR STOCHASTIC OPTIMIZATION/ Diederik P. Kingma Jimmy Lei Ba// *Cornell University* – 2015. – Режим доступа <https://arxiv.org/pdf/1412.6980v1.pdf> . – (Дата обращения: 14.01.2018)
3. Рак легких учебное пособие/И.Е.Бахлаев А.П.Топлинский /Петрозаводский государственный университет, 2000. – 74с.
4. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition, *Neural Computation*/ Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker, D. Henderson, R. E. Howard, W. Hubbard and L. D. Jackel / *Bell Laboratories* - 1989.– Режим доступа <http://yann.lecun.com/exdb/publis/pdf/lecun-89e.pdf> . – (Дата обращения: 14.01.2018)
5. TensorFlow [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/> . – (Дата обращения: 14.01.2018).

6. Keras: The Python Deep Learning library [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://keras.io/>. – (Дата обращения: 14.01.2018).
7. Caffe: The Python Deep Learning library [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://caffe.berkeleyvision.org/>. – (Дата обращения: 14.01.2018).
8. Torch: The Python Deep Learning library [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://torch.ch/>. – (Дата обращения: 14.01.2018).
9. Medical error—the third leading cause of death in the US/Martin Makary and Michael Daniel / BMJ - 2016 . – Режим доступа: <http://www.bmj.com/content/353/bmj.i2139> . – (Дата обращения: 08.02.2018)
10. Глаз, мозг, зрение/Д. Хьюбел М.:Издательство "Мир" , - 1990. – 240с.
11. Про котиков, собак, машинное обучение и deep learning/Артем Хуршудов/ habrahabr.ru - 2014.- Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/226347/> . – (Дата обращения: 10.02.2018).
12. Data Science Bowl 2017 [Электронный ресурс] / ] . – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/c/data-science-bowl-2017> . – (Дата обращения: 14.01.2018).

## Приложение 1

```
import numpy as np import pandas as pd import dicom import os
import matplotlib.pyplot as plt import cv2
import math
import tensorflow as tf

IMG_SIZE_PX = 50
SLICE_COUNT = 20

n_classes = 2
batch_size = 10
keep_rate = 0.15

x = tf.placeholder('float') y = tf.placeholder('float')

np.random.seed(1) tf.set_random_seed(1)

n_classes = 2

weights = {'W_conv1':tf.get_variable("W_conv1", [3,3,3,1,32], dtype=tf.float32,
initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ), 'W_conv2':tf.get_variable('W_conv2',
[3,3,3,32,64], dtype=tf.float32, initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ),
'W_fc':tf.get_variable('W_fc', [54080,1024], dtype=tf.float32,
initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ), 'W_fc1':tf.get_variable('W_fc1', [1024,128],
dtype=tf.float32, initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ), 'out':tf.get_variable('out',
[128, n_classes], dtype=tf.float32, initializer=tf.constant_initializer(0.00001) )}

biases = {'b_conv1':tf.get_variable('b_conv1', [32], dtype=tf.float32,
initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ), 'b_conv2':tf.get_variable('b_conv2', [64],
dtype=tf.float32, initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ),
'b_fc':tf.get_variable('b_fc', [1024], dtype=tf.float32,
initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ), 'b_fc1':tf.get_variable('b_fc1', [128],
dtype=tf.float32, initializer=tf.constant_initializer(0.00001) ),
'outb':tf.get_variable('outb', [n_classes], dtype=tf.float32,
initializer=tf.constant_initializer(0.00001) )}

beta_fc = tf.Variable(tf.zeros([1024])) scale_fc = tf.Variable(tf.zeros([1024]))

def chunks(l, n):
    """Yield successive n-sized chunks from l.""" for i in range(0, len(l), n):
yield l[i:i + n] # эта команда создает генератор значений def mean(l):
return sum(l) / len(l) # функция для нахождения среднего def maxpool_3d(x):
# пулинг
return tf.nn.max_pool3d(tf.to_float(x, name='ToFloat'), ksize=[1,2,2,2,1],
strides=[1,2,2,2,1], padding='SAME') def conv_3d(x, W):
```



```

    return tf.nn.conv3d(tf.to_float(x, name='ToFloat'), tf.to_float(W, name='ToFloat'),
strides=[1,1,1,1,1], padding='SAME')

def CNV(x):
    x = tf.reshape(x, shape=[-1, IMG_SIZE_PX, IMG_SIZE_PX, SLICE_COUNT, 1])

    conv1 = tf.nn.elu(conv_3d(x, weights['W_conv1']) + biases['b_conv1']) # elu softplus
conv1 = tf.nn.dropout(conv1, keep_rate) # ++1
    conv1 = maxpool_3d(conv1)

    conv2 = tf.nn.softplus(conv_3d(conv1, weights['W_conv2']) + biases['b_conv2'])
#tf.nn.leaky_relu crelu conv2 = tf.nn.dropout(conv2, keep_rate) # ++2
    conv2 = maxpool_3d(conv2)

    fc = tf.reshape(conv2,[-1, 54080])
    fc = tf.nn.sigmoid(tf.matmul(fc, weights['W_fc'])+biases['b_fc']) #tanh elu sigmpid

    batch_mean_fc, batch_var_fc = tf.nn.moments(fc, [0])
    fc = tf.nn.batch_normalization(fc, batch_mean_fc, batch_var_fc, beta_fc, scale_fc, 0.001)
fc = tf.nn.dropout(fc, keep_rate)
    fc1 = tf.nn.sigmoid(tf.matmul(fc, weights['W_fc1'])+biases['b_fc1']) fc1 =
tf.nn.dropout(fc1, keep_rate)

    output = (tf.matmul(fc1, weights['out'])+biases['outb']) return output
def process_data(patient,labels_df,img_px_size=50, hm_slices=20, visualize=False): label
= labels_df.get_value(patient, 'cancer')
    path = data_dir + patient
    slices = [dicom.read_file(path + '\\\ ' + s) for s in os.listdir(path)] slices.sort(key =
lambda x: int(x.ImagePositionPatient[2]))

    new_slices = []
    slices = [cv2.resize(np.array(each_slice.pixel_array),(img_px_size,img_px_size)) for
each_slice in slices]

    chunk_sizes = math.ceil(len(slices) / hm_slices) for slice_chunk in chunks(slices,
chunk_sizes): slice_chunk = list(map(mean, zip(*slice_chunk))) new_slices.append(slice_chunk)

    if len(new_slices) == hm_slices-1: new_slices.append(new_slices[-1])

    if len(new_slices) == hm_slices-2: new_slices.append(new_slices[-1])
new_slices.append(new_slices[-1])

    if len(new_slices) == hm_slices+2:
    new_val = list(map(mean, zip(*[new_slices[hm_slices-1],new_slices[hm_slices],]))) del
new_slices[hm_slices]
    new_slices[hm_slices-1] = new_val

```

```
    if len(new_slices) == hm_slices+1:
        new_val = list(map(mean, zip(*[new_slices[hm_slices-1],new_slices[hm_slices],]))) del
new_slices[hm_slices]
        new_slices[hm_slices-1] = new_val

    if visualize:
        fig = plt.figure()
        for num,each_slice in enumerate(new_slices): y = fig.add_subplot(4,5,num+1)
y.imshow(each_slice, cmap='gray') plt.show()

    if label == 1: label=np.array([0,1]) elif label == 0: label=np.array([1,0])
#print('tttt')

    return np.array(new_slices),label
def process_data_i(patient,img_px_size=50, hm_slices=20, visualize=False):

    label = labels_df.get_value(patient, 'cancer') path = data_dir + patient
    slices = [dicom.read_file(path + '\\\ ' + s) for s in os.listdir(path)] slices.sort(key =
lambda x: int(x.ImagePositionPatient[2]))

    new_slices = []
    slices = [cv2.resize(np.array(each_slice.pixel_array),(img_px_size,img_px_size)) for
each_slice in slices]

    chunk_sizes = math.ceil(len(slices) / hm_slices) for slice_chunk in chunks(slices,
chunk_sizes): slice_chunk = list(map(mean, zip(*slice_chunk)))
    new_slices.append(slice_chunk)

    if len(new_slices) == hm_slices-1: new_slices.append(new_slices[-1])

    if len(new_slices) == hm_slices-2: new_slices.append(new_slices[-1])
new_slices.append(new_slices[-1])

    if len(new_slices) == hm_slices+2:
        new_val = list(map(mean, zip(*[new_slices[hm_slices-1],new_slices[hm_slices],]))) del
new_slices[hm_slices]
        new_slices[hm_slices-1] = new_val

    if len(new_slices) == hm_slices+1:
        new_val = list(map(mean, zip(*[new_slices[hm_slices-1],new_slices[hm_slices],]))) del
new_slices[hm_slices]
        new_slices[hm_slices-1] = new_val return np.array(new_slices) patients =
os.listdir(data_dir)
    labels = pd.read_csv('Z:\\Kaggle\\Data_ALL\\stage1_labels.csv', index_col=0)
```

```

much_data = []
for num,patient in enumerate(patients): if num % 10 == 0:
    print(num) try:
        img_data,label = process_data(patient,labels,img_px_size=IMG_SIZE_PX,
hm_slices=SLICE_COUNT) much_data.append([img_data,label])
    except KeyError as e: print('This is unlabeled data!')

    np.save('muchdata-{}-{}-{}.npy'.format(IMG_SIZE_PX,IMG_SIZE_PX,SLICE_COUNT), much_data)
hm_epochs = 20
def train_neural_network(x): prediction = CNV(x)
cost = tf.reduce_mean(
tf.nn.softmax_cross_entropy_with_logits(labels=y,logits=prediction, dim=-1) ) optimizer =
tf.train.AdamOptimizer( learning_rate=0.0001 ).minimize(cost) #0.00005
saver = tf.train.Saver()

with tf.Session() as sess: sess.run(tf.global_variables_initializer() )
#saver.restore(sess, "Z:\\Kaggle\\tf2\\Tensor_convolutional_neural_networkV2.ckpt")
#tf.global_variables_initializer successful_runs = 0
total_runs = 0
for epoch in range(hm_epochs): epoch_loss = 0
for data in train_data: total_runs += 1
try:
X = data[0] Y = data[1]
_, c = sess.run([optimizer, cost], feed_dict={x: X, y: Y}) epoch_loss += c
successful_runs += 1 except Exception as e:
pass
#print(str(e))

print('Epoch', epoch+1, 'completed out of',hm_epochs,'loss:',epoch_loss) correct =
tf.equal(tf.argmax(prediction, 1), tf.argmax(y, 1))
accuracy = tf.reduce_mean(tf.cast(correct, 'float')) print('Accuracy:')
print(accuracy.eval({x:[i[0] for i in validation_data], y:[i[1] for i in
validation_data]})) save_path = saver.save(sess,
"Z:\\Kaggle\\tf2\\Tensor_convolutional_neural_networkV2.ckpt")
#saver.save(sess, "Z:\\Kaggle\\tensorboard\\Tensor_convolutional_neural_networkV2.ckpt")
#sol = []
#probabilities = tf.nn.softmax(prediction)
#for data in validation_data:
# id = data[1]
# probs = probabilities.eval(feed_dict={x: X, keep_rate: 1.})
# print('Outputs: ',pred)
# print('Probs: ',probs)
# sol.append([id, probs[0,1]])
#print(sol)
print('Done. Finishing accuracy:')

```

```
print('Accuracy:',accuracy.eval({x:[i[0] for i in validation_data], y:[i[1] for i in
validation_data]})) print('fitment percent:',successful_runs/total_runs)

return weights

much_data = np.load('muchdata-50-50-20.npy') train_data = much_data[:-400]
validation_data = much_data[-400:] train_neural_network(x)
import csv ou = []
much_data = np.load('muchdata-50-50-20.npy') train_data = much_data[:-400]
validation_data = much_data[-400:] saver = tf.train.Saver()
pred = CNV(x)
res = tf.argmax(pred, 1) with tf.Session() as sess:
sess.run(tf.global_variables_initializer() )
saver.restore(sess, "Z:\\Kaggle\\tf2\\Tensor_convolutional_neural_networkV2.ckpt") for i
in range(len(validation_data)):
X = validation_data[i,0] Y = validation_data[i,1]
#print(validation_data[i,1])
#print(sess.run(pred,feed_dict={x: X})) pr = sess.run(pred, feed_dict={x: X})
k = str(validation_data[i,1])
l = str(sess.run(pred,feed_dict={x: X})) if k == '[1 0]':
print(str(pr[0,0]) + ' ' + '0') else:
print(str(pr[0,0]) + ' ' + '1')
#print(dat[1])
```

## ШАГ В БУДУЩЕЕ, КОСМОНАВТИКА

### СЕКЦИЯ №1. Космические аппараты и ракеты-носители

#### Полет на спутник Юпитера – Европа

*Капустина Дарья Андреевна,*

*Пансион воспитанниц МО РФ, 11 класс*

*Научный руководитель: Товарных Геннадий Николаевич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, доцент*

#### **Введение**

Одним из перспективных направлений космических исследований является изучение спутника Юпитера-Европы. Поверхность Европы представляет большой интерес, так как под ледяной коркой может находиться океан жидкой воды, создающей условия, подходящие для жизни.

#### **1 Глава: Основные сведения о Европе**

##### **Основные характеристики Европы и открытие**

**Еврóпа** (рис.1) или Юпитер II — шестой спутник Юпитера, наименьший из четырех галилеевых спутников. Обнаружена 8 января в 1610 году Галилео Галилеем и, вероятно Симоном Марием в то же самое время. На протяжении столетий за Европой велись всё более всесторонние наблюдения при помощи телескопов, а начиная с семидесятых годов двадцатого века — и пролетающих вблизи космических аппаратов.

По размерам уступая Луне, Европа состоит в основном из силикатных пород, а в центре содержит железное ядро. Поверхность состоит из льда и является одной из самых гладких в Солнечной системе; на ней очень мало кратеров, но много трещин. Легко заметная молодость и гладкость поверхности привели к гипотезе, что под ней находится водяной океан, в котором не исключено наличие микроскопической жизни. Вероятно, он не замерзает благодаря приливным силам, периодические изменения которых вызывают деформацию спутника и, как следствие, нагрев его недр. Это же служит причиной эндогенной геологической

активности Европы, напоминающей тектонику плит. У спутника есть крайне разрежённая атмосфера, состоящая в основном из кислорода.

**Физические характеристики:**

Средний радиус	1560,8+/-0,5 км
Площадь поверхности	30,61 млн. км <sup>2</sup>
Объём	15,93 млрд. км <sup>3</sup>
Масса	4,8017*10 <sup>22</sup> кг
Средняя плотность	3,014+/-0,05 г/см <sup>3</sup>
Ускорение свободного падения на экваторе	1,315 м/с <sup>2</sup>
Вторая космическая скорость	2,026 км/с
Период вращения	синхронизирован (повёрнут к Юпитеру одной стороной)
Наклон оси	вероятно, около 0,1°
Альбедо	0,67 +/- 0,03
Видимая звёздная величина	5,29 +/- 0,02 (противостояние)

**Характеристики орбиты:**

Периодический	664 792 км
Апоидический	677 408 км
Средний радиус орбиты	671 100 км
Эксцентриситет орбиты	0,0094
Сидерический период обращения	3,551 д
Орбитальная скорость	49 476,1 км/с
Наклонение	1,79° (к эклиптике) 0,466° (к экватору Юпитера)

**Температура:**

Поверхностная	50 К (на полюсах) - 110 К (на экваторе)
---------------	---

**Атмосфера:**

Атмосферное давление	0,1 мкПа, или 10-12атм
Состав:	Кислород

**Внутреннее строение и поверхность:**

Согласно результатам космического аппарата Галилео, Европа имеет металлическое ядро и внутреннюю структуру, подобную Земле.(рис.2) В недрах Европы выделяется энергия приливных взаимодействий, которая поддерживает в жидком виде толстую мантию или глубочайший подледный океан. Благодаря небольшому эксцентриситету орбиты и гравитационному воздействию других спутников Юпитера рассеиваемая энергия довольно велика, поэтому океан может быть теплым. Предполагается, что глубина океана составляет около 90 километров, а ледяная кора 10-30 километров. Эта оболочка очень хрупкая и под действием перемещающегося приливного выступа иногда лопается, образуя доступ жидкой воды.

Поверхность Европы представляет собой ледяную оболочку, покрытую глобальной сетью искривленных линий. По-видимому, это трещины в ледяной коре, вызываемые тектоническими процессами. Размер и геометрия некоторых особенностей указывают на то, что существует тонкий ледяной слой, покрытый водой или мокрым льдом, а также существует движение, напоминающее дрейф земных айсбергов. Ледяная корка в местах разломов смазывается теплым льдом или даже жидкой водой. Эти результаты подвинули ученых еще на один шаг к разрешению вопроса, достаточно ли тепла на Европе, чтобы удовлетворять условиям возникновения жизни.

Спектральный анализ темных линий и пятен (рис.3) на поверхности показал наличие солей и силикатов, в частности, сульфата магния («английская соль»).

Красноватый оттенок позволяет предположить наличие также соединений железа (оксиды) и серы.

Карл Саган о Европе. (книга «Эволюция Вселенной, жизни и разума») «На Европе мы наблюдаем поразительно сложную сеть пересекающихся прямых и искривленных линий. Что это? Горные хребты, то есть возвышенности? Или желоба, то есть углубления? Как они образовались? Не результат ли это глобальных тектонических движений, не разломы ли, порожденные расширением и сжатием планеты? Есть ли здесь что-то общее с тектоникой земных плит? Проливает ли это свет на природу других спутников в системе Юпитера? [...]Если бы не эта сеть линий, Европа выглядела бы гладкой, как бильярдный шар. Отсутствие ударных кратеров может объясняться пластичностью поверхностных льдов, приобретаемой благодаря выделяющейся при ударе теплоте»

**История открытия:**

В ночь с 7 на 8 января 1610 года все четыре спутника заметил Галилео Галилей при помощи телескопа-рефрактора с 20-кратным увеличением. Первое наблюдение спутника было совершено в Падуанском университете, однако тогда он не смог отделить Европу от другого юпитерианского спутника — Ио — и принял их за единый объект, о чём сделал запись в своем дневнике, фрагмент которой позже был опубликован в «Stella Gazette»

«В день седьмого января настоящего, тысяча шестьсот десятого года в первый час следующей затем ночи, когда я наблюдал небесные светила при помощи зрительной трубы, то моему взору предстал Юпитер. Так как я уже приготовил превосходный инструмент, то я узнал, что Юпитеру сопутствуют три звездочки, хотя и небольшие, но однако очень яркие... Хотя я и думал, что они принадлежат к числу неподвижных, я всё-таки им удивился, так как они были расположены точно по прямой линии, параллельной эклиптике, и были более блестящими, чем другие такой же величины.»

Тогда ему показалось, что эти светлые пятна отображают звезды, но потом он понял, что видит первые луны в чужом мире.



Имя досталось в честь финикийской дворянки и любовницы Зевса. Она была ребенком короля Тира и позже станет королевой Крита. Наименование предложил Симон Марий, который заявлял, что нашел луны самостоятельно.

Галилео отказался использовать это имя и просто пронумеровал спутники римскими цифрами. Предложение Мария возродилось лишь в 20-м веке и обрело популярность и официальный статус.

### **Космические миссии к Европе и исследования**

Первые фотографии Европы из космоса были сделаны космическими станциями «Пионер-10» (рис.4) и «Пионер-11», которые пролетели около Юпитера в 1973 и 1974 годах соответственно. Качество этих снимков было лучше того, что было доступно телескопам того времени, но всё же они были нечёткими по сравнению с изображениями более поздних миссий.

В марте 1979 года Европу с пролётной траектории изучал «Вояджер-1» (максимальное сближение — 732 тыс. км), а в июле — «Вояджер-2» (190 тыс. км). Космические аппараты передали качественные снимки спутника и провели ряд измерений. Гипотеза о существовании на спутнике жидкого океана появились именно благодаря данным «Вояджеров».

1 июня 1994 года группа исследователей из университета Джона Хопкинса и Научного института Космического телескопа под руководством Дойла Халла обнаружила в атмосфере Европы молекулярный кислород. Это открытие было сделано при помощи космического телескопа «Хаббл» с использованием Годдардовского спектрометра высокого разрешения.

С декабря 1995 по сентябрь 2003 года систему Юпитера изучал автоматический зонд «Галилео». Из 35 витков аппарата вокруг Юпитера 12 были посвящены изучению Европы (максимальное сближение — 201 км). «Галилео» обследовал спутник довольно детально; были обнаружены новые признаки существования океана. В 2003 году «Галилео» был намеренно уничтожен в атмосфере Юпитера,

чтобы в будущем неуправляемый аппарат не упал на Европу и не занёс на спутник земные микроорганизмы.

Космический аппарат «Новые горизонты» в 2007 году, пролетая около Юпитера на пути к Плутону, сделал новые снимки поверхности Европы. (рис.5)

Аппарат «Юнона», запущенный 5 августа 2011 года НАСА, не будет изучать Европу, так как главная цель его миссии — полярные области Юпитера. В то же время, есть вероятность, что во время максимальных сближений Европы с Юноной, получить данные о выбросах водного вещества из-под ледовой коры Европы, которые впервые были обнаружены телескопом Хаббла в 2013 году.

### **Планируемые миссии:**

В последние годы разработано несколько перспективных проектов изучения Европы с помощью космических аппаратов. Цели этих миссий были разнообразные — от исследования химического состава Европы до поиска жизни в её подповерхностном океане. Каждая миссия к Европе должна быть рассчитана на работу в условиях сильной радиации (около 540 бэр излучения в день или 2000 Зв/год — почти в миллион раз больше естественного фона на Земле). За сутки работы в области орбиты Европы аппарат, имеющий алюминиевую защиту толщиной 1 мм, получит дозу радиации примерно в 100 тыс. рад, 4 мм — 30 тыс. рад, 8 мм — 15 тыс. рад, 2 см — 3.5 тыс. рад (для сравнения — в области орбиты Ганимеда дозы в 50-100 раз ниже).

Одно из предложений, выдвинутое в 2001 году, опирается на создание большого атомного «плавящего зонда» («Криобота»), который бы плавил поверхностный лёд, пока не достиг подповерхностного океана. После достижения им воды был бы развёрнут автономный подводный аппарат («Гидробот»), который собрал бы необходимые образцы и отослал бы их обратно на Землю.(рис.6) И «Криобот», и «Гидробот» должны были бы подвергнуться чрезвычайно тщательной стерилизации во избежание обнаружения земных организмов вместо организмов

Европы и предотвращения загрязнения подповерхностного океана. Эта предлагаемая миссия ещё не достигла серьёзного этапа планирования.

7 января 2008 года директор Института космических исследований Л. М. Зелёный заявил, что европейские и российские учёные планируют направить к Юпитеру и Европе экспедицию из нескольких космических аппаратов. Проект предполагает выведение на орбиты Юпитера и Европы двух космических аппаратов, но российские учёные предлагают включить в программу третий, спускаемый аппарат, который совершит посадку на поверхности Европы. Спускаемый аппарат планируется посадить в одном из разломов в многокилометровом слое льда на поверхности планеты. После посадки аппарат расплавит полуметровый слой льда и начнёт поиск простейших форм жизни. Проект получил название «Лаплас — Европа П» и будет включён в программу Европейского космического агентства на период с 2015 по 2025 год. В нём приглашены участвовать российские учёные из Института космических исследований, НПО имени С. А. Лавочкина и других российских организаций космической тематики.

Европейское космическое агентство и Роскосмос после выхода США и Японии из программы «Europa Jupiter System Mission» самостоятельно дорабатывали проекты «Jupiter Ganymede Orbiter» и «Jupiter Europa Lander». Наследником проекта «Jupiter Ganymede Orbiter» стала миссия «Jupiter Icy Moon Explorer» (JUICE), одобренная ЕКА 2 мая 2012 года и назначенная к запуску в 2022 году с прибытием в систему Юпитера в 2030 году. (рис.7) Роскосмос в связи с высокой сложностью проекта по отправке зонда на Европу и некоторыми технологическими ограничениями в 2012 году был вынужден переориентировать миссию «Jupiter Europa Lander» с Европы на Ганимед. Новое название миссии — «Лаплас — П», старт назначен на 2023 год, прибытие в систему Юпитера — на 2029 год. По состоянию на март 2013 года обсуждается интеграция миссий JUICE и «Лаплас — П». В 2016 году из бюджета NASA выделены деньги на разработку собственного проекта Europa Clipper. Всего на программу в течение пяти лет с 2016 года НАСА

собирается выделить 2,48 млрд долларов. Таким образом, данное обстоятельство можно считать официальным стартом подготовки NASA к миссии на Европу.

Планируемый к запуску в 2018 году телескоп «Джеймс Уэбб» (рис.8) проведет инфракрасное исследование состава выбросов гейзеров Европы в целях подтверждения их водной природы.

### **Отменённые миссии:**

Запланированные миссии для изучения Европы (поиска жидкой воды и жизни) зачастую заканчиваются отменой или сокращениями бюджета.

До миссии EJSM одной из планируемых миссий был амбициозный проект Jupiter Icy Moons Orbiter, который первоначально планировался в рамках программы «Прометей» по разработке космического аппарата с ядерной энергоустановкой и ионным двигателем. Этот план был отменён в 2005 году из-за нехватки средств. Перед этим миссия «Europa Orbiter» получила разрешение в 1999 году, но была отменена в 2002 году. Аппарат, включённый в эту миссию, обладал специальным радаром, который бы позволил заглянуть под поверхность спутника.

«Jovian Europa Orbiter» входил в концепцию «Космического видения» («Cosmic Vision») ЕКА с 2007 года. Другим предложенным вариантом был «Ice Clipper», подобный миссии

«Дип Импакт». Он должен был доставить к Европе импактор, который врежется в неё и создаст шлейф обломков пород. Они впоследствии были бы собраны малым космическим аппаратом, пролетающим сквозь этот шлейф.

