



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



ЦЕНТР ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ



«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ
МОЛОДЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ
*«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»***

СБОРНИК ЛУЧШИХ РАБОТ

**Москва
2017**

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Вы держите в руках сборник, в который вошли лучшие статьи участников Научно-образовательного соревнования молодых исследователей «Шаг в будущее, Москва», проходившего 14-19 марта 2017 года в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Статьи подготовлены школьниками в рамках конкурса проектных работ и публикуются в авторской редакции.

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

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

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

семинары для профессиональных работников, другие интеллектуальные и творческие мероприятия.

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

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

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

- **Олимпиады для школьников 8-11 классов**, такие как Олимпиада школьников «Шаг в будущее», олимпиада школьников по черчению и компьютерному моделированию, олимпиада по программированию для школьников «ТехноКубок» совместно с Компанией Mail.Ru Group и МФТИ, отраслевая олимпиада школьников «Газпром» совместно с ПАО «Газпром» и другими техническими университетами России;
- **Экскурсии на предприятия ОПК** проводятся совместно с организациями, сотрудничающими с Университетом по целевой подготовке кадров, на ведущие в своей области 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 сегодняшней системой образования:

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

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

СОДЕРЖАНИЕ:

СЕКЦИЯ I. Образовательно-реабилитационные технологии	10
<i>Фролова Вера Олеговна</i> Безопасная передача файлов с помощью смешанного алгоритма шифрования	10
СЕКЦИЯ II. Машиностроительные технологии.....	45
<i>Новиков Артём Андреевич</i> Энергетические показатели работы маломощных ультразвуковых генераторов для сварки полистирола	45
<i>Пандуров Михаил Алексеевич</i> Изготовление модели 3-х координатного многофункционального устройства с ЧПУ	74
СЕКЦИЯ III. Информатика и системы управления... ..	135
<i>Ахметшин Антон Алексеевич</i> Система голосового управления передвижной платформой	135
<i>Капитонов Даниил Дмитриевич</i> Программы расчёта параметров траектории суборбитального многоразового космического аппарата туристического класса.....	143
<i>Каширов Егор Сергеевич</i> Система автоматической парковки грузовика с полуприцепом	167
<i>Марашли Илья Наздатович</i> Браслет для глухонемых	207
<i>Ноянов Александр Юрьевич</i> Цифровые очки дополнительной реальности.....	218
<i>Седых Василий Олегович</i> Исследование результатов посадки десантного модуля Экзомарс-2016.....	270
<i>Сироткин Егор Дмитриевич</i> Разработка информационной системы прогнозирования кредитной задолженности в банке.....	306
СЕКЦИЯ IV. Системы безопасности.....	330
<i>Титов Георгий Андреевич</i> Разработка устройства мониторинга wi-fi диапазона	330

СЕКЦИЯ VI. Биомедицинская техника.....	345
<i>Некрасова Мария Александровна</i> Разработка конструкции и технологического процесса гастростомической трубки.....	345
СЕКЦИЯ VII. Специальное машиностроение	366
<i>Брадич Александр Стоядинович</i> Управление движением шагающего робота	366
<i>Васильев Александр Сергеевич</i> Технология изготовления и исследование динамики полёта летающей модели-копии зенитной управляемой ракеты ЗМ8МУ	383
<i>Елхина Анна Максимова</i> Лунная база из композиционных материалов	393
<i>Камалов Тимур Витальевич</i> Анализ защищённости космического модуля надувного типа в условиях открытого космоса	413
<i>Лецинская Даната Юрьевна</i> Разработка транспортного робототехнического комплекса с адаптивными движителями.....	429
<i>Макаревич Артём Дмитриевич</i> Экспериментальное исследование работы дозвукового интерцептора	541
<i>Туев Константин Вячеславович</i> Экспериментальное изучение метания пластин плоским индуктором для систем электромагнитной защиты.....	572
<i>Шевченко Артём Николаевич</i> Робот-разведчик. Исследователь труднодоступной местности.....	593
СЕКЦИЯ VIII. Энергетика и экология	610
<i>Борисов Алексей Михайлович</i> Рассмотрение формы и исследование зависимости площади горения от толщины выгоревшего свода в заряде ТТ, находящегося в головном разгонном блоке.....	610
<i>Юматов Вячеслав Константинович</i> Исследование теплообмена с целью определения граничных условий и скорости охлаждения для проведения процесса криоконсервации биотканей.....	634

СЕКЦИЯ IX. Автоматизация, робототехника и механика	651
<i>Дмитриев Олег Ильич</i>	
Робот-тестер для тестирования светодиодной продукции.....	651
СЕКЦИЯ XII. Конструкторская	676
<i>Звездин Максим Дмитриевич</i>	
Исследование основных принципов технологической логистики	676

СЕКЦИЯ I. Образовательно-реабилитационные технологии

Безопасная передача файлов с помощью смешанного алгоритма шифрования

Фролова Вера Олеговна,

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

Научный руководитель:

Константинов Михаил Дмитриевич,

программист ГУИМЦ

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

В настоящее время вопрос информационной безопасности в работе государственных учреждений, коммерческих компаний и других организаций стоит всё более остро. В рамках этого вопроса можно выделить задачу безопасного обмена файлами по локальной сети между сотрудниками организаций. На данный момент существует множество средств и протоколов для выполнения этой задачи, многие из которых не обеспечивают зашифрованной передачи информации и защиты от прослушивания канала передачи данных.

Разрабатываемая в рамках данной работы программа безопасной передачи файлов по локальной сети сочетает в себе простоту использования для конечных пользователей, имея интерфейс популярных файловых менеджеров, и шифрацию передаваемых данных. В качестве протокола передачи данных используется TLS,

работающий в режиме смешанного шифрования: аутентификация пользователей производится асимметричным алгоритмом RSA, а передача файлов – с помощью алгоритма симметричного шифрования DES.

Разработанную программу предлагается использовать в учреждениях для удобной и безопасной передачи файлов по сети, например, при обмене документами для служебного пользования.

Целью данной работы является создание программного продукта, который бы позволял обычным пользователям компьютера безопасно передавать зашифрованный смешанным алгоритмом текст по сети.

В процессе создания программного продукта были решены следующие задачи:

1. Были изучены теоретические сведения по теме «Безопасная передача файлов с помощью смешанного алгоритма шифрования».
2. Систематизированы и обобщены полученные знания по проблемам защиты информации, симметричным (блочным) и асимметричным криптоалгоритмам, транспортному протоколу безопасной передачи данных TLS.
3. Создан пользовательский интерфейс с помощью языка программирования C++.
4. Создан программный продукт безопасной передачи данных по каналу TLS, реализующий два шифра: DES и RSA.

5. Проведено тестирование и отладка программы смешанного шифрования.

Цель и задачи научной работы определили ее структуру. Она состоит из введения, двух разделов, заключения, приложения и списка литературы.

В первом разделе рассмотрена необходимость обеспечения информационной безопасности при передаче данных в компьютерных системах.

Второй раздел посвящен обзору протокола передачи данных TLS, а также история появления и схемы симметричных и асимметричных алгоритмов.

Третий раздел посвящен разработке программного продукта, описанию структуры программы, тестирования программы и анализу полученных результатов.

Заключение содержит в себе выводы и результаты проделанной работы при реализации метода смешанного шифрования.

В приложении представлен листинг разработанного программного продукта.

Результаты работы планируется использовать в учреждениях для защищенного электронного документооборота с грифом «для служебного пользования».

1. Необходимость обеспечения информационной безопасности при передаче данных в компьютерных системах

По мере того, как Internet становится частью нашей повседневной жизни, необходимость обеспечения безопасности становится все острее. Любой пользователь, использующий в своей деятельности общедоступные сети, должен считаться с угрозами безопасности и принимать соответствующие меры.

Наиболее важным инструментом для обеспечения безопасности является криптография, которая подразумевает использование множества разнообразных методов для превращения осмысленных данных и читаемых файлов в абракадабру, сохраняя при этом возможность восстановления исходных данных. Помимо сохранения секретов, существуют и другие проблемы защиты передаваемой информации. Так, при полностью открытом информационном обмене, возникает проблема достоверности информации. И именно криптографические методы дают средства для обнаружения обмана в виде подлога или отказа от ранее совершенных действий, а также других неправомερных действий. Решением проблемы защиты информации от ознакомления с ее содержанием со стороны лиц, не имеющих права доступа к ней, является обеспечение конфиденциальности, а проблему гарантирования невозможности несанкционированного изменения информации – обеспечение целостности. Поэтому можно сказать, что достижение таких требований безопасности информационного взаимодействия как

конфиденциальность, целостность, аутентификация и невозможность отказа сторон от авторства составляют основные цели криптографии.

Исторически первыми начали применяться криптографические методы шифрования с симметричным (секретным) ключом. В этом подходе алгоритм использует ключ для преобразования информации в некий набор битов, который выглядит случайным. Затем тот же алгоритм использует тот же ключ для восстановления исходных данных (рис. 1).

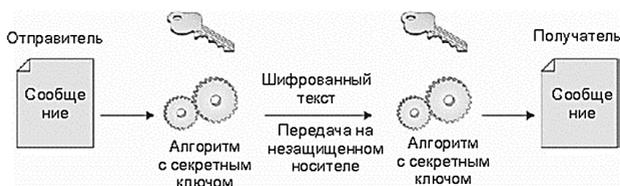


Рисунок 1 – Схема шифрования с секретным ключом

Также можно создать криптографический алгоритм, в котором один ключ зашифровывает данные, а другой ключ расшифровывает их. Для этой модели используется другой термин: криптография с открытым ключом (рис. 2).

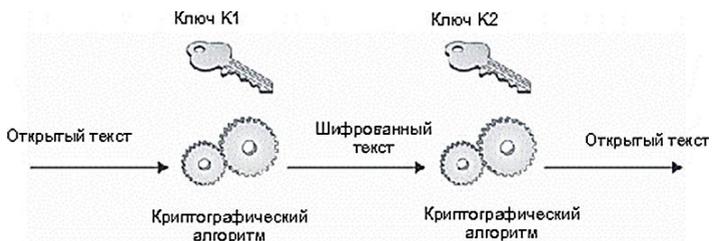


Рисунок 2 – Схема шифрования с открытым ключом

Во всех операциях шифрования используются ключи. Ключ избавляет от необходимости беспокоиться об алгоритме, используемом при шифровании. Если данные защищаются с помощью ключа, нужно защитить только ключ, а это гораздо легче, чем защитить алгоритм.

Система криптографии, которая защищает передачу секретной информации, известна как TLS (Transport Layer Security – безопасность транспортного узла). Она была разработана корпорацией Netscape, занимающейся программным обеспечением для Интернета в 1994 году, и была принята в качестве мирового стандарта в 1996.

2. Обзор протокола передачи данных tls и его алгоритмов шифрования

2.1 Протокол передачи данных tls

Протокол передачи данных TLS – самый распространенный инструмент защиты информации в современном Интернете. При помощи TLS защищают не только веб-трафик, но и электронную почту, а также целый ряд других сервисов, в том числе трафик мобильных приложений.

Например, без TLS невозможна работа банковских онлайн-сервисов, однако в современной ситуации защищенный протокол необходим для всякого веб-сайта.

Успешное использование TLS требует понимания архитектуры протокола.

Протокол TLS предназначен для создания между двумя узлами сети защищенного от подмены и прослушивания канала связи, пригодного для передачи некоторых данных в обоих направлениях (шифрование и аутентификация сообщений).

TLS также должен позволять провести проверку того, что обмен данными происходит между именно теми узлами, между которыми и планировался (аутентификация узлов). TLS предполагает, что между узлами установлено относительно надежное соединение, поэтому, например, протокол TLS не охватывает повторную отправку потерянных пакетов данных.

2.1.1. Задачи протокола TLS

Задачи TLS состоят в обеспечении трех ключевых моментов:

1. конфиденциальность, (защита от утечек передаваемой информации);
2. обнаружение подмены, (сохранение целостности передаваемой информации);
3. аутентификация узлов (обеспечение проверки подлинности узлов, обменивающихся информацией).

В сеансе TLS обычно используется минимум две криптосистемы: одна из них – это система электронной подписи, вторая – симметричная криптосистема. Первая необходима для того, чтобы узлы смогли выработать общий секретный ключ. Передаваемые же данные шифруются симметричной системой. Криптосистема электронной подписи служит для аутентификации сервера и выработки общего для

узлов секретного ключа симметричной системы. Симметричная криптосистема (чаще блочный шифр) обеспечивает шифрование данных. Код аутентификации сообщений (MAC) служит для проверки целостности, он позволяет определить, что данные не изменялись в процессе передачи.

2.1.2 Шифронаборы сеанса TLS

Например, шифронабор `TLS_RSA_WITH_DES_64_CBC_SHA` – означает, что в сеансе TLS будет использована криптосистема RSA для передачи сеансового ключа, DES со 64-битным ключом в режиме CBC (сцепление шифрованных блоков) в качестве симметричного шифра, SHA-1 в качестве хеш-функции HMAC.

Выбор шифронабора (Cipher Suite) является ключевым действием для обеспечения надежности канала TLS. Ненадежная криптосистема делает канал слабо защищенным, даже если все другие параметры выбраны верно.

2.1.2 Работа сеанса TLS

Работа TLS начинается с установления соединения. Этот процесс представляет собой обмен специальными сообщениями между узлами. Сообщения следуют в строгой последовательности, а само установление соединения регулируется собственным протоколом.

Соединение требует обмена несколькими сообщениями:

☞ Клиент отправляет сообщение Client Hello, которое, например, содержит список шифронаборов, случайную байтовую строку, которая

будет использована при выработке общего сеансового ключа, а также целый ряд расширений.

☞ При успешной обработке Client Hello первым сообщением от сервера всегда будет Server Hello. Server Hello задает выбранный сервером шифронабор. За Server Hello передаются параметры для создания сеансового ключа и другие данные. Завершает серверные сообщения сообщение Server Hello Done.

☞ Если клиент поддерживает установленное соединение, он отвечает своими сообщениями, включая сообщение Client Key Exchange, которое служит источником сеансового ключа шифрования.

☞ Часть протокола установления соединения составляют специальные сигналы Change Cipher Spec, за которым следуют сообщения Finished. Change Cipher Spec обозначают, что установление параметров шифрования завершено, контент согласован, а клиент и сервер переходят на защищенный обмен сообщениями.

2.1.3 Серверный сертификат

Протокол позволяет использовать серверный сертификат, который служит для аутентификации сервера клиентом и клиентский сертификат. Сертификат может иметь разные типы электронной подписи. В современном вебе преобладают сертификаты с подписью RSA. Серверный сертификат позволяет клиенту проверить, что он соединяется именно с тем узлом, с которым планировал. Клиент проверяет подпись сертификата, сверяя источник подписи со списком доверенных ключей. То, что в распоряжении сервера имеет нужный

секретный ключ, гарантируется механизмом создания общего сеансового ключа сессии, завершение которого невозможно без наличия на сервере секретного ключа сертификата.

2.2 Симметричные криптосистемы

Имеется два типа алгоритмов с симметричным ключом: блочные и поточные. Блочный шифр оперирует блоками данных. Когда алгоритму передается фрагмент данных для шифрования, он разбивает открытый текст на блоки и оперирует каждым блоком независимо.

2.2.1 Сеть Фейстеля

Наиболее широкое распространение среди блочных шифров получила сеть Фейстеля.

В 1971 году Хорст Фейстель запатентовал два устройства для реализации различных алгоритмов шифрования, получивших название «Люцифер». Одно из устройств использовало конструкцию, впоследствии названную «сетью Фейстеля». Работа над созданием новых криптосистем велась Фейстелем в стенах IBM вместе с доном Коппермитом. Проект «Люцифер» был скорее экспериментальным, но стал базисом для алгоритма DES.