Совместная (NASA, ESA, JAXA, Роскосмос) космическая программа «Europa Jupiter System Mission» (EJSM), одобренная в феврале 2009 года и намеченная на 2020 год, должна была состоять из четырёх аппаратов: «Jupiter Europa Orbiter» (NASA), «Jupiter Ganymede Orbiter» (ESA), «Jupiter Magnetospheric Orbiter» (JAXA) и «Jupiter Europa Lander». (рис.9) Однако в 2011 году программа была отменена в связи с выходом США и Японии из проекта по финансовым соображениям. После

этого каждая сторона-участник, за исключением Японии, самостоятельно развивала свои проекты.

## 2 Глава: Исследовательская часть

### Выбор траектории полета

Для полета к Европе я выбираю эллиптическую орбиту Гомана (рис.10). В данной космической миссии можно использовать жидкостный ракетный двигатель.

### Расчет характеристических скоростей

Формулы для расчета скоростей представлены в приложении. (1)

Таблица значений для расчета скоростей, также представлена в приложении.

Таблица (1)

$$v_{кр1} = \sqrt{\frac{13,25 \cdot 10^{19}}{1,5 \cdot 10^{11}}} = \sqrt{8,83 \cdot 10^8} \approx 2,9721 \cdot 10^4 \approx 29721 \frac{м}{с}$$

-круговая скорость Земли вокруг Солнца

$$\begin{aligned} v_{эл1} &= \sqrt{13,25 \cdot 10^{19} \cdot \left( \frac{2}{1,5 \cdot 10^{11}} - \frac{2}{1,5 \cdot 10^{11} + 7,97 \cdot 10^{11}} \right)} \\ &= \sqrt{13,25 \cdot 10^{19} \cdot \left( \frac{2}{1,5 \cdot 10^{11}} - \frac{2}{9,47 \cdot 10^{11}} \right)} = \sqrt{\frac{13,25 \cdot 10^{19}}{10^{11}} \cdot (1,33 - 0,211)} \\ &= 10^4 \cdot 3,8505 \approx 38505 \text{ м/с} \end{aligned}$$

-эллиптическая скорость

В случае перехода с орбиты Земли вокруг Солнца на эллиптическую орбиту полета к Юпитеру, переменный радиус R равен радиусу орбиты Земли, а скорость равна разности эллиптической и круговой скоростей

$$\Delta v_1 = 38505 - 29721 \approx 8784 \frac{м}{с}$$

$$v_{кр01} = \sqrt{\frac{39,8 \cdot 10^{13}}{6,77 \cdot 10^6}} = \sqrt{5,8788 \cdot 10^7} = 10^3 \cdot 7,6673 \approx 7667,3 \frac{м}{с}$$

-круговая скорость КА вокруг Земли

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot 7667,3^2 + 8784^2} \approx 13954,69 \frac{м}{с}$$

- в точке В скорость должна быть такой (рис.10) Но так как КА в точке В уже имеет , то

$$\tilde{v}_1 = 13954,69 - 7667,3 = 6287,39$$

Участок KF (рис.10)- это участок перехода с эллипса (3) на орбиту (02) Европы вокруг Юпитера. Подлет к планете по энергозатратам равен отлету от планеты, поэтому мы рассмотрим отлет от планеты Юпитер.

$$v_{кф2} = \sqrt{\frac{13,25 \cdot 10^{19}}{7,97 \cdot 10^{11}}} = 10^4 \cdot 1,2893 \approx 12893 \frac{M}{c}$$

-круговая скорость Юпитера вокруг Солнца

$$v_{3it2} = \sqrt{13,2 \cdot 10^9 \cdot \left( \frac{2}{7,97 \cdot 10^{11}} - \frac{2}{7,97 \cdot 10^{11} + 1,5 \cdot 10^{11}} \right)} = \sqrt{\frac{13,2 \cdot 10^{19}}{10^{11}} \cdot \left( \frac{2}{7,97} - \frac{2}{7,97 + 1,5} \right)}$$

$$= 10^4 \cdot \sqrt{(0,25 - 0,211) \cdot 13,25} \approx 0,7188 \cdot 10^4 = 7188 \frac{M}{c}$$

Переходная скорость с эллипса на орбиту Юпитера вокруг Солнца равна разности круговой скорости Юпитера и эллиптической скорости.

$$\Delta v_2 \approx 5705 \frac{M}{c}$$

-скорость перехода с орбиты(2) на орбиту(3) (рис.10)

$$v_{кф02} = \sqrt{\frac{12,66 \cdot 10^{16}}{6,709 \cdot 10^8}} = 10^4 \cdot 1,3737 \approx 13736,8 \frac{M}{c}$$

-круговая скорость вокруг Юпитера

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot 13736,8^2 + 5707^2} \approx 20247 \frac{M}{c}$$

-скорость необходимая для выхода из сферы притяжения Юпитера и перехода на эллипс (3) (рис.10)

Но так как мы уже имеем круговую скорость, то в точке К (рис.10) нужно дать скорость

$$\tilde{v}_2 \approx 20247 \cdot 13736,8 \approx 6510,3 \frac{M}{c}$$

$$v_{кф03} = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^{12}}{1,96 \cdot 10^6}} = 10^3 \cdot 1,2777 \approx 1277,7 \frac{M}{c}$$

-круговая скорость КА вокруг Европы

$$v_3 = \sqrt{2 \cdot 1277,7^2 + 6510,3^2} \approx 6756,4 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

-скорость необходимая для выхода из сферы притяжения Европы и перехода на эллипс (3) (рис.10)

Но так как мы уже имеем круговую скорость, то в точке N нужно дать скорость

$$\tilde{v}_3 = 6756,4 - 1277,7 = 5478,7 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Учтем дополнительные затраты энергии на управление и ориентацию КА, а также на некомпланарность орбит введением поправочного коэффициента  $K = 1.03$ . Тогда характеристические скорости для первой и второй ступеней КА будут равны

$$v_{k_1} = 1,03 \cdot 6287,39 \approx 6476,01 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$v_{k_2} = 1,03 \cdot 5478,7 \approx 5643 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

### Вывод

Мы рассмотрели в работе основные характеристики спутника Юпитера – Европа, узнали историю ее открытия.

Изучили космические миссии, целью которых являлась и является Европа.

В исследовательской части проведены расчеты характеристических скоростей и выбор траектории полета на Европу.

### Литература

- [1] <http://galspace.spb.ru/index463.html>
- [2] [http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/rw/natsat/jup\\_sat/europe/europe.htm#surface](http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/rw/natsat/jup_sat/europe/europe.htm#surface)
- [3] <http://kosmoved.ru/evropa.shtml>
- [4] <http://v-kosmose.com/evropa-sputnik-yupitera/>
- [5] [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B0\\_\(%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B0_(%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA))

Приложение

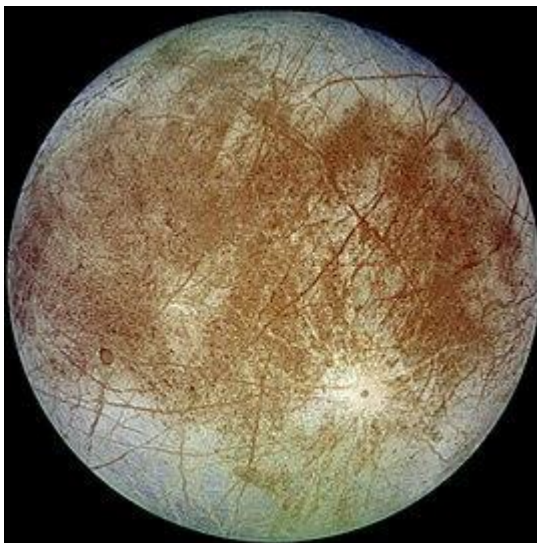


Рис.1 Европа в натуральных цветах (снимок «Галилео»)

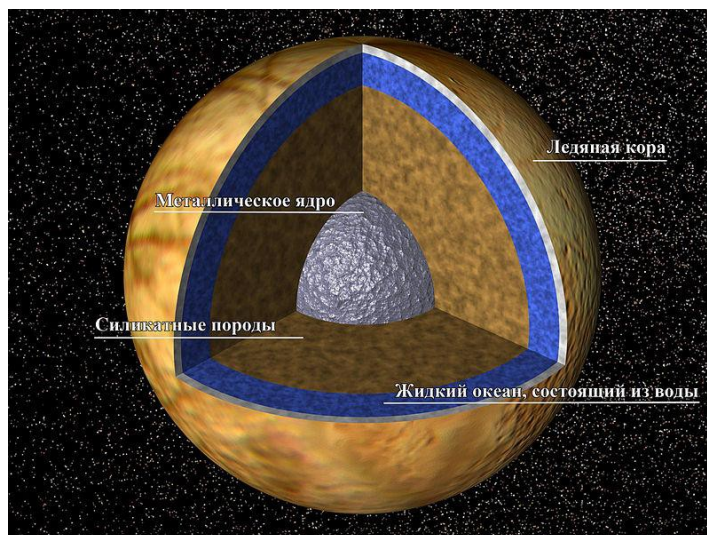


Рис.2 Строение Европы

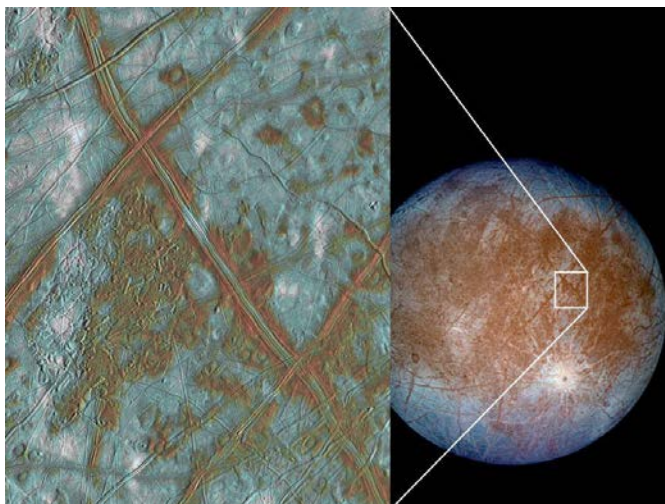


Рис.3 Линии и пятна на Европе (снимок «Галилео»)





Рис.4 Изображение Европы, полученное «Пионером-10» в 1973 году



Рис.5 Восход Европы над Юпитером. Снимок аппарата «Новые горизонты»

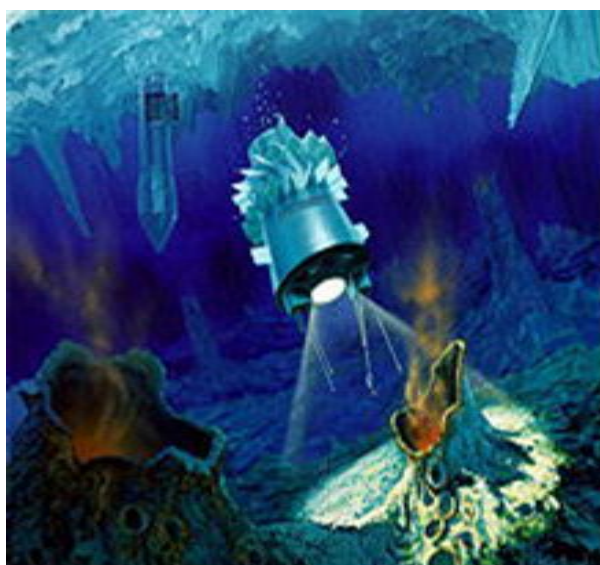


Рис.6 Роботы «Криобот» и «Гидробот» в океане Европы (представление художника)

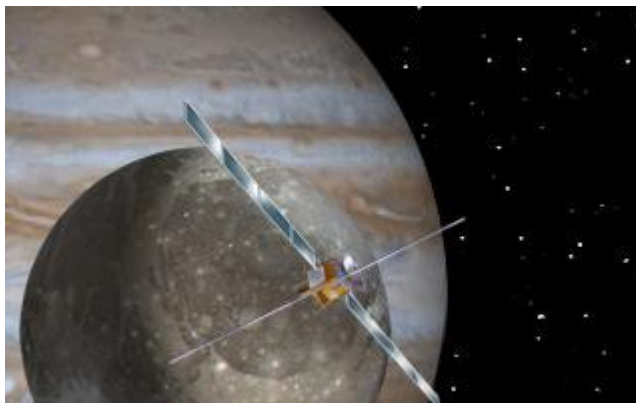


Рис.7 JUICE (рисунок художника)

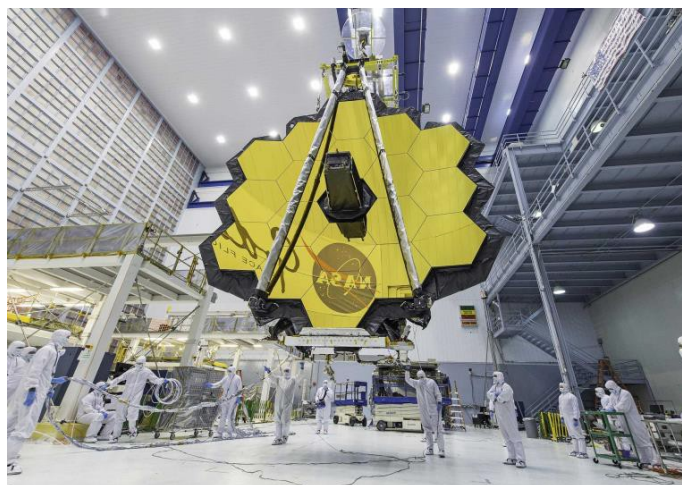


Рис.8 Фотография телескопа «Джеймс Уэбб»

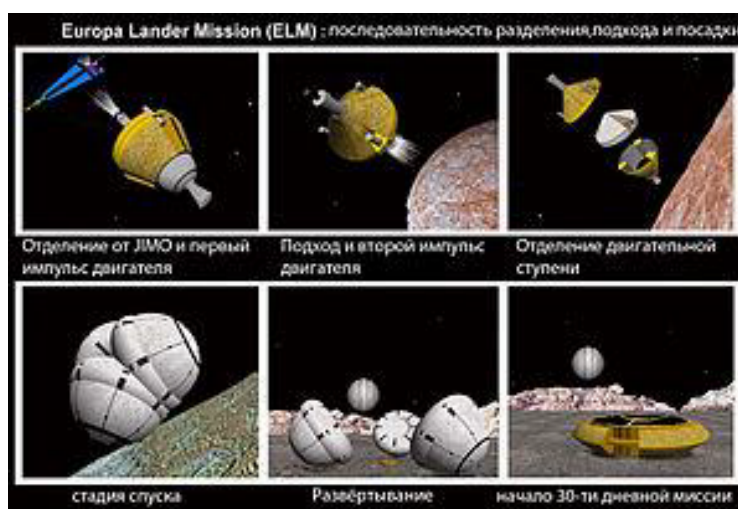


Рис.9 Концепция миссии НАСА 2005 года «Europa Lander Mission»

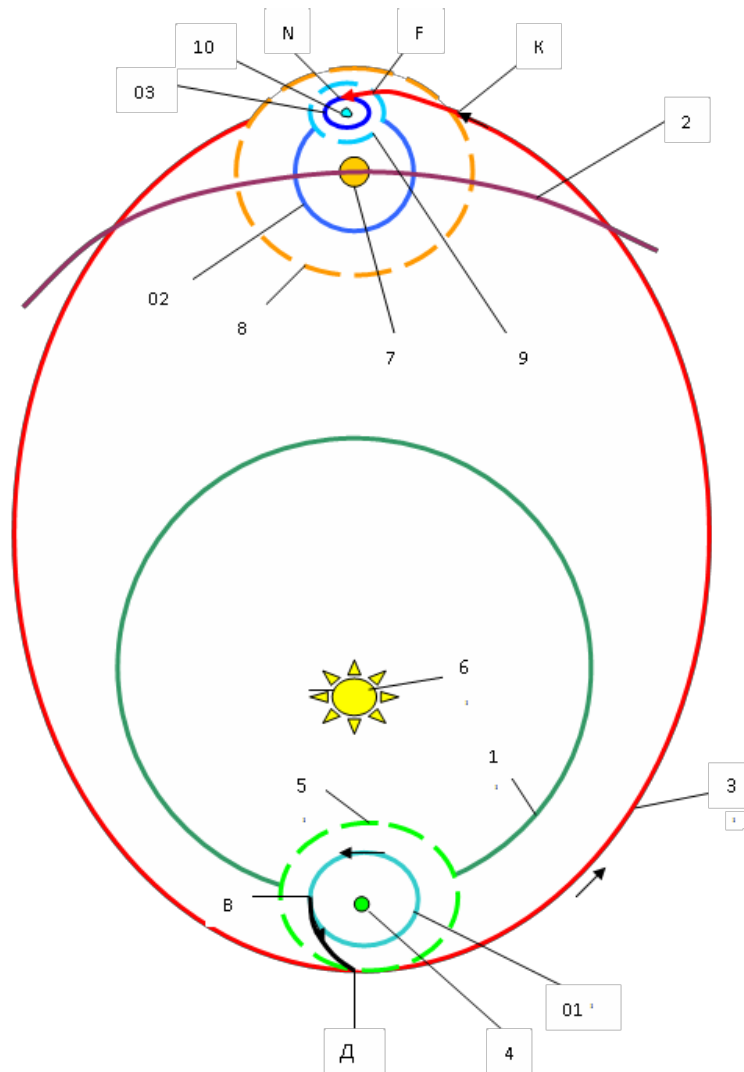


Рис.10 - Траектория полёта КА на Европу.

1. Круговая орбита движения Земли вокруг Солнца. 2 – Круговая орбита движения Юпитера вокруг Солнца. 3 – Гомановская траектория перелета. 4 – Земля. 5 - Сфера притяжения Земли. 6 - Солнце. 7 - Юпитер. 8 - Сфера притяжения Юпитера. 9 - Сфера притяжения Европы. 10 - Европа. 01 – Круговая орбита вокруг Земли. 02 – Круговая орбита движения Европы вокруг Юпитера. 03 – Круговая орбита вокруг Европы.

Формулы для расчета характеристических скоростей. (1)

$$\Delta V_1 = V_{\text{эл1}} - V_{\text{кр1}} = \sqrt{\mu_C \left( \frac{2}{R_1} - \frac{2}{R_2 + R_1} \right)} - \sqrt{\frac{\mu_C}{R_1}} = V_{\text{кр1}} \left( \sqrt{\frac{2R_2}{R_2 + R_1}} - 1 \right),$$

$$V_{\text{кр1}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{Солнца}}}{R_1}}.$$

$$\Delta V_2 = V_{\text{кр2}} - V_{\text{эл2}} = \sqrt{\frac{\mu_C}{R_2}} - \sqrt{\mu_C \left( \frac{2}{R_2} - \frac{2}{R_2 + R_1} \right)}$$

$$\Delta V_2 = \sqrt{\frac{\mu_C}{R_2}} - \sqrt{\mu_C \left( \frac{2}{R_2} - \frac{2}{R_2 + R_1} \right)} = V_{\text{кр2}} \left( 1 - \sqrt{\frac{2R_1}{R_2 + R_1}} \right), \quad V_{\text{кр2}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{Солнца}}}{R_2}}$$

$$V_{\text{кр01}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{Земли}}}{R_{01}}}$$

$$V_1^2 = 2V_{\text{кр01}}^2 + \Delta V_1^2, \quad V_1 = \sqrt{2V_{\text{кр01}}^2 + \Delta V_1^2}$$

$$\tilde{V}_1 = V_1 - V_{\text{кр01}} = \sqrt{2V_{\text{кр01}}^2 + \Delta V_1^2} - V_{\text{кр01}}$$

$$V_{\text{кр02}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{Юпитера}}}{R_{02}}}$$

$$V_2^2 = 2V_{\text{кр02}}^2 + \Delta V_2^2, \quad V_2 = \sqrt{2V_{\text{кр02}}^2 + \Delta V_2^2}$$

$$V_{\text{кр03}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{Европы}}}{R_{03}}}$$

$$V_3^2 = 2V_{\text{кр03}}^2 + \tilde{V}_2^2, \quad V_3 = \sqrt{2V_{\text{кр03}}^2 + \tilde{V}_2^2}$$

$$\tilde{V}_3 = V_3 - V_{\text{кр03}} = \sqrt{2V_{\text{кр03}}^2 + \tilde{V}_2^2} - V_{\text{кр03}}$$

$$V_{K1} = 1.03 \cdot \tilde{V}_1, \quad V_{K2} = 1.03 \cdot \tilde{V}_3$$

Таблица (1)

$R_1$	Радиус орбиты Земли вокруг Солнца	$1,5 \cdot 10^{11}$
$R_2$	Радиус орбиты Юпитера вокруг Солнца	$7,97 \cdot 10^{11}$
$R_{01}$	Радиус базовой орбиты вокруг Земли $R_{01} = R_{Земли} + H_{01}$ Пусть $H_{01} = H_{03} = 400 \text{ км} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ м}$	$6,77 \cdot 10^6$
$R_{02}$	Радиус орбиты Европы вокруг Юпитера	$6,709 \cdot 10^8$
$R_{03}$	Радиус базовой орбиты вокруг Европы $R_{03} = R_{Европы} + H_{03}$	$1,96 \cdot 10^6$
$\mu_{Солнца}$	Гравитационная постоянная Солнца	$13,25 \cdot 10^{19}$
$\mu_{Земли}$	Гравитационная постоянная Земли	$39,8 \cdot 10^{13}$
$\mu_{Юпитера}$	Гравитационная постоянная Юпитера	$12,66 \cdot 10^{16}$
$\mu_{Европы}$	Гравитационная постоянная Европы	$3,2 \cdot 10^{12}$
$k$	Поправочный коэффициент	1,03

## **СЕКЦИЯ №2. Аэрокосмические системы**

### **Транспортная система снабжения лунной базы**

*Васильев Федор Андреевич,*

*г. Ступино, МБОУ СОШ Школа № 1, 11 класс*

*Научный руководитель: Попов Александр Сергеевич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, старший преподаватель, кафедра СМ-2*

#### **Введение**

В последние годы, после долгого перерыва, произошло возрождение интереса к программам по освоению и колонизации Луны. В частности, было объявлено о запуске совместного проекта России и США по созданию лунной орбитальной станции. Возросшее внимание к освоению естественного спутника Земли обусловлено его близостью и относительной изученностью. Также исследования Луны с помощью беспилотных зондов и телескопов показали наличие на ней ценных полезных ископаемых и водяного льда. Кроме того, в лунном грунте, реголите, были обнаружены запасы редкого на Земле [изотопа гелия-3](#), который востребован в медицине, а также может быть использован в качестве топлива для перспективных [термоядерных реакторов](#) [1]. Для учёных лунная база представляет интерес с точки зрения проведения уникальных экспериментов по планетологии, космической биологии, астрономии и многим другим дисциплинам. На Луне царит полный вакуум, который вкупе с наличием дешёвой солнечной энергии открывает новые возможности для развития [электроники](#), [металлургии](#), [металлообработки](#) и [материаловедения](#). Также представляет интерес выведение на Луну вредных и опасных производств [2].

#### **Существующие лунные космические корабли**

##### **«Аполлон»**

Космический корабль «Аполлон» (рис. 1) — трёхместный аппарат, разработанный НАСА для полётов на Луну. Первый пилотируемый полёт был совершён в 1967 году. Последний - в 1975 году.

Аппарат выводился на орбиту с помощью сверхтяжёлой ракеты-носителя (далее по тексту – РН)

«Сатурн – 5». Космический корабль состоял из командного и служебного отсеков, лунного модуля и системы аварийного спасения.

Командный отсек является центром управления полётом. Все члены экипажа в течение полёта находятся в нём, за исключением этапа высадки на Луну. Командный отсек, в котором экипаж возвращается на Землю — всё, что остаётся от системы [«Сатурн-5»](#) — «Аполлон» после полёта.

Служебный отсек несёт основную двигательную установку и системы обеспечения корабля

«Аполлон». Он имеет форму цилиндра длиной 3943 мм и диаметром 3914 мм. С учётом длины сопла [маршевого ЖРД](#), которое выходит наружу из корпуса, общая длина служебного отсека - 7916 мм. От момента старта до входа в атмосферу служебный отсек жёстко соединён с командным отсеком, образуя основной блок корабля «Аполлон». Перед входом в атмосферу командный отсек отделяется от служебного отсека. В нём также размещены [маршевая двигательная установка](#), ЖРД системы реактивного управления, топливные баки и агрегаты двигательных установок и энергетическая установка на водородно-кислородных топливных элементах.

Служебный отсек обеспечивает все манёвры корабля на траектории полёта к Луне, коррекцию траектории, выход на орбиту Луны, переход с орбиты Луны на траекторию полёта к Земле и коррекцию траектории возвращения [3].

## ЛЗ

ЛЗ — разработанный в [КБ Королёва](#) двухместный экспедиционный [космический корабль советской лунно-посадочной пилотируемой программы Н1-ЛЗ](#), реализовывавшейся в конце [1960-х](#) — начале [1970-х годов](#). Ввиду отставания программы и проигрыша [СССР](#) в [«лунной гонке»](#), программа Н1-ЛЗ была остановлена в [1974 году](#) на последнем этапе подготовки.

Запуск корабля ЛЗ был предусмотрен на специально разработанной сверхтяжёлой ракете-носителе [Н-1](#). Помимо корабля ЛЗ, 43-метровый 95-тонный отлётный лунный ракетный комплекс включал также две последние ступени носителя Н-1 — блоки «Г» (разгонный к Луне) и «Д» (доразгонный к Луне, переводящий на лунную орбиту и тормозящий [ЛК](#) при посадке).

Корабль ЛЗ состоял из 9,85-тонного лунного корабля Союз -7К-ЛОК (рис. 1) и 5,56-тонного посадочного модуля. После старта и перехода корабля ЛЗ на лунную орбиту он разделялся на корабли-модули, из которых ЛОК с одним космонавтом оставался на лунной орбите, а ЛК с другим космонавтом совершал посадку с последующим взлётом, стыковкой и расстыковкой с ЛОК, который затем отправлялся назад к Земле.

Как и стандартный «Союз» ЛОК имел три отсека: спускаемый аппарат, бытовой и приборно-агрегатный отсеки. Выработка электроэнергии предусматривалась с помощью химических топливных элементов [4].

### **«Орион»**

MPCV (Multipurpose Crew Vehicle) «Орион» (рис. 2) - разрабатываемый на данный момент космический корабль, предназначенный для полётов к Луне, Марсу и к астероидам с экипажем до 4-х человек. При разработке «Ориона» активно используется опыт создания космического корабля

### **«Аполлон».**

Корабль будет выводиться на орбиту разрабатываемым на данный момент тяжёлой РН SLS (Space Launch System). В первом орбитальном полёте эту роль выполнил РН Delta IV Heavy.

Форма жилого модуля «Ориона» представляет из себя усечённый конус с максимальным диаметром 5.2 метра и высотой 3 метра. Считается, что подобная форма является наиболее безопасной и надёжной при входе в плотные слои атмосферы на большой скорости. Объём жилой кабины корабля – 9 м<sup>3</sup>. Модуль обладает массой 8900 килограмм. Срок её активного существования – 210 дней; автономного - 21 день. Предполагается его многократное использование. Посадка



будет осуществляться в море посредством специального буйка и парашютной трёхкупольной системы.

В первых орбитальных полётах корабля в качестве служебного модуля будет использована модифицированная версия транспортного корабля Европейского Космического Агентства [ATV](#) (Automated Transfer Vehicle), который называется ESM (European Service Module). Служебный модуль обладает длиной в 2720 мм и диаметром 4500 мм. ESM будет оснащён главным двигателем [AJ-10](#) с тягой в 26 кН и удельным импульсом в 316 секунд, а также восемью двигателями [R-4D](#) общей тягой 490 Н и удельным импульсом в 312 секунд. Энергия в модуле будет вырабатываться с помощью солнечных батарей [5].

#### «Федерация»

«Федерация» - космический корабль (рис. 3), разрабатываемый ОАО «Энергия» для замены кораблей типа «Союз» и «Прогресс». Целью создания корабля называется доставка грузов и людей на орбитальные станции, исследование Луны и посадка на неё.

Космический корабль будет выводиться на орбиту Земли с помощью РН «Союз – 5». Для полётов на Луну будет использоваться разрабатываемая на данный момент в России сверхтяжёлая РН.

Для «Федерации» принято модульное построение базового корабля в виде функционально законченных элементов — возвращаемого аппарата и двигательного отсека. Корабль будет бескрылым, с многоразовой возвращаемой частью, имеющую форму усечённого конуса, и одноразовым цилиндрическим агрегатно-двигательным отсеком.

Максимальный экипаж нового корабля составит 6 человек (при полётах к Луне — до 4 человек), масса доставляемого на орбиту груза — 500 кг, масса возвращаемого на Землю груза — 500 кг и более, при меньшем экипаже. Длина корабля — 6,1 м, максимальный диаметр корпуса — 4,4 м, масса при полётах на окололунную орбиту — 16,5 т, масса возвращаемой части — 4,23 т (включая

системы мягкой посадки — 7,77 т), Объём герметичного отсека — 18 м<sup>3</sup>. «Федерация» будет способна находится до 30 суток в автономном полёте, либо же 1 год в составе орбитальной станции [6].

### **Выводы**

Пилотируемые полёты на Луну проводились с 1968 по 1972 годы. Вследствие несовершенства технологий того времени, спешки, обусловленной «космической гонкой», а также конструкционных особенностей представленных космических кораблей, каждый полёт на Луну обходился весьма дорого, что не позволило провести на Луне достаточно обширную программу исследований и привело к ограниченному количеству экспедиций и быстрому сворачиванию программ.

Разрабатываемые на данный момент лунные космические корабли частично имеют решения проблем, имеющих у более ранних, в частности в их конструкции предусмотрено многоразовое использование отдельных конструкционных элементов, а также бóльшая грузоподъёмность. Однако побольшей части концепции этих аппаратов повторяют космические корабли 1-го поколения 70-х годов 20-го века.

Новизна исследуемой темы состоит в том, что для обеспечения в полном объеме регулярного снабжения потенциальной лунной колонии, либо же космической станции необходимы новые решения в конструкции космических кораблей, которые позволят производить регулярные и более дешёвые полёты на Луну, так как создаваемые на данный момент корабли по-прежнему предусмотрены для одиночных миссий.

В рамках поставленной цели предлагается решение следующих задач:

- рассмотрение концепции транспортной системы, которая позволяет осуществлять регулярные грузовые рейсы к Луне
- расчёт массы корабля и груза, который он будет способен доставить на орбиту и поверхность Луны, исходя из массовых характеристик кораблей типа «Аполлон», «Орион» и «Федерация».

- общий вывод о возможности создания и эксплуатации подобной транспортной системы в условиях современного освоения космоса

### **Исследуемая концепция**

В работе рассматривается транспортная система, состоящая из трёх основных компонентов [7]:

1. Средство доставки грузов на низкую опорную орбиту (НОО).
2. Орбитальный космический корабль для полётов с Земли на Луну.
3. Лунный посадочный модуль.

**Средство доставки грузов на орбиту.** В этой роли может выступать РН или аэрокосмическая система (далее по тексту – АКС), однако наиболее предпочтительным представляется именно второй вариант благодаря его основным преимуществам:

- Более широкий спектр наклонов орбит, доступный АКС с горизонтальным взлётом. Это позволит сократить время ожидания для запуска АКС к грузовому космическому кораблю.
- Горизонтальный взлёт и базирование АКС на аэродромах упростит их эксплуатацию и, соответственно, обеспечит возможность более частых запусков и облегчит проведение регулярных рейсов грузового космического корабля.
- Доставка грузов на орбиту Земли с помощью АКС, теоретически обеспечивающая более дешёвый запуск по сравнению с РН [8].

Подводя итог вышесказанному, хочется отметить, что несмотря на целый ряд преимуществ, имеющих у АКС перед РН, обслуживание грузового космического корабля (далее по тексту – ГКК) с помощью последних по-прежнему остаётся возможным вследствие их большей распространённости.

**Грузовой космический корабль.** Согласно концепции, ГКК будет собираться на орбите Земли из отдельных модулей, которые будут доставляться туда с помощью АКС или РН. Космический корабль не предназначен для возвращения на Землю и будет осуществлять регулярные перевозки грузов с Земли на Луну и

обратно. Его снабжением, дозаправкой, а также сменой экипажа будет заниматься АКС или РН.

Потенциально, благодаря своей модульной конструкции, космический корабль может выполнять роль платформы для изучения и отработки новых технологий в сфере освоения космоса. В частности, он может быть использован для испытания новейших типов космических двигателей. Это могло бы выглядеть следующим образом: ГКК отстыковывается от основного двигательного модуля, оставив его на орбите Земли, после чего к нему будет пристыкован экспериментальный двигательный модуль, который будет использоваться в этом полёте. После его завершения экспериментальный модуль доставляется на землю, а ГКК вновь пристыковывается к основному двигательному модулю

**Лунный посадочный модуль** (далее по тексту – ЛПМ) может выполнять роль либо пилотируемого средства для доставки людей с орбиты Луны на поверхность и обратно, либо грузового для снабжения потенциальной наземной базы или доставки грузов с поверхности Луны на Землю. В любом случае для большей многозадачности системы следует возвращать оставшиеся после полёта конструкционные элементы на Землю для повторного использования. Принцип подобной доставки будет заключаться в выполнении ГКК следующего манёвра:

- Капсула с грузом, оставшаяся после полёта ЛПМ стыкуется с ГКК на орбите Луны
- ГКК выходит из сферы влияния Луны и выходит на эллиптическую орбиту вокруг Земли
- ГКК, будучи в апогее, с помощью импульса двигателей опускает перигей до высоты плотных слоёв атмосферы Земли и отпускает грузовую капсулу, после чего вновь запускает двигатели для того, чтобы уже поднять перигей над атмосферой Земли.

После выполнения этого манёвра капсула с грузом тормозится в атмосфере Земли и приземляется на поверхность, а ГКК при этом остается в космосе.

Грузами, которые ГКК будет способен доставлять с Луны на Землю могут быть полезные ископаемые, либо материалы научных экспериментов.

### Расчёты

#### Расчёт массы лунного посадочного модуля Расчёт первой космической скорости

Пусть масса полезной нагрузки, которую необходимо доставить на орбиту Луны с поверхности –  $M_2 = 2000$  кг. Допустим её необходимо доставить на круговую орбиту в 50 километров над поверхностью Луны. Первая космическая скорость для этой высоты вычисляется с помощью следующей формулы [7]:

$$V_k = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} = 1656 \text{ м/с}$$

Где  $G$  – гравитационная постоянная, принятая за  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}$

$R$  – Радиус Луны, принятый за 17 37 1000 метров

$M$  – Масса Луны, принятая за  $7.35 \cdot 10^{22}$  килограмм

$h = 50\ 000$  м – высота орбиту, на которую необходимо доставить груз

#### Расчёт гравитационных потерь

Рассчитаем в первом приближении массу взлётной ступени лунного модуля. Для этого воспользуемся формулой Циолковского [7, 9]:

$$V = I \ln\left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

Преобразовав формулу получаем следующее выражение:

$$M_1 = e^{v/I} \cdot M_2 \quad (1)$$

$$M_1 = 3442 \text{ кг}$$

Где  $I = 3050$  м/с

Допустим, что на взлётной ступени установлен двигатель с максимальной тягой в  $F = 1.2 \cdot 10^4$  Н, а также предположим, что подъём корабля осуществляется в 3 этапа: до высоты  $h_1 = 25\ 000$  метров под углом 60 градусов к горизонту, до высоты  $h_2 = 40\ 000$  метров под углом в 30 градусов и, соответственно, до  $h = 50\ 000$  метров.

Гравитационные потери для последнего этапа учитываться не будут, так как во время него угол наклона корабля к горизонту будет пренебрежимо мал.

В качестве допущения можем считать, что ускорение корабля в момент взлёта будет оставаться неизменным. Этого можно достичь, если во время полёта постепенно уменьшать тягу двигателя. Также будем считать, что ускорение свободного падения на Луне также остаётся неизменным.

С учётом данных выше значений рассчитаем время для каждого этапа подъёма на орбиту

**1-ый этап**

Вертикальное ускорение  $a_B = (F \cdot \sin(60) - M_1 g_L) / M_1 = 1.4 \text{ м/с}^2$

Где  $g_L = 1.62 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения на Луне. В качестве допущения на этом этапе вычислений считается, что оно неизменно.

Тогда время подъёма  $T = \sqrt{\frac{2 \cdot h_1}{a_B}} = 189$  секунд

Набранная в этом этапе вертикальная скорость  $V_B = a_B \cdot T = 265 \text{ м/с}$

**2-ой этап**

С учётом допущения, обозначенного выше, найдём вертикальное ускорение на этом этапе  $a_{B2} = (F \cdot \sin(30) - M_1 g_L) / M_1 = 0.12 \text{ м/с}^2$

Тогда время подъёма  $T_1$  находится из решения следующего квадратного уравнения:

$h_2 - h_1 = V_B \cdot T_1 + (a_{B2} \cdot T_1^2) / 2 \quad T_1 = 58$  секунд

Тогда рассчитаем общие гравитационные потери с учётом параметров, найденных выше [7]:

$$\Delta V_g = \int_0^{189} G \frac{M}{(R + \frac{1.4 \cdot t}{2})^2} \cdot \sin(60) dt + \int_0^{58} G \frac{M}{(R + 25\,000 + 265t + \frac{0.12 \cdot t}{2})^2} \cdot \sin(30) dt$$

Где  $G$  – гравитационная постоянная  $M$  – масса Луны =  $7.35 \cdot 10^{22}$  кг  $R$  – радиус Луны =  $1.7371 \cdot 10^6$  м

Вынеся константы получим:

$$\Delta V_g = GM \sin(60) \int_0^{189} \frac{dt}{(0.7t^2 + R)^{3/2}} + GM \sin(30) \int_0^{58} \frac{dt}{(R + 25000 + 265t + 0.06t^2)^{3/2}}$$

Для дальнейшего вычисления применяется следующая рекуррентная формула, в конечном итоге приводящая имеющиеся выражения к табличному интегралу  $\int \frac{dt}{t^2 + a^2}$  [10]

$$I_n = \frac{1}{2a^2(n-1)} * \frac{t}{(t^2 + a^2)^{n-1}} + \frac{1}{a^2} * \frac{2n-3}{2n-2} * I_{n-1} \quad (2)$$

Второй интеграл приводится к виду  $\int \frac{dt}{(z^2 + a^2)^{3/2}}$  с помощью нескольких подстановок, указанных ниже, после чего также решается с помощью формулы (2):

$$0.06t^2 = x^2; dt \frac{\sqrt{6}}{10} = dx; z = x + \frac{265}{2}; a^2 = \frac{6878175}{4}; dx = dz$$

В результате применения формулы (2) мы получаем следующие неопределённые интегралы:

$$F_1 = \frac{\operatorname{atan}\left(\frac{7t}{10\sqrt{1215970}}\right)}{3474200\sqrt{1215970}} + \frac{t}{3474200(1737100 + 0.7t^2)}$$

$$F_2 = \frac{6 \operatorname{atan}\left(\frac{13250 + 6t}{50\sqrt{352679}}\right)}{25 \cdot 352679^{2/3}} + \frac{13250 + 6t}{1058037t^2 + 4672996750t + 31072783295000}$$

Далее, воспользовавшись формулой Ньютона – Лейбница, находим общие гравитационные потери [10]

$$\Delta V_g = GM \sin(60^\circ)(F_1(189.6) - F_1(0)) + GM \sin(30^\circ)(F_2(56.2) - F_2(0)) = 309 \text{ м/с}$$

### Расчёт общей массы взлётной ступени

С учётом гравитационных потерь скорость, которую надо набрать  $dV = \Delta V_g + V_k = 1965 \text{ м/с}$

Тогда для расчётов взлётной ступени будет использовать будем использовать следующие параметры:

Удельный импульс двигателя, установленного на лунном модуле:  $I = 3050 \text{ м/с}$   
Коэффициент, показывающий отношение массы топлива к массе конструкции  $k = 9$

Преобразовав формулу (1) получаем следующее выражение, для вычисления массы топлива при взлёте:

$$M_T = \frac{M_2 \cdot k \cdot (e^{\frac{v}{k}} - 1)}{k + 1 - e^{\frac{v}{k}}} = 2011 \text{ кг} \quad (3)$$

Соответственно во втором приближении масса взлётной ступени лунного модуля  $M_1 = M_2 + M_T + M_T / k = 4234 \text{ кг}$

Предположив, что при посадке корабль будет следовать той же траектории, что и при взлёте, а также вновь воспользовавшись формулой (3) находим полную массу посадочного модуля  $M_3$

$$M_3 = M_1 + M_{T1} + M_{T1}/k = 9012 \text{ кг}$$

Эту массу также следует считать минимальной полезной нагрузкой, которую будет способна выводить на орбиту АКС либо РН.

### **Расчёт массы грузового космического корабля**

Рассчитаем количество топлива, необходимое для полёта от Луны до Земли. Этот манёвр можно разделить на следующие основные этапы:

- 1) Выход из сферы влияния Луны
- 2) Выход на эллиптическую орбиту вокруг Земли
- 3) Манёвр сброса конструктивных элементов ЛПМ, описанный выше
- 4) Торможение в перицентре орбиты для выхода на круговую орбиту вокруг Земли

Проведём расчёты для каждого из этапов:

1. Для выхода из сферы влияния Луны ГКК необходимо сообщить вторую космическую скорость, которая вычисляется по следующей формуле [7, 9]:

$$V_{2k} = V_k \sqrt{2} \cong 2342 \text{ м/с}$$

Тогда импульс, который необходимо сообщить космическому кораблю на этом этапе:

$$dV_1 = V_{2k} - V_k = 686 \text{ м/с}$$



2. Скорость во время выхода из сферы влияния Луны рассчитывается по следующей формуле [11]:

$$V_1 = \sqrt{\mu_L \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} = 385 \text{ м/с}$$

Где  $\mu_L$  – гравитационный параметр Луны, принятый за  $4903 \text{ км}^3\text{с}^{-2}$

$r$  – радиус сферы влияния Луны, принятый за  $6.6 \cdot 10^7$  метров

$a = \infty$ , т.к космический корабль будет двигаться по параболической траектории, следовательно у него будет бесконечно удалённый апоцентр.

Сразу после выхода из сферы влияния Луны нам необходимо, чтобы орбитальный космический корабль оказался на эллиптической траектории вокруг Земли с апогеем, равным расстоянию от Земли до Луны, и перигеем на высоте 200 километров от поверхности. Рассчитаем скорость в апогее такой орбиты [11]:

$$V_2 = \sqrt{\frac{\mu}{r_a}} \sqrt{\frac{2r_p}{r_p + r_a}} = 188.9 \text{ м/с (4)}$$

Где  $r_a$  – высота апогея, принятая за среднее расстояние от Земли до Луны =  $3.9 \cdot 10^8$  метров  $r_p$  – высота перигея, принятая за  $6.931 \cdot 10^6$  метров

$\mu$  – гравитационный параметр Земли, принятый за  $398\,600 \text{ км}^3\text{с}^{-2}$

Тогда рассчитаем второй импульс, который нужно придать ГКК, чтобы он оказался на нужной орбите:

$$dV_2 = (V_L - V_1) - V_2 = 448.1 \text{ м/с}$$

Где  $V_L$  – скорость движения Луны по орбите вокруг Земли, принятая за 1022 м/с

3. Рассмотрим эллиптическую орбиту вокруг Земли с высотой апогея в  $r_a$  и высотой перигея в  $r' = 6.397 \cdot 10^6$  метров (26 000 метров над поверхностью планеты).

Найдём скорость в апоцентре такой орбиты с помощью формулы (4)

$$V' = \sqrt{\frac{\mu}{r_a}} \sqrt{\frac{2r_p}{r_p' + r_a}} = 181.62 \text{ м/с}$$

Тогда импульс, который нам необходимо придать ГКК для совершения всего манёвра:  $dV' = 2 \cdot (V_2 - V') = 14.56 \text{ м/с}$

4. Импульс для торможения в перицентре  $dV_3 = V_{\Pi} - V_{кр}$

$V_{кр}$  – первая космическая скорость для круговой орбиты высотой 200 километров над поверхностью Земли

Где  $V_{\Pi}$  – скорость в перицентре орбиты, описанной в предыдущих пунктах. Она рассчитывается с помощью следующей формулы [11]:

$$V_{\Pi} = \sqrt{\frac{\mu}{r_{\Pi}}} \sqrt{\frac{2r_a}{r_a + r_{\Pi}}} = 10630.7 \text{ м/с}$$

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{\mu}{r_{\Pi}}} = 7576.4 \text{ м/с}$$

$$dV_3 = V_{\Pi} - V_{кр} = 3054.3 \text{ м/с}$$

Рассчитаем общий импульс при полёте от Луны до Земли:

$$dV_4' = dV_1 + dV_2 + dV' + dV_3 = 4202.96 \text{ м/с}$$

При полёте от Земли к Луне сброса груза не будет, соответственно общие затраты скорости будут следующие:

$$dV_4 = dV_1 + dV_2 + dV_3 = 4188.4 \text{ м/с}$$

Рассчитаем примерную массу конструкции космического корабля, включающую в себя жилой модуль массой 4000 кг. Воспользуемся формулой (3). Согласно ей масса конструкции –  $M_t / k$ . При расчётах учитывается, что на корабле возможна установка двух типов двигателей: ядерных ракетных двигателей (далее по тексту – ЯРД) или химических ракетных двигателей (далее по тексту – ХРД).

Для расчёта будут использоваться следующие величины:

$$I_1 = 8330 \text{ м/с удельный импульс для ЯРД [12]}$$

$$I_2 = 4194.4 \text{ м/с удельный импульс для ХРД [1]}$$

$$k_1 = 7 - \text{число Циолковского для конструкции ГКК}$$

При использовании ЯРД примерная масса конструкции  $M_{k1} = 6090 \text{ кг}$  При использовании ХРД -  $M_{k2} = 12\,884 \text{ кг}$

Рассчитаем итоговую массу ГКК. Воспользуемся формулой (1), а также величинами, использованными выше.

При расчётах получаются следующие величины:

	ХРД	ЯРД
Перелёт с орбиты Луны на Землю	37 719 кг из которых 2000 кг – масса груза 12 884 кг – масса конструкции 22835 кг – масса топлива	12 380 кг из которых 2000 кг – масса груза 6090 кг – масса конструкции 4290 кг – масса топлива
Перелёт с орбиты Земли на Луну	121 416 кг Из которых 9011 кг – масса груза 12 884 кг – масса конструкции 99 521 кг – масса топлива	32 060 кг Из которых 9011 кг – масса груза 6090 кг – масса конструкции 16 959 кг – масса топлива

### Анализ результатов вычислений

	ЯРД	ХРД
Количество вылетов АКС/РН для постройки ГКК	- 4 вылета всего - 2 вылета для доставки модулей ГКК на орбиту - 2 вылета для полной заправки грузового космического корабля при минимально возможной полезной нагрузке	- 14 вылетов всего - 3 вылета для доставки модулей ГКК на орбиту - 11 вылетов для полной заправки грузового космического корабля при минимально возможной полезной нагрузке

По результатам вычислений становится очевидно, что варианты космического корабля с ХРД и ЯРД, с технологической точки зрения равнозначны. Для корабля с ЯРД может быть использована РН в качестве средств доставки грузов на орбиту, благодаря тому, что для постройки и последующего обслуживания ГКК с ЯРД потребуется меньшее количество вылетов. При этом проблемой остается отсутствие рабочего прототипа подобного двигателя.

Аналогичная проблема присутствует при рассмотрении корабля с ХРД. Так как для его обслуживания необходимо почти в пять раз больше вылетов, использование АКС существенно для нормального обеспечения регулярных полётов ГКК. Несмотря на существование разработок, удовлетворяющих указанным в работе

характеристикам, как например британский аппарат Skylon (рис. 4), подобных практически применимых аппаратов на данный момент нет в эксплуатации.

Подводя итог вышесказанному хочется отметить, что создание указанной транспортной системы в условиях современного освоения космоса возможно, при условии успешного завершения вышеназванных разработок.

Наиболее вероятным в краткосрочной перспективе видится создание грузовой системы с ХРД и использованием РН. Подобная система включает в себя известные и отработанные технологии для космического полёта, однако экономически она будет менее эффективна вследствие выбранного средства доставки грузов на орбиту Земли, а также большего количества вылетов, необходимого для дальнейшего обслуживания ГКК после его постройки.

Наиболее целесообразным и реализуемым тактическим краткосрочным решением представляется вариант создания системы, включающей в себя ГКК с ХРД и АКС. Экономическая эффективность подобной концепции достигается за счёт отказа от РН и, как следствие, удешевления процесса дальнейшего обслуживания ГКК после его создания, что теоретически позволяет обеспечить регулярные грузовые перелёты.

В долгосрочной стратегической перспективе наиболее выгодной является концепция, включающая в себя ГКК с ЯРД и АКС в качестве средства доставки грузов на орбиту, вследствие большого преимущества в массовых и конструктивных характеристиках. Несмотря на отсутствие работающих прототипов названных выше технологий, их разработка либо ведётся в настоящий момент, либо велась в крупных масштабах в прошлом. С учётом возросшего интереса к межпланетным полётам не остаётся сомнений, что рабочие версии указанных выше технологий будут созданы и испытаны в самое ближайшее время.

### **Заключение**

В работе был проведён обзор известных космических кораблей, на основе которого были указаны требования для транспортного лунного корабля, способного

обеспечить регулярные грузовые перелёты от Земли к Луне. Была рассмотрена концепция транспортной системы для снабжения базы на поверхности Луны. Описаны конструкционные элементы подобной концепции. Проведены вычисления масс компонентов рассматриваемой системы, на основе которых был сделан вывод об её актуальности в условиях современного освоения космоса. Было обнаружено, что система может быть создана и использована, однако для её эффективной эксплуатации потребуется разработка и внедрение новейших технологий для космических полётов, часть которых пока находится в различных стадиях разработки.