Сеть Фейстеля имеет следующую структуру:

Если входной блок имеет длину 64 бита, используются левая (L) и правая (R) части по 32 бита. Каждая часть обрабатывается независимо от другой, после чего осуществляется циклический сдвиг обеих частей

влево. Такое преобразование выполняется (i) раундов. Каждый раунд имеет структуру, показанную на рисунке:

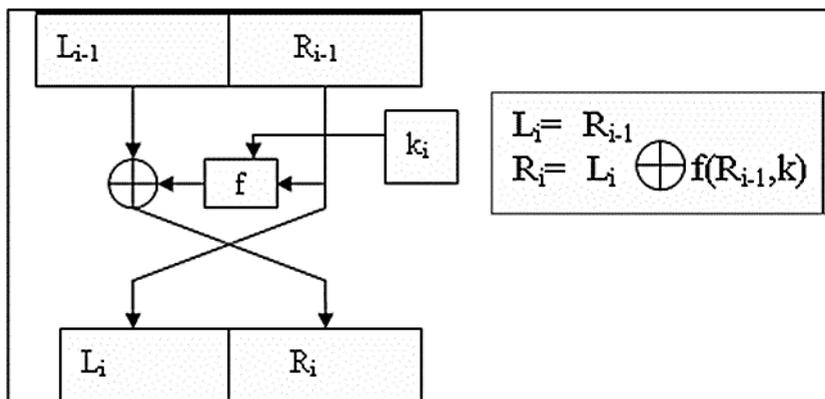


Рисунок 3 – Прямое преобразование сетью Фейстеля

Функция F называется образующей. Каждый раунд состоит из вычисления функции F для части R и ключом k_i и побитового выполнения операции XOR результата F с частью L . После этого старое значение R переносится в левую часть блока, а в правую заносится значение L for F . Оптимальное число раундов - от 8 до 32. Увеличение количества раундов значительно увеличивает криптостойкость алгоритма. Сеть Фейстеля является обратимой. Для дешифрования используется тот же алгоритм, но на вход подается зашифрованный текст, и ключи используются в обратном порядке:

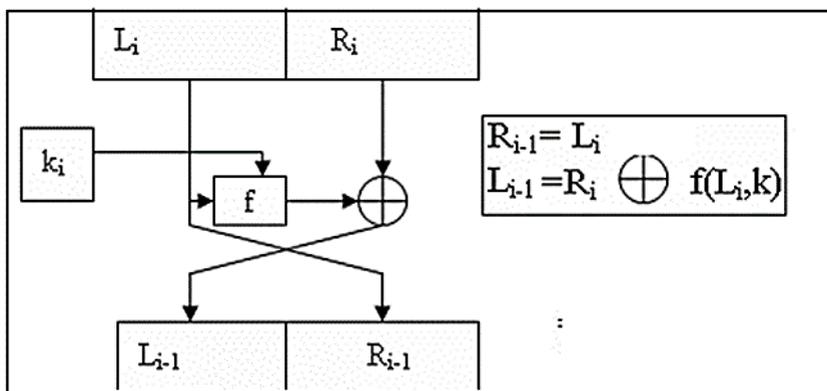


Рисунок 4 – Обратное преобразование сетью Фейстеля

2.2.2 Симметричный алгоритм DES

Большинство блочных шифров создано на основе сетей Фейстеля. Например, DES.

DES (Data Encryption Standard) – мировой стандарт симметричного шифрования, разработан командой математиков научной лаборатории IBM под руководством криптографа Хорста Фейстеля. Алгоритм был разработан в 1977 году, в 1980 году был принят NIST (National Institute of Standards and Technology США) в качестве стандарта (FIPS PUB 46).

2.2.2.1 Шаги алгоритма DES

DES – блочный алгоритм, то есть при шифровании исходное сообщение переводится в двоичный код, а затем разбивается на блоки и каждый блок отдельно зашифровывается (расшифровывается). По стандарту размер блока DES равен 64 бита. Чтобы зашифровать

сообщение алгоритмом DES, необходимо выполнить следующую последовательность шагов:

- 1) Довести исходное сообщение до такого размера (в битах), чтобы оно нацело делилось на размер блока (64 бит).
- 2) Из 56-битного ключа сгенерировать 16 48-битных раундовых ключиков.
- 3) Перевести ключ в бинарный формат (в последовательность нулей и единиц).
- 4) Каждый блок подвергнуть перестановке (т.е. все биты входного блока перемешиваются согласно определенной таблице);
- 5) Провести над каждым блоком прямое преобразование сетью Фейстеля в течении 16 раундов. После каждого раунда необходимо выполнить циклический сдвиг ключа на заданное количество символов.
- 6) Соединить все блоки вместе; таким образом получим сообщение, зашифрованное алгоритмом DES;
- 7) И еще одна перестановка.



Рисунок 5 – Общая схема DES

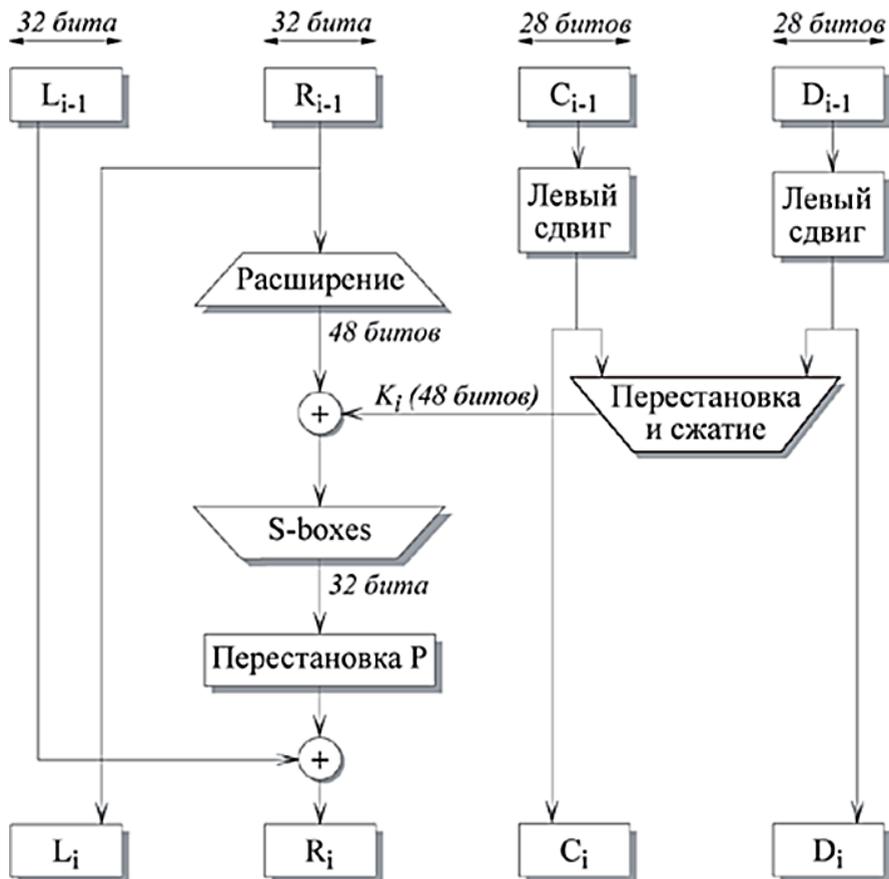


Рисунок 6 – I-ый раунд DES

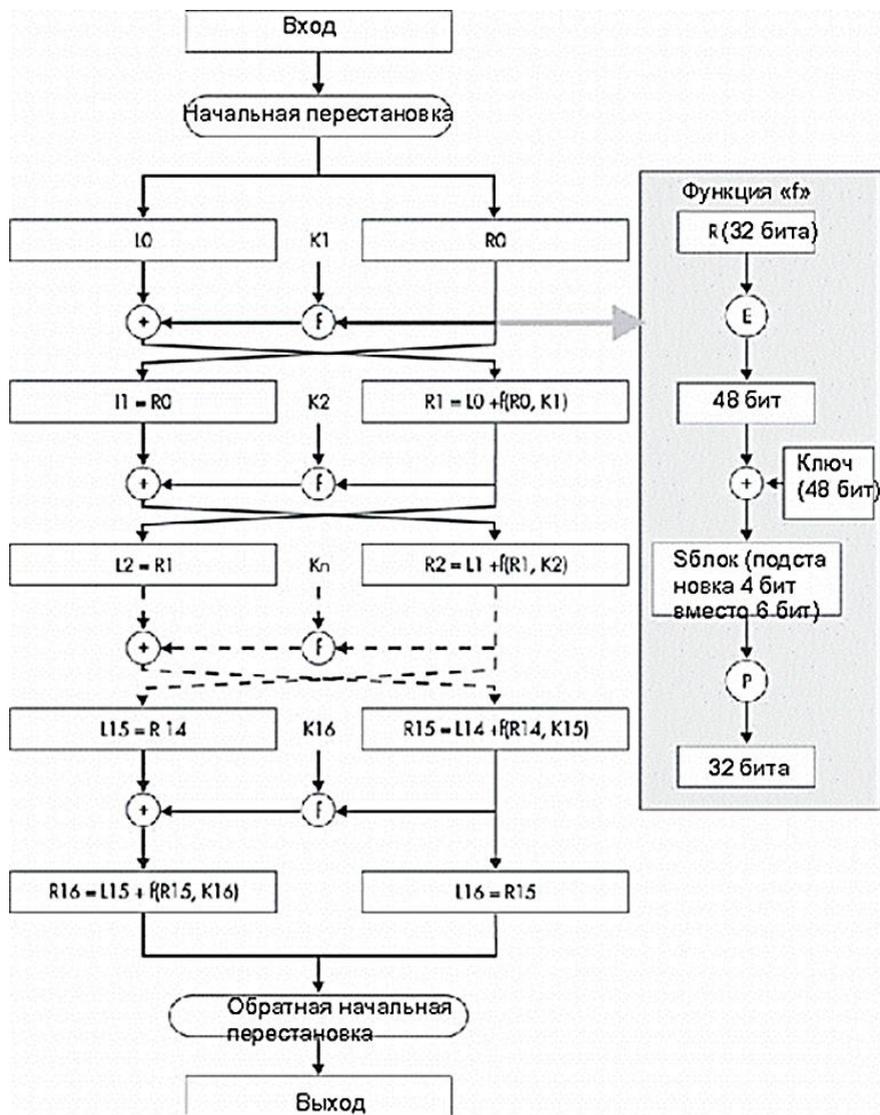


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма DES

2.2.2.2 Режимы алгоритма DES

Алгоритм DES может использоваться в следующих четырех режимах:

- **ECB** (Electronic Code Book) – режим электронной кодовой книги – осуществляет простую замену блоков открытого текста;
- **CBC** (Cipher Block Chaining) – режим сцепления блоков, где каждый блок шифртекста перед очередным зашифрованием складывается по модулю 2 со следующим блоком открытого текста;
- **CFB** (Cipher Feed Back) – режим обратной связи по шифртексту, функционирует как шифр с самосинхронизацией;
- **OFB** (Output Feed Back) – режим обратной связи по выходу, функционирует как синхронный шифр.

2.2.3 Симметричный алгоритм Triple DES

Одной из замен DES стал алгоритм Triple (тройной) DES, который выполняет алгоритм DES три раза. Сначала шифруется блок данных алгоритмом DES с использованием ключа, затем зашифровывается этот результат с помощью второго ключа DES. Затем результат шифруется третий раз. В Triple DES даже при взломе первого ключа невозможно узнать, что это тот самый ключ, пока не будут применены два следующих. У Triple DES имеются две проблемы: это скорость шифрования и расшифровки, увеличившаяся втрое, и атака прямого перебора, которая с ростом вычислительных мощностей становится все более эффективной.

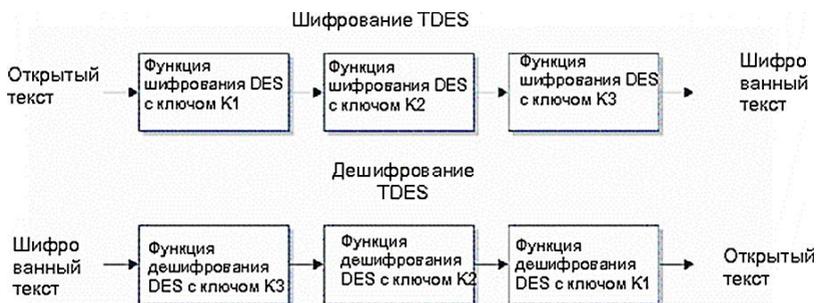


Рисунок 8 – Шифрование и дешифрование Triple DES

2.2.4 Симметричный алгоритм AES

Альтернативой сети Фейстеля является подстановочно-перестановочная сеть AES. Advanced Encryption Standard – симметричный алгоритм блочного шифрования. Он заменил устаревший Data Encryption Standard, который больше не соответствовал требованиям сетевой безопасности, усложнившимся в XXI веке.

Общие характеристики AES:

- AES зашифровывает и расшифровывает 128-битовые блоки данных.
- AES позволяет использовать три различных ключа длиной 128, 192 или 256 бит (в зависимости от длины ключа версии шифра обозначают AES-128, AES-192 или AES-256).
- От размера ключа зависит число раундов шифрования: длина 128 бит – 10 раундов;

длина 192 бита – 12 раундов;

длина 256 бит – 14 раундов.

- Все раунды, кроме последнего, идентичны.

2.3 Ассиметричные криптосистемы

Главной проблемой использования симметричных методов шифрования является распределение ключей, так как ключ не может быть передан по открытому каналу, а для организации защищенного канала – нужен ключ.

Ассиметричные криптосистемы не позволяют простым способом получить из шифрующего ключа расшифровывающий. Т.е. сторона, знающая шифрующий ключ, может только зашифровать некоторые данные, но не может прочитать другие зашифрованные данные. В асимметричных криптосистемах существует пара ключей: открытый и секретный. Отсюда другое название асимметричных криптосистем – системы с открытым ключом. Открытый ключ является шифрующим. Секретный – позволяет расшифровать сообщение.

Криптосистемы с открытым ключом появились в 70-х годах 20 века. Примером современной распространенной криптосистемы является RSA. Есть различия между шифрами, предназначенными для сокрытия информации, и системы электронной подписи, предназначенные для аутентификации, установления подлинности информации и ее источника. Криптосистема RSA, как и всякая

криптосистема с асимметричным шифром, может быть использована и в качестве системы электронной подписи, и в качестве шифра.

Идеей современных асимметричных криптосистем является однонаправленная (односторонняя) функция, которую можно обратить, только если известен дополнительный параметр. Таким параметром является секретный ключ.

2.3.1 Асимметричный алгоритм RSA

В конце 70-х криптографы Диффи и Хеллман определили новый подход к шифрованию, что вызвало к жизни разработку алгоритмов шифрования, удовлетворяющих требованиям систем с открытым ключом. Одним из первых результатов был алгоритм, разработанный в 1977 году Ронам Ривестом, Ади Шамиром и Леном Адлеманом и опубликованный в 1978 году. С тех пор алгоритм Rivest-Shamir-Adleman (RSA) широко применяется практически во всех приложениях, использующих асимметричную криптографию.

Алгоритм основан на том факте, что задача факторизации является трудной, т.е. легко перемножить два числа, в то время как не существует алгоритма нахождения простых сомножителей большого числа.

2.3.2 Генерация ключей RSA

1. Выбираются и содержатся в секрете два простых числа p и q (могут быть очень большими).
2. Вычисляем $n = pq$.

3. Вычисляем $\phi(n) = (p - 1)(q - 1)$.
4. Выбираем такое e , чтобы оно было взаимно простым по отношению к $\phi(n)$.
5. Определяем такое d , чтобы $(d)(e) = 1 \bmod \phi(n)$ и $d < \phi(n)$.

Пример с легко проверяемыми числами.

1. Выбраны числа $p = 11$ и $q = 13$.
2. вычисляем $n = pq$. Имеем $n = 11 \times 13 = 143$.
3. Вычисляем $\phi(n) = (p - 1)(q - 1) = (11 - 1)(13 - 1) = 10 \times 12 = 120$.
4. Выбираем число e так, чтобы оно было простым относительно $\phi(n)$. Здесь было выбрано значение $e = 7$.
5. Необходимо определить такое d , чтобы $(d)(e) = 1 \bmod \phi(n)$. Следовательно, $(d)(7) = 1 \bmod 120$; d должно также быть меньше 120 . Находим, что $d = 103$. (103 умножаем на 7 и получается 721. 721 делим на 120 и получаем 6 с остатком 1.)
6. Секретный ключ: $\{103, 143\}$.
7. Открытый ключ: $\{7, 143\}$.

Для выполнения непосредственно шифрования и дешифрования используем исходные формулы.

Шифрованный текст = (открытый текст) $e \bmod n$

Открытый текст = (шифрованный текст) $d \bmod n$

Предположим, что нужно отправить сообщение "9".

Шифрованный текст = $(9)7 \bmod 143 = 48$.

При получении информация дешифруется:

Открытый текст = $(48)103 \bmod 143 = 9$.



Рисунок 9 – Шифрование алгоритмом RSA

3. Разработка программы безопасной передачи файлов

3.1 Выбор системы криптографической защиты

Выбор системы криптографической защиты должен опираться на критерии эффективности. Наиболее простым критерием такой эффективности является вероятность раскрытия ключа или мощность множества ключей, иными словами – криптостойкость.

Выбранный комплекс криптографических методов должен сочетать как удобство, гибкость и скорость, так и надежную защиту от злоумышленников. Поэтому на настоящий момент наиболее оптимальной является смешанная криптосистема, в которой текст шифруется симметрическим алгоритмом, а ключ ассиметричным алгоритмом.

3.2 Разработка программы

В соответствии с целью и поставленными задачами были разработаны алгоритмы и программа безопасной передачи файлов по сети.

Представленные ниже алгоритмы имеют несколько обобщенный характер, поскольку в них не отражены особенности организации кода программ, построенных на платформе Qt языка C++, ввиду того, что эти особенности не важны для отражения сути выполняемой программой работы.

На рисунке 10 представлен алгоритм работы программы:

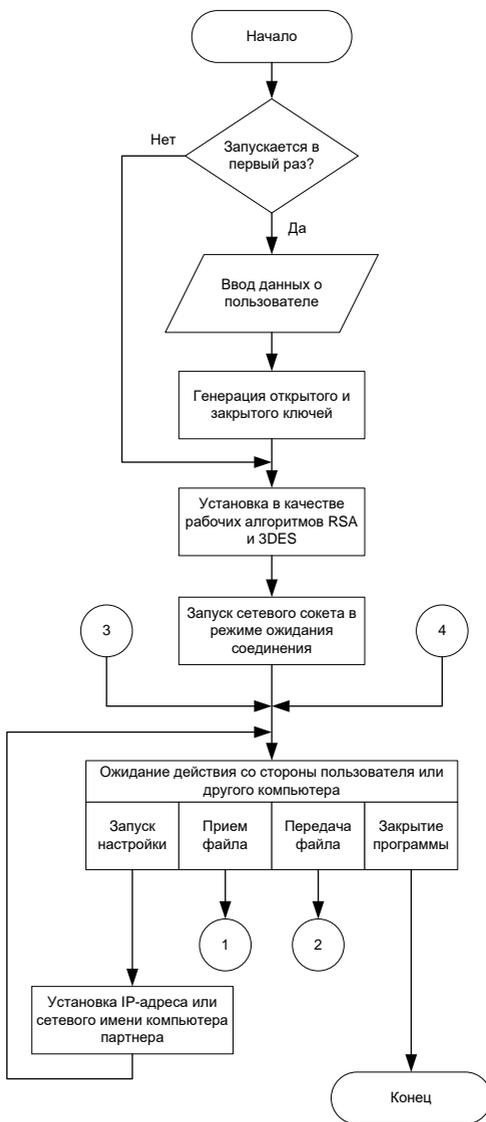


Рисунок 10 – Общий алгоритм работы программы

При первом запуске программа предлагает пользователю сгенерировать пару: открытый и закрытый ключ. Без этого действия программа не сможет дальше продолжить работу. Далее производится настройка сетевого сокета – специального объекта встроенного в Qt класса `QSslSocket`, который является главным интерфейсом для передачи зашифрованных данных по сети. Именно у объекта этого класса устанавливаются используемые алгоритмы шифрования: RSA – для асимметричного, а 3DES – для симметричного шифрования. После настройки сетевой сокет переводится в режим ожидания – готовности принять файл при входящем соединении.

Для передачи собственных файлов пользователь должен в настройках ввести имя или IP-адрес компьютера партнера (которому будет передаваться файл).

На следующем рисунке представлен подробный алгоритм приема файла:

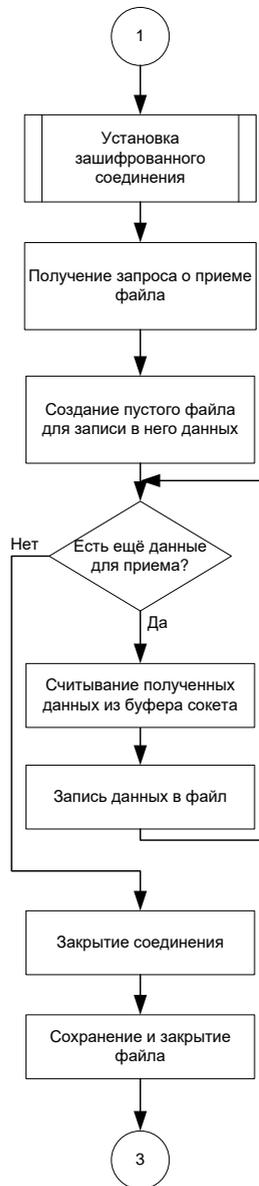


Рисунок 11 – Алгоритм приема файлов

Сначала производится процедура установки зашифрованного соединения (будет рассмотрена отдельно). Далее программа создает пустой файл и записывает в него данные, принятые от другого компьютера через безопасное соединение. Данные считываются с внутреннего буфера сокета с помощью функций `readData()` и `readLine()`.

После получения всех данных и записи их в файл соединение закрывается, а имя файла отображается для пользователя в списке полученных файлов.

На следующем рисунке представлен подробный алгоритм отправки файла:



Рисунок 12 – Алгоритм передачи файлов

Сначала производится процедура установки зашифрованного соединения (будет рассмотрена отдельно), при этом соединение может и не быть установлено по нескольким причинам: неправильные имя или IP-адрес компьютера партнера, партнер отказался принимать файл, неверные настройки протоколов шифрования. В случае ошибки пользователь выведется сообщение об этом.

Далее происходит похожая на предыдущую ситуация: пользователь перетаскивает нужный файл в специальное поле окна программы, в результате этого приложение получает имя и полный путь к файлу, затем он открывается на чтение и его данные записываются в буфер сокета с использованием функций `write()` и `writeData()`.

Когда прочтен весь файл, соединение и файл закроются, а имя файла отобразится в списке переданных файлов.

Процедура установки зашифрованного соединения производится средствами платформы Qt (через взаимодействие пользовательского кода с объектом класса `QSslSocket`) в соответствии с алгоритмом TLS, описанным в предыдущем разделе. На рисунке 13 представлен общий вид этого алгоритма:

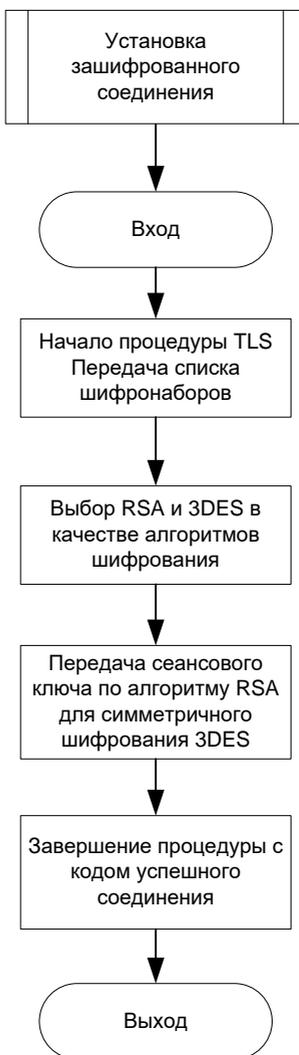


Рисунок 13 – Алгоритм установки зашифрованного соединения

После алгоритмов было разработано графическое оконное приложение для безопасной передачи файлов по сети, в котором реализована удобная функция «Drag-and-drop» – для передачи файла достаточно перетащить его мышкой на поверхность окна программы. Внешний вид программы представлен на рисунке 14:

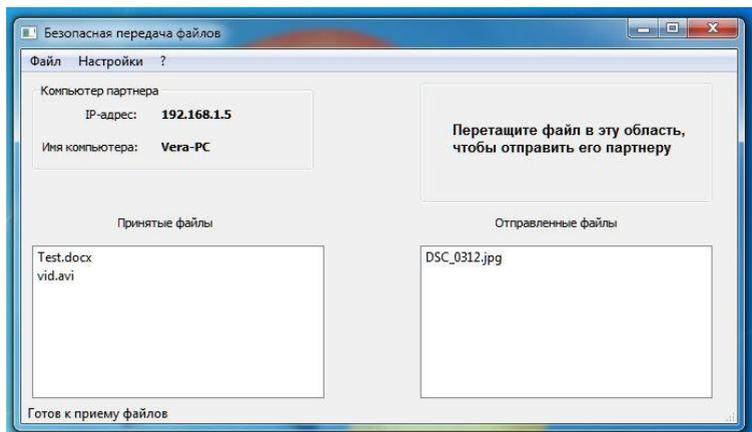


Рисунок 14 – Внешний вид главного окна программы

До передачи файлов необходимо выбрать IP-адрес или имя компьютера партнера – они отобразятся сверху окна. Снизу окна есть два списка – с принятыми файлами и отправленными. На рисунке 15 представлено окно передачи файлов:

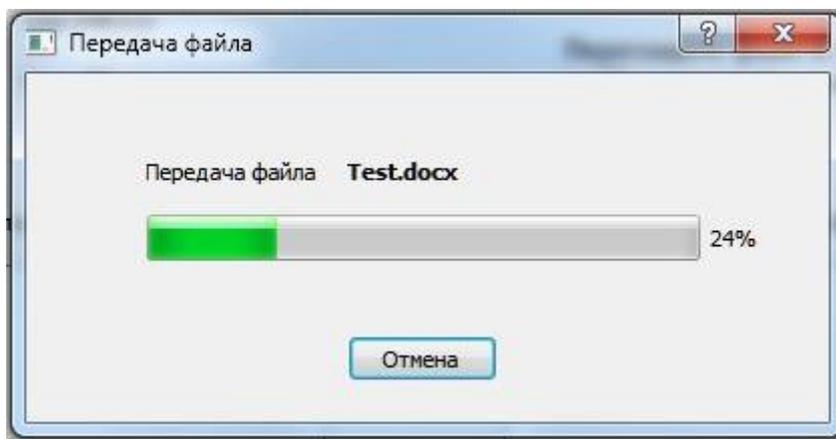


Рисунок 15 – Внешний вид окна передачи файла

В целом приложение выполняет основной функционал, обозначенный при постановке задачи, и имеет элементы, делающие взаимодействие с файлами более удобным.

ВЫВОДЫ

В данной работе была спроектирована и реализована система шифрования/расшифровки по смешанному алгоритму. Для безопасной передачи данных был разработан программный продукт, который выполняет функции как шифрования, так и расшифровки.

Созданный программный продукт был протестирован. Результаты тестирования показали его правильную и устойчивую работу. Полученные результаты работы были проанализированы и позволяют сделать вывод о том, что поставленная задача была успешно решена.

Реализация системы проводилась с использованием средств C++. При написании программы внимание было также уделено удобству работы пользователя и построению качественного интерфейса, интуитивно понятного пользователю любого уровня.

В целом, поставленные задачи были выполнены в полном объеме:

1. изучены системы шифрования;
2. проанализированы программы шифрования;
3. выбраны наиболее подходящие средства реализации;
4. проведена отладка и тестирование разработанного демонстрационного варианта программы шифрования;
5. закреплены практические навыки программирования на языке C++.

В качестве дальнейших исследований возможна доработка программы до эталонной, т.к. в современном мире появляются все новые способы атак, поэтому и средства защиты должны развиваться.

Данная работа может быть использована на практике для защищенного электронного документооборота с грифом «для служебного пользования».

Список литературы

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., Джахани Н. Языки программирования Ада, Си, Паскаль. Сравнение и оценка. – М.: Радио и связь, 1989, 368 с
9. Информационный сборник «Интернет изнутри». Режим доступа: <http://internetinside.ru/tls-dvadcat-let-spustya/> (дата обращения 06.02.17)
10. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 67– No.19, April 2013. Режим доступа: <http://research.ijcaonline.org/volume67/number19/pxc3887224.pdf> (дата обращения 06.02.17)

11. Ключи, шифры, сообщения: как работает TLS. Режим доступа: <https://tls.dxdt.ru/tls.html> (дата обращения 06.02.17)

12. Уроки программирования, алгоритмы, статьи, исходники, примеры программ и полезные советы. Алгоритм DES. Режим доступа: <http://vscode.ru/prog-lessons/algorithm-des.html> (дата обращения 06.02.17)

13. Погружение в крипто. Часть 3: отечественные шифры, Часть 4: современные зарубежные шифры. Режим доступа: <http://xakep.ru/2016/06/30/crypto-part3/> (дата обращения 06.02.17)

СЕКЦИЯ II. Машиностроительные технологии

Энергетические показатели работы маломощных ультразвуковых генераторов для сварки полистирола

Новиков Артём Андреевич

г. Москва, ГБОУ «Гимназия № 1786», 11 класс

Научный руководитель:

Волков Станислав Степанович

к.т.н., профессор кафедры МТ-7,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

В настоящее время вопрос информационной безопасности в работе государственных учреждений, коммерческих компаний и других организаций стоит всё более остро. В рамках этого вопроса можно выделить задачу безопасного обмена файлами по локальной сети между сотрудниками организаций. На данный момент существует множество средств и протоколов для выполнения этой задачи, многие из которых не обеспечивают зашифрованной передачи информации и защиты от прослушивания канала передачи данных.

Промышленное освоение пластмасс тесно связано с развитием химической промышленности, электро- и радиотехники, судо- и вагоностроения, приборо- и машиностроения, и других отраслей промышленности. Разнообразие областей применения потребовало создание пластмасс с широкой гаммой физических и механических

свойств, а, следовательно, и разработки рациональных технологий операций по изготовлению изделий из них.

Свойства высокомолекулярных соединений в значительной степени определяются формой и расположением их макромолекул. По форме макромолекул высокомолекулярные соединения разделяют на линейные, разветвлённые и пространственные. Линейная форма макромолекул обеспечивают максимально упорядоченную структуру вещества, поэтому соединения, имеющие линейную структуру макромолекул, характеризуются высокой прочностью, значительной упругостью и способностью к высокоэластическим деформациям. К пластмассам с линейной структурой относятся натуральные и искусственные каучуки, целлюлоза, полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол и т.д. [1,2]

В зависимости от поведения высокомолекулярных соединений под действием тепла последние разделяют на терморезистивные (текстолит, эбонит, бакелит и др.) и термопластичные (полистирол, полиэтилен, поливинилхлорид и т.д.).

Термопластичные пластмассы переходят под действием тепла в пластическое текучее состояние, а при охлаждении снова твердеют. Поэтому пластмассы хорошо свариваются тепловыми методами сварки. По сравнению с другими способами соединения (крепкой и клейкой) сварки имеет существенное преимущество: высокую производительность, низкую трудоемкость, большую прочность и

плотность сварных соединений, экономичность, улучшение условий труда, уменьшение производственных площадей. [3]

В настоящее время почти все термопласты соединяют сваркой, но особенно хорошо сваривается полистирол, полиэтилен, поливинилхлорид. В зависимости от способа нагрева имеются следующие сварки пластмасс: сварка горячим газом, сварка трением, сварка током высокой частоты, сварка горячим инструментом и сварка ультразвуком. [1]

В литературе неоднократно отмечались преимущества ультразвуковой сварки, благодаря которым в отдельных случаях этот способ соединения пластмасс становится незаменимым. Основными отличительными чертами ультразвуковой сварки пластмасс являются: возможность сварки по поверхностям, загрязнённым различными продуктами; локальное выделение теплоты в зоне сварки, что исключает, перегрев пластмассы, имеющий место при сварке нагретым газом, нагретым инструментом и т.д.; возможность сварки некоторых пластмасс на большом удалении от места подвода энергии; возможность выполнения соединения в труднодоступных местах.

Ультразвуковая сварка полимерных материалов завоевала в настоящее время всеобщее признание. Разработано специальное оборудование. Как правило, это стационарные ультразвуковые установки с электромеханическими преобразователями из магнитострикционных металлических материалов – никеля и пермендюра, охлаждаемых в процессе работы водой и электрическими

генераторами мощностью от 1 кВт и выше. Такие установки обеспечивают достаточную прочность соединений и высокую производительность. Однако, в ряде случаев высокая стоимость, значительные габаритные размеры и большая мощность, потребляемая такими установками, снижают эффективность ультразвукового способа соединения полимерных материалов и возможность его применения в производственных условиях. Поэтому наряду с мощными стационарными генераторами необходимы малогабаритные высокоэффективные генераторы с преобразователями из пьезокерамических материалов.[4]

1. Способы ультразвуковой сварки пластмасс

Способ ультразвуковой сварки основан на нагреве контактируемых поверхностей до температуры плавления полимера в результате превращения энергии колебаний ультразвуковой частоты (примерно 20000 Гц) в тепловую энергию. Детали, подлежащие сварке, сдавливают с определенным усилием и к месту сварки подаются механические колебания ультразвуковой частоты. Давление, а также воздействие колебаний приводят к образованию прочного сварочного соединения. (Рис . 1)

По основной схеме осуществляется также подвод энергии к свариваемым деталям, изображенных на рис. 2. Здесь силы $P_{ст}$ и F воздействует на дополнительный присадочный материал (пруток, уложенный в V-образный зазор между свариваемыми деталями) . Воздействие ультразвуковых колебаний на пруток приводит к его

пластификации, а под действием статического давления пластифицированный материал заполняет зазор, образуя прочное соединение. Для получения протяженных швов перемешают сварочную головку вдоль присадочного прутка.