### Список литературы

1. «Популярная механика» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <http://www.popmech.ru/> (Дата обращения: 31.01.2018)
2. Свободная энциклопедия «Википедия» [Интернет-ресурс]. Статья «Колонизация луны». Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Колонизация\\_Луны](https://ru.wikipedia.org/wiki/Колонизация_Луны) (Дата обращения 17. 09.2017).
3. Свободная энциклопедия «Википедия» [Интернет-ресурс]. Статья «Аполлон (космический корабль)». Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Аполлон\\_\(космический\\_корабль\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Аполлон_(космический_корабль)) (Дата обращения 20.09.2017)
4. Свободная энциклопедия «Википедия» [Интернет-ресурс]. Статья «Союз 7К-ЛОК». Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Союз\\_7К-ЛОК](https://ru.wikipedia.org/wiki/Союз_7К-ЛОК) (Дата обращения 20.09.2017)
5. «Space Flight 101» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <http://spaceflight101.com/spacecraft/orion/> (Дата обращения: 10.10.2017)
6. Свободная энциклопедия «Википедия» [Интернет-ресурс]. Статья «Федерация (космический корабль)». Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Федерация\\_\(космический\\_корабль\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Федерация_(космический_корабль))

7. Левантовский В. И. «Механика космического полёта в элементарном изложении», 3-е изд., дополненное и переработанное. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 512 с.
8. Свободная энциклопедия «Википедия» [Интернет-ресурс]. Статья «Skylon (spacescraft)». Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Skylon\\_\(spacescraft\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Skylon_(spacescraft)) (Дата обращения – 08.02.2018)
9. Космодемьянский А. А. «Динамика космического полёта» Изд. Стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. -248 с.
10. Данко П. Е., Попов А. Г., Кожевникова Т. Я. «Высшая математика в упражнениях и задачах в двух частях. Часть первая». – 6-е изд. – М: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003 – 304 с.
11. Охоцимский Д. Е., Сухарулидзе Ю. Г. «Основы механики космического полёта»: Учеб. пособие – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит. 1990 г. – 448 с.
12. Свободная энциклопедия «Википедия» [Интернет-ресурс]. Статья «Ракетный двигатель». Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ракетный\\_двигатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ракетный_двигатель)

## Приложения

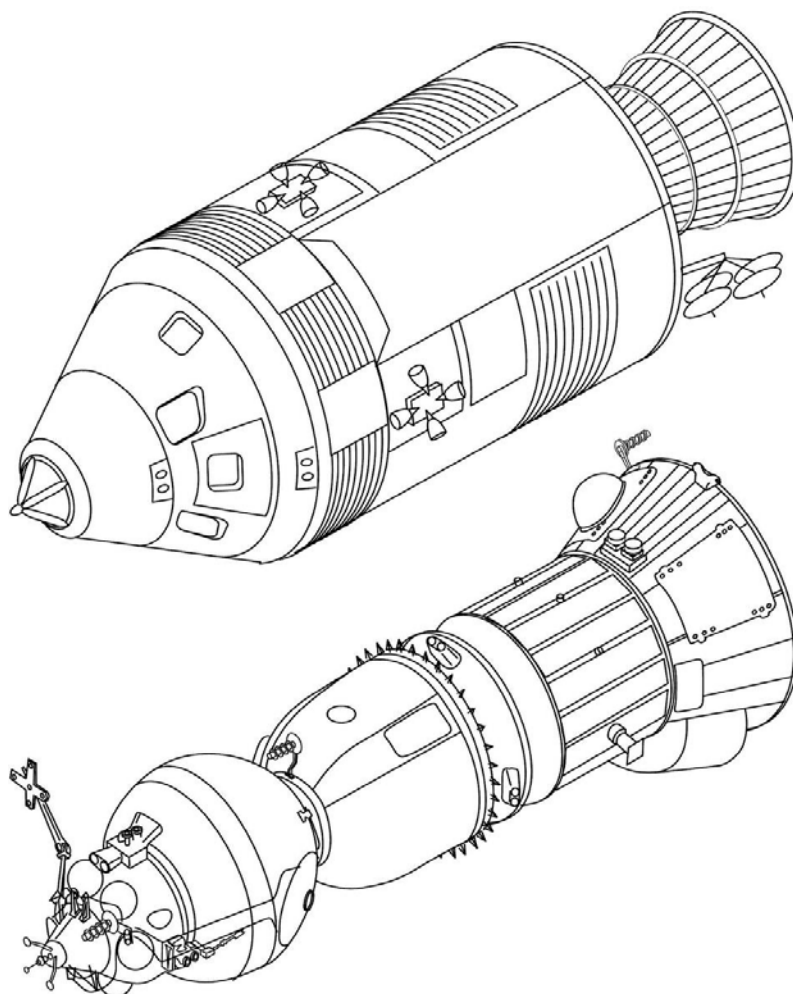


Рис. 1. Космические корабли «Аполлон» и Союз 7К-ЛОК

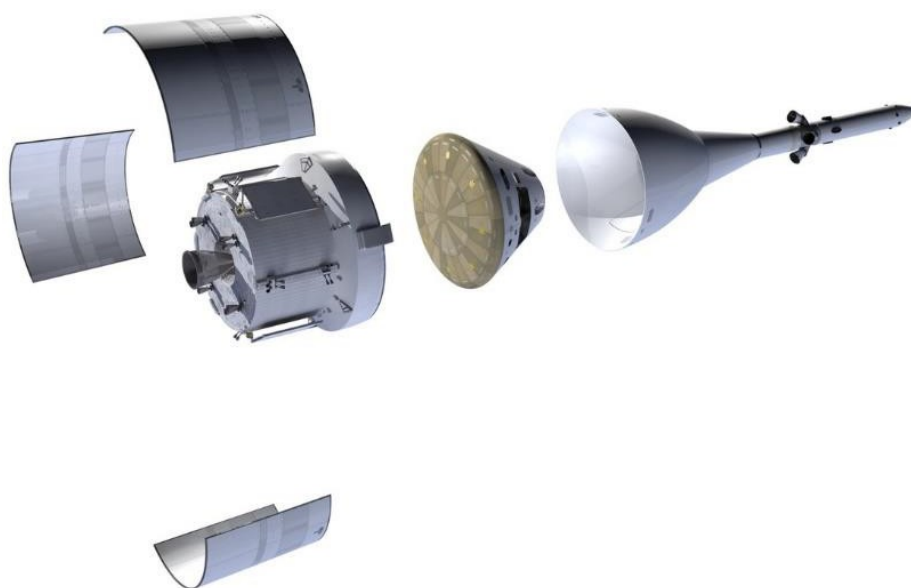


Рис. 2. Изображение космического корабля «Орион» в разобранном виде



Рис. 3. Космический корабль «Федерация»



Рис. 4. АКС "Skylon"



**СЕКЦИЯ №3. Аэродинамическое и баллистическое проектирование,  
управление полетом ракет-носителей и космических систем**

**Оптимизация траекторий экстренного полета к Марсу вне окон старта,  
определяемых условиями противостояния планет**

*Аверьянова Анна Дмитриевна,*

*г. Москва, ГБОУ школа № 554, 11 класс*

*Научный руководитель: Лысенко Лев Николаевич,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана д. т. н., проф. каф. СМ-3*

### **1. Введение**

Высадка на поверхность, а тем более, освоение планеты Марс, является вековой мечтой человечества. Это определяется тем, что его природные условия более чем у других планет напоминают земные. Важными обстоятельствами служат наличие у Марса атмосферы и воды, проявляющейся через присутствие ледяного покрова у полюсов и тонких облаков из ледяных кристаллов в атмосфере.

Раскрытие многих из его существующих загадок невозможно без проведения экспедиций посещения.

Понимание этого привело к тому, что издавна ученые, занимающиеся проблемами освоения космического пространства, стали задумываться над тем, как практически осуществить такой полет с учетом всех сложностей, которыми он будет сопровождаться. Из их множества, ограничимся обсуждением проблем сообщения космическому кораблю требуемой скорости и приближенной оценкой времени его перелета по трассе «Земля-Марс», определяющими выбор наиболее рациональной полетной схемы.

Как известно, для выведения корабля на расчетную траекторию полета к Марсу, ему должна быть сообщена скорость не менее 2-ой космической (11,2км/с). После ее достижения, будет проходить полет по инерции в поле тяготения Солнца по гелиоцентрической эллиптической орбите. Направление движения при этом необходимо выбирать так, чтобы корабль был нацелен в область нахождения Марса на момент окончания перелета, в которой планета окажется в результате

перемещения по своей орбите за время, затраченное кораблем на выполнение перелета. После того как корабль попадет в сферу действия Марса и будет двигаться по отношению к нему по пролетной траектории, его скорость будет превышать значение второй космической скорости вблизи Марса, равной 5,0 км/с. Для того, чтобы корабль был бы

«захвачен» гравитационным полем Марса, а не стал бы спутником Солнца, необходимо уменьшить пролетную скорость до значения первой космической скорости вблизи Марса (до уровня, порядка 3,55 км/с), что достигается в результате включения тормозной двигательной установки. В результате, корабль перейдет на орбиту искусственного спутника Марса (ИСМ). Затем должен быть осуществлен завершающий этап полета- спуск на поверхность планеты.

Подобная схема впервые была описана в книге выдающегося советского ученого Ю.В.Кондратюка (1897-1942) «Завоевание межпланетных пространств», изданной в 1929г. Применение в качестве перелетных эллиптических траекторий обычно считают наиболее экономным выбором, поскольку при этом можно обеспечить перелет при минимальных затратах топлива, а, следовательно, и при минимальной стартовой массе средств выведения.

Но эллиптические орбиты обладают значительным недостатком, связанным со слишком большой продолжительностью полета. В частности, перелет по оптимальному полуэллипсу до Марса займет, в лучшем случае (в смысле минимального времени), около 260 суток, т е более 8,5 месяцев.

Следует учесть также, что старт корабля должен осуществляться в период удобного расположения Марса относительно Земли, иначе при ограниченных энергетических возможностях, корабль не достигнет планеты назначения. Подобные стартовые окна противостояния при запусках к Марсу повторяются в среднем через 2,14 года.

Чтобы экипаж корабля мог бы благополучно вернуться на Землю, он должен выжидать, пока не наступит стартовое окно для возвращения к Земле.

Итого, суммарно, вся миссия должна продолжаться в этом варианте примерно 2 года и 8 месяцев. Это, конечно, очень много.

Естественно, возможны варианты.

При определенных условиях (например, при применении электроракетных двигателей (ЭРД)), продолжительность полета может быть сокращена примерно до 216 суток и даже до 180 суток, ну а при увеличении скорости старта с околоземной орбиты до третьей космической (16,7 км/с), достичь Марс уже можно будет всего за 70 суток, а вся экспедиция, в конечном итоге, уложится в чуть более чем 150 суток. Но это все не так просто...

Придание кораблю столь больших скоростей даже сегодня, пока еще технически не решенная задача.

Понятно, что реализация любого «ускоренного» варианта полета невозможна в рамках строго классической схемы.

Здесь приходится отказываться от энергетически оптимальной, но и наиболее длительной по времени «гомановской» полувитковой траектории перелета. Среди возможного семейства «секущих» траекторий, могут быть выделены как минимум две, хотя и уступающие «гомановской» по энергетике, отличающиеся одна от другой по затратам характеристической скорости примерно на 0,2 км/с (в зависимости от высоты околоземной орбиты), но обеспечивающие экономию времени перелета, составляющую около 15% [1].

Другим важным фактором, без обсуждения которого нельзя обойтись при анализе баллистических схем пилотируемого полета на Марс, является выбор «окон старта».

При использовании баллистических схем, предусматривающих перелеты по экономичным траекториям и применении ДУ большой тяги (в отличие от ЭРД малой тяги), старт к Марсу с орбиты ИСЗ возможен только в течение 20 суток в так называемое окно старта, начинающееся за 96 суток до очередного противостояния. Как уже указывалось ранее, противостояния повторяются с периодом, чуть большим чем 2 года. Причем, естественно, наиболее эффективен полет в годы «великих

противостояний» (когда имеют место наиболее тесные сближения Земли и Марса с учетом эллиптичности и незначительного наклона плоскостей орбит), которые повторяются каждые 15 или 17 лет.

## **2. Общетеоретические положения**

### **2.1. Определение параметров траектории перелета по классической схеме**

Имея в виду изложенное, перейдем для лучшего понимания последующего к рассмотрению алгоритма определения основных параметров и характеристик траекторий перелета в элементарной постановке, ориентируясь, главным образом, на многократно упоминавшуюся схему гомановского перехода, следуя при этом материалам учебника [2].

Ограничимся рассмотрением простейшего случая, считая орбиты Марса и Земли круговыми и лежащими в одной плоскости. Это предположение соответствует учету действия только центральной силы притяжения Солнца.

На рис 1 (см Приложения) показана схема перелета с внутренней планеты, движущейся по круговой орбите с радиусом  $r_1$ , на внешнюю  $r_2$ . Энергетически оптимальной траекторией в рамках данной постановки задачи, обеспечивающей перевод КА с орбиты 1 на орбиту 2, является траектория, касательная к исходным орбитам при угле перелета  $\phi = 180^\circ$  и с большой полуосью  $a = (r_1 + r_2)/2$ . Это и есть так называемый оптимальный эллипс Гомана.

При полете по такой траектории КА должен иметь в начальный момент следующее значение скорости относительно Солнца:

$$V_{КА} = \sqrt{\mu \left( \frac{2}{r_1} - \frac{2}{r_1 + r_2} \right)} = \sqrt{\frac{\mu_C r_2}{r_1 a}} \quad (1)$$

Где  $\mu_C$  – произведение постоянной тяготения на массу Солнца.

Поскольку КА движется вместе с планетой, его надо разогнать до скорости  $\Delta V_p = V_{КА} - V_{ПЛ}$ , называемой скоростью на бесконечности ( $\Delta V_p = V_\infty$ ), которая определяет энергетику, необходимую для перелета.

Время перелета определяется как

$$t_{П} = \pi \sqrt{\left( \frac{r_1 + r_2}{2} \right)^2 \frac{1}{\mu_C}} \quad (2)$$

За время  $t_{\Pi}$  КА должен переместиться на угловое расстояние, равное  $\pi$ , и таким образом, в начальный момент планета старта 1 и планета назначения 2 должны занимать положение, при котором угол между радиус-векторами  $r_1$  и  $r_2$  должен определяться как разность  $\pi$  и произведение  $2\pi$  на дробную часть  $\phi_2/2\pi$ , т.е.

$$\Delta\phi_2 = \pi - \frac{2\pi^2}{T_2} \sqrt{\frac{a^3}{\mu c}}$$

Здесь  $T_2$  - период обращения планеты 2. В случае  $\Delta\phi > 0$  планета назначения опережает планету старта, при  $\Delta\phi < 0$  - отстает от нее.

Рассмотренный подход иллюстрирует в основном качественную сторону оптимальных межпланетных перелетов.

Учет наклонов орбит планет и их эллиптичности значительно усложняет проведение расчетов.

Для получения параметров траекторий при этом обычно используют «методику сфер действия», сущность которой сводится к следующему.

В некоторой окрестности притягивающего тела – его сфере действия – при расчете траекторий учитывают только силу притяжения этого тела. В этом смысле все околосолнечное пространство можно считать сферой действия Солнца, в которой планеты движутся в соответствии с законом всемирного тяготения. Так как планеты являются телами, обладающими конечной массой, то в некоторой окрестности планет, сила их притяжения оказывается основной силой, действующей на КА. В итоге, все околосолнечное пространство можно представить в виде совокупности сфер действия отдельных планет, «погруженных» в сферу действия Солнца и перемещающихся вместе с планетами по их орбитам.

## **2.2. Математические основы решения задачи оптимизации траекторий полета вне оптимальных окон старта, удовлетворяющих требуемым условиям противостояния планет.**

Постановка задачи: будем считать, что по истечении некоторого времени  $\Delta t_{ст}$ , отсчитываемого от оптимального времени старта  $t_{ст}^*$ , определяемого окном, задаваемым из условия требуемого противостояния планет, выявилась

необходимость дополнительной отправки на Марс грузового корабля в интересах ранее стартовавшей пилотируемой экспедиции посещения.

Величина  $\Delta t_{ст}$  будет не меньше (возможно существенно больше), чем время прибытия экспедиции на поверхность планеты или, по крайней мере, более  $t_{пр}^*$  - оптимального времени перелета. Тогда  $t_{ст} = t_{ст}^* + \Delta t_{ст}$ . Время перелета грузового корабля будет определяться как  $t_{п} = t_{пр}^* + \Delta t_{п}$ . Соответствующие значения  $t_{ст}$  и  $t_{п}$  принимаются в качестве двух независимых переменных и трактуются как «нули отсчета» в решаемой задаче.

Предполагается, что может быть задан диапазон допустимых дат перелета и старта грузового корабля  $t_{ст}^A$  и  $t_{пр}^A$ , определяемый энергетическими возможностями комплекса, массой доставляемой в один конец ограниченной полезной нагрузки, временем принятия решения о необходимости его старта, временем предстартовой подготовки и т.д.

Тогда

$$\begin{cases} t_{ст}^* - t_{ст}^A \leq t_{ст} \leq t_{ст}^* + t_{ст}^A \\ t_{п}^* - t_{пр}^A \leq t_{п} \leq t_{п}^* + t_{пр}^A \end{cases} \quad (4)$$

Принимается, что в моменты старта и подлета к планете назначения  $t_{пр} = t_{ст} + t_{п}$ , определение орбиты может сводиться к решению задачи Ламберта-Эйлера ( $t_1 = t_{ст}$  и  $t_2 = t_{п}$ ), приведенной во 2-ой части Приложений, т.е. к решению краевой задачи.

Неоднозначность решения связана с неопределенностью условий «стыковок» сфер действия планет при различных значениях дат старта в пределах заданного диапазона, определяемых относительным положением планет, а также возможностью перераспределения величин разгонной  $\Delta V_1$  и тормозной  $\Delta V_2$  характеристических скоростей, определяющих энергию гиперболических траекторий на планетоцентрических участках перелета.

Таким образом, рассматриваемая задача может быть сформулирована как задача определения локально оптимальных параметров траектории перелета в пределах допустимых дат  $t_{ст}$ , отличающихся от глобально оптимальных при наилучшем взаимном расположении планет разрешенного окна старта  $t_{ст}^*$ ,

гарантирующих нахождение экстремума критерия в виде функции скоростей  $\Delta V_1$  и  $\Delta V_2$  для фиксированных дат старта и ограничениях на время перелета  $t_{пр}$ .

В подобной постановке задача ранее не ставилась и следовательно, ее новизна не должна вызывать сомнений.

Очевидно, что в сформулированном виде допустима математическая постановка решения обсуждаемой задачи приближенными методами на основе теории кеплеровых орбит и разбиения траектории на участки планетоцентрических движений, определяемых гравитационными полями планет Земля и Марс, а также на участок гелиоцентрического движения, определяемый гравитационным полем Солнца.

В силу малости временных интервалов полета с выключенной ДУ по сравнению с полным временем перелета, используется импульсная аппроксимация для  $\Delta V_1$  и  $\Delta V_2$ .

Имея в виду модельный характер решаемой задачи для отработки алгоритма и тестирования программы вычислений, исходные данные о взаимном положении планет (Земли и Марса) могут быть взяты из Астрономического ежегодника для любой произвольно выбранной даты.

Основные соотношения теории кеплеровых движений, используемые в расчетном алгоритме варианта расчета траектории перелета по секущим орбитам, выпишем без комментариев в силу их известности [2] для эллиптического (Рис. П.1.) и гиперболического (Рис. П.2.) движений. Учитывая их вспомогательный характер, необходимый для понимания структуры и содержания алгоритма, они вынесены во 2-ой раздел Приложений.

При  $\Delta t < \Delta t_{пар}$  получаем гиперболическую орбиту. При  $\Delta t = \Delta t_{пар}$  получаем параболическую орбиту.

При  $\Delta t_{гр} > \Delta t > \Delta t_{пар}$  получаем эллиптическую орбиту первого рода. При  $\Delta t = \Delta t_{гр}$  получаем граничную эллиптическую орбиту.

При  $\Delta t > \Delta t_{гр}$  получаем эллиптическую орбиту второго рода.

Графические изображения возможных видов эллиптических орбит приведены на Рис.П.3. Приложений. Заметим, что согласно Рис.П.3, граничный эллипс совпадает с эллипсом 2-го рода при  $\varphi < \pi/2$

### 2.3. Определение характеристик орбит и кинематических параметров движения.

Пусть в момент  $t_{ст}$  радиус-вектор планеты  $r_1(x_1, y_1, z_1)$ , в момент  $t_2 = t_{пр} = t_{ст} + t_{пр}$ ,  $r_2(x_2, y_2, z_2)$  межпланетные орбиты пересекают орбиту второй планеты; тогда сама планета находится в этой точке (см Рис.2 в Приложении).

Определим наклонение орбиты к плоскости эклиптики. Угол  $i$  образуется вектором  $(\bar{r}_1 * \bar{r}_2)$  и осью Oz так, что ось Oz ортогональна плоскости эклиптики, а векторное произведение перпендикулярно плоскости, в которой лежат оба вектора  $r_1$  и  $r_2$  т е плоскости межпланетной орбиты:

$$\bar{C}(C_x, C_y, C_z) = \bar{r}_1 * \bar{r}_2 = \begin{pmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Тогда

$$\cos(i) = \frac{C_z}{|\bar{r}_1 * \bar{r}_2|} = \frac{(\bar{r}_1 * \bar{r}_2)_z}{|\bar{r}_1 * \bar{r}_2|} \quad (6)$$

$$|\bar{r}_1 * \bar{r}_2| = r_1 r_2 \sin \Phi, \quad C_z = (\bar{r}_1 * \bar{r}_2)_z = x_1 y_2 - x_2 y_1 \quad (7)$$

Отсюда

$$\cos(i) = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{\sqrt{(y_1 z_2 - z_1 y_2)^2 + (z_1 x_2 - x_1 z_2)^2 + (x_1 y_2 - y_1 x_2)^2}} \quad (8)$$

Долгота восходящего узла орбиты определяется следующим образом:

$$\text{Tg} \Omega = \frac{C_x - (\bar{r}_1 * \bar{r}_2)_x}{C_y - (\bar{r}_1 * \bar{r}_2)_y} \quad 0 \leq \Omega \leq 2\pi$$

По долготе восходящей орбиты  $\Omega$  и радиус-вектору любой точки на орбите  $r_j(x_j, y_j, z_j)$  определяется аргумент широты этой точки.

$$\bar{r}_\Omega^0 = (\cos \Omega, \sin \Omega, 0)$$

$$\bar{r}_j(x_j, y_j, z_j)$$

$$(\bar{r}_\Omega^0 \bar{r}_j) = |\bar{r}_\Omega^0| |\bar{r}_j| \cos(u)$$

$$|\bar{r}_\Omega^0| = 1$$

$$|\bar{r}_\Omega^0| |\bar{r}_j| \cos(u) = x_j \cos \Omega + y_j \sin \Omega$$

отсюда следует,

$$\cos(u) = \frac{x_j \cos \Omega + y_j \sin \Omega}{r_j} \quad (9)$$

Задание полной системы элементов орбиты определяет движение точки во времени. Ее положение и скорость  $(\bar{r}(t), \bar{V}(t))$  зависят от принятой системы элементов.



Пусть задана система элементов  $\bar{g}(p, e, \omega, i, \Omega, \tau)$ ,  $p \neq 0$ . Тогда при  $h \neq 0$   $a = p/(1 - e^2)$

Расстояние  $r = \frac{p}{1 + e \cos \varphi}$ , радиальная и трансверсальная составляющие скорости определяются по формулам  $V_r = \sqrt{\mu/p} \sin \varphi$ ,  $V_m = \sqrt{\mu/p} (1 + e \cos \varphi)$ . Аргумент широты  $u = \omega + \varphi$ . Единичный вектор  $\bar{r}^0 = \bar{r}/r = (r_x^0, r_y^0, r_z^0)$ , направления вдоль радиус-вектора определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} r_x^0 &= \cos \Omega \cos u - \sin \Omega \cos i \sin u \\ r_y^0 &= \sin \Omega \cos u + \cos \Omega \cos i \sin u \\ r_z^0 &= \sin i \sin u \end{aligned} \quad (10)$$

Тогда радиус-вектор равен:

$$\bar{r} = r \bar{r}^0, \quad x = r r_x^0, \quad y = r r_y^0, \quad z = r r_z^0 \quad (11)$$

Единичный вектор  $\bar{m}^0(m_x^0, m_y^0, m_z^0) = \bar{c}\bar{r}/cr$ , направленный по трансверсали, задается формулами:

$$\begin{aligned} m_x^0 &= \cos \Omega \sin u - \sin \Omega \cos i \cos u \\ m_y^0 &= -\sin \Omega \sin u + \cos \Omega \cos i \cos u \\ m_z^0 &= \sin i \cos u \end{aligned} \quad (12)$$

Вектор скорости точки равен:

$$\begin{aligned} \bar{V} &= V_r \bar{r}^0 + V_m \bar{m}^0 \\ \bar{V}_x &= V_r r_x^0 + V_m m_x^0, \quad \bar{V}_y = V_r r_y^0 + V_m m_y^0, \quad \bar{V}_z = V_r r_z^0 + V_m m_z^0 \end{aligned} \quad (13)$$

Определение геометрии орбит входа в сферу действия Марса осуществляется по следующей схеме:

Дана скорость входа  $\bar{V}_\infty$  (в гелиоцентрической эклиптической СК) и дана Нл (высота перигея).

Таким образом мы определили:  $a$  – большую полуось,

$b$  – прицельную дальность,  $e$  – эксцентриситет,

$p$  – параметр орбиты.

Рассмотрим варианты орбит в зависимости от ориентации вектора  $\bar{V}_\infty$  (см. Рис.3 в Приложении).

Для определения угловых величин получим компоненты вектора скорости на бесконечности в экваториальной СК (см. Рис.4 Приложений)

$$\bar{V}'_\infty = L \bar{V}_\infty \quad (16)$$

Наклонение орбиты равно наклонению вектора скорости на бесконечности к плоскости экватора  $I = i_v, \quad i = \arcsin\left(\frac{V'_{\infty x}}{V_\infty}\right)$  (17)

Значения элементов  $\omega$  и  $\Omega$  будут определяться в зависимости от варианта орбит.

$$\omega = \varphi_2 - \pi/2, \quad \varphi_2 = \arccos(-1/e) \quad (18)$$

$$V_{\infty XY} = V_{\infty} \cos i \quad \begin{cases} \cos \Omega = \frac{V'_{\infty Y}}{V_{\infty XY}} \\ \sin \Omega = \frac{-V'_{\infty X}}{V_{\infty XY}} \end{cases} \quad (*) \quad (19)$$

Но необходимо анализировать знак  $V'_{\infty Y}, V'_{\infty X}$ , т к соотношение (\*) имеет смысл лишь в

случае, указанном на рисунке.