Принципиальная схема ультразвуковой установки (машины) для сварки пластмасс показана на рис.3.

Ультразвуковые сварочные установки (машины) обычно состоят из следующих основных элементов: ультразвуковой генератор, сварочный узел(магнитострикционный преобразователь), волновод-инструмент, опора, механизм давления(механизм передвижения подвижных элементов), вспомогательные устройства, блок управления и станина (корпус).

Важнейшим узлом, составляющим основу и заключающим в себе специфику оборудования и технологии ультразвуковой сварки пластмасс, является электромеханическая колебательная система (сварочный узел). Эта система служит для преобразования электрических колебаний ультразвуковой частоты, вырабатываемых ультразвуковым генератором, в механические колебания той же частоты. Кроме того, она выполняет функции передачи этой энергии в зону сварки, согласования сопротивления нагрузки с внутренним сопротивлением системы и геометрических размеров зоны ввода энергии с размерами преобразователя – излучателя. С помощью сварочного узла обеспечивается необходимая колебательная скорость на рабочем торце волновода при максимальном К.П.Д. На резонансной

частоте независимо от изменения сопротивления нагрузки. Сварочный узел включает в себя преобразователь энергии, который может быть как магнитострикционным, так и пьезокерамическим.

Для увеличения амплитуды колебаний к торцу преобразователя припаивают трансформатор упругих колебаний, являющимся, согласующим акустическим элементов между преобразователем и волноводом – инструментом. С помощью резьбового соединения к трансформатору упругих колебаний присоединяют различные волноводы-инструменты, которые выполняют роль сварочного инструмента. Этот волновод трансформирует малые амплитуды до больших амплитуд, достигающих порядка 30-60 мкм.

Для охлаждения нагревающегося в процессе работы преобразователя его помещают в бочок с проточной водой. Иногда проточной водой охлаждается и инструмент-волновод. При использовании ферритовых и пьезокерамических преобразователей может применяться принудительное или даже естественное воздушное охлаждение.

Основное назначение опоры – фиксация изделия при сварке. В некоторых случаях опора рассматривается как активный элемент волноводно-акустического тракта. В этом случае опора способствует обеспечению оптимального энергетического режима сварки. Опора (пассивная или активная) участвует в распределении энергии среди элементов колебательной системы, её можно использовать для получения информации о ходе процесса сварки. В этом случае опора

выполняется в виде датчика. В некоторых случаях опора играет еще и дополнительную роль, являясь элементом механизма давления.

Механизм давления предназначен для того, чтобы обеспечить необходимый акустический контакт между рабочим торцом волновода, изделием и опорой, а также и между частями свариваемого изделия.

Сварочный узел или опора должны иметь возможность перемещения. Подвижному элементу сообщается движение от механизма перемещения при помощи мускульной силы или оператора, или при помощи пружинного механизма.

2. Ультразвуковые генераторы для питания преобразователей ультразвуковых сварочных машин

Ультразвуковые генераторы предназначены для питания магнитострикционных или пьезокерамических преобразователей сварочных машин током повышенной частоты (20-60 кГц).

Ультразвуковые генераторы преобразуют электрическую энергию питающей силовой сети (50 Гц) в энергию переменного тока ультразвуковой частоты, которая затем с помощью специальных преобразователей превращается в механические колебания волновода. Генераторы допускают, как правильно, некоторое регулирование выходных параметров (частоты, напряжения выхода и др.), поэтому они могут быть использованы для питания близких по характеристикам преобразователей. Если преобразователь нуждается в подмагничивании, то генератор включает в себя также выпрямительный блок с необходимым регулированием тока подмагничивания.

Основными электрическими характеристиками ультразвуковых генераторов являются следующие параметры: рабочий диапазон частот; выходная мощность и напряжение; согласованность генератора с нагрузкой; режим работы.

Частота переменного тока генератора должна совпадать с собственной частотой колебательной системы сварочного узла, для чего предусматривается плавное или ступенчатое регулирование частоты генератора [2,3].

Для ультразвуковых генераторов промышленного назначения выделен ряд диапазонов, из которых для ультразвуковой ставки используются в настоящее время следующие: $18 \pm 1,35$ кГц; $22 \pm 1,65$; $44 \pm 4,4$ и $66 \pm 6,6$ кГц. В пределах поддиапазонов генераторы обычно допускают плавную перестройку частоты. Возможна плавная перестройка сразу в пределах нескольких диапазонов.

Выходная мощность ультразвукового генератора должна соответствовать мощности, потребляемой преобразователем сварочной установки.

Выбор выходной мощности генератора зависит прежде всего от необходимых для сварки размеров рабочего торца волновода; ориентировочно она может быть определена из следующих данных:

Рабочая поверхность волновода (площадь сварки), мм ²	12	60	150	250	400	600
Выходная мощность генератора, кВт	0,25	0,4	1	1,6	2,5	4

Для сварки пластмасс наибольшее применение нашли генераторы мощностью от 0,4 до 2,5 кВт, для сварки синтетических тканей, полимерных пленок и биологических тканей используются генераторы меньшей мощности (0,04-0,63 кВт). Большая мощность генератора не требуется, так как обычно генератор работает в комплекте с одним сварочным преобразователем, максимальная потребляемая мощность которая, как правило, менее 2,5 кВт.

Напряжение на выходе ультразвуковых генераторов регламентировано и может быть определено из следующих данных:

Мощность преобразователя, кВт	0,16	0,25-0,63	1-1,6	2,5
Номинальное напряжение на обмотке преобразователя, В	55	110	220	440

Выбор типа применяемого ультразвукового генератора должен определяться следующими соображениями:

- а) необходимой производительностью процесса сварки;
- б) видом сварки (контактная или передаточная – в зависимости от длины и конфигурации сварного шва и формы изделия);
- в) типоразмерами применяемых волноводов, зависящих от формы изделия и требования к сварочному шву;
- г) свойствами свариваемого изделия (при этом должны учитываться тип полимера и его толщина);
- д) стабильностью свойств генератора; е) экономичностью генератора;
- ж) обеспечением надежной работы системы охлаждения.

При выборе генератора по мощности необходимо учитывать характеристику волноводно-акустической системы. В зависимости от типа преобразователя, материала и коэффициента усиления волновода добротность системы может быть существенно различной.

3. Выбор ультразвукового генератора по выходной мощности

По выходной мощности можно определить тип генератора. При выборе генератора по мощности необходимо также учитывать характеристику волноводно-акустической системы. Как уже указывалось, в зависимости от типа преобразователя, материала и коэффициента усиления волновода и трансформатора упругих колебаний добротность системы может быть существенно различной. Так, ферритовый преобразователь сварочной головки СГ-28, снабженный волноводной системой с коэффициентом усиления $k_y=29$, обладает добротностью $Q=600$, а никелевый преобразователь с волноводной системой таких же размеров имеет $Q=85$. При использовании высокодобротных систем изменение частоты генератора или технологических параметров (давление, температура нагрева и т.д.) приводит к существенному изменению амплитуды колебаний волновода-инструмента. У систем с низкой добротностью изменение параметров приводит к незначительному изменению амплитуды.[3,4]

Выбор волноводно-акустических систем с пологой частотной характеристикой существенно повышает стабильность процесса сварки,

однако для получения необходимой амплитуды колебаний волновода-инструмента к колебательной системе должна быть подведена большая мощность. Волноводно-акустические системы с острой резонансной характеристикой требуют для получения тех же амплитуд колебаний волновода в холостом режиме значительно меньшей мощности источника питания. Однако производительность процесса при использовании таких систем невысока и, кроме того, для поддержания резонансного режима работы ультразвуковые генераторы в этом случае должны иметь усложненную схему. Поэтому характеристика колебательной системы так же должна учитываться при выборе мощности источника питания; если она не известна, необходимо предусмотреть некоторый запас мощности ультразвукового генератора. Напряжение на выходе ультразвуковых генераторов регламентировано и может быть определено из следующих данных:

Мощность преобразователя кВт	$\leq 0,16$	0,25-0,63	1-1,6	$> 2,5$
Номинальное напряжение на Обмотке преобразователя, В	55	110	220	440

4. Согласование ультразвуковых генераторов с преобразователями сварочных установок

Преобразователи сварочных ультразвуковых установок являются электромеханическими колебательными системами, имеющими комплексный характер внутреннего сопротивления. Пьезоэлектрические преобразователи имеют активно емкостный характер, магнитострикционные – активно-индукционный характер.

При изменении частоты тока, протекающего через преобразователь, в области, далекой от резонансной частоты, активное и реактивное сопротивления меняются незначительно. Резонансной частоте соответствует максимальное активное сопротивление. В зависимости от режима сварки и нагрузки на преобразователь меняется величина реактивной составляющей комплексного сопротивления, в большинстве случаев оставаясь по характеру индуктивным сопротивлением.

Анализ режима работы ультразвуковых генераторов показывает, что полезная мощность генератора максимальна в случае равенства реактивного сопротивления нулю, а активного- некоторому оптимальному значению.

Для генераторов с самовозбуждением также имеется эквивалентное сопротивление оптимальной величины, при котором полезная мощность максимальна. Соответствующий характеристики устройства.

Таким образом, для согласования генератора с нагрузкой должны быть выполнены следующие условия:

- 1) реактивная составляющая сопротивления нагрузки должна быть минимальна;
- 2) активное сопротивление нагрузки должно иметь некоторое оптимальное значение;
- 3) для автогенераторов должно быть подобрано оптимальное значение коэффициента обратной связи. [3,5]

Отсутствие реактивной составляющей может быть обеспечено подсоединением к преобразователю компенсирующих элементов – емкости в случае магнитострикционного преобразователя и индуктивности в случае пьезокерамического преобразователя. В некоторых типах генераторов (УЗГ5-1,5, УЗГ-1,6 и другие) вмонтирована батарея компенсирующих емкостей; если генератор ими не укомплектован, следует поставить их дополнительно и подобрать необходимую величину компенсирующего элемента.

5. Выбор ультразвукового генератора с целью снижения мощности при сварке пластмасс

В последнее время в МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся научно-исследовательские работы, направленные на снижение вводимой в свариваемые детали мощности при ультразвуковой сварке пластмасс. При этом разрабатывается технология ультразвуковой сварки объемных деталей из полистирола с питанием от маломощных генераторов.

В качестве источника питания магнитострикционного преобразователя (сварочного узла) мы использовали модернизированный серийно выпускаемый фирмой «Ультразвуковая техника ИНЛАБ» (г. Санкт-Петербург) ультразвуковой генератор типа ИЛ10-0,4 с расширенным диапазоном частотой от 20 до 70 кГц.

Генератор оснащен плавной регулировкой мощностью до 0.4 кВт, цифровым частотомером и аналоговым индикатором резонанса акустической системы. Генератор имеет фазовую автоподстройку частоты и источник поляризации с выходным током до 30А. охлаждение

генератора – воздушно-принудительное. Выходная частота может меняться в любую сторону. Масса генератора - 6,2 кг, габаритные размеры – 115x150x60 мм.

Для проведения экспериментов для работы с маломощными генераторами нами были спроектированы и изготовлены ультразвуковые и сварочные узлы (магнитострикционные) из никеля и пьезокерамики, с акустической мощностью 0,4 кВт с идентичным соотношением геометрических параметров рабочих волноводов-инструментов на каждой частоте.

В процессе экспериментов частоту ультразвуковых колебаний контролировали с помощью цифрового частотомера, вмонтированного в ультразвуковой генератор ИЛ10-0,4, амплитуду колебаний волноводов – инструментов с помощью специально разработанных датчиков. Влияние частоты и мощности на процесс сварки мы оценивали по прочностным показателям сварных соединений на образцах из полистирола. Нами были исследованы (рис.1) выходные характеристики разработанных ультразвуковых акустических систем из никеля и феррита и определены максимальные значения амплитуд ультразвуковых колебаний волноводов от частоты и мощности ультразвукового генератора.

При использовании указанного типа генератора для сварки изделий из полистирола (игрушки, предметы домашнего обихода и др.) может потребоваться некоторая переделка схемы генератора. Необходимо также повышение КПД акустической системы генератор – магнитострикционный преобразователь – волновод, работающей с

частотой около 24 кГц. Мы провели работу по созданию различных опор-кондукторов для фиксации изделий, которые также входят в единый комплекс сварочного узла (рис.4). Рассмотрим каждый блок ультразвуковой сварочной установки в отдельности.

Ультразвуковой генератор ИЛ10-0,4 является источником электрической энергии ультразвуковой частоты. Он в основном предназначен для сварки деталей из пластмасс.

Техническая характеристика:

Мощность генератора, кВт

Выходная.....0,4

Потребляемая.....1,1

Напряжение, В

Выходное (регулируемое)

.....20-200

Питающее (сетевое)

.....200

Частота:

Питающей сети,

Гц.....50

Генератора (регулируемая), кГц

В первом диапазоне.....17,5-19,3

Во втором диапазоне.....20,4-23,0

В третьем диапазоне.....35,6-45,0

Ток подмагничивания, А.....2-8

Габаритные размеры, мм.....630x387x328

Вес, кг.....50

Генератор может длительно работать при температуре окружающего воздуха от +5 до +15С и относительной влажности до 80%. В помещении, где работает генератор, не должно быть значительной концентрации пыли (особенно металлической), активных газов и паров. На генератор не должны попадать брызги воды или иной жидкости, струи пара, а также стружки, опилки и прочие предметы [2,3].

Генератор состоит из автогенератора, анодного выпрямителя, выпрямителя тока подмагничивания, выпрямителя экранной сетки, феррорезонансного стабилизатора напряжения накала, цепей управления и защиты.

Генератор выполнен по схеме двухконтурного автогенератора. Анодный выпрямитель собран на кремниевых диодах Д1010 по однофазной мостовой схеме.

Для обеспечения эффективной работы магнитострикционный преобразователь подмагничивается постоянным током, поступающим от специального выпрямителя, собранного на диодах Д242 по однофазной мостовой схеме. Выпрямитель экранной сетки выполнен на диодах Д1011А также по однофазной мостовой схеме.

Для поддержания напряжения на обмотке реле в допустимых пределах, в генераторе имеется феррорезонансный стабилизатор. Питание на генератор подается включением вилки в сеть 220В, 50 Гц. В монолитном кожухе генератора для вентиляции имеются жалюзи. Узлы и отдельные элементы генератора выполнены в виде сборок, размещенных на горизонтальном основании. Органы управления,

сигнализация и измерительный прибор расположены на передней панели. Клеммы для подсоединения нагрузки и предохранители расположены на задней панели.

При настройке генератора в резонанс с акустической системой может оказаться, что частота последнего лежит вне диапазонов частот генератора. В этом случае следует подобрать дополнительную емкость в контуре автогенератора и подсоединить ее к свободным клеммам переключателя. Емкость должна соответствовать частоте преобразователя. Она находится в обратной зависимости от частоты генератора (рис.5). Как правило, повышение частоты свыше 45 кГц (третий диапазон) не требуется. Соответствующим подбором конденсатора C удастся получить необходимую частоту на выходе генератора. Если известна резонансная частота преобразователя, то выбор дополнительной емкости не вызовет затруднений и определится исходя из следующих значений и емкостей.

Первому диапазону (17,5-19,3 кГц) соответствует емкость 13450 мкФ,

второму диапазону (20,4-23 кГц) – 8850 мкФ,

третьему диапазону (39-46 кГц) – 1350 мкФ.

6. Методика проведения эксперимента по применению маломощных экономичных преобразователей

В последние годы на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся успешные исследования по

применению экономичных, высокочастотных ультразвуковых преобразователей из пьезокерамики для сварки пластмасс (рис. 6).

В ультразвуковых сварочных машинах применяются керамические пьезоэлектрические преобразователи. Наибольшее распространение получил пьезокерамический материал ЦТС (цирконат – титанат свинца). По сравнению с другими пьезокерамическими материалами ЦТС обладает большим пьезомодулем (величина, аналогичная модулю магнитострикционной активности), высокой точкой Кюри, что позволяет ему устойчиво работать при температурах до 493-510 К с акустической мощностью излучения 50-100 кВт/м², а также значительной механической прочностью [5].

Пьезоактивные элементы преобразователей выполняют в виде круглых или прямоугольных пластин. Для этого вначале из измельченной смеси сырьевых материалов прессуют заготовки нужного размера и формы, которые отжигаются при температуре 1600 – 1800 К, затем полученные заготовки шлифуют и подвергают поляризации при напряженности электрического поля 2МВ/м составляет около 1ч.

Так как наибольший пьезоэлектрический эффект наблюдается, когда частота изменения электрического поля совпадает с собственной частотой упругих колебаний, то геометрические размеры преобразователей рассчитываются из условия резонанса. Для свободного на концах стержня резонансная длина при продольных колебаниях определяется из выражения:

$$l_{\text{рез}} = \frac{c}{2f} \quad \text{С - скорость звука; } f \text{ - частота}$$

Из этой формулы следует, что из-за большой скорости звука в пьезокерамическом материале ЦТС, сравнимой со скоростью звука в металлах, резонансная длина в области частот 20 – 25 кГц составляет 60-70 мм. Для поляризации таких стержней, а также для создания оптимальной напряженности по длине преобразователя необходимо создавать высокое напряжение с целью получения на торце волновода амплитуду колебаний от 30 до 40 мкм.

В работе с пьезокерамическим преобразователем хорошие результаты нами были получены при применении обратной связи по току.

Как известно, пьезокерамический преобразователь имеет значительно более высокую добротность по сравнению с никелевыми. Незначительное изменение сварочного давления в процессе работы приводит к изменению собственной частоты пьезокерамическими преобразователя и расстройке всей акустической системы.

Поэтому для пьезокерамических преобразователей гораздо большее значение имеет не стабильность частоты генератора, а поддержание равенства частот генератора и преобразователя. Однако рассматриваемый тип генератора не имеет элементов обратной связи, позволяющих поддерживать режим резонанса.

Для создания обратной связи по потоку используется индукционная катушка, включаемая в разрыв цепи вторичной обмотки трансформатора. Катушка имеет 30 витков провода сечением не менее 0,5 мм и располагается в верхней части генератора.

Магнитострикционные преобразователи меньшей добротности менее чувствительны к изменению давления во время сварки и могут использоваться без обратной связи. В случае применения последней в её цепь необходимо включить частотно-избирательный фильтр для выделения основной гармоники, частота которой соответствует резонансной частоте преобразователя.

С целью определения энергетических показателей работы маломощных генераторов мы с руководителями провели работы по сравнению двух преобразователей-магнитострикционного и пьезокерамического.

В первом варианте используется магнитострикционный преобразователь, изготовленный из никеля с водяным охлаждением. Во втором варианте преобразователь изготавливается из пьезокерамики с воздушным охлаждением.

Вариант 1. Сварочный узел состоит из магнитострикционного преобразователя, трансформатора упругих колебаний и волновода (рис. 4). Переменное магнитное поле создаётся при прохождении переменного тока через обмотку, подключенную к генератору. Обмотка выполняется проводом БПВЛ сечением 0,35-0,45 мм., сплошной навивкой. На каждый стержень преобразователя укладывается одинаковое количество витков. Для получения согласованных магнитных потоков необходимо на каждом последующем стержне менять направление намотки. Хотя магнитные потоки в соседних стержнях направлены противоположно, колебание стержней

происходит синфазно, так как магнитострикционный эффект не зависит от знака поля. С целью повышения амплитуды колебаний на преобразователь накладывается постоянное магнитное поле путем применения подмагничивающих обмоток. Обычно постоянное напряжение подмагничивания подается от выпрямителя ультразвукового генератора. [3,5]

Никелевые магнитострикционные преобразователи имеют небольшой коэффициент полезного действия вследствие значительных потерь на магнитный гистерезис и вихревые токи. Для их уменьшения преобразователь собирается из пластин толщиной 0,1-0,2 мм. Преобразователь может быть выполнен с обратной акустической связью, что даёт возможность осуществить автоподстройку частоты генератора на частоту механического резонанса преобразователя. На рис. 7 представлен никелевый магнитострикционный преобразователь – пакет с рабочей частотой 22 кГц и мощностью 0,45 кВт.

Трансформатор упругих колебаний является промежуточным элементом между преобразователем и волноводом-инструментом. Он служит для согласования параметров преобразователя и нагрузки, а также для увеличения амплитуды колебаний на его выходном торце. Для сварки пластмасс маломощными генераторами разработан ступенчатый трансформатор упругих колебаний, имеющих небольшой коэффициент усиления (4-6).

Материалом для изготовления трансформаторов служит сталь 45, сталь 30ХГС, алюминиевые и титановые сплавы. Последние

приклеиваются к преобразователю эпоксидными клеями. Стальные трансформаторы соединяются с преобразователями-пакетами при помощи пайки. В этом случае используются припой ПСР-40, ПОС-60 и др. Пайку производят в специальных приспособлениях, применяя при этом различные методы нагрева: печь, горелку и реже высокочастотный нагрев. Энергия, вводимая в трансформатор упругих колебаний, пропорциональна площади, по которой произошла его пайка с преобразователем. Поэтому надо стремиться получить стопроцентный пропай. Во время пайки необходимо предусматривать строгую соосность преобразователя и трансформатора упругих колебаний. Трансформатор (рис. 7) имеет на выходном торце резьбовое отверстие М10 для присоединения волновода-инструмента. Такой разъем позволяет производить быструю смену необходимых волноводов. Волновод-инструмент выполнен ступенчатой формой (рис. 8). Такая форма волновода проста в изготовлении, удобна для подгонки частоты волновода в резонанс с частотой генератора и имеет наибольший коэффициент усиления – порядка 10. Амплитуда колебаний на рабочем конце волновода достигает 40-50 мкм. Волновод изготавливается из титанового сплава. Для соединения с трансформатором волновод имеет хвостовик с резьбой М10. Для сварки пластмасс может применяться схема с двусторонним подводом ультразвуковых колебаний к свариваемым изделиям.

Применение схемы ультразвуковой сварки с двусторонним подводом колебаний расширяет возможности ультразвуковой сварки и

позволяет увеличить толщины свариваемых полимеров в результате более рационального распределения энергии в свариваемых изделиях. При использовании данной схемы сварки необходимо обеспечить синфазность колебания волноводов. В этом случае наблюдается уменьшение деформации, сварного шва и улучшение товарного вида свариваемого изделия. Давление на свариваемые детали осуществляется со стороны волноводов, точки приложения давления находятся в узлах колебаний волноводов.

Вариант 2. Для работы от генератора может использоваться ультразвуковой сварочный узел, состоящий из пьезокерамического преобразователя, трансформатора упругих колебаний экспоненциальной формы и волновода-инструмент (рис. 6). Возбуждение преобразователя осуществляется с помощью обмотки подключенной к ультразвуковому генератору. Обмотка выполняется проводом МГШВ-0,35, сечением 0,35 мм. Сплошной навивкой на каждый стержень преобразователя. Подмагничивание преобразователя осуществляется с помощью постоянных магнитов. Резонансная частота преобразователя равна 22 кГц, предельная допустимая амплитуда колебаний на его торцевой выходной поверхности равна 30-40 мкм.

Волновод-инструмент упругих колебаний изготовлен из титанового сплава. Он имеет экспоненциальную форму и дает усиление по амплитуде на выходном торце 2,8. Волновод-инструмент сменный и соединяется с трансформатором посредством резьбы М10.

Резонансная частота преобразователя с волноводом-инструментом равна 22 кГц, резонансная частота сварочного акустического узла в целом равна 24 кГц. Такая конструкция сварочного узла применяется без водяного охлаждения.

Описанный сварочный узел встраивается в ранее разработанные установки типа УПМ-21 или УПК-15. Для этого достаточно на кронштейне установить сварочный узел, диаметр корпуса которого 74 мм.

7. Выводы

1. Применение маломощных акустических систем позволяет использовать менее дорогостоящие генераторы, снижает расход потребляемой электроэнергии, расход воды на охлаждение, уменьшает занимаемые производственные площади и упрощает ремонт и обслуживание оборудования;

2. Проведен сравнительный анализ двух магнитострикционных преобразователей из никеля и пьезокерамики.

Список литературы

1. Волков С. С.: Сварка и склеивание полимерных материалов: учебное пособие для вузов. М.: Химия, 2001. 376.

2. Донской А. В., Келлер О. К., Кратыш Г. С. Ультразвуковые электротехнические установки. 2 изд., перераб. И доп. Л.: Энергоиздат, 1982. 208 с.

3. Ультразвуковые преобразователи. / Под ред. Е. Кикучи. Пер. С англ. Под ред. И.Н. Голяминой. М.; Мир, 1972. 424.
4. Сварка полимерных материалов: Справочник/ К. И. Зайцев, Л. Н. Мацюк, А. В. Богдашевский и др.; под общ. Ред. К. И. Зайцева, Л. Н. Мацюк. М.: Машиностроение, 1988. 312с.
5. Мозговой И. В. Основы технологии ультразвуковой сварки полимеров: Учеб. Пособие. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного университета, 1991. 280с.

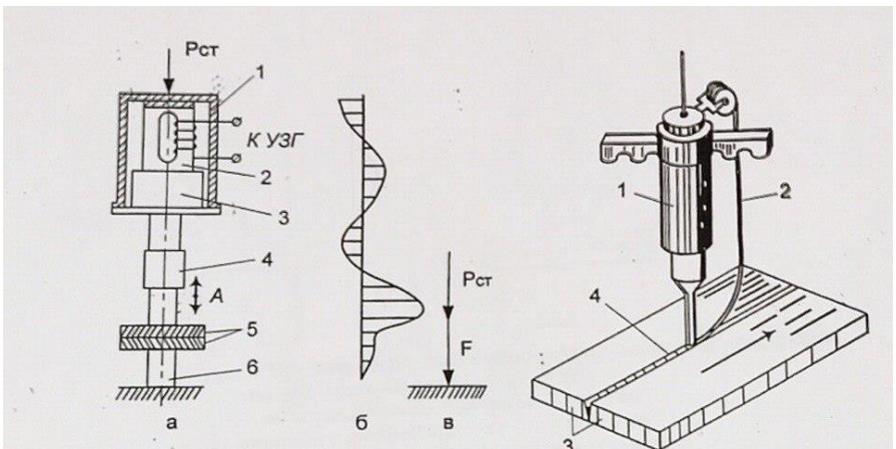


Рис. 1. Ультразвуковая сварка с нормальным вводом колебаний: а – схема установки (1 – корпус преобразователя; 2 – преобразователь с обмоткой; 3 – трансформатор упругих колебаний; 4 – волновод; 5 – свариваемые детали; 6 – опора); б – эпюра амплитуды смещения колебательной системы; в – расположение векторов статического давления $P_{ст}$ и динамического усилия F ; A – амплитуда смещения волновода.

Рис. 2. Схема сварки с дополнительным присадочным материалом: 1 – преобразователь с волноводом-инструментом; 2 – присадочный материал; 3 – свариваемое изделие; 4 – сварной шов.

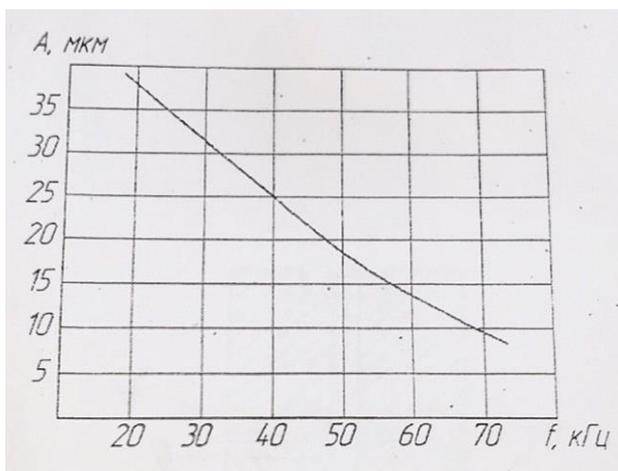
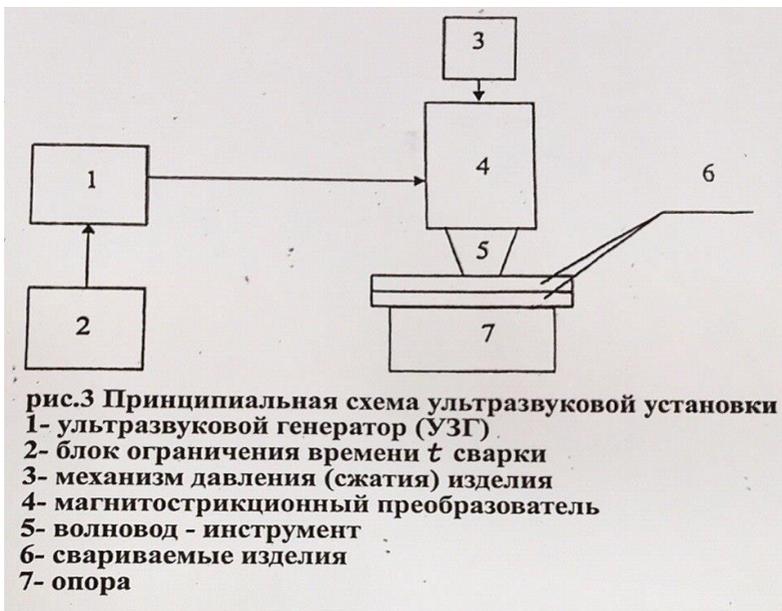


Рисунок 5 Зависимость амплитуды УЗК рабочих торцев сварочных головок от частоты генератора

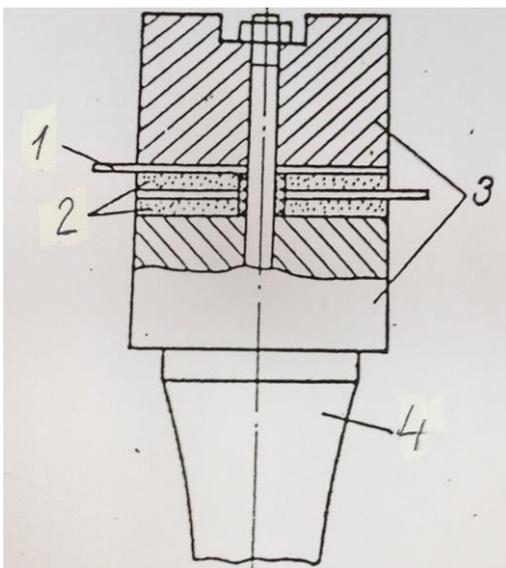
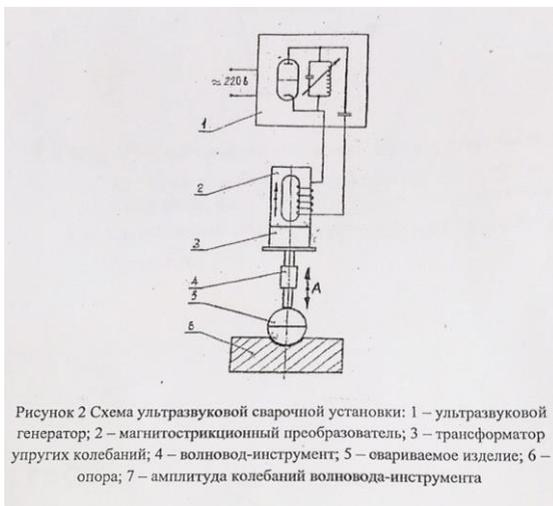


Рисунок 6 пьезокерамический преобразователь: 1-токоподвод; 2- пьезокерамические пластины; 3- частотно-понижающие пластины; 4- волновод-инструмент.

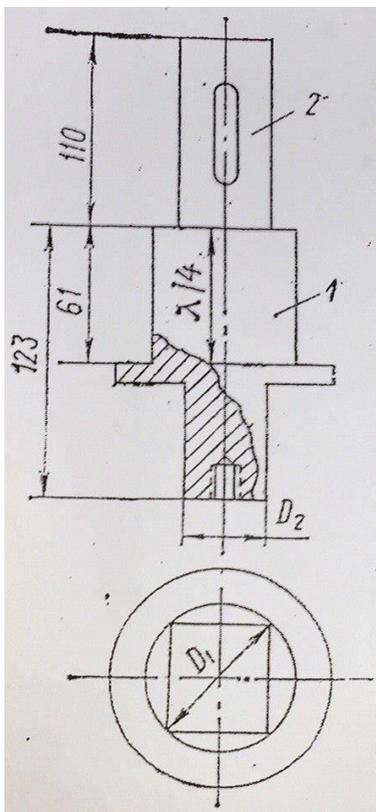


Рисунок 7 Конструкция трансформатора упругих колебаний (1), соединенного с пакетом преобразователя из никеля(2). Частота 22 кГц; $D_1 = 65$ мм.; $D_2 = 40$ мм.