Поэтому

$$\text{Если } V'_{\infty Z} < 0, V'_{\infty X} > 0, V'_{\infty Y} > 0, \text{ то} \\ V'_{\infty Z} = -V'_{\infty Z}, V'_{\infty X} = -V'_{\infty X}, V'_{\infty Y} = -V'_{\infty Y}, \omega = \omega + \pi$$

$$\text{Если } V'_{\infty Z} < 0, V'_{\infty X} < 0, V'_{\infty Y} > 0, \text{ то} \\ V'_{\infty Z} = -V'_{\infty Z}, V'_{\infty X} = -V'_{\infty X}, V'_{\infty Y} = -V'_{\infty Y}, \omega = \omega + \pi$$

$$\text{Если } V'_{\infty Z} < 0, V'_{\infty X} > 0, V'_{\infty Y} < 0, \text{ то} \\ V'_{\infty Z} = -V'_{\infty Z}, V'_{\infty X} = -V'_{\infty X}, V'_{\infty Y} = -V'_{\infty Y}, \omega = \omega + \pi$$

$$\text{Если } V'_{\infty Z} < 0, V'_{\infty X} < 0, V'_{\infty Y} < 0, \text{ то} \\ V'_{\infty Z} = -V'_{\infty Z}, V'_{\infty X} = -V'_{\infty X}, V'_{\infty Y} = -V'_{\infty Y}, \omega = \omega + \pi$$

### 3. Алгоритм оптимизации траектории методом конфигураций (методом Хука-Дживса).

#### 3.1. Структура алгоритма поиска экстремума заданной критериальной функции с требуемой точностью решения.

Метод Хука-Дживса относится к классу прямых методов безусловной оптимизации, предназначенных для численного поиска экстремума функции нескольких переменных с требуемой точностью решения. Его детальное описание содержится в целом ряде источников (см например [3], [4]).

Блок-схема метода и ее программная реализация (в форме листингов программы) приведены в [5].

Это дает право не приводить их описание в данной работе, воспользовавшись уже известными результатами.

Поиск решения на основе принятого метода состоит из последовательных шагов, подразделяемых на две фазы: исследующий поиск и поиск по образцу (ускоряющий поиск).

Здесь ограничимся лишь кратким описанием соответствующей процедуры, необходимой для лучшего понимания логики построения основной программы:

А. Следует выбрать начальную базисную точку  $b_1$  и шаг  $h_j$  для каждой переменной  $x_j, j=1.2..n$ .

Б. Вычислить  $f(x)$  в базисной точке  $b_1$  с целью получения сведений о локальном поведении функции  $f(x)$ . Эти сведения будут использоваться для нахождения подходящего направления поиска по образцу, с помощью которого можно надеяться достичь большего убывания значения функции. Функция  $f(x)$  в базисной точке  $b_1$  находится следующим образом:

1. Вычисляется значение функции  $f(b_1)$  в базисной точке  $b_1$ .
2. Каждые переменные по очереди изменяются прибавлением длины шага. Таким образом, вычисляем значение  $f(b_1+h*e_1)$ , где  $e_1$  – единичный вектор в направлении оси X1. Если это приведет к уменьшению функции, то  $b_1$  заменяется на  $b_1+h*e_1$ . В противном случае вычисляется значение функции  $f(b_1-h*e_1)$ , и если ее значение уменьшилось, то  $b_1$  заменяется на  $b_1-h*e_1$ . Если ни один из проделанных шагов не приводит к уменьшению значения функции, то точка  $b_1$  остается неизменной и рассматриваются изменения в направлении оси X2, т е находится значение функции  $f(b_1.h*e_2)$  и т д. Когда будут рассмотрены все  $n$  переменных, будем иметь новую базисную точку  $b_2$ .
3. Если  $b_2 = b_1$ , т е уменьшение функции не было достигнуто, то исследование повторяется вокруг той же базисной точки  $b_1$ , но с уменьшенной длиной шага. На практике удовлетворительным является уменьшение шага (шагов) в десять раз от начальной длины.
4. Если  $b_2 \neq b_1$ , то производится поиск по образцу.

В. При поиске по образцу используется информация, полученная в процессе исследования, и минимизация функции завершается поиском в направлении, заданном образом. Эта процедура производится по следующей схеме:

5. Разумно двигаться из базисной точки  $b_2$  в направлении  $b_2 - b_1$ , поскольку поиск в этом направлении уже привел к уменьшению значения функции. Поэтому вычислим функцию в точке образа
6.  $P_1 = b_1 + 2(b_2 - b_1)$ . В общем случае  $P_i = b_i + 2(b_{i+1} - b_i)$
7. Затем исследование следует продолжать вокруг точки  $P_1 (P_i)$ .
8. Если наименьшее значение на шаге В,2 меньше значения в базисной точке  $b_2$  (в общем случае  $b_{i+1}$ ), то получают новую базисную точку  $b_3(b_i+2)$ , после чего следует повторить шаг В,1. В противном случае - не производить поиск по образу из точки  $b_2(b_i+1)$ , а продолжить исследование в точке  $b_2(b_i+1)$ .

Г. Завершить этот процесс, когда длина шага (длина шагов) будет уменьшена до заданного малого значения.

Таким образом, с точки зрения построения основной программы, ключевым моментом является построение сетки для нахождения значений  $T_{1орт}$  и  $T_{2орт}$ , минимизирующих критериальную функцию, вид которой подлежит определению.

Из изложенного выше, ее физический смысл очевиден.

Минимизации подлежат суммарные энергетические затраты, определяемые величиной  $\sum \Delta V(T_1, T_2)$ , являющейся функцией двух переменных, имеющей, однако, следуя п.2, два возможных различных смысла. Либо критерий  $\sum \Delta V$  определяется по избытку гиперболических скоростей, либо, как сумма импульса перехода с круговой земной орбиты ожидания на траекторию перелета и тормозного импульса в сфере действия Марса для перехода гиперболы входа на заданный эллипс ИСМ.

Заранее отдать предпочтение какому-либо из этих вариантов не представляется возможным в силу неопределенности знания  $T_{1орт}$  и  $T_{2орт}$ . Поэтому исследованию должны быть подвергнуты каждый из них.

Вычисление потребных импульсов  $\Delta V_1$  и  $\Delta V_2$  для перехода с круговой орбиты старта на орбиту перелета и торможения в сфере действия Марса для перехода на заданную орбиту ИСМ осуществляется по следующим зависимостям:

$$\Delta V_1 = \sqrt{V_{\infty 1}^2 + \frac{2\mu}{(R_3 + H_{0p6})}} \sqrt{\frac{\mu}{(R_3 + H_{0p6})}} \quad (20)$$

$$\Delta V_{\pi}(R) = \sqrt{V_{\text{ПДР}}^2(R) + V_{1\infty}^2} \quad (21)$$

Здесь выражение (21) определяет скорость перигея гиперболической траектории отлета от Земли;

$$R_3 = R_z = 6371 \text{ км.}$$

Промежуточная околоземная круговая орбита радиуса  $R$  касается отлетной гиперболической траектории в перигее, тогда с помощью одного импульса скорости, равного  $\Delta V_1 = V_{\pi}(R) - V_{\text{кр}}(R)$ , можно вывести КА на траекторию перелета. А потребный импульс у Марса, необходимый для перехода КА на эллиптическую орбиту, будет равен

$$\Delta V_2 = V_{\pi\Gamma} - V_{\pi\text{Э}}, \quad (22)$$

Где  $V_{\pi\Gamma}$  - скорость в перигее гиперболы входа, а  $V_{\pi\text{Э}}$  – скорость в перигее эллипса.

Тормозной импульс формируется в перигее гиперболы.

$$V_{\pi\Gamma} = \sqrt{V_{2\infty}^2 + \frac{2\mu_M}{(H_{\pi} + R_M)}} \quad (23)$$

а

$$V_{\pi\text{Э}} = \sqrt{\frac{2\mu_M}{(H_{\pi} + R_M)} \cdot \frac{H_a + R_M}{H_{\pi} + R_M + H_a + R_M}} \quad (24)$$

Где  $R_M$  – радиус Марса.

### 3.2. Блок-схема программы и краткое описание ее работы.

Блок-схема программы алгоритма исследования критериальной функции  $\sum \Delta V(T_1, T_2)$  приведена на рис 5 Приложений.

Как уже отмечалось, начальным этапом расчета является построение сетки.

Для этого в качестве входных данных в программу необходимо ввести

$T_1$  – время отлета с околоземной орбиты,  $T_2$  – время перелета,

$N$  – количество узлов сетки.

Неоднозначность физической трактовки принятого к рассмотрению критерия  $\sum \Delta V(T_1, T_2)$  отражает в программе логический символ IMP, способный принимать два значения: 0 или 1.

Если  $IMP=0$ , то  $\Delta V_1 = V_{1KA} - V_3$ , а  $\Delta V_2 = V_{2KA} - V_M$ .

Если  $IMP=1$ , то  $\Delta V_1$  – импульс, потребный для перехода с круговой орбиты на орбиту перелета, а  $\Delta V_2$  – импульс скорости, необходимый для перехода с орбиты перелета на эллипс с заданными высотами  $H_{pi}$  и  $H_a$  в сфере действия Марса.

$H_{pi}$  – высота перигея эллиптической орбиты в сфере действия Марса,

$H_a$  – высота апогея эллиптической орбиты в сфере действия Марса,

$H_{orb}$  – высота круговой орбиты ожидания у Земли.

Блок-схема алгоритма решения задачи Ламберта. Этот блок представляет собой процедуру MARS3; входными данными в нее являются  $T_1$ ,  $T_2$ , а выходными:  $\bar{R}1$  – радиус-вектор Земли в момент времени  $T_1$ ,  $\bar{R}2$  – радиус-вектор Марса в момент времени  $T_2$ ,  $FI$  – угол перелета между Землей и Марсом.

Процедура MARS3 содержит в себе данные о траекториях Марса и Земли. Данные взяты из Астрологического ежегодника:  $Az$  – большая полуось орбиты Земли;  $Ez$  – эксцентриситет Земли;  $Iz$  – наклонение плоскости орбиты Земли относительно эклиптики;  $Wz$  – долгота перицентра Земли;  $OMEGAz$  – долгота восходящего узла Земли;  $M0z$  – средняя аномалия;  $Nm$  – частота вращения Земли;  $T0z$  – момент времени;  $TperZ$  – время прохождения перицентра;  $Am$  – большая полуось орбиты Марса;  $Em$  – эксцентриситет Марса;  $Im$  – наклонение орбиты Марса;  $Wm$  – долгота перицентра Марса;  $OMEGAm$  – долгота восходящего узла Марса;  $M0m$  – средняя аномалия орбиты Марса;  $Nm$  – частота вращения Марса;  $TperM$  – время прохождения перицентра Марса;  $Tz=2\pi/Nz$  – период обращения Земли;  $Tm=2\pi/Nm$  – период обращения Марса.

Далее следует обращение к процедуре KIN из модуля KINEMAT2.

Вход:  $Nz, MI, Az, TperZ, T1, Ez$  (данные Земли)

Выход:  $VRz, Vnz$  – радиальная и трансверсальная составляющая скорости,  $FFz$  – истинная аномалия на момент времени  $T1$ ,  $Rz$  – радиус-вектор Земли.

Второе обращение к процедуре KIN Вход:  $Nm, MI, Am, TperM, T2, Em$

Выход:  $VRm, Vnm, Rm, FFm, Pm$  – данные на момент времени  $T2$  для орбиты Марса. Используется процедура WEK/

Вход: OMEGAz, FFz+Wz, Iz

Выход: RRz(rrz[1],rrz[2],rrz[3]),TTz(ttz[1],ttz[2],ttz[3]),BBz(bbz[1],bbz[2],bbz[3])

Вычисление  $\Delta t_{\text{ПАР}}$ ,  $\Delta t_{\text{ГР}}$ .

Для определения вида орбиты необходимо определить границы орбит. Этими границами и являются  $\Delta t_{\text{ПАР}}$  и  $\Delta t_{\text{ГР}}$ . Вычисление их происходит при обращении к подпрограммам-функциям

– Fpar и Fgran.

Вход: R1 – радиус-вектор в момент времени T1, R2 – радиус-вектор в момент времени T2, FI – угол перелета, DELT – время полета КА.

Описание структуры и содержания последующих блоков не представляются необходимыми в силу их полного соответствия расчетному содержанию алгоритмов, отражающих вид известных конечных соотношений.

### 3.3. Результаты вычислений.

При проведении тестовых расчетов приняты следующие исходные данные для планет Земля и Марс:

Планетные параметры Земли	Планетные параметры Марса
$M_0 = 172,63881^\circ$	$M_0 = 21,47669^\circ$
$\omega = 103,61135^\circ$	$\omega = 286,47669^\circ$
$\Omega = 359,21043^\circ$	$\Omega = 49,57531^\circ$
$i = 0,016760$	$i = 0,0935198$
$n_z = 0,98563190$ (сут/град)	$n_z = 0,52403066$ (сут/град)
$a = 0,9999846$ а.е.	$a = 1,5236959$ а.е.

Приведенные данные соответствуют произвольно выбранной дате старта. Наклонение орбит Земли и Марса задано относительно эклиптики.

В качестве исходных данных для перехода из гелиоцентрической в экваториальную систему координат относительно Марса приняты следующие значения прямого восхождения и склонения радиуса-вектора относительно земной экваториальной системы координат, а также угла наклона плоскости экватора Земли относительно наклона эклиптики:

$$\alpha_0 = 317,170^\circ; \delta_0 = 53,785^\circ; \varepsilon = 23,44^\circ.$$

В силу неопределенности знания энергетических возможностей носителя и достижения гарантированного обеспечения сходимости решения, исследуемая область варьируемого диапазона  $t^d$  ограничена двумя месяцами, позволяющими осуществить сопоставление полученных значений энергетических затрат (хотя бы на качественном уровне) с их оптимальными известными значениями, соответствующими пускам в окнах старта, отвечающим наилучшему взаимному расположению планет (при их «великом противостоянии»).

Построение сетки второго этапа исследований соответствует ее первоначальному этапу и осуществляется с шагом  $h=5$  суток. Экстремальная величина  $t_{ст}$ , принимая за «нуль отсчета» соответствует условию достижения величины минимума энергетических затрат на выполнение перелета в неоптимальных условиях противостояния.

Результаты расчетов приведены в таблице 1 (см. Приложения) и на Рис.6 (для  $IMP=0$ ), а также в таблице 2 (см. Приложения) и на Рис.7 (для  $IMP=1$ ).

#### **4. Выводы.**

1. Сформулирована и математически поставлена задача оптимизации траектории экстренного полета к Марсу грузового корабля вне окон старта, определяемых условиями противостояния планет.
2. Показано, что при задании в качестве критерия оптимизации суммарных затрат характеристической скорости на перелет, представляемой в виде функции двух аргументов, задача может быть решена при применении метода численной оптимизации Хука-Дживса.
3. Установлено, что принятый к рассмотрению критерий может определяться либо по избытку гиперболических скоростей перелета, либо как сумма импульса перехода и тормозного импульса в сфере действия Марса для перехода гиперболы входа на заданную эллиптическую орбиту ИСМ.
4. Достоверность и работоспособность алгоритма подтверждены в процессе его тестирования на основе решения модельной задачи при получении



непротиворечивых результатов, качественно согласуемых с данными глобально оптимального решения. Установлено, в частности, что для принятых условий модельной задачи, характеризуемых отклонением дат старта не более чем на два месяца, для схемы определения суммы гиперболических скоростей отлета с околоземной орбиты и прибытия на орбиту Марса величина отклонений соответствующих времен по отношению к номиналу может составить соответственно 0,43 сут и 12,12 сут, а экономия энергетических затрат для экстремальной орбиты перелета определяется величиной порядка 0,06 км/с. Для варианта критерия в виде суммы потребного импульса старта с круговой околоземной орбиты на траекторию перелета и торможения в сфере действия Марса для выхода на заданную эллиптическую орбиту ИСМ ( $H_p = 870$  км;  $H_a = 81471$  км), аналогичные значения составят 0,78 сут; 12,70 сут и 0,04 км/с.

## 5. Литература.

- [1] Лысенко Л.Н., Бетанов В.В., Звягин Ф.В., Теоретические основы баллистико-навигационного обеспечения космических полетов/ Монография под общ. ред. Лысенко Л.Н. М:Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014.
- [2] Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов. / Учебник для ВУЗов. Изд. 2-е перераб и доп. М.: Дрофа, 2004
- [3] Аттеков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Метод Хука-Дживса// Методы оптимизации (Математика в техническом университете; вып XIV), М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. С.285-440
- [4] Хук Р., Дживс Т.А. Прямой поиск решения для числовых и статистических проблем. М.: Мир, 1961.
- [5] Алгоритм метода Хука-Дживса. <http://www.math.semestr.ru>

## Приложения.

### Часть I. Графический материал.

Рис.1. Схема перелета по эллипсу Гомана

Рис.П.1. Эллиптическая орбита.

Рис.П.2. Гиперболическая орбита.

Рис.П.3. Возможные типы эллиптических орбит. Рис.2. Взаимное положение орбит.

Рис.3. Варианты орбит в зависимости от ориентации «вектора скорости на бесконечности»

Рис.4. Компоненты «вектора скорости на бесконечности» в экваториальной СК.

Рис.5. Блок-схема вычислительной программы, реализующей метод Хука-Дживса.

Рис.6. Сумма гиперболических скоростей отлета и прибытия.

Рис.7. Сумма потребного импульса старта с круговой орбиты ( $H=200$  км) на траекторию перелета и торможения в сфере действия Марса для выхода на заданную эллиптическую орбиту ( $H_{\pi}=870$  км,  $H_{\alpha}=81471$  км) ИСМ.

Таблица 1. Построение сетки  $\sum\Delta V$  гиперболических скоростей отлета и прибытия.

Таблица 2. Построение сетки  $\sum\Delta V$  старта с круговой орбиты на траекторию перелета и торможения в сфере действия Марса для выхода на заданную эллиптическую орбиту.

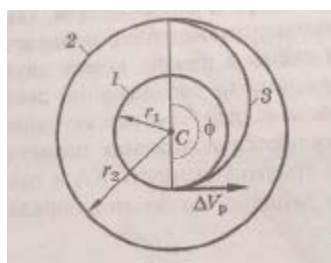


Рис.1

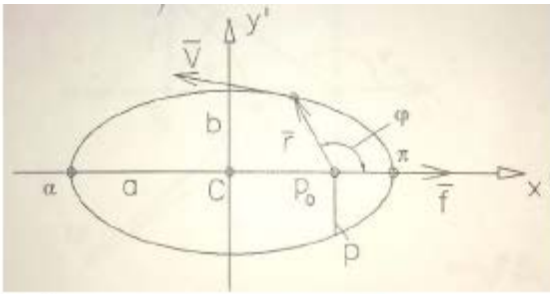


Рис. П.1.

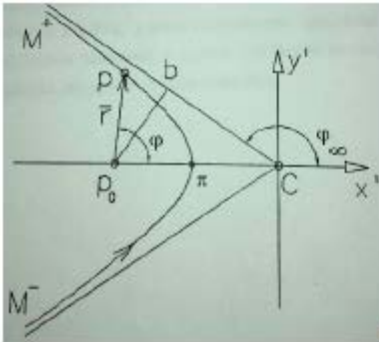


Рис.П.2.

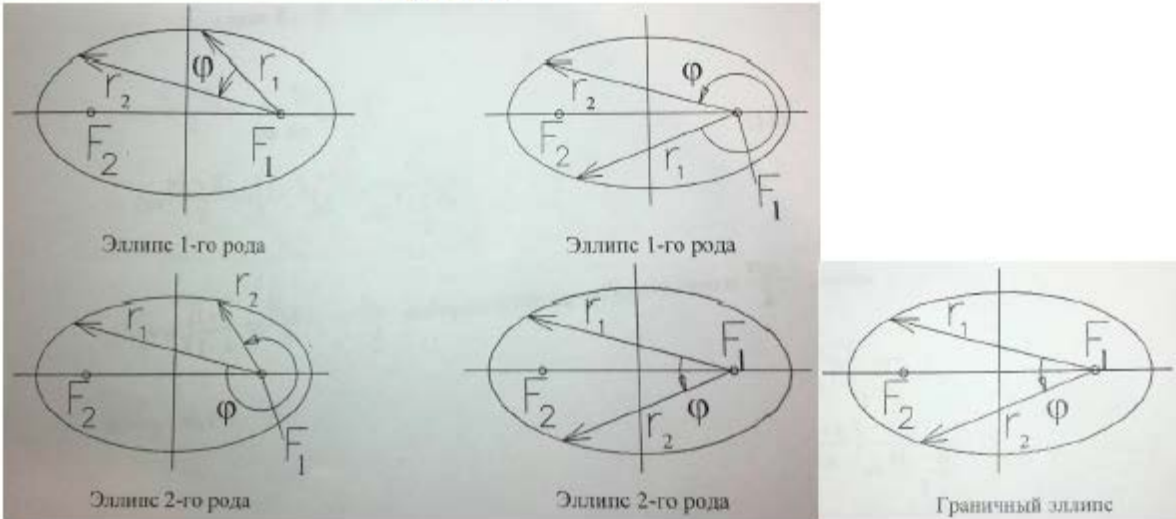


Рис.П.3

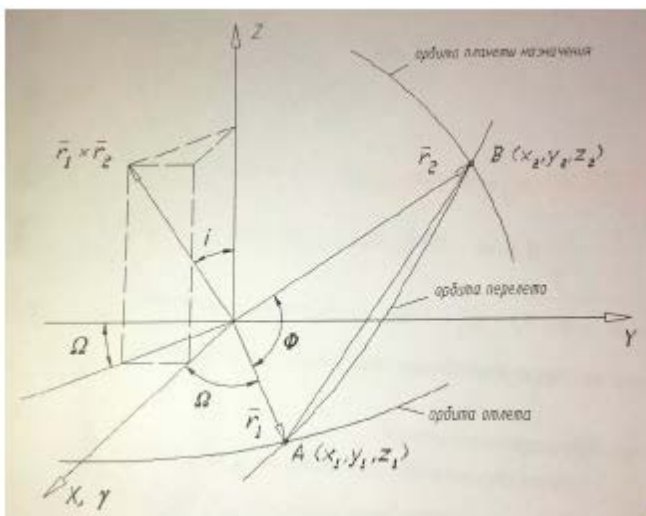


Рис.2

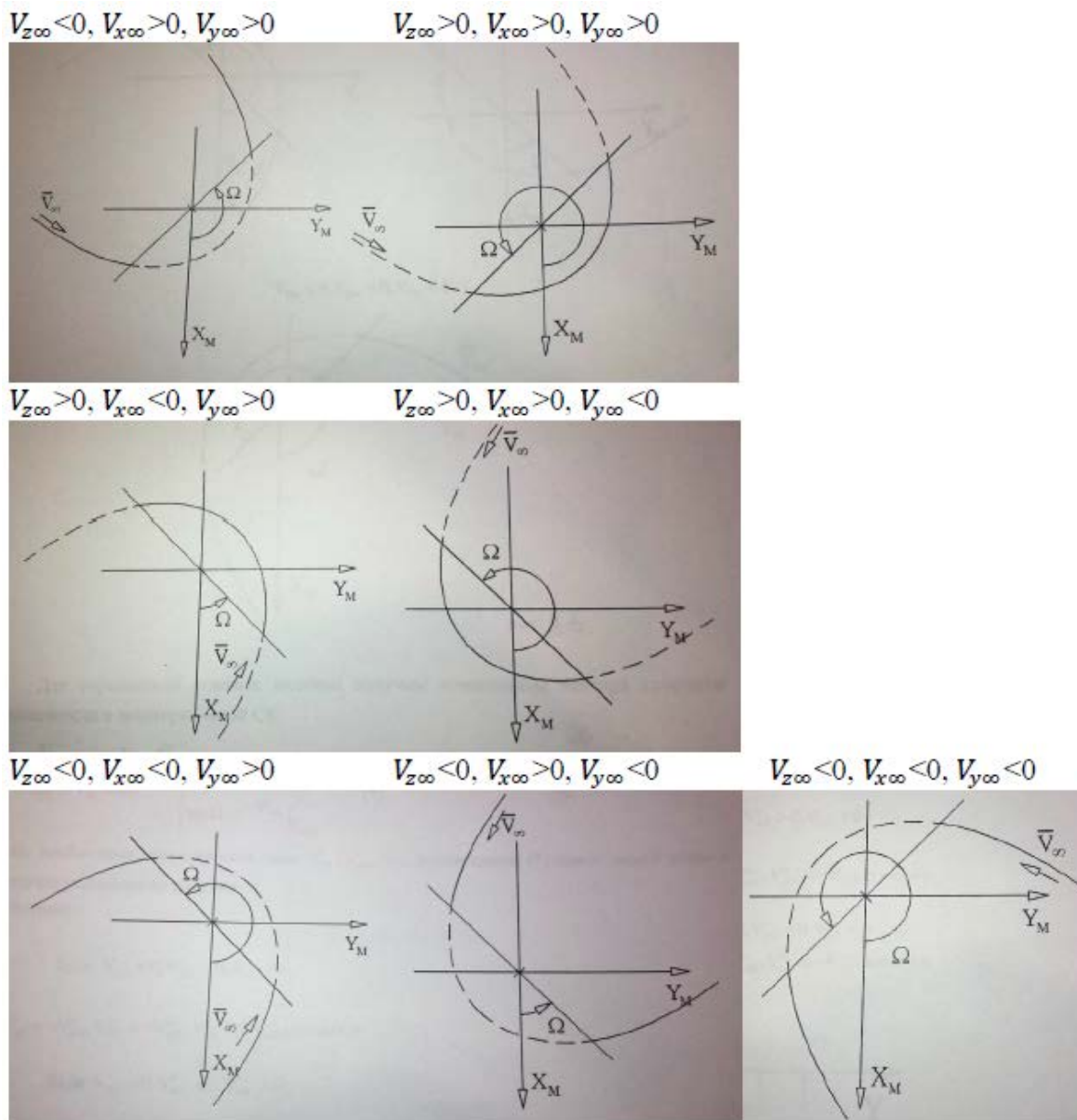


Рис.3

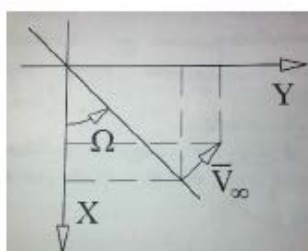


Рис.4

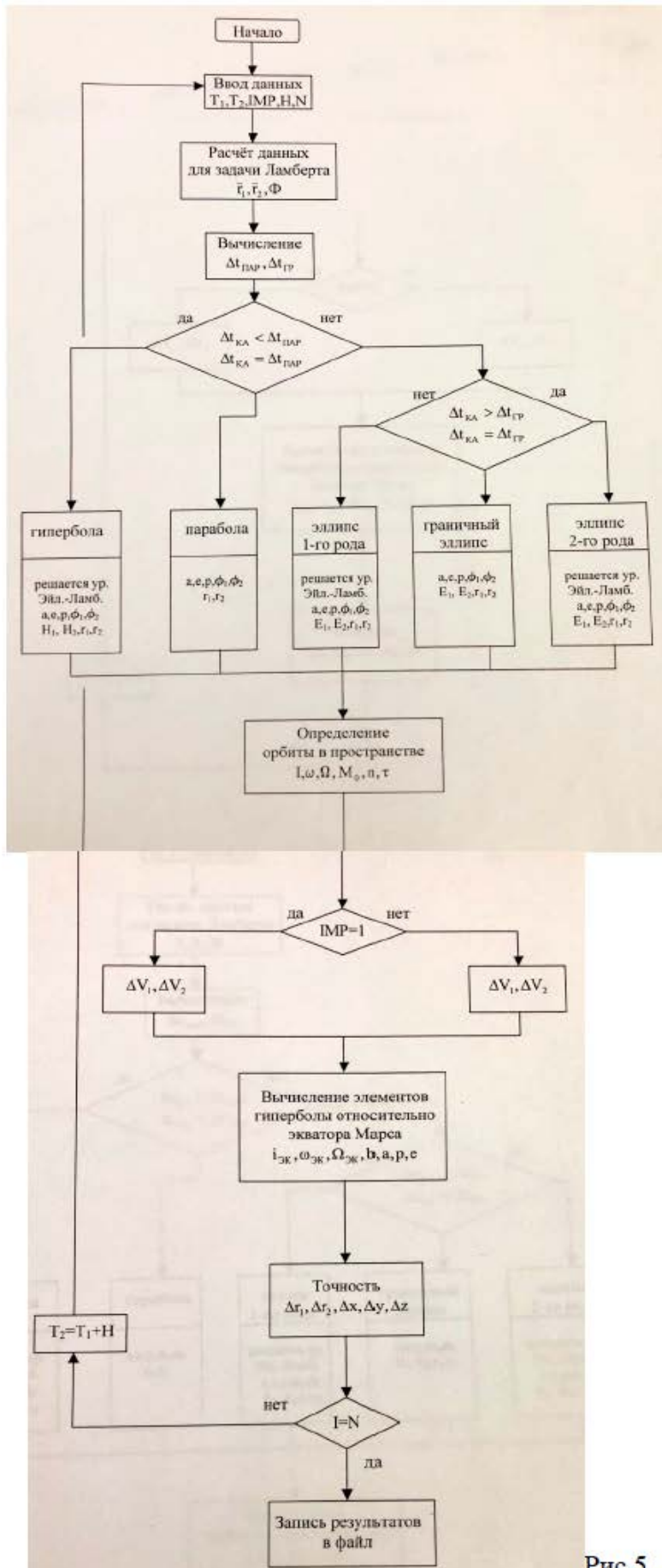


Рис. 5

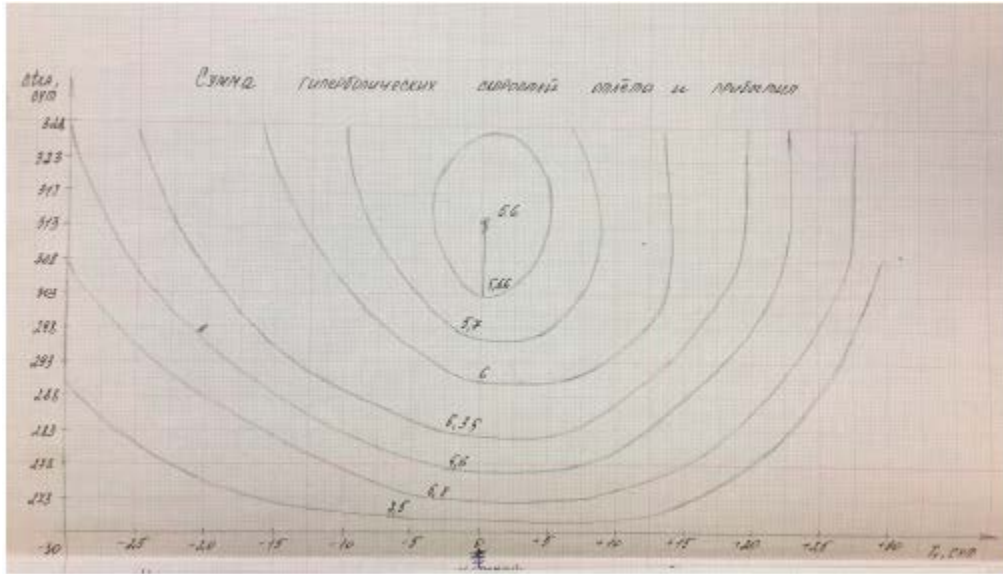


Рис.6

Исходная орбита

$\Delta t_{КА} = 303$  сут      $\Sigma \Delta V = 5,66$  км/с  
 $a = 1,91428597 \cdot 10^8$  км  
 $e = 0,2231$   
 $p = 1,818952697 \cdot 10^8$  км  
 $\omega = 4,51^\circ$   
 $\Omega = 30,58^\circ$   
 $i = 0,09^\circ$   
 $n = 1,375454 \cdot 10^{-7} \frac{1}{с}$   
 $\tau = 2,11650084 \cdot 10^{11} с$

Экстремальная орбита

$\Delta t_{КА} = 314,68$  сут      $\Sigma \Delta V = 5,60$  км/с  
 $a = 1,91224214 \cdot 10^8$  км  
 $e = 0,2224$   
 $p = 1,81759743 \cdot 10^8$  км  
 $\omega = 4,53^\circ$   
 $\Omega = 31,25^\circ$   
 $i = 0,54^\circ$   
 $n = 1,377660 \cdot 10^{-7} \frac{1}{с}$   
 $\tau = 2,11650142 \cdot 10^{11} с$

Отклонения

$\Delta t_1 = 0,43$  сут  
 $\Delta t_2 = 12,12$  сут

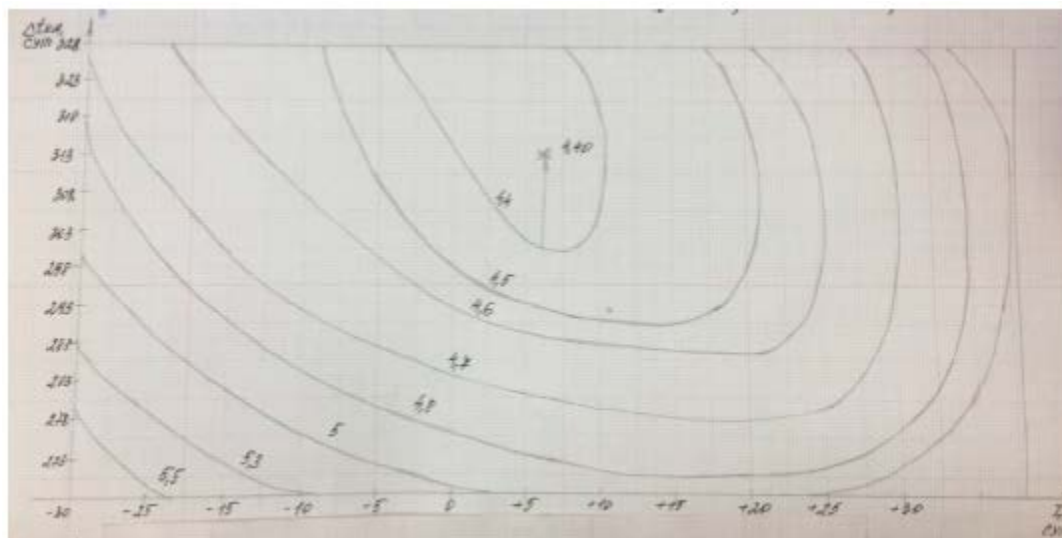


Рис.7

Исходная орбита	Орбита в сфере действия Марса	Экстремальная орбита	Орбита в сфере действия Марса
$\Delta t_{КА}=303$ сут $\sum \Delta V=4,44$ км/с	$a=6411$ км	$\Delta t_{КА}=314,91$ сут $\sum \Delta V=4,40$ км/с	$a=6764$ км
$a=1,91428597 \cdot 10^8$ км	$p=11075$ км	$a=1,91214464 \cdot 10^8$ км	$p=10932$ км
$p=1,818952697 \cdot 10^8$ км	$e=1,6515$	$p=1,81752100 \cdot 10^8$ км	$e=1,6174$
$e=0,2231$	$v=8426$ км	$e=0,2224$	$v=8599$ км
$\omega=4,51^\circ$	$i=4,68^\circ$	$\omega=4,23^\circ$	$i=7,09^\circ$
$\Omega=30,58^\circ$	$\omega=37,28^\circ$	$\Omega=31,60^\circ$	$\omega=38,20^\circ$
$i=0,09^\circ$		$i=0,56^\circ$	
$M_0=139^\circ$		$M_0=138^\circ$	Здесь $v$ - мнимая полуось гиперболы
$n=1,37545493 \cdot 10^{-7}$ 1/с		$n=1,37776604 \cdot 10^{-7}$ 1/с	
$\tau=2,11650084 \cdot 10^{11}$ с		$\tau=2,1150150 \cdot 10^4$ с	
<b>Отклонения от ext</b>			
$\Delta t_{1КА}=0,78$ сут			
$\Delta t_{2КА}=12,70$ сут			

Таблица 1.

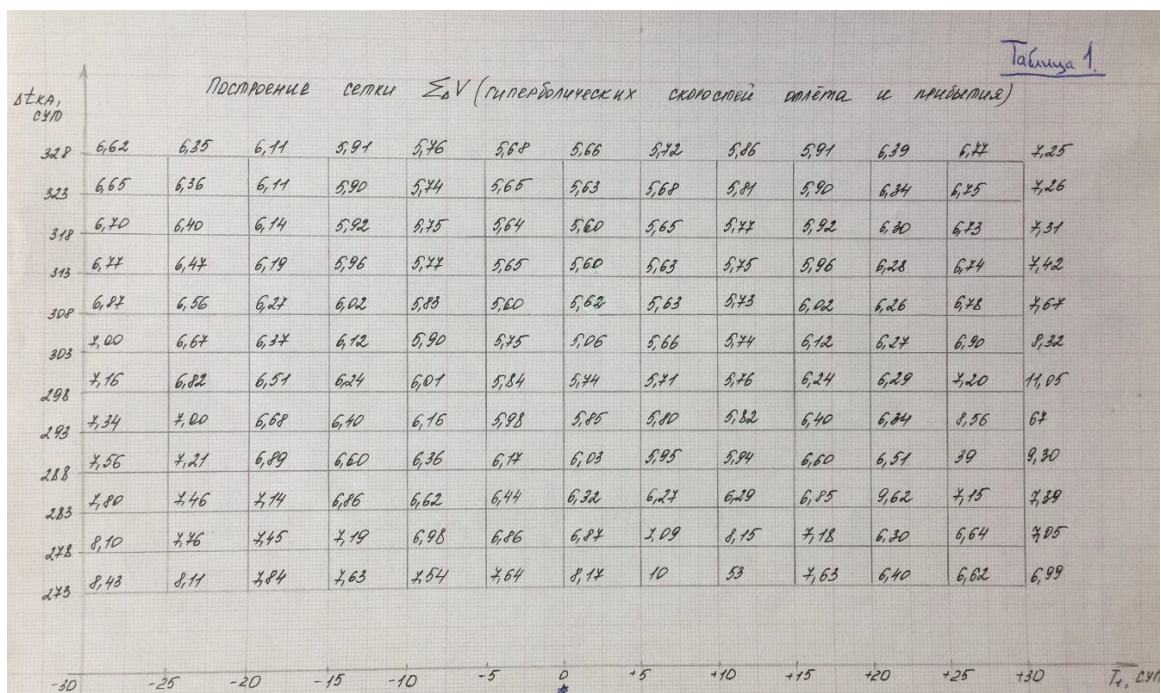


Таблица 2.

Таблица 2.

Посредство сетки  $\Sigma \Delta V$  (старая с круговой орбитой на траекторию перелета и торможения в сфере Вейланда на заданную эл. орбиту)

Стка, сум	4,74	4,64	4,56	4,50	4,46	4,43	4,43	4,46	4,51	4,59	4,70	4,86	5,05
328	4,74	4,64	4,56	4,50	4,46	4,43	4,43	4,46	4,51	4,59	4,70	4,86	5,05
323	4,75	4,65	4,57	4,50	4,45	4,42	4,42	4,43	4,48	4,59	4,67	4,83	5,07
318	4,78	4,67	4,58	4,51	4,48	4,42	4,41	4,42	4,46	4,53	4,65	4,81	5,05
313	4,82	4,70	4,61	4,53	4,47	4,42	4,41	4,41	4,45	4,52	4,63	4,80	5,08
308	4,87	4,75	4,65	4,56	4,49	4,44	4,42	4,41	4,44	4,50	4,61	4,81	5,13
303	4,93	4,81	4,70	4,60	4,53	4,47	4,44	4,43	4,44	4,50	4,61	4,85	5,17
298	5,01	4,88	4,76	4,66	4,58	4,52	4,47	4,45	4,46	4,50	4,61	4,86	6,04
293	5,10	4,97	4,85	4,74	4,65	4,58	4,53	4,48	4,48	4,51	4,63	5,09	57
288	5,21	5,07	4,95	4,84	4,74	4,67	4,61	4,57	4,54	4,53	4,69	5,0	6,06
283	5,35	5,20	5,07	4,96	4,87	4,79	4,74	4,71	4,59	4,68	6,27	5,00	5,07
278	5,50	5,36	5,23	5,13	5,04	4,99	4,99	5,07	5,05	77	4,83	4,76	4,92
273	5,69	5,55	5,43	5,35	5,31	5,35	5,60	6,07	43	4,94	4,67	4,79	4,89

-30    -25    -20    -15    -10    -5    0    +5    +10    +15    +20    +25    +30     $\Sigma, \text{ сум}$



**Часть II. Основные расчетные соотношения алгоритма блок-схемы программы, изображенной на рис.5.**

Если  $h < 0$ ,  $e < 0$ , то точка движется по эллиптической орбите (см Рис.П.1 Приложений), движение происходит в ограниченной области пространства.

При  $\varphi = 0$  точка находится в перигеуме орбиты. При  $\varphi = \pi$  точка находится в апогеуме  $r_a = a(1+e)$ . Эксцентриситет равен  $e = c/p_0/a$ .

Переход от  $\varphi$  к эксцентрической аномалии  $E$  осуществляется по формуле:

$$\operatorname{tg} \frac{E}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\varphi}{2} \right)$$

Связь времени  $t$  и  $\varphi$  осуществляется через соотношение  $t - \tau = \left( \frac{a^{3/2}}{\sqrt{\mu}} \right) \cdot (E - e \sin E)$ .

Если задано время  $t - \tau$ , то угол  $E$  находится решением трансцендентного уравнения Кеплера:  $E - e \sin(E) = M$ , где  $n = \frac{\sqrt{\mu}}{a^{3/2}}$ .

При любом значении  $M$  уравнение Кеплера имеет единственное решение. Можно применить метод последовательных приближений  $E_{k+1} = E_k - f(E_k)/f'(E_k)$ ,  $E_1 = M + e \sin(M)$ ,  $f(E) = E - e \sin(E) - M$ ,  $f'(E) = 1 - e \cos(E)$ .

Итерации заканчиваются, когда  $|E_{k+1} - E_k| \in \varepsilon$ , где  $\varepsilon > 0$  - выбранная точность. Период обращения равен  $T = 2 \pi a^{3/2} / \sqrt{\mu} = 2 \pi / n$ .

Если  $h > 0$ ,  $e > 1$ , то точка движется по гиперболической орбите (см Рис.П.2 Приложений). При этом величина  $a$  отрицательная, ее модуль  $|a|$  равен расстоянию  $pc$  от вершины гиперболы  $\pi$  (перигеума) до конца гиперболы  $C$ , т.е. действительной полуоси. В фокусе  $p_0$  находится притягивающая точка.

Истинная аномалия  $\varphi$  меняется в диапазоне:  $-\varphi_{00} < \varphi < \varphi_{00}$ ,  $\cos(\varphi_{00}) = -1/e$ ,  $\pi/2 < \varphi_{00} < \pi$ .

Дуга орбиты  $M\pi$ , по которой точка приближается к центру притяжения, называется нисходящей ветвью, на ней  $-\varphi_{00} < \varphi < 0$ , а дуга  $\pi M\Gamma$  - восходящей ветвью, на ней  $0 < \varphi < \varphi_{00}$ .

При  $\varphi \neq 0$  точка находится в перигеуме  $\pi$ .  $r_p = \frac{p}{(1+e)} = |a| \cdot (e-1)$ , если угол  $\varphi \rightarrow \pm \varphi_{00}$ , то  $\eta$  увеличивается до бесконечности, а скорость  $V_\infty = \sqrt{h} = \sqrt{\mu \cdot |a|}$ ,  $h = V_{00}^2$ .

$$V = (V_\infty^2 + 2\mu/r)^{1/2}, \quad \bar{c} = \bar{r} \cdot \bar{V} = \bar{b}^- \cdot \bar{V}_\infty^- = \bar{b}^+ \cdot \bar{V}_\infty^+, \quad c = b \cdot V_\infty.$$

$$\text{С увеличением } b \text{ увеличивается } e: e = (1 + b^2/a^2)^{1/2}, \quad 2\pi = (b^2 + a^2)^{1/2} \cdot |a|, \quad |a| = \mu / V_\infty^2.$$

Переход от  $\varphi$  к  $H$  дает соотношение  $\operatorname{th} \frac{H}{2} = \left( \frac{e-1}{e+1} \right)^{1/2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ ,  $\eta = |a| \cdot (e \cdot \operatorname{sh} H - 1)$ , связь  $H$  и времени  $n(t - \tau) = e \cdot \operatorname{sh} H - H$ ,  $n = \sqrt{\mu} / |a|^{3/2}$ .

$e \cdot \operatorname{sh} H - H = M$  Это гиперболический аналог уравнения Кеплера.

Задача Ламберта и метод Ламберта-Эйлера для возможных типов орбит.

Перелет от Земли к Марсу можно интерпретировать как задачу встречи в гравитационном поле Солнца, если принять, что сферы действия планет стянуты в точки, совпадающими с их центрами масс, а притяжением планет на гелиоцентрическом участке можно пренебречь. Но даже в упрощенной постановке необходимо учитывать наклонение орбиты планеты назначения к плоскости эклиптики и эксцентриситета орбит Земли и планеты. В противном случае могут выпасть характерные особенности получаемых результатов.

Если задана дата старта с Земли  $t_1$  и дата прибытия на планету назначения  $t_2$ , то можно по Астрологическому ежегоднику определить начальный  $r_1$  (для Земли) и конечный  $r_2$  (для Марса). Разность  $\Delta t = t_2 - t_1$  задает длительность перелета КА между  $r_1$  и  $r_2$ . Требуется найти траекторию

(или орбиту) полета, удовлетворяющую заданным условиям, т.е. решить задачу Ламберта. Входными данными в задачу Ламберта являются  $r_1, r_2, \varphi$  - угол перелета,  $t_1, t_2$ . Результатом решения является орбита перелета.

Уравнения Ламберта-Эйлера.

Для гипербол ( $a < 0$ )

$$\Delta t = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{\mu}} (\operatorname{sh} \xi_1 - \xi_1 \pm (\operatorname{sh} \delta_1 - \delta_1)),$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{sh} \frac{\xi_1}{2} = \sqrt{\frac{r_1 + r_2 + s}{4a}} \\ \operatorname{sh} \frac{\delta_1}{2} = \sqrt{\frac{r_1 + r_2 - s}{4a}}, \end{array} \right.$$

где  $\xi_1 \geq 0, \delta_1 \geq 0, a = -a$

Для параболических орбит ( $a \pm \infty$ )

$$\Delta t = \frac{1}{6\sqrt{\mu}} [(r_1 + r_2 + s)^{3/2} \pm (r_1 + r_2 - s)^{3/2}]$$

Для эллиптических орбит первого рода ( $a > \frac{r_1 + r_2 + s}{4}$ )

$$\Delta t = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{\mu}} (2\pi n \xi_0 - \sin \xi_0 \pm (\delta_0 - \sin \delta_0)),$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{sh} \frac{\xi_0}{2} = \sqrt{\frac{r_1 + r_2 + s}{4a}} \\ \operatorname{sh} \frac{\delta_0}{2} = \sqrt{\frac{r_1 + r_2 - s}{4a}}, \end{array} \right.$$

где  $\frac{\pi}{2} \geq \xi_0 \geq 0, \frac{\pi}{2} \geq \delta_0 \geq 0$

Для граничных эллиптических орбит ( $a = \frac{r_1 + r_2 + s}{4}$ )

$$\Delta t = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{\mu}} (\pi(2n+1) \pm (\delta_0 - \sin \delta_0)),$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{sh} \frac{\delta_0}{2} = \sqrt{\frac{r_1 + r_2 - s}{r_1 + r_2 + s}} \\ \text{где } \frac{\pi}{2} \geq \delta_0 \geq 0 \end{array} \right.,$$

Для эллиптических орбит второго рода ( $a > \frac{r_1 + r_2 + s}{4}$ )

$$\Delta t = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{\mu}} (2\pi(n+1) - (\xi_0 - \sin \xi_0) \pm (\delta_0 - \sin \delta_0)),$$

Величина  $s$  определяется как  $s = \sqrt{(r_1 + r_2)^2 - 4r_1 r_2 \cos \frac{\Delta \varphi}{2}}$ , причем всегда  $s \geq 0, n$  - число целых значений  $2\pi$  в угле  $\Delta \varphi$  (для гиперболы и параболы  $n = 0$ )

Определение вида орбит при  $\varphi < 2\pi$ , соответствующее Рис. П.3, осуществляется из условий, приведенных в п.2.2. основного текста работы.

## СЕКЦИЯ №4. Автономные радиоэлектронные устройства управления, автоматические системы и робототехника

### Разработка системы управления для шестиногого робота

*Рубцов Пётр Васильевич,*

*г. Москва, ГБОУ СОШ 1412, 11 класс*

*Научный руководитель: Коновалов Константин Владимирович,*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, аспирант каф. СМ-7*

#### **Введение**

В течение последних ста лет люди совершили огромный прорыв в исследовании космического пространства. После успешного выхода в космос можно было приступить к изучению других планет, в частности Марса. С появлением такой возможности крупные организации и страны стали разрабатывать планы по отправке на Марс роботов за образцами почвы, проведением анализов атмосферы и съемкой особенностей поверхности красной планеты. Лучшими исполнителями данных задач являются роботы, т.к. они способны работать в условиях космоса. Сейчас наиболее активные исследования Марса ведёт организация НАСА. В данный момент на планете работают 2 марсохода: Curiosity (с 6 августа 2012 года) и Opportunity (с 25 января 2004 года) [1]

Шагающие роботы обладают высокой проходимостью по пересечённой местности. Поверхность марса полностью пересечённая, поэтому они лучше остальных подходят для исследования марса. Шагающий робот имеет небольшую площадь опоры по сравнению с другими, из-за чего легче грамотно выбрать то место, куда будет поставлена нога. По местности с большим количеством ям и камней шагающий робот будет передвигаться стабильнее чем остальные.

#### **Постановка задач**

Целью работы является разработка системы управления для шагающего робота.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) выбрать походку и реализовать алгоритм шагания для шестиногого робота;
- 2) провести энергетический расчёт для приводов ноги и выбрать двигатели;

- 3) настроить ПИД-регулятор;
- 4) разработать компьютерную модель шестиногого шагающего робота;
- 5) промоделировать его движение в программе MATLAB;
- 6) провести натурный эксперимент;

### **Выбор походки и разработка алгоритма шагания**

Первым шагом в разработке алгоритма движения является выбор походки. Были рассмотрены различные варианты движения робота [2]. Была поставлена задача выбрать походку для передвижения по поверхности марса. Выделим два типа поверхности: слабопересечённая местность и местность с большим перепадом высот. Для каждой местности выберем отдельный тип походки. Выбор стоял между статическими и динамическими походками. Динамические походки быстрее, но они плохо подходят для передвижения по пересечённой местности с сыпучей поверхностью. Выбор был сделан в пользу статических походок. Их суть заключается в том, что робот в любой момент времени находится в положении статической устойчивости, то есть его центр масс всегда находится внутри опорного многоугольника, находящихся в фазе опоры. Такие походки хорошо подходят для движения по поверхности марса из-за гарантируемой устойчивости.