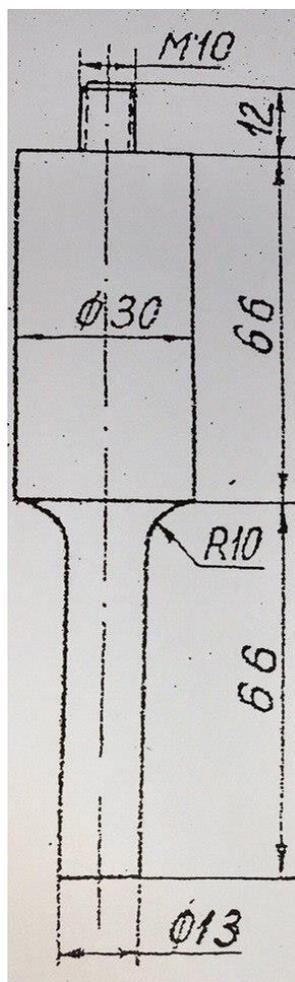


Рисунок 8 Ступенчатый волновод-инструмент к никелевому магнитострикционному преобразователю

СЕКЦИЯ II. Машиностроительные технологии

Изготовление модели 3-х координатного многофункционального устройства с ЧПУ

Пандуров Михаил Алексеевич

г. Москва, ГБОУ Школа №315, 11 класс

Научный руководитель:

Мальков Олег Вячеславович

доцент кафедры МТ-2,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

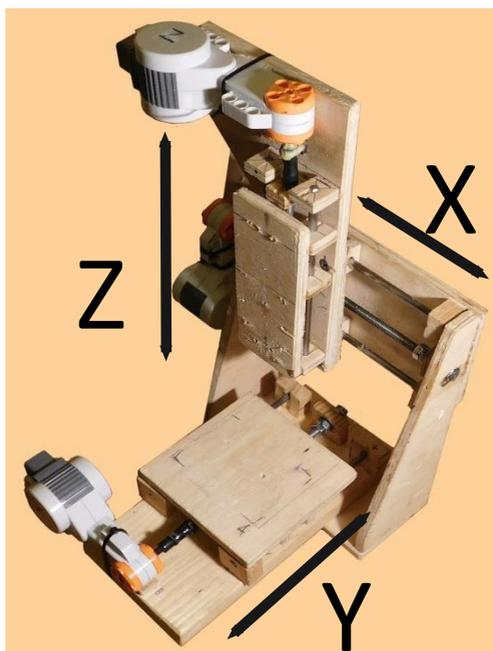


Рис. 1. Общий вид станка. X, Y, Z – возможные направления перемещения кареток (осей)

1. Краткий обзор

1.1. Технические данные

- Размеры рабочей области: 75×75×50 мм.
- Микроконтроллер: legomindstorms NXT.
- Максимальная скорость передвижения: 120 мм/мин
- Максимальная мощность двигателей: 10 Вт каждый.
- Точность: до 0,1 мм.
- Масса: 1,7 кг.
- Габаритные размеры: 210×210×330 мм.

1.2. Возможности

Станок имеет несколько модификаций:

- 1) Плоттер. На станок устанавливается специальная ручка, с помощью которой он может рисовать различные фигуры.
- 2) Фрезер. При установке на станок мотора с фрезой он может вырезать из пенопласта объекты 3D моделирования.
- 3) Сканер поверхности. Если на станок поставить специальный щуп, он может сканировать рельеф поверхности.

1.3. Общий вид станка

На рис. 1 показаны возможные направления перемещения – оси. Все 3 оси (X, Y и Z) должны быть расположены взаимно перпендикулярно. Но из-за неточности изготовления ось Y чуть-чуть наклонена относительно плоскости XZ (примерно на 0,5о), что особо не сказывается на точности работы.

2. Создание базы

2.1. Выбор конструкции

Сперва меня волновал вопрос выбора конструкции механической части. Было придумано и рассмотрено множество вариантов. Здесь я описываю несколько вариантов, как мне кажется, наиболее перспективных.

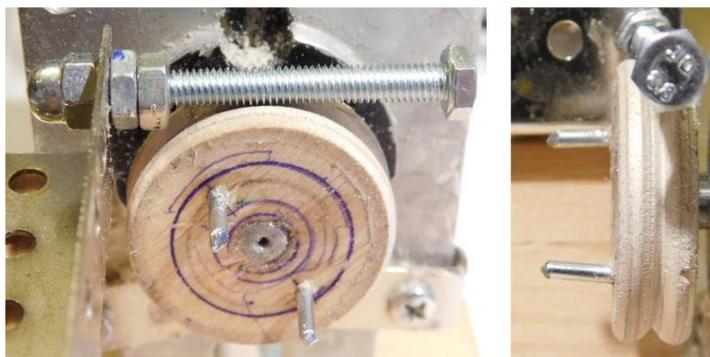
1) Из стандартных деталей. Компания Lego производит много различных блоков, из которых возможно собирать разные механизмы. Этот вариант меня не устраивал – точность такого станка была бы низкой, так как детали изготовлены из пластика, вследствие чего сильно гнутся; соединения выполняются с помощью специальных подпружиненных штифтов и не позволяют сделать конструкцию жесткой. Станок не смог бы дать нормальную точность.

2) Самоходная машинка. Эта конструкция предполагала создание машинки на колёсах, с закреплённой ручкой, которая бы ездил по бумаге, разложенной на ровной поверхности. У этой конструкции был огромный плюс: размеры рабочей поверхности были не ограничены, но было несколько больших недостатков. Чтобы получить высокую точность, колеса не должны пробуксовывать, а повороты должны выполняться точно. Конечно, можно пойти иным путем – через обратную связь. А именно – установить датчик (например, из компьютерной мыши), который будет отслеживать непосредственно перемещение, а не количество оборотов мотора. Но даже при достаточной точности фрезеровать поверхность, по который

едет робот, будет затруднительно, однако и здесь есть выход. Режущий инструмент может свешиваться за границы передвижной платформы, и тогда робот сможет резать поверхность не под собой, а рядом. Но даже если решить все механические проблемы, программа данного робота будет весьма сложной, что и заставило меня искать другой вариант конструкции.

3) Токарно-фрезерный тип. По замыслу барабан (цилиндр с закрепленной на нем бумагой) должен был поворачиваться, а ручка – перемещаться вдоль барабана. Эта установка могла использоваться и как фрезерный станок, но сервомоторы на выходном валу имеют слишком большой люфт ± 30 . Конечно, проблему можно решить: сделать своеобразную червячную передачу. Передача была сделана (рис. 2). Точность этого механизма велика, но срок службы вряд ли будет большим. Рационального решения (кроме применения шаговых двигателей) я пока найти не смог, а потому и не стал доделывать этот блок.

5) Рельсовый тип. Наконец я нашел конструкцию, которая была несложна в изготовлении, обладала высокой точностью и сильно уменьшала люфт мотора. Принцип передвижения очень схож с действием тисков: имеются направляющие (оси), по которым подвижная часть (каретка) перемещается через винтовую передачу.



А

Б

Рис. 2. Экспериментальный вариант червячной передачи на токарно-фрезерном станке. А – вид спереди. Б – вид сбоку

2.2. Сборка механики

Для начала я определился с размерами станка – решил делать его с рабочей областью около 300×300×100 мм. Но в связи с отсутствием нужных материалов (а именно, стержней такой длины) размеры были уменьшены до 75×75×50 мм. Для направляющих были использованы гвозди диаметром 5 мм и длиной 150 мм.

У гвоздя есть рифление около шляпки (наверное, при его изготовлении в этом месте он зажимается, чтобы можно было сформировать шляпку) и небольшой выступ ближе к острию. Они зачищались напильником. В итоге получается почти идеальный штырь (единственный недостаток – гвозди с завода гнутые, видимо, при разматывании проволоки с бобины ее плохо распрямляют, но это не сильно мешает: прогиб на отрезке 150 мм – не более 0,1 мм). Штыри

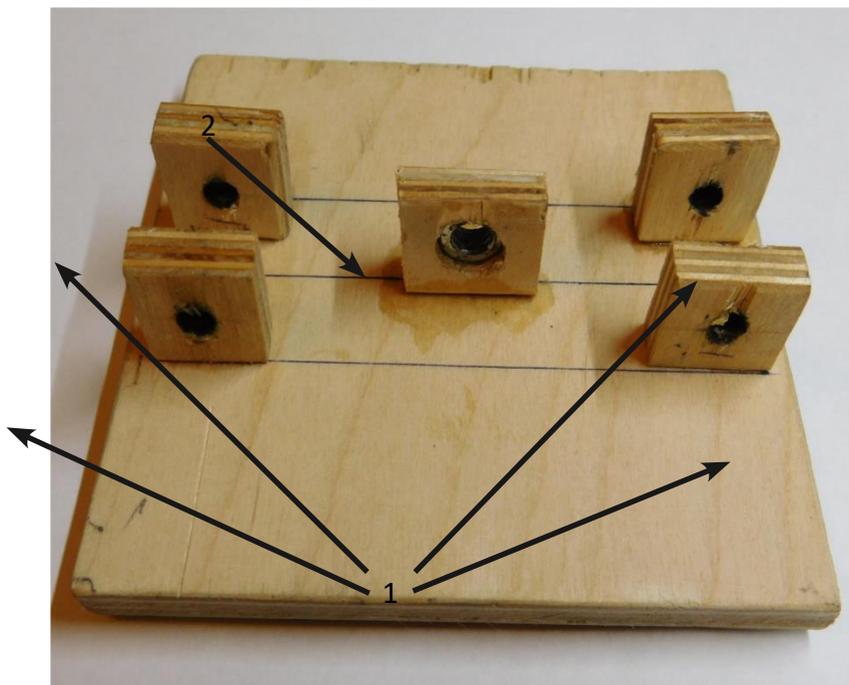
крепятся к основанию на деревянных брусочках. Брусочки с просверленными отверстиями нанизываются на одну шпильку и притираются на наждачной бумаге до одинаковой высоты, а затем приклеиваются к деревянному основанию. Пока клей не застыл, можно пододвинуть брусочки по ширине и точно их установить. Получается прочное и жесткое основание. Каретки крепятся к осям по такой же технологии (разница только в том, что после притирки брусочки надеваются на направляющие, мажутся клеем, а затем на них кладется досточка).

2.3. Крепление кареток

Каретка (рис. 3) крепится к станку на четырех «подшипниках». Подшипниками являются деревянные брусочки, которые скользят по металлическим стержням. Чтобы точно подогнать отверстие под диаметр шпилек, был изготовлен специальный инструмент: на гвоздь надфилем была нанесена насечка. Получилось подобие напильника с калиброванным диаметром и очень мелкой насечкой. К тому же он был немного тоньше, чем шпильки (часть металла была снята при нанесении насечки), что позволило более плотно посадить каретки (они держатся за счет упругости дерева, так как отверстия в брусках чуть меньше диаметра шпилек, поэтому они практически не болтаются).

Впоследствии оказалось, что я ошибся, выбрав сосновые планки в качестве материала подшипников. Древесина сосны смолистая, и смола не давала возможности сдвинуть каретку с места, пока я не расширил отверстие настолько, что каретка стала болтаться ± 1 мм!!! Но

и это еще не все: сосна очень мягкая, и быстро изнашивается. К тому же, её очень тяжело было сверлить – она легко колется. Сосну заменил березовой фанерой. После этого каретки стали ездить легче, мягче, и станок перестал вибрировать.



2.4. Передвижение кареток

Передвигаются каретки с помощью гаек, которые запрессованы в фанерные бруски (рис. 3). Чтобы просверлить большое отверстие в маленьком брусочке, была применена хитрость: для снижения нагрузки отверстие сверлилось постепенно несколькими сверлами. Каждое последующее сверло было чуть больше предыдущего. Чтобы

запрессовать гайку в дерево, накручивал ее на болт, а затем забивал легкими ударами, чтобы не повредить резьбу. Без болта гайка кувyrкается на поверхности и запрессовывается криво.

2.6. Затягивание гаек

Каждая ось закреплена от продольного люфта с помощью 4-х гаек и фанерного брусочка, приклеенного к основанию (рис. 4). Гайки располагаются по 2 с каждой стороны. Каждая пара гаек (1–2 и 3–4) туго затянута, что не дает им возможность прокручиваться вдоль шпильки. Между парами гаек выставляется такой зазор, чтобы шпилька не болталась, но и не сжимала фанеру. Выставить зазор нужно очень точно. Сначала я пытался затянуть одну пару (1–2), накрутить с обратной стороны гайку (3) на нужное расстояние, а затем, держа её ключом, затянуть второй гайкой (4). Это было сложно и получалось только после многочисленных попыток. Дело в том, что, когда накручивается последняя гайка (4), она прижимает свободную гайку (3) ближе к бруску или третья прокручивается относительно вала. Поэтому я придумал следующий способ:

1) Затягиваются обе пары гаек с небольшим усилием, приблизительно в нужном месте.

2) Если вал затянут и вращается туго, надо накинуть два ключа на гайки 2 и 3 и затем крутить их относительно друг друга против часовой стрелки. При этом парные гайки затягиваются ещё туже, а расстояние между внутренними гайками увеличивается.

3) Если вал, наоборот, болтается, то надо накинуть два ключа на гайки 1 и 4, а ключи сводить по правому направлению вращения. Здесь сначала гайки затянутся попарно, и только после этого затянутые пары гаек начнут сближаться.

4) При необходимости можно зажать каждую пару еще туже, но после этого придется заново пройти п. 2 и 3.

Эта технология позволила устанавливать оси проще и во много раз быстрее, чем раньше.

2.7. Присоединение двигателей

Двигатели NXT имеют шкивы с креплениями, предназначенными под стандартные детали Lego: штифты и четырёхгранные валы (рис. 5). Для того чтобы соединить шпильки M6 с мотором, я использовал толстостенный резиновый шланг (муфту), который надевался на четырёхгранный вал. Шланг решал следующие проблемы:

1) Несоосность шкива и шпилек. Шланг достаточно гибкий и не оказывает большого сопротивления при несоосности валов (выставить валы ровно затруднительно, так как двигатель не имеет удобных креплений).

2) Гашение инерции. Шланги немного пружинят и при резком старте или торможении гасят часть импульса, снимая большие нагрузки с моторов. Но окончательная регулировка ускорения должна происходить программно.

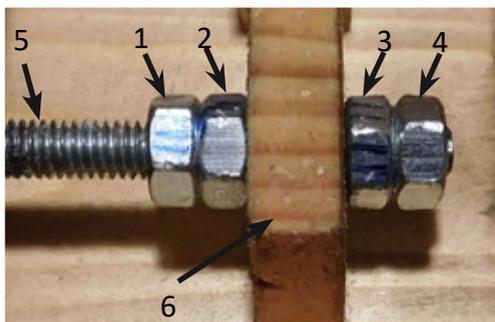


Рис. 4. Крепление шпилек:

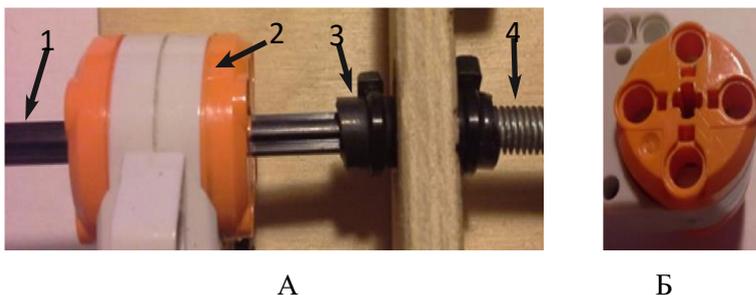


Рис. 5. Присоединение моторов.

А – вид сверху: 1 – вал, 2 – двигатель, 3 – муфта, 4 – шпилька.

Б – вид спереди.

3. Оснастка

3.1. Специальная ручка

Для того, чтобы станок мог рисовать, ему, естественно, нужно что-то пишущее. Обычная ручка не совсем подходит в данном случае, так как на неё надо нажимать, чтобы она начала писать, а с другой стороны, если очень сильно надавить, она может повредить

поверхность, по которой перемещается, или сломаться. Поэтому я придумал ручку с подпружиненным стержнем (рис. 6). В корпус от большой гелевой ручки была помещена пружина. Один её конец упирается в заглушку, зафиксированную штифтом. Другой конец упирается в гайку, которая через винт давит на стержень. Винт служит для регулировки силы нажатия, а также для корректировки длины стержня, позволяя менее точно его обрезать.

Открытая проблема данного устройства заключается в том, что ручка иногда неожиданно перестает писать. При этом перестают писать абсолютно любые ручки, даже те, которые при обычном использовании пишут всегда (например, StabiloLiner 808F). Причиной тому, думаю я, является то, что при письме от руки стержень ручки наклонен к поверхности, а на станке она стоит строго вертикально, от этого шарик плотно прилегает к стержню, не давая выходить чернилам.