Из статически устойчивых походок наиболее удобными являются походки 3+3 (рис. 1) 4+2 (рис. 2) 5+1 (рис. 3). Для слабопересечённой местности была выбрана наиболее быстрая походка (3+3) [3]. При этой походке 3 ноги робота находятся в фазе опоры, а 3 в фазе переноса. Затем ноги меняются, то есть те, что были в фазе переноса теперь находятся в фазе опоры и наоборот. Эта походка является основной за счёт своей скорости.

Для сильно пересечённой местности принято решение использовать запасную походку в случае необходимости. Запасной походкой является походка 5+1. Её стоит использовать при движении по сильно пересечённой местности [4].

### Генератор шагового цикла

Для шагающего робота подходит почти любая поверхность для постановки ноги. Рациональным решением будет базировать алгоритм шагания на цикле, при котором ноги робота будут перемещаться в определённо заданной последовательности [5]. В качестве основной походки была выбрана статически устойчивая походка 3+3, при которой 3 ноги робота будут находиться в фазе опоры а 3 в фазе переноса. В качестве запасной походки была выбрана походка 5+1, которая также является статически устойчивой.

Для разработки необходимо выбрать подходящие двигатели, а также проанализировать зависимость угла поворота и момента от длин звеньев [6]. Разработаем алгоритм для походки 3+3. Он будет содержать два состояния: движение одной тройки ног, при этом другая тройка ног находится в неподвижном состоянии, во втором другая тройка ног движется а первая находится в состоянии покоя. На рис 4 представлена схема движения робота.

ПП - правая передняя нога, ПЦ - правая центральная, ПЗ - правая задняя

ЛП - левая передняя, ЛЦ - левая центральная, ЛЗ - левая задняя. Проверка алгоритма была осуществлена в программе MATLAB.

### Энергетический расчёт и выбор двигателей

Для выбора двигателя с необходимой мощностью был проведен энергетический расчёт. Данный расчёт проводится для земных условий чтобы можно было провести натурный эксперимент на макете робота. Дополнительная нагрузка робота равна 0.37 кг.

Проведём расчёт мощности для нижнего шарнира робота [7].

$$P = M * \omega$$

$P$  - необходимая мощность двигателя  $M$  - момент силы

$\omega$  - угловая скорость

в свою очередь  $\omega = v/L$  [7]

где  $v$  - скорость, а  $L$  - Длина шарнира необходимая скорость  $v = 1$  м/с а .

Длина шарнира  $L = 3$  см или же 0,03 м Найдём момент силы

$$M=F*R$$

F - сила , действующая на нижний шарнир будет вращать только свою массу , поэтому  $F=mg$

где m - масса нижнего шарнира (60 г или 0.06 кг)  $g = 9.8 \text{ м/с}^2$

R - плечо силы , равное длине шарнира подставим наши расчёты в начальную формулу

$$P=M*\omega = v/L * (m+md)g * R = v * mg = 1 * 9.8 * 0.06 = 0.619 \text{ Вт} \quad [7]$$

где md - дополнительная нагрузка равная 0.07кг, для движения нижнего шарнира нужна мощность 0.619 Вт

После изучения списка двигателей [8] был выбран МРЦ-12. Этот двигатель питается от напряжения 3-6 В МРЦ -12 развивает скорость 46...1500об/мин

Аналогичные вычисления были сделаны для второго и третьего шарниров. Их параметры указаны в таблице 1.

Таблица 1

звено	длина	Масса с доп. нагрузкой	Плечо силы	мощность	двигатель
среднее	5 см	0.14 кг	3.6 см	1.65 Вт	МРЦ-20
верхнее	3	0.22 кг	2.6 см	3.91 Вт	МРП-32

В ходе расчёта выбран двигатель МРП-32 для верхнего звена с встроенным планетарным редуктором. Для среднего звена был выбран двигатель МРЦ-20 с встроенным цилиндрическим редуктором. Для нижнего звена был выбран двигатель МРЦ-12 с встроенным цилиндрическим редуктором.

### **Синтез привода и настройка ПИД-регулятора**

Разработаем математическую модель привода. Для этого воспользуемся уравнениями двигателя постоянного тока [9].

$$U_{\text{я}}(t) = R \cdot i_{\text{я}}(t) + L_{\text{я}} \cdot \frac{di_{\text{я}}(t)}{dt} + E_{\text{я}}(t), \quad E_{\text{я}}(t) = K_{\omega} \cdot \omega(t)$$

$$i_{\text{я}}(s) = \frac{U_{\text{я}}(s) - K_{\omega} \cdot \omega(s)}{R \cdot (T_{\text{я}} \cdot s + 1)} \quad M_{\text{дв}} = K_{\text{М}} \cdot i_{\text{я}} \quad M_{\text{дв}}(t) = J_{\text{прив}} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt}$$

$$W_{\text{НЕИЗМ}}(s) = \frac{1}{K_{\omega} \cdot i} \cdot \frac{1}{s \cdot \left( \frac{J_{\text{прив}} \cdot L_{\text{я}}}{K_{\text{М}} \cdot K_{\omega}} \cdot s^2 + \frac{J_{\text{прив}} \cdot R}{K_{\text{М}} \cdot K_{\omega}} \cdot s + 1 \right)}$$

где  $U_{\text{я}}$  - напряжение на якоре двигателя;  $i_{\text{я}}$  - ток в цепи;

$R$  - активное сопротивление якорной обмотки;  $L_{\text{я}}$  - индуктивность обмотки;

$E_{\text{я}}$  - противо-ЭДС двигателя, пропорциональная скорости вращения.  $T_{\text{я}}$  - электрическая постоянная двигателя.

$M_{\text{дв}}$  – момент

На основании полученных уравнений разработаем компьютерную модель привода ноги робота. Модель будем создавать в среде MATLAB [10]. Используя библиотеку Simulink, по полученным уравнениям создадим эту модель. Разработанная модель представлена на рис. 5.

Для проверки корректности работы проведём моделирование. Для выполнения данной задачи воспользуемся программой MATLAB. На вход привода будем подавать углы поворота, рассчитывая при этом необходимую мощность. Отсюда получим углы поворота для шарниров. Подаём входное воздействие на двигатель для поворота вала на 25 градусов и получаем следующий график (рис. 6)

Как видно на рисунке, время переходного процесса составляет около одной секунды, без дополнительной коррекции робот не сможет правильно передвигаться. Для синтеза привода был использован ПИД регулятор. Для этого воспользуемся приложением MATLAB Simulink, добавим в схему блок ПИД-регулятора и блок для его настройки - check step response (рис 7).

С помощью ползунков блока check step response установим нужное время переходного процесса, а также ошибку и колебательность (рис. 8).

Блок автоматически настроит нужные коэффициенты для ПИД-регулятора. Получаем нужные значения  $K_p = 3.38$   $K_i = 6.98$   $K_d = 0.49$ . Повторно проверим

работоспособность привода. Проведём математическое моделирование скорректированной системы. Результаты моделирования представлены на рис. 9, как видно из графика, время переходного процесса стало гораздо меньше, примерно 0.5 с. Теперь нога робота сможет адекватно двигаться.

### **Создание компьютерной модели в среде MATLAB Simmechanics**

Для проверки корректности работы алгоритма была разработана компьютерная модель робота в среде MATLAB. Для её создания была использована библиотека Simulink, и её раздел simmechanics [11] рис. 10.

Разработанная схема содержит следующие блоки:

- 1) leg -нога робота (шесть штук)
- 2) body - корпус робота
- 3) ground - поверхность по которой движется робот
- 4) simulink ps convertet - преобразует одно значение в другое
- 5) from workspace -подаёт управляющие значение из буфера

Стоит уделить отдельное внимание блок-схемам leg (рис. 11) и body (рис. 12)

В данной схеме (рис. 11) был использован блок revolute joint, который задаёт степень свободы одного звена относительно другого.

В этой схеме (рис. 12) был использован блок rigid transform, который отвечает за поворот вокруг одной из осей. Блок solid является самим телом робота.

### **Моделирование движения робота в MATLAB**

После разработки компьютерной модели было проведено моделирование движения в MATLAB для проверки работоспособности алгоритма. Перед роботом стояла задача пройти прямо один метр. Для управления роботом было использовано управление представленное на рис. 4. На привода подавались управляющие воздействия 25 градусов. Данное моделирование показало работоспособность алгоритма. Во время движения робот корректно передвигался (рис. 13) (рис.14). Ошибка при движении составила 0,5 сантиметров.



### Натурный эксперимент

Был проведён натурный эксперимент для проверки работоспособности разработанного алгоритма в реальных условиях. Основной задачей робота являлось преодолеть расстояние равное одному метру по прямой линии. Движение робота осуществлялось на разных поверхностях и при переносе разного веса. На рисунке 15 представлен робот в начальной позиции. На рисунках 16 и 17 робот представлен в двух видах в момент переноса ног. На рисунке 18 видно что робот добрался до финиша и преодолел путь равный одному метру. Результаты эксперимента показали что без нагрузки робот движется более точно, тип поверхности не сильно влияет на ошибку передвижения. Натурный эксперимент был успешно проведён, что доказало работоспособность разработанного алгоритма. Во всех десяти попытках робот успешно добрался до цели. На таблице 2 представлены данные о 10 экспериментах проведённых в различных условиях

Таблица 2

Поверхность	Ошибка	Доп. нагрузка
Ламинат	5 см	0
Линолиум	5 см	0
Дерево	5 см	0
Ковёр	6 см	0
Земля	8 см	0
Ламинат	6 см	0.5 кг
Линолиум	6 см	0.5 кг
Дерево	6 см	0.5 кг
Ковёр	8 см	0.5 кг
Земля	10 см	0.5 кг

как видно из таблицы, ошибка не превышала десяти сантиметров.

## **Заключение**

В ходе работы был проведен выбор походок и разработан алгоритм шагания. Проведён выбор необходимых двигателей путём энергетического расчёта. Разработана компьютерная модель двигателя постоянного тока для привода ноги. Для неё проведен синтез методом ПИД-регулятора. Коррекция привлекла к уменьшению времени переходного процесса. Разработана компьютерная модель движения робота. Проведено моделирование движения робота в среде MATLAB. Выполнен натурный эксперимент, который доказал работоспособность разработанного алгоритма.

## **Список литературы:**

- [1] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Исследование\\_Марса](https://ru.wikipedia.org/wiki/Исследование_Марса) (Дата обращения 19.01.18)
- [2] Тимонов А.В. Разработка алгоритмов управления шестиногим шагающим аппаратом 2002г. М.: ООО «Бином-Пресс» 256 стр.
- [3] Луцкий В.А. Исследование адаптивных алгоритмов передвижения шестиногого шагающего робота 2009г. 78 стр. МГТУ. им. Баумана.
- [4] Лапшин В.В. Механика и управление движением шагающих машин МГТУ им.Баумана 2012г. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 199 с.
- [5] Каргинов Л.А. Пример синтеза управляющих воздействий для шестиногого шагающего робота. 2015г. Молодежный научно-технический вестник при МГТУ им. Н.Э. Баумана 5-10 стр.
- [6] [Бошляков И.А.](#), [Коновалов К.В](#) разработка математической модели движения учебного колёсного робота 2015 г. Молодежный научно-технический вестник при МГТУ им. Н.Э.Баумана 5 стр
- [7] В.А Макаров С.С.Чесноков основы физики Бином Лаб. знаний 2011г. 330 стр.
- [8] [gearmotor.ru](http://gearmotor.ru) (Дата обращения 27.01.18)
- [9] Дорф Р. Бишоп Р. современные системы управления 1968г. 600 стр. М.: Наука
- [10] [matlab.exponenta.ru/simpower/book1/4.php](http://matlab.exponenta.ru/simpower/book1/4.php) (Дата обращения 29.01.18)
- [11] <https://www.youtube.com/user/MATLABinRussia> (Дата обращения 3.02.18)

## Приложение 1



Рис. 1. Походка 3+3 шагающего робота



Рис. 2. Походка 4+2 шагающего робота



Рис. 3. Походка 5+1 шагающего робота

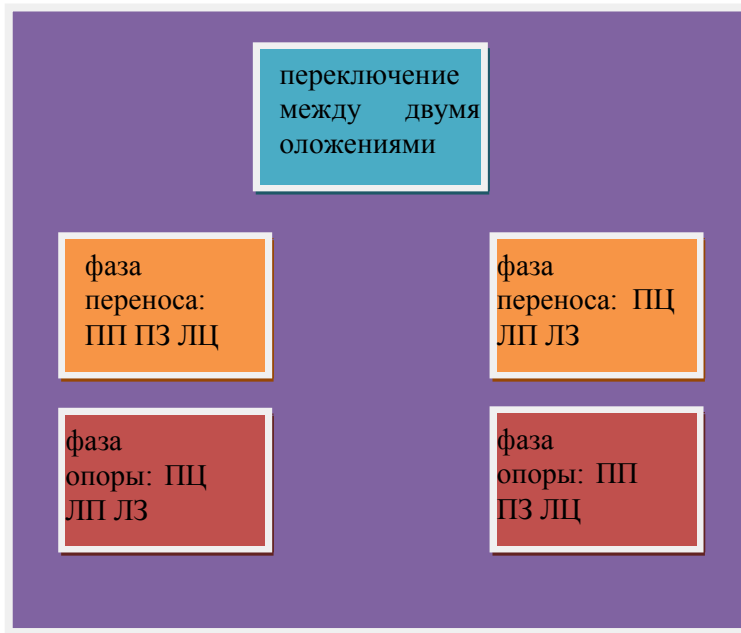


Рис. 4. Алгоритм движения робота

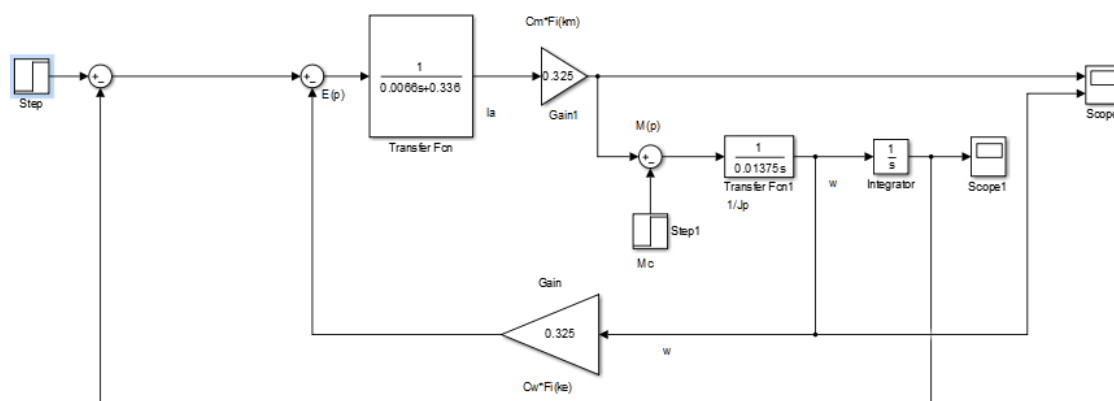


Рис. 5. Модель привода ноги робота

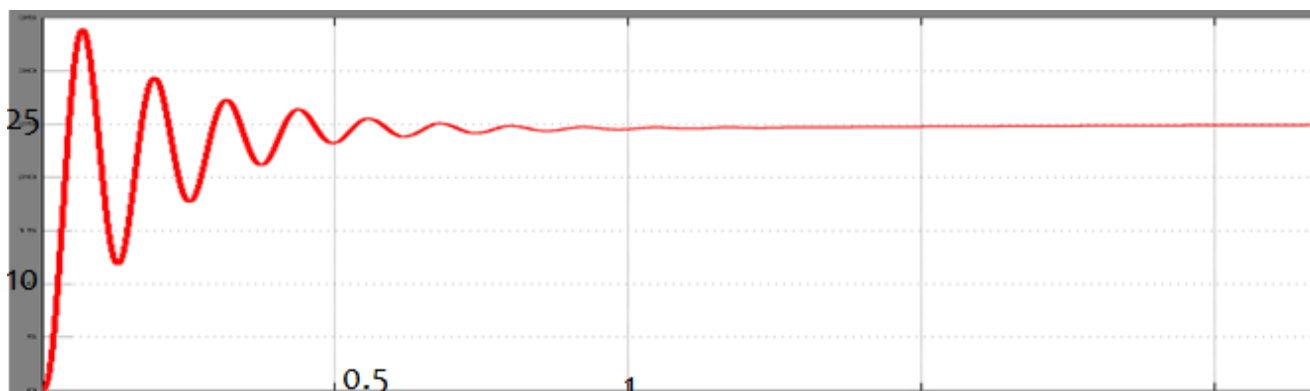


Рис. 6. График переходного процесса нескорректированной системы

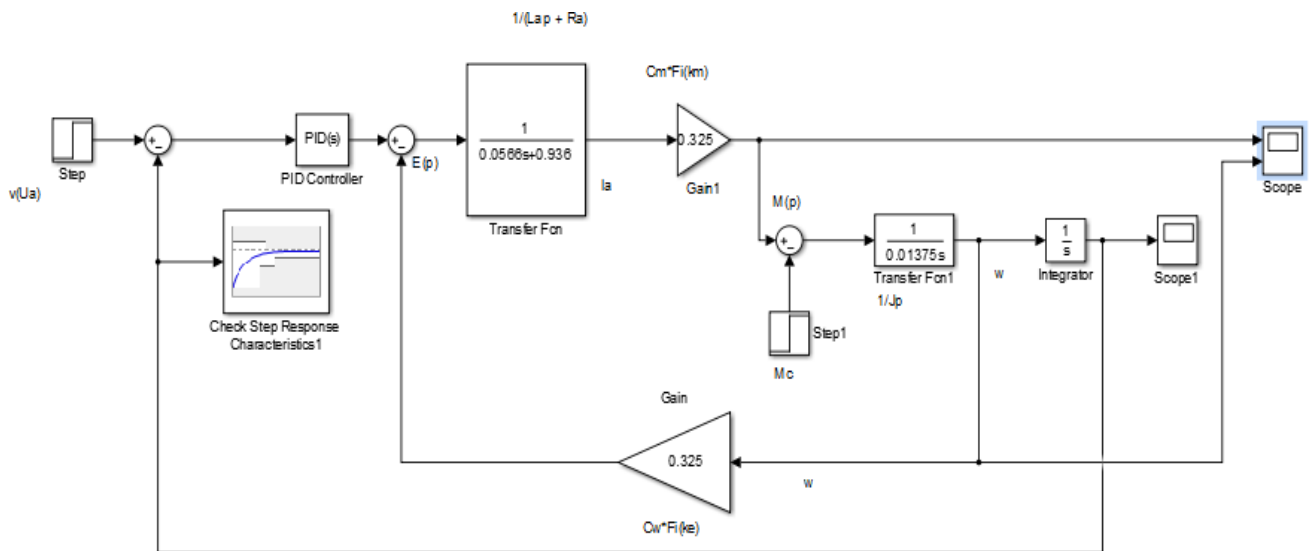


Рис. 7. Скорректированная модель привода

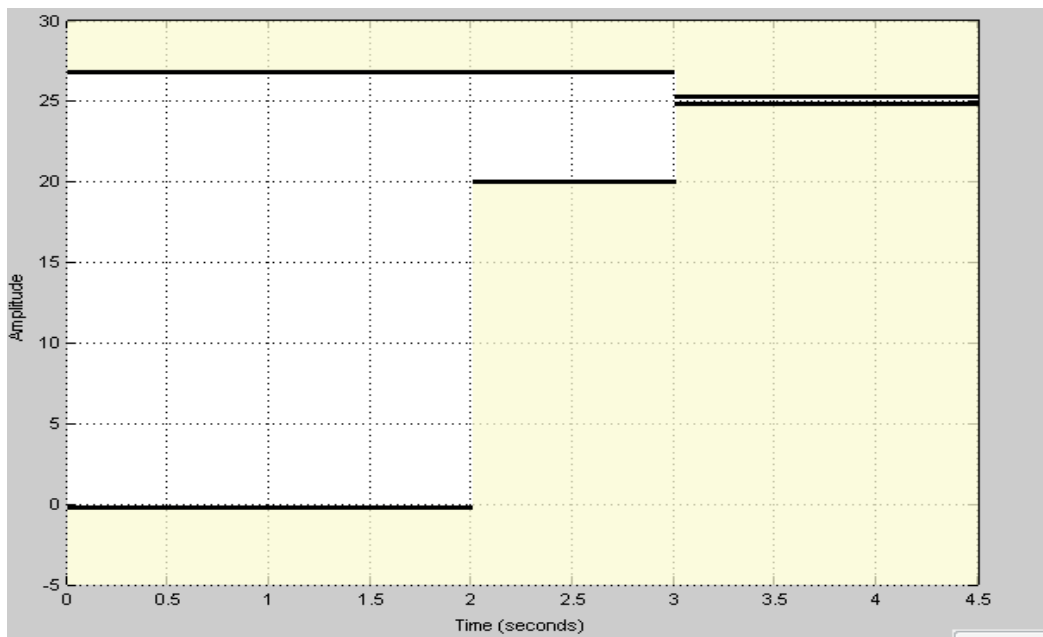


Рис. 8. Меню блока check step response

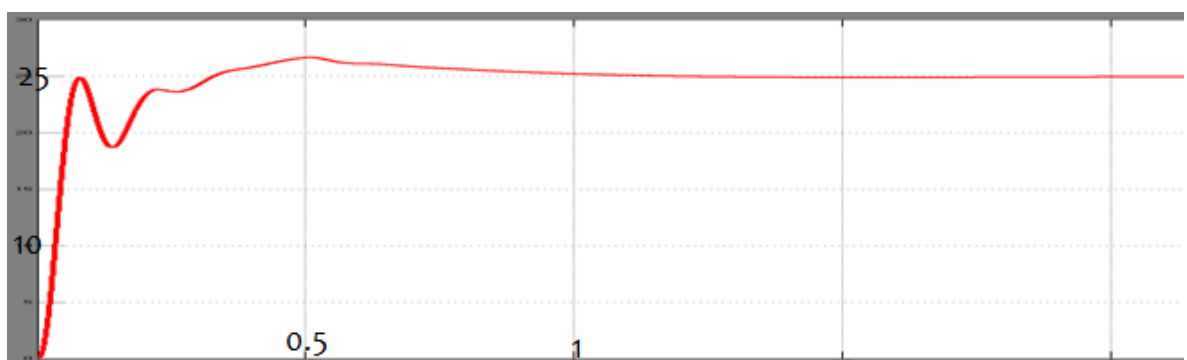


Рис. 9. . График переходного процесса скорректированной системы

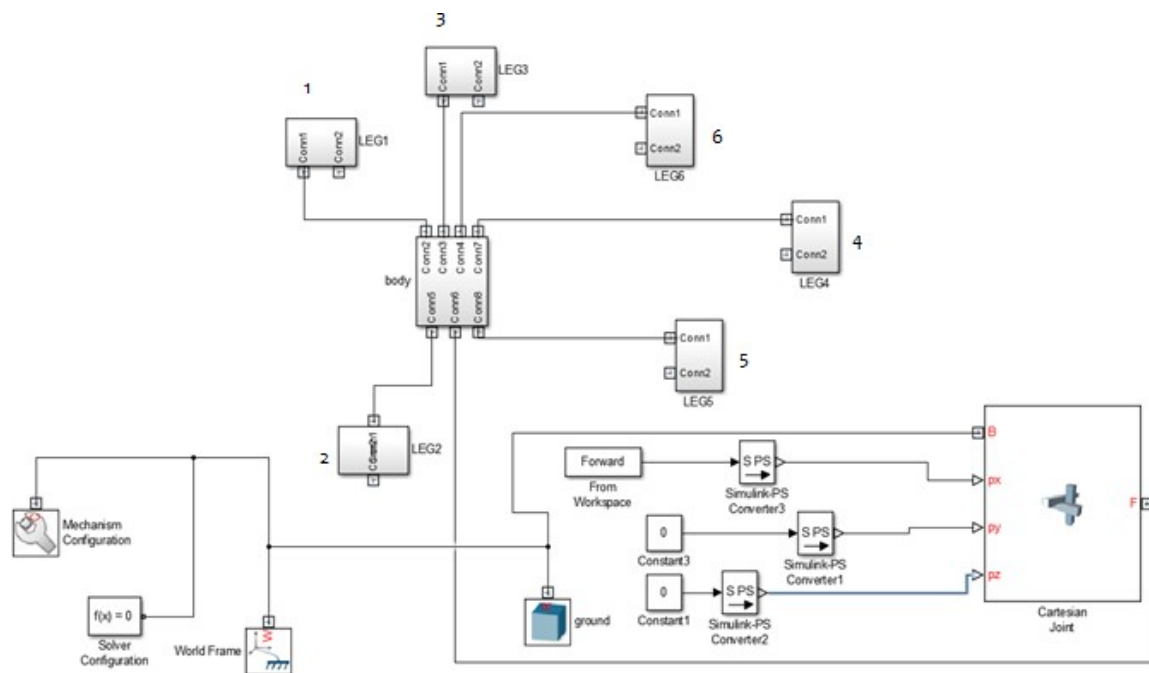


Рис. 10. Компьютерная модель робота

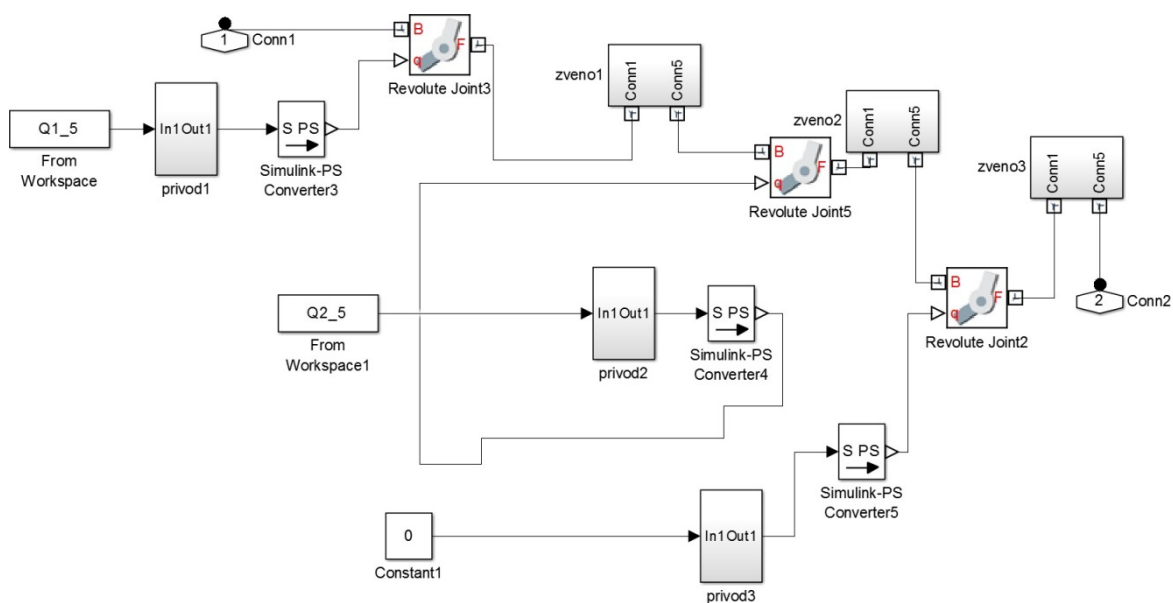


Рис. 11. Подсистема модели ноги робота

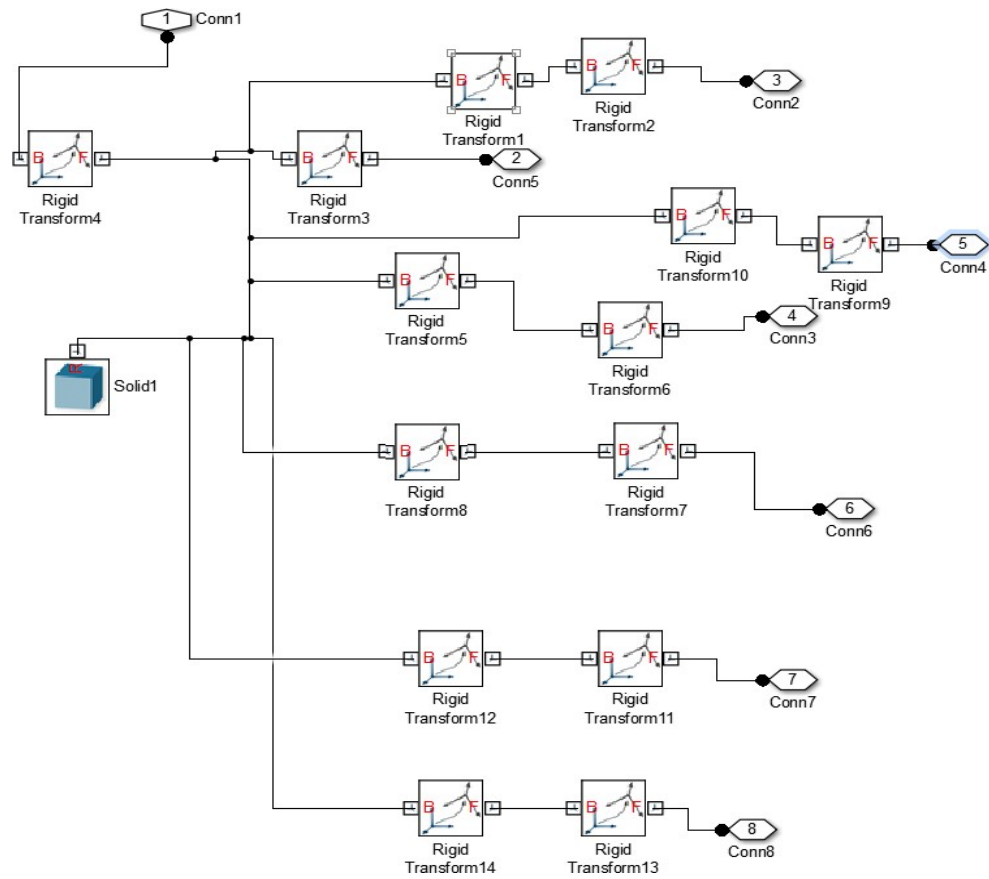


Рис. 12. Подсистема модели корпуса робота

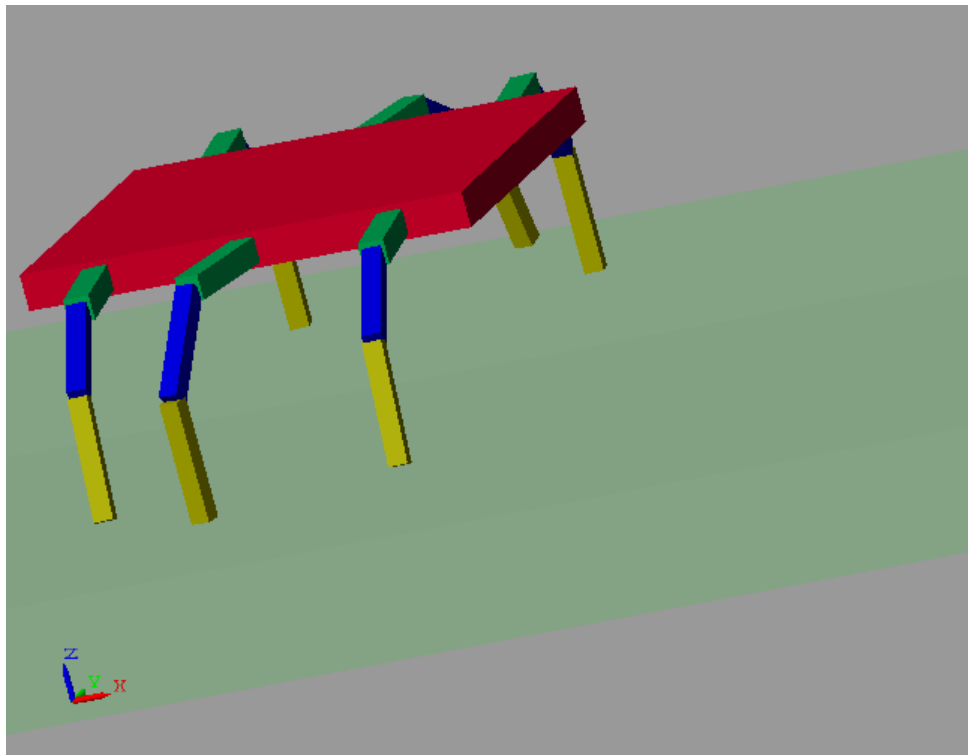


Рис.13. Движение робота вид сбоку

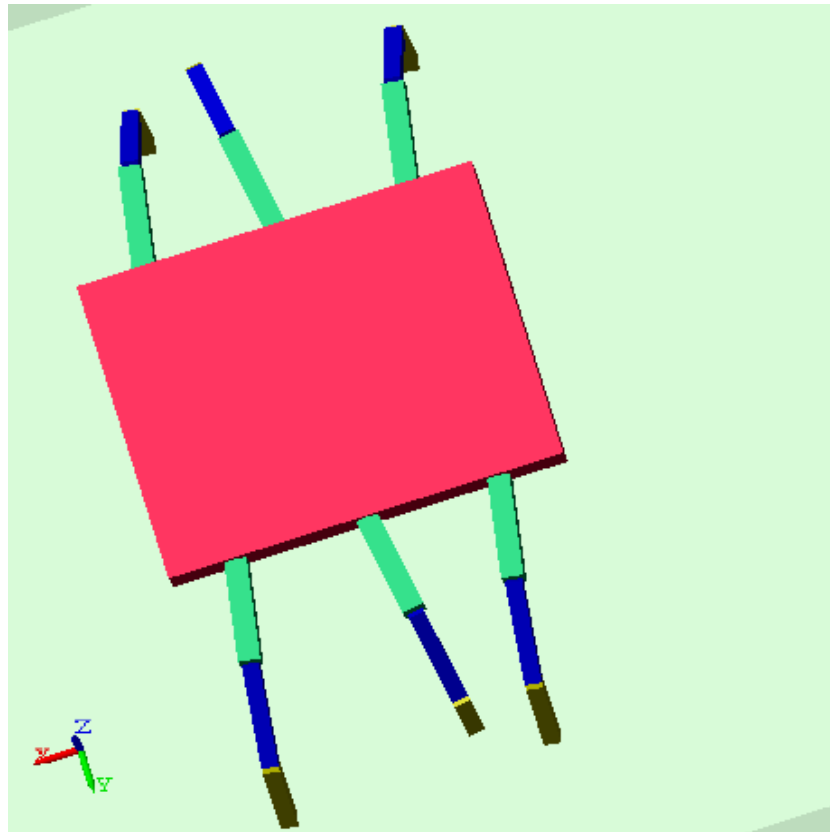


Рис. 14. Движение робота вид сверху



Рис. 15. Натурный эксперимент начало движения



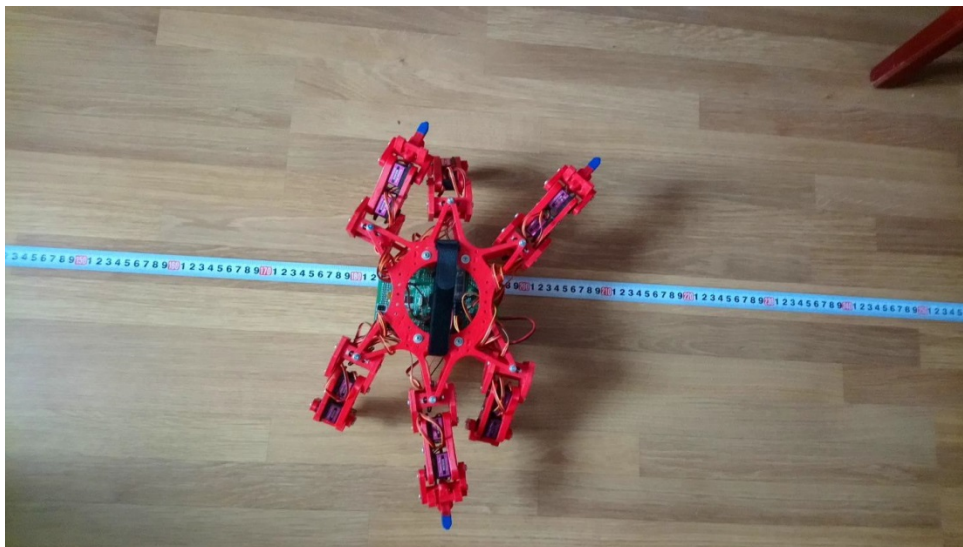


Рис. 16. Натурный эксперимент вид сверху



Рис. 17. Натурный эксперимент вид спереди

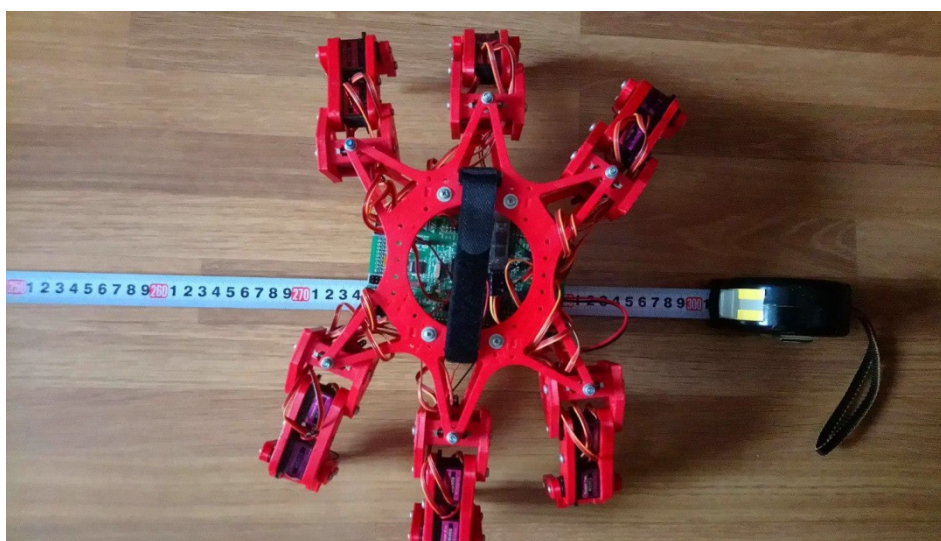


Рис. 18. Натурный эксперимент окончание движения

## **СЕКЦИЯ №8. Ракетно-космические композиционные конструкции**

### **Перспектива использования солнечного паруса как транспортировщика полезной нагрузки в космическом пространстве**

*Селянин Дмитрий Алексеевич,*

*г. Москва, МБОУ «СОШ» №18, 10 класс*

*Научный руководитель: Николаева Н.В.,*

*педагог дополнительного образования МБУ ДО «ДДЮТ»*

#### **Введение**

С началом космической эры учёные и инженеры устремились к изучению и освоению ближайших к Земле космических тел: Луны и Марса.

С появлением новых материалов и достижений в микроэлектронике попытки становились всё более успешными, а космические аппараты и планетоходы всё сложнее и совершеннее.

Человечество начало использовать ракеты для перемещения полезной нагрузки в космическое пространство, но расходы, зависящие от топлива и его количества, заставляют задуматься о применении аналоговых способов транспортировки. С целью развития космической промышленности советскими учёными была изобретена схема радиационно- гравитационной стабилизации космического аппарата, основанная на применении солнечного паруса. Первое развёртывание солнечного паруса в космосе было произведено на российском корабле «Прогресс М-15» в рамках проекта «Знамя-2»[1]. Знамя 2 представлял собой солнечный парус 20-метровой ширины, был запущен на борту «Прогресс М-15» с космодрома Байконур 27 октября 1992 года. При посещении станции «Мир» её экипаж ЭО-12 установил на борту «Прогресса» агрегат развёртывания отражателя. После отстыковки и манёвров корабль «Прогресс» успешно развернул отражатель 4 февраля 1993 года, рядом со станцией Мир. Отражатель создал яркое пятно 8 км в ширину (из-за рассеивания света), которое прошло Европу из южной Франции в Западную Россию со скоростью 8 км/с[1]. Пятно света имело светимость, примерно эквивалентную полной луне. Хотя тем утром облака покрывали большую часть

Европы, несколько наблюдателей сообщили, что видели вспышки света. Для подтверждения результатов эксперимента «Знамя-2» был проведён эксперимент «Знамя 2.5». Проект «Знамя 2.5» был на голову выше предшественника. Зеркало должно было восприниматься с Земли как 5—10 полных Лун по яркости и образовывало след около 7 км в диаметре, которым можно было управлять, подолгу удерживая его на одном месте. Солнечное зеркало — это слегка вогнутая оболочка диаметром 25 м, выполненная из тонкой плёнки с зеркальной поверхностью, которая крепится по периметру станции. Оболочка раскрывается и удерживается в раскрытом положении центробежными силами. Однако проект потерпел неудачу. 4 февраля 1999 г. в начале раскрытия оболочка зацепилась за антенну. Космический корабль «Прогресс М-40» был спущен с орбиты и затоплен в океане. [1]

В связи с этим в рамках данной работы будут рассмотрены вопросы, связанные с общим изучением и разработкой принципиальной схемы конструкции солнечного паруса, предназначенного для транспортировки полезной нагрузки с Земли.

**Цель:** доказать целесообразность использования солнечного паруса как транспортировщика полезной нагрузки в космическом пространстве.

**Задачи:**

- 1) Рассмотреть предыдущие аппараты с солнечным парусом
- 2) Провести анализ этих аппаратов
- 3) Провести расчёты, связанные с солнечным парусом
- 4) Сделать выводы, связанные с целесообразностью использования солнечного паруса как транспортировщика полезной нагрузки в космическом пространстве.

**Концепция космического аппарата**

Космический аппарат с солнечными парусами (КАСП) выводится ракетой-носителем на начальную низкую околоземную орбиту высотой около 200 км, после чего происходит раскрытие лепестков (блоки солнечных парусов), затем давление, создаваемое потоком солнечного света (фотонами), заставит аппарат двигаться в сторону от Солнца. При этом не будет расходоваться ракетное топливо. По аналогии

с морскими парусами происходит маневрирование в космосе, изменяя угол расположения конструкции, можно корректировать направление полета. Таким образом, будет происходить набор скорости и дальнейшее перемещение.

Конструкция КАСП состоит из таких частей как:

- 1) приборная платформа, на которой крепится разгонная двигательная установка;
- 2) 4-6 панелей солнечных батарей (в зависимости от конструкции и целей);
- 3) служебная аппаратура (система ориентации на Солнце);
- 4) фото- и телекамеры, антенны (в случае проведения научных экспедиций);
- 5) блок солнечных парусов[2];
- 6) капсула с полезной нагрузкой.

В качестве аппарата-аналога, решавшего подобные задачи, можно рассмотреть проект COSMOS-1 (Рис. 1 в Приложениях), разрабатывавшийся в НПО им. А.С. Лавочкина и Институте космических исследований (ИКИ) РАН с 2000г.

### **Конструкция солнечного паруса**

Предлагаемая конструкция рассматриваемой системы в развёрнутом виде представлена на Рисунке 2 в Приложениях, её можно условно разделить на три части:

1. капсула с полезной нагрузкой;
2. специальным образом сложенные лепестки паруса;
3. служебная аппаратура;

Для определённости возьмём аналогичную конструкцию «солнечного паруса» Космос-1 [2] (Рис. 1,2 в Приложении). Аппарат с СП, наряду с разгонной двигательной установкой (РДУ) и защитным кожухом, входит в состав головного блока (ГБ) ракеты-носителя. Конструктивная основа КАСП - приборная платформа, на которой крепятся РДУ с смонтированной на ней системой отделения, защитный кожух, блок парусов, приборное оборудование и служебные системы. Приборная

платформа устанавливается на адаптер (раму) РН и соединяется с ним пирозамками. На ее герметичном днище размещаются узлы крепления РДУ, антенна 400 МГц, антенна GPS, антенны S-диапазона, солнечные датчики, две фотокамеры, газовые сопла системы ориентации и стабилизации, а также панели фотоэлектрических преобразователей. На оставшееся свободное пространство днища с наружной и внутренней стороны нанесены покрытия с оптическими свойствами, обеспечивающими требуемый тепловой режим. С внутренней стороны платформы размещаются радиокомплексы ДМ и S-диапазонов, приемник GPS, бортовой компьютер, датчик микроускорений, блок ДУСов, аккумуляторная батарея, два газовых баллона, ресивер и арматура СОиС. На верхнем фланце платформы установлен блок парусов - стойка, на которой размещены сборки парусов приводами, системой наполнения, механизмы фиксации и расчеховки. До выведения на рабочую орбиту КАСП закрыт защитным радио-прозрачным кожухом. Масса КАСП перед включением апогейного двигателя составляет 130 кг, перед раскрытием солнечного паруса - 63.7 кг.

Так при 8-лепестковом «цветке» каждый треугольный лепесток площадью 75 квадратных метров должен был разворачиваться и поддерживаться специальным пневмокаркасом, который приобретает жесткость после наполнения азотом. В сложенном виде лепесток помещается в контейнер размером с кирпич – сначала его вакуумируют, удаляя оставшийся воздух, а затем многократно сворачивают по специально разработанной схеме укладки. В раскрытом состоянии космический парусник представляет собой небольшую (1 м длиной) платформу, из которой «растут» 8 треугольных лепестков.

«Для космического аппарата с солнечным парусом полет по околоземной орбите имеет свои особенности. В различные моменты времени он может быть освещен Солнцем или находиться в тени Земли. Для организации управления аппаратом планировалось, в частности, поворачивать лепестки паруса вокруг оси каждого из них»[4]

Солнечный парус – это тонкая, 5 микрон толщиной, полиэфирная пленка, с «солнечной» стороны покрытая субмикронным слоем алюминия (коэффициент отражения 0,85). «Такая пленка достаточно прочна, но стоит ее повредить, например, микрометеоритом – и разрыв сразу же ползет по всей поверхности. Чтобы пленка не рвалась, ее армируют. В нашем случае полотно паруса было усилено узкими полосками специальной ленты, которая останавливает разрывы, не позволяя им ‘ползти’ через весь парус»[2]

### **Расчёты для КАСП**

Определим, время разгона КАСП, требующееся для преодоления силы тяготения Земли, для этого рассмотрим разгон до 2 космической скорости КА, снабженного солнечным парусом при отлете с орбиты Земли, с целью нахождения времени полёта.

Пусть стартовая масса КА равна 2000 кг, площадь СП равна 10000 м<sup>2</sup>, погонная масса материала СП = 7 г/м<sup>2</sup>. Тогда имеем:  $m_{\text{пар}} = S \cdot \text{СП} = 10000 \text{ м}^2 \cdot 7 \text{ г/м}^2 = 70000 \text{ г} = 70 \text{ кг}$

$$p = (1 + R) \cdot \frac{n \cdot h \cdot u}{c} = 2 \cdot \frac{1400}{3 \cdot 10^8} \approx 10^{-5} \text{ Па}$$

Полная сила, действующая на СП:

$$F = S \cdot p = 10000 \cdot 10^{-5} = 0,1 \text{ Н.}$$

Определим ускорение КА  $F = m \cdot a$

$$a = \frac{F}{m} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$$

Найдем характеристическую скорость, которую должен развить КА для выхода из сферы притяжения Земли

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{з}}}{R_{\text{г.о}}}} = 3070 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{пар}} = v_{\text{кр}} \cdot \sqrt{2} = 4341 \text{ м/с}$$

$$\Delta V = v_{\text{пар}} - v_{\text{кр}} = 1271 \text{ м/с}$$

Вычислим время разгона

$$t = \frac{\Delta V}{a} \approx 294 \text{ сут}$$

Используя формулу

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$$

вычислим время полёта:

$$t = \frac{\sqrt{(2v)^2 - 4 * a * 2S}}{2a} - \frac{v}{a}$$

В тоже время, чтобы достичь цели на ракете, использующей топливо, необходимы затраты на его приобретение. Исходя из этого, перемещение ПН (полезной нагрузки) с помощью КАСП экономически выгодно.

Рассчитаем выгоду на примере «Союз-2»:

Так в ракете используются керосин и жидкий кислород в отношении 1:3  $\Rightarrow$  что при массе компонентов топлива 277,8 т  $\Rightarrow$

$$K = 0,25m * e_{\text{кер}} + 0,75m * e_{O_2} = 11\,028\,569 \text{ руб} \Rightarrow \text{что за счёт использования КАСП}$$

мы экономим на топливе сумму в 11 миллионов рублей.

### **Заключение**

В работе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой принципиальной схемы конструкции солнечного паруса, предназначенного для транспортировки полезной нагрузки с Земли до конечной точки перемещения, а также проведены расчёты для подтверждения целесообразности использования солнечного паруса.

## Список литературы

- [1] Большая Российская энциклопедия
- [2] издательство «Большая Российская энциклопедия» 2004г под редакцией Ю.С.Осипова
- [3] Солнечный парус <http://galspace.spb.ru/orbita/parus.htm>.
- [4] Солнечный парус <http://howitworks.iknowit.ru/paper1001.html>
- [5] Солнечный парус «Популярная механика» <https://www.popmech.ru/>

## Приложения



Рис. 1. COSMOS-1

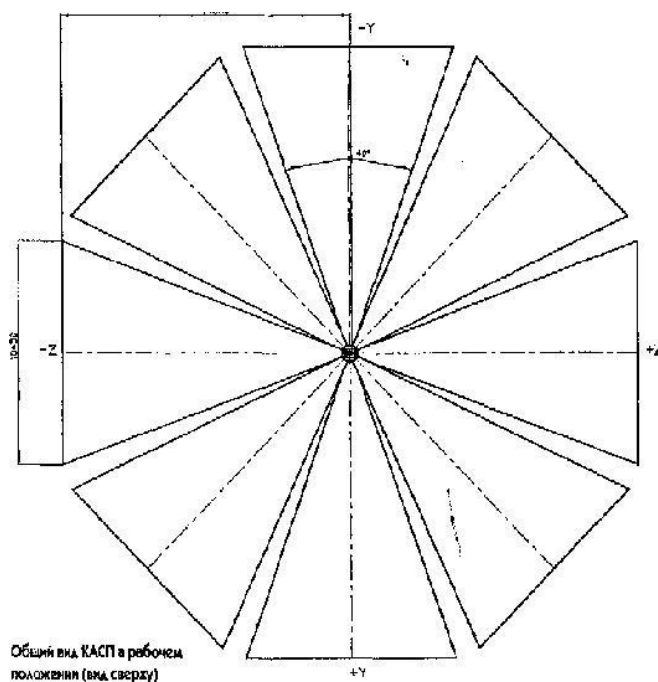


Рис.2. Схема КАСП