Стоит отметить, что кончик стержня цилиндрический только у основания, а завершается конусом. Поэтому нельзя полностью загонять его вовнутрь – стержень будет сильно болтаться.



Рис. 6. Ручка для плоттера: 1 – резиновая трубка, 2 – заглушка, 3 – штифт, 4 – пружина, 5 – винт с гайкой, 6 – стержень, 7 – наконечник, 8 – корпус

3.2. Переделка из плоттера во фрезер

Станок изначально задумывался как фрезерный, а возможность рисования предполагалась дополнительной. На скорую руку приделал гибкий вал бормашины к станку, а сам двигатель повесил на отдельную стойку (для уменьшения массы, которую должен двигать станок). Пробовал фрезеровать сосну. Поверхность получилась качественной, погрешность около $\pm 0,2$ мм (что весьма неплохой результат, учитывая, что дерево мягкое), но возникли проблемы:

1) Я не мог определить, насколько нагружены моторы. Когда я чертил ручкой, то делал это на слух, а теперь мотор фрезера гудел во много раз громче тихих сервомоторов. Проблему можно было решить программно – измеряя, насколько просела скорость под нагрузкой, а заодно и корректи ровнять её – для большей точности, что и было сделано в дальнейшем, но при первых попытках фрезерования такой возможности не было.

2) От бормашины шла очень большая вибрация. Гибкий вал, хоть и уменьшил нагрузку на станок, но вибрация все равно оставалась немалая. От этой вибрации могли быстро изнашиваться деревянные подшипники, да и моторам вряд ли это пошло бы на пользу – редуктор у них пластиковый.

Поэтому бормашину решил не использовать. Вместо нее подобрал небольшой двигатель. Но с ним возникла одна огромная проблема: у него не было никакого патрона, только вал диаметром 2 мм. Раньше я его использовал как полировальную машинку. К нему

крепился держатель фетровых насадок (из набора инструментов для бор-машины) с помощью клеммника. Держатель сильно било, моторчик вибрировал, но это не мешало при полировке, так как точность была не важна. Теперь же с вибрацией и биением надо было бороться. Напротив винтов я припаял кусок проволоки – балансир. Теперь без фрезы вибрации не было, но как только ставилась фреза, мотор начинал вибрировать, а фреза отклонялась. Мало того, она не только отклонялась, но и была несоосна с валом. Так получалось изза того, что фреза имеет диаметр $\approx 3,1$ мм, а вал двигателя 2 мм. В клеммнике оба стержня прижимаются к одной «стенке», что приводит к смещению центров друг относительно друга. На вал двигателя я намотал проволоку диаметром 0,5 мм и пропаял её, после чего включил двигатель и надфилем обточил её до нужного диаметра. Теперь фреза просто отклонялась в сторону, и у основания её не било. Я пробовал её отклонять в противоположную сторону и вроде она начинала вращаться правильно, но при попытке что-либо резать опять сбивалась. Приглядевшись повнимательнее, я нашел трещину на клеммнике. Замена клеммника новым привела к тем же последствиям. Тогда я решил не использовать клеммник. Придумал передавать вращение фрезе с помощью резинового шланга (рис. 7). Для фиксации фрезы я наматывал на нее медную проволоку в левую сторону и крепил её к корпусу мотора. На получившуюся спираль наливал масло. При включении двигателя масло поднималось вдоль фрезы вверх и стекало обратно вниз с наружной стороны (поэтому пружина должна была быть

левой намотки, а не правой). Но и такая конструкция не позволила фрезеровать. Теперь фреза не била, зато самодельный подшипник при боковой нагрузке «съедал» большую часть энергии, шланг нагревался и подплавлялся (так как слегка гнулся), а масло брызгало при запуске двигателя и капало после остановки. Пришлось искать другой выход.

Была проверена масса различных идей, но все попытки оканчивались не удачей. Наконец я вернулся обратно к клеммникам, но на этот раз я взял два клеммника и спаял их друг за другом, на толстой проволоке-балансире. Балансир делался заведомо чуть большим, а затем стачивался до полного равновесия. Эта конструкция отличается от первой тем, что фрезу и вал прижимают 4 винта (2 – на вал и 2 – на фрезу). Второй винт позволяет более надежно закрепить вал и фрезу. Клеммники в этом случае не трескаются, а фрезу не бьет. Клеммники служили довольно долго, но недавно клеммник треснул и его пришлось менять. Замена клеммника может быть затруднительна из-за сложности его балансировки. В настоящий момент на станке стоит цанговый патрон.

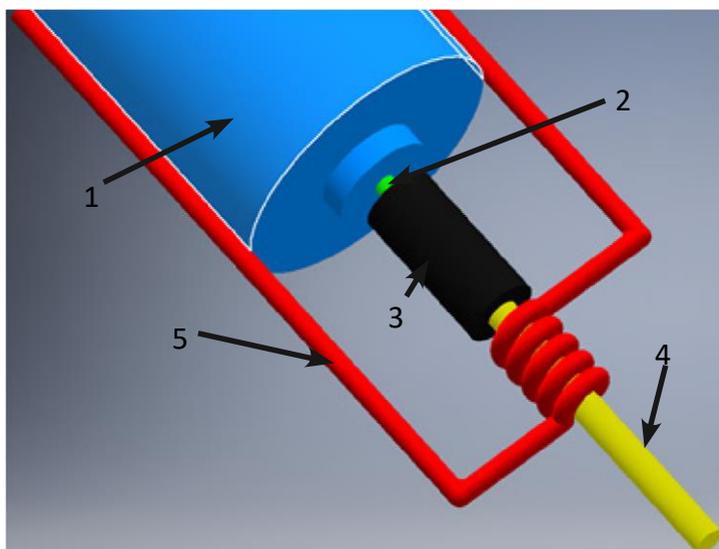


Рис. 7. Неудачная конструкция крепления фрезы:

- 1 – двигатель, 2 – вал двигателя, 3 – резиновый шланг, 4 – фреза,
5 – медная проволока

3.3. Сканер поверхности

Стол станка расположен под наклоном. Связано это с тем, что, когда я делал первую ось (как раз ось стола), я ошибся при отпиливании бруска и отрезал криво (больше чем надо на 0,7 мм). Ошибку сразу не заметил, а когда обнаружил, решил не переделывать. На остальных осях после отпиливания и просверливания отверстий бруски шлифовались на бумаге до одинаковой высоты, поэтому такая ошибка существует только на одной оси. Можно было, конечно, переделать крепление оси, но я решил проблему иначе. Блок управления имеет не только порты на моторы, но и 4 порта для сенсоров. Данные по ним

передаются в псевдоаналоговом формате или по каналу I2C. У робота есть много стандартных датчиков (нажатия, освещённости, громкости звука, ультразвуковой дальномер, температуры и т.д.), но меня интересовал датчик нажатия. С самого начала я подозревал, что это обычная кнопка. Схема датчика нашлась быстро – на сайте <http://lego56.ru/nxt-ext-capter3/> (рис. 8). Там же есть описание портов, откуда можно узнать, что 1-й контакт для датчиков – это питание 9В, он же предназначен для измерения сопротивления (в течении 3 мс подается напряжение, а потом 0,1 мс считывается сопротивление), а 2-й и 3-й соединены внутри корпуса и являются землей. Как видно из схемы, при нажатии на кнопку 1-й контакт замыкается на землю через резистор, который ограничивает ток, предотвращая короткое замыкание. Правда, на сайте написано, что его назначение «предотвратить короткое замыкание при подключении к выходному порту», но мне кажется, что это высказывание некорректно, так как при подключении к выходному порту замыкаются 2-й и 3-й контакт (второй для моторов – питающий, а третий – земля). Мне показалось странным объяснение назначения резистора, поэтому данные проверил мультиметром. Действительно, по измерениям получилось то же, что и описано на сайте.

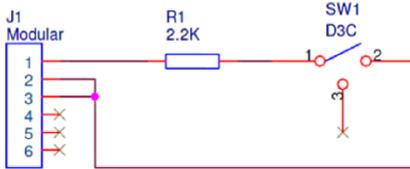


Рис. 8. Схема датчика нажатия



Рис. 10. Кончики щупов:

- 1 – конус, 2 – прямой, 3 – лесенкой,
4 – игла, 5 – швейная

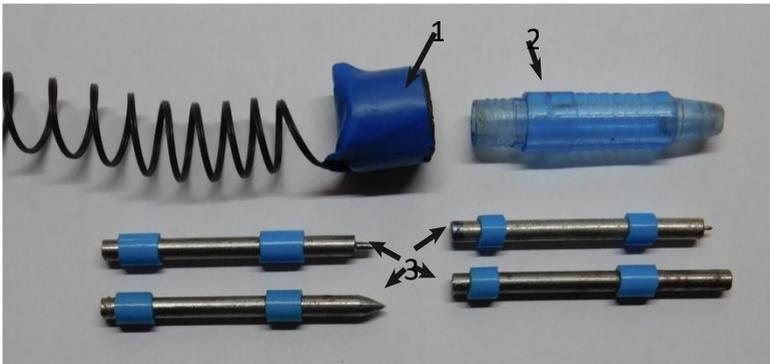


Рис. 9. Щуп: 1 – колпачок, 2 – наконечник, 3 – щупы

Итак, оказалось вполне возможным делать кнопки самостоятельно. Но была одна проблема: LEGO сделала свой нестандартный разъем для их подключения. За основу взята 6-контактная телефонная вилка, но язычок на ней смещен вправо (не посередине и не влево, как обычно). В интернете есть масса решений этой проблемы. Но все предложенные варианты предполагали либо переделку стандартных вилок под NXT, либо разрезание кабеля с готовыми вилками. Мне не хотелось портить кабели, поэтому был

придуман способ, позволяющий без особого вмешательства подключиться к 2 проводам из колодки. Из пластика вырезалась пластинка по размеру вилки и приматывалась к ней синей изоляцией со стороны контактов. Каждый контакт отделен от соседнего перегородкой, а пластинка создает 4-ю стенку. В получившиеся отверстие вставляется одножильный кабель диаметром 0,2 мм, сложенный пополам и пролуженный. Он плотно держится там – его прижимает изоляция (но, если бы он вываливался, то можно было бы сделать отверстие в пластинке и пропустить кабель через него). Так вставляются 2 кабеля (дублировать землю незачем). Дальше две проволоочки отгибаются назад и приматываются изоляцией к коннектору. Припаивается провод и резистор, все это еще раз обматывается изоляцией. На этом присоединение закончено. Из недостатков надо отметить, что более 2 проводов качественно подключить не получится (один из трех вряд ли прижмется хорошо). А еще язычок получается всегда прижатым и впоследствии его, возможно, придется отгибать обратно, чтобы он столь же надежно фиксировал вилку в разъеме. Хотя соединение обладает хорошей электропроводностью, механическая прочность его невелика, и к тому же подсоединенный провод гораздо тоньше и гибче заводского. Поэтому кабель был прочно приделан к корпусу станка.

Щуп был сделан из корпуса ручки (рис. 9). Ручка состоит из двух частей: наконечника и накручивающегося на него колпачка. Колпачок был укорочен насколько возможно и в него вмонтирована кнопка.

Кнопку пришлось вставить в трубку подходящего диаметра, залить клеем; процедуру повторял 2 раза: в первый раз залил резиновым клеем, но он отклеился при сканировании, и поверхность получилась кривой. Тогда вместо резинового клея кнопку залил цианоакрилатом, и теперь она не отклеивается. Но для надежности конструкция колпачка была изменена. Во-первых, кнопка была заменена на кнопку от мышки, а во-вторых, кнопка держалась не на клее, а на стержне. Сам щуп сделан из гвоздя диаметром 3 мм. Отверстие под стержень в наконечнике было меньше и гвоздь не проходил. Можно было взять гвоздь меньшего диаметра, но я боялся, что он будет болтаться, поэтому этим же гвоздем расширил отверстие. Стержень ходит в отверстии несколько туго, но зато не болтается. На гвоздь надеты 2 кусочка шланга. Нижний – чтобы гвоздь не вываливался, верхний – чтобы гвоздь попадал на кнопку, и не промахивался. Кончик гвоздя затачивался.

Форма заточки — это самое проблемное место данного устройства. Сначала я его заточил под прямым углом (рис. 10), но это не позволяло получить высокого разрешения. Поэтому гвоздь был переточен под конус. Теперь разрешение стало во много раз больше, но сканировать глубокие впадины стало невозможно – щуп на них стало бы клонить в сторону. Таким образом, мне кажется оптимальным будет затачивать щуп лесенкой: можно получить большое разрешение, не боясь, что щуп погнется, и в то же время резкие перепады уровней не будут его отклонять в сторону. Крутых уступов на картинке не

получится: они будут лесенкой, но это лучше, чем невозможность отсканировать всю поверхность полностью за один раз. Есть еще один вариант: вставить в гвоздь швейную иглу. Она достаточно прочная и тонкая. Игла вставлялась в стержень от ручки и фиксировалась в нем деревянными щепками.

3.4. Автоматическое включение двигателя

Перед фрезерованием двигатель, естественно, надо включить. Поначалу это делалось вручную путем соединения штекера блока питания и разъема на двигателе. Провод часто рвался, отламывался. Да и включать так двигатель не очень удобно, к тому же можно попросту забыть включить его. При фрезеровании иногда станок перемещает фрезу вхолостую, и двигатель на это время можно выключить. А для этого требовалась система включения двигателя автоматически (из программы).

У робота есть датчик освещенности, который способен мерить освещенность или определять черно-белый оттенок поверхности (в активном режиме). Активный режим – режим работы датчика, при котором включен светодиод подсветки. Пассивный режим – режим, в котором светодиод подсветки выключен. За включение светодиода отвечает 5-й провод в колодке (при подаче на него напряжения светодиод включается) (рис. 11).

Это и было использовано при включении мотора.

Так как электронику я знаю не очень хорошо, мне было немного боязно сделать схему, подобную изображенной на рис. 11, и

подключить её напрямую к контролеру. Поэтому на этот раз было решено не связывать электрически цепь питания мотора и блока управления. Я придумал схему, которая запускает двигатель при включении светодиода на датчике освещенности (рис.12).

Режим работы управляется переключателем: в первом положении ток течет через резистор номиналом 500 Ом, транзистор открыт, контакт реле замкнут – мотор работает. Во втором положении выключатель не замкнут ни на один контакт, транзистор закрыт, реле разомкнуто, ток не течет, мотор не работает. В третьем режиме выключатель направляет ток через фоторезистор. При достижении определенной яркости его сопротивление падает настолько, что транзистор открывается – мотор начинает работать. Подстроечным резистором регулируется напряжение на базе. Сделано это для того, чтобы схему можно было настроить так, чтобы она не реагировала на окружающее освещение, а срабатывала только от светодиода датчика (чтобы схема сработала от 60 ватной лампы, фоторезистор надо поднести на расстояние, не превышающее 15 см). Диод, подключенный параллельно реле, служит для гашения ЭДС самоиндукции.

Корпус данного устройства сделан из тонкой фанеры и склеен прочным клеем, только крышка приклеена не так хорошо – при необходимости её можно снять и отремонтировать конструкцию или внести в нее изменения. Вся электроника собрана навесным монтажом и припаяна к выводам реле. Контакты, которые могут замкнуться, залиты клеем. Для регулировки переменного резистора реле следует

приподнять из корпуса (оно не приклеено, а просто зажато между 4-мя стенками корпуса, выключателем и разъемом). Размеры корпуса сделаны минимальными, пустого места внутри почти нет. В передней части корпуса имеется углубление, куда ставится сенсор (рис. 13).

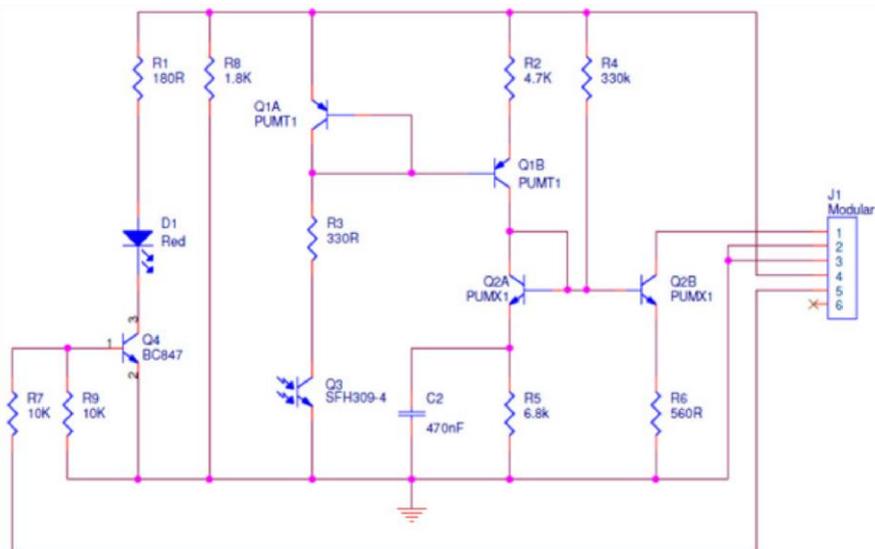


Рис. 11. Схема датчика освещенности

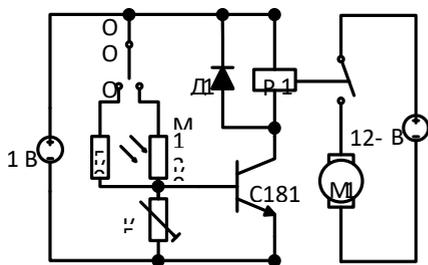


Рис. 12. Схема фотореле



Рис. 13. Фотореле без крышки

4. Фрезы

На моем станке обработка пенопласта происходит фрезерованием. Для этого я пробовал использовать заводские фрезы по дереву и мягкими металлам, но они не дают хороших результатов. Гладкость поверхности получается хорошей, но у них есть несколько недостатков. Отвод опилок у этих фрез очень плохой, поэтому иногда опилки не успевают выходить и пенопласт начинает плавиться. Да и в «нормальном» режиме работы фреза нагревается до 60 – 70оС. К тому же, этими фрезами невозможно углубляться вертикально (использовать как сверла). При таком фрезеровании опилки вообще не могут выйти из-под фрезы, и пенопласт всегда плавится. Вдобавок фрезы очень неэффективны – за один проход ими можно снять слой не более 1 мм при глубине 7 мм, иначе сильно возрастает боковая нагрузка, то есть фреза не успевает врезаться в материал.

Поэтому было решено сделать фрезу, которая бы хорошо резала, а именно:

- 1) Стружка не накапливалась бы в зоне резания.
- 2) Обрабатываемая поверхность была бы гладкой.
- 3) Фреза обладала бы быстрым резом, эффективно расходовала мощность мотора.



Рис. 14. Фреза меч

Рис. 15. Фреза
ножРис. 16. Фреза нож:
Вид сбоку

Рис. 17. Фреза спираль (первоначальный вариант)

Рис. 18. Фреза спираль с уменьшенным шагом спиральной
кромки

Рис. 19. Фреза спираль с наибольшим шагом режущей кромки



Рис. 20. Фреза прерывистый гребень



Рис. 21. Фреза пила

4.1. Фреза меч

Никаких особых идей по созданию формы фрезы не было, поэтому я решил сделать предварительный вариант, а затем эту фрезу совершенствовать. Ничего не рассчитывая и даже не прикидывая, сделал фрезу (рис. 14). Её режущая часть была в форме ромба. После изготовления еще до испытаний мне стало ясно, что эта фреза резать не будет, так как её режущие кромки подходили к обрабатываемой поверхности под тупым углом. При попытке ею фрезеровать пенопласт плавился и не стачивался.

4.2. Фреза нож

Требовалось сделать так, чтобы фреза имела режущую кромку под углом меньше прямого к обрабатываемой поверхности. Для этого я сточил лыску на глубину ниже радиуса (рис. 15, 16). Правда, при этом терялась вторая режущая кромка, следовательно, падала максимальная

скорость реза на той же скорости вращения. Но это в пробном образце не имеет большого значения. Фреза опять точилась без расчетов, на глаз. При попытке фрезеровать материал вырывался крупными кусками, что дало очень большую скорость реза при отсутствии какой-либо поверхности (куски вырывались размером более 5 мм). Причина стала ясна, когда была произведена попытка, держа фрезу руками, медленно прокрутить её около поверхности: фреза ударяется ножом о поверхность, и не врезаясь, поворачивается далее, вырывая кусок. Для облегчения вхождения в материал фрезу как следует заточил. Результат почти не изменился, но все же размеры кусков уменьшились. Тогда я уменьшил угол до минимального. Минимальным в данном случае стал такой угол, при котором толщина оставленной части стержня не гнется при фрезеровании. Подбирался этот угол опытным путем, и получился равным примерно 30° (определен по толщине оставшейся части 0,3 мм). Эта фреза резала пенопласт относительно хорошо. А именно, фреза почти не рвала пенопласт, а выкрашивала его небольшими кусочками. Но тем не менее, иногда она вырывала большие куски, что могло испортить заготовку. При вращении её руками было заметно, что для врезания её в пенопласт требуются большие усилия. Тогда я мотор держал в руках, но недавно повторно смотрел, как режет каждая из изготовленных фрез, но уже в автоматическом режиме. Неожиданно эта фреза начала резать наравне с последней, только давала больше вибрации. Возможно, когда я держал мотор в руке, при прикосновении

к поверхности его отбрасывало, и он начинал прыгать, что и приводило к таким результатам.

4.3. Фреза спираль

По опыту я знаю, что, если нож поставить не перпендикулярно поверхности, а под некоторым углом к ней, усилий для разрезания надо будет прикладывать меньше. Этот же принцип я перенес в конструкцию фрезы. Но так как фреза круглая, а нож плоский, то я «намотал» поставленный под углом нож на цилиндр. Получилась спираль. Тут я понял, что можно было это решение не придумывать заново, а взять как часть заводской фрезы.

Опять взял новую болванку и на глаз нарезал винтовую канавку (рис. 17). Подобные формы мне резать еще не приходилась, поэтому канавка имеет разный наклон режущей кромки в разных точках. Канавку резал по ширине надфиля (1,2 мм), между канавками оставался неснятый гребень примерно такой же ширины. Его заточил, насколько это возможно. Надфилем получить угол больше некоторого не представляется возможным – при увеличении угла заточки в точке касательной к надфилю снимается материал за ним и перед ним. Эта конструкция фрезы вообще ничего не резала, а идеально скользила по поверхности, даже не цепляя её.

Тогда, как и до этого, стал вращать её вручную. Проблема появилась сразу – толстый гребень не давал фрезе врезаться в материал. Тогда я уменьшил ширину гребня, сделав его в форме треугольника. Фреза стала резать, но сильно била (в процессе вытачивания была

погнута), рез был очень медленным, качество поверхности плохое, нажимать надо было очень сильно. Все же это был значительный прогресс, так как оставалась только доработать эту фрезу.

Для увеличения скорости реза, а также для уменьшения площади врезания, я изготовил фрезу с меньшим углом, чем у той, что делал первый раз (рис. 18). Качество поверхности было нормальным, но все же угол был великоват. Поэтому была сделана фреза с еще меньшим углом – около 10° (рис. 19). Эта фреза трудно врезалась в поверхность (из-за большой площади) и резала медленно, зато качество поверхности возросло. Фреза подходит для резания на низких скоростях – при большой скорости подачи она перегревалась, и начинала плавить пенопласт.

4.4. Фреза прерывистый гребень

Требовалось, не меняя угла, уменьшить площадь. Посмотрев, как фреза режет материал, я заметил, что большая часть режущей кромки находится в воздухе и не принимает участия в снятии материала. Эту часть можно было бы удалить, если бы она не была нужна впоследствии. Иного пути я не нашел и решил срезать кромку, а взамен на противоположной стороне поставить ей замену (рис. 20). Таким образом, получилось, что на фрезе есть 2 режущих кромки, которые работают поочередно. Площадь уменьшилась более чем в 2 раза. При этом теперь можно было выбрать любой угол заточки. Кроме того, простота заточки возросла значительно, так как теперь можно было затачивать плоские кромки, а не только дуговые.

4.5. Фреза пила

Нарезать винтовые канавки очень сложно и долго, а после нарезки еще сложнее делать прорезы в нужных местах, так как надфиль соскакивает с ребра. Поэтому технология изготовления фрез типа прерывистый гребень была изменена, а вместе с ней поменялась и форма фрезы. Теперь фреза изготавливалась следующим образом: с двух сторон симметрично снимались лыски. Затем на получившийся пластине с двух сторон нарезались ножи (рис. 21). Возникла небольшая проблема с окончанием фрезы. Требовалось на торце сделать нож, чтобы фреза могла углубляться вертикально. Но и здесь нашлось решение: торцевой нож совмещен с боковым ножом. Правда, с другой стороны ножа не было, но это не мешало фрезе грызть пенопласт превосходно. Были у меня опасения, что фреза начнет крошить материал, и я думал делать конические ножи, которые не будут «ударять по пенопласту», но и в таком варианте фреза работает отлично. Поверхность получается очень гладкой, опилки, благодаря большим лыскам, выходят наверх и даже немного подлетают над поверхностью. При очень быстром резе иногда чувствуется запах плавленого пенопласта и опилки выходят слегка оплавленными, но это не сказывается на качестве поверхности.

4.7. Фреза перо

Для получения фрезы диаметром большим, чем диаметр гвоздя, из которого она вытачивается, перед вытачиванием режущих кромок

гвоздь можно расплющить молотком, тем самым увеличив диаметр. Эту фрезу я пока не испытал.

Приложение № 1. Программа

Данная программа управляет станком, читая данные из G-code.

```
1: //переменные работы с файлом
2: bytehandle; //файловая переменная
3: intfsize; //размер файла 4: stringfname =
"txt.tap"; //название файла g-code
5: string s; //буферстроки
6: inti, u, r; //счетчики
7: char g[70]; //массив для строки
8: float X, Y, Z, S, F; //переменные для хранения
данных из кода
9: int T, M, G; //переменные для хранения данных
из кода 10: intnobuf; //переменные, хранящие знак
(принимают значение "1" или "-1")
11: boolpoint; //наличие дробной части
12: boolTb, Mb, Gb, Xb, Yb, Zb, Sb, Fb; //наличие
переменных в строке
13:
14: intnobuf, Bufint;
15: float Bufxyz;
16: //переменные для работы с перемещением
17: longvx, vy, vz; //переменные для хранения
скорости
```

```
18: longdx, dy, dz, d_max;//переменные для
хранения координат для вычисления скорости
19: floatrx, ry, rz;//текущие координаты
20:
21: //функция перемещения в точку (x0;y0;z0)
22: sub go_to_XYZ(int x0, int y0, int z0, float
ff){
23:   do {
24:     //вычисление расстояния, которое осталось
пройти
25:     dx = x0 - rx;
26:     dy = y0 - ry;
27:     dz = z0 - rz;
28:     int f = abs((ff * 10) / 12);//перевод
подачи из мм/мин в единицы станка --% скорости
29:     //вычисление скорости для каждой оси
30:     vx = (dx * f) / sqrt(dx * dx + dy * dy +
dz * dz);
31:     vy = (dy * f) / sqrt(dx * dx + dy * dy
+ dz * dz);
32:     vz = (dz * f) / sqrt(dx * dx + dy * dy
+ dz * dz);
33:     if ((abs(vx) >100) || (abs(vy) >100) ||
(abs(vz) >
```

```
100)) { //проверка на превышение максимальной
скорости (100%)
34: //поиск наибольшего расстояния
35:     if (abs(dx) >abs(dy)) {d_max = dx;}
else {d_max = dy;} if (abs(dz) >abs(d_max)) {d_max =
dz;}
36:     f = abs((100 * sqrt(dx * dx + dy * dy
+ dz * dz)) / d_max); /*вычисление
37:     максимальной подачи для данной
конфигурации расстояний*/
38:     //вычисление скорости для каждой оси
39:     vx = (dx * f) / sqrt(dx * dx + dy * dy +
dz * dz);
40:     vy = (dy * f) / sqrt(dx * dx + dy *
dy + dz * dz);
41:     vz = (dz * f) / sqrt(dx * dx + dy *
dy + dz * dz);
42:     }
43:     // установка скорости
44:     OnFwd(OUT_A, vx); OnFwd(OUT_B, vy);
OnFwd(OUT_C, vz);
45:     //чтение координат
46:     rz = MotorRotationCount(OUT_C); rx =
MotorRotationCount(OUT_A); ry =
MotorRotationCount(OUT_B);
```

```
47:   }while (sqrt((rx-x0)*(rx-x0)+(ry-y0)*(ry-
y0)+(rz-z0)*(rzz0))>30)
48:   //выход из функции если достигнута сфера
радиусом 0,01мм
(4/360) и центром в конечной точке 49: }
50:
51: //запуск и останов шпинделя
52: submotor(intmot){
53:     if (mot == 0){SetSensorType(S1,
SENSOR_TYPE_LIGHT);}
54:     if (mot == 1){SetSensorType(S1,
SENSOR_TYPE_LIGHT_ACTIVE);} 55: }
56:
57: // функция, возводящая 10 в степень
58: intexpn(intexpx){
59:     long expy = 1;
60:     for (intexpu = 0; expu<expx; expu ++),
{expy = 10*expy;}
61:     return(expy); 62: }
63:
64: task m(){
65:     OpenFileRead(fname,      fsize,
handle);//открытиефайла
66:     //пока не достигнут конец файла (код M30),
идет чтение 67:     while (M != 30){ 68:         newstr:
```

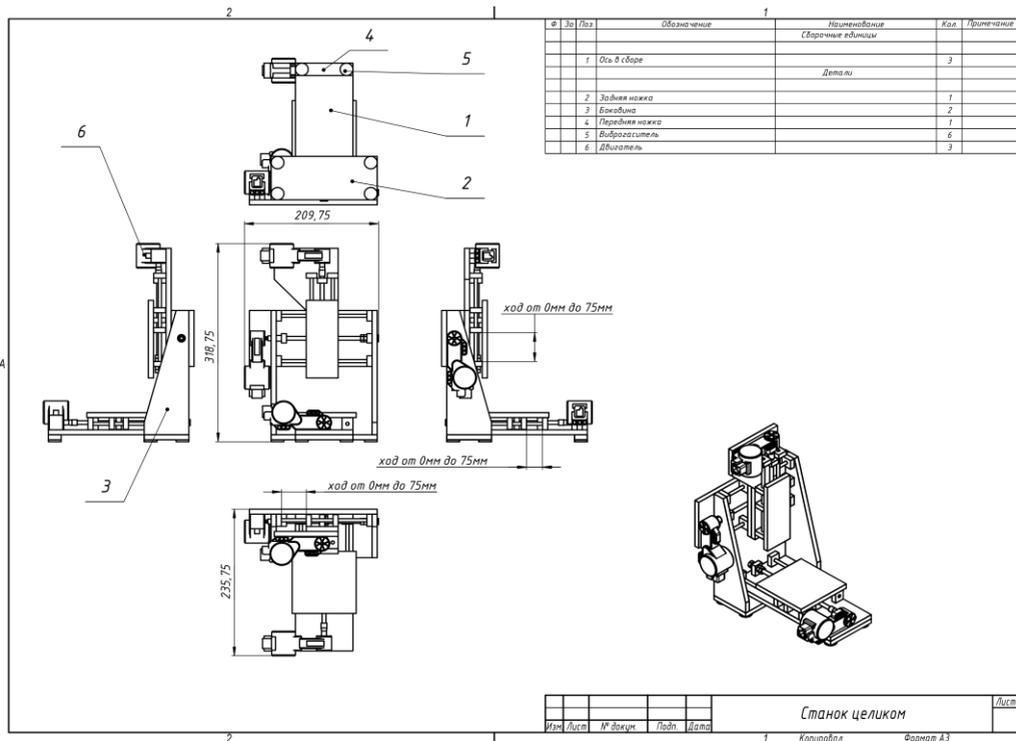
```
69:  if (M == 3){motor(1);}//включение шпинделя
70:      if (M == 5){motor(0);}//выключение
шпинделя
71:      if (G == 0){F = 300.0;};
72:      go_to_XYZ(X, Y, Z, F);//перемещение
73:
74:  ReadLnString(handle, s);//чтение строки
75:      i = 0;//обнуление счетчика текущего
символа в строке
76:  while ((s[i] != 0)){g[i] = (s[i]); i ++;}
//создание массива символов из строки
77:      g[i] = 0; //записываем в последний
символ "0" 78:      i = 0;//обнуляем счетчик
79:      casechar:
80:      //чтение
81:      nbuf = g[i];
82:      if ((g[i] == 88) || (g[i] == 89) ||
(g[i] == 90) || (g[i] == 71)|| (g[i] == 70)|| (g[i]
== 83)|| (g[i] == 77)||
(g[i] == 84)) {
83:          i++;//переход к значению
84:
85:  intbufi = i + 1;//запись главного счетчика
в буфер
86:  npbuf = 1;
```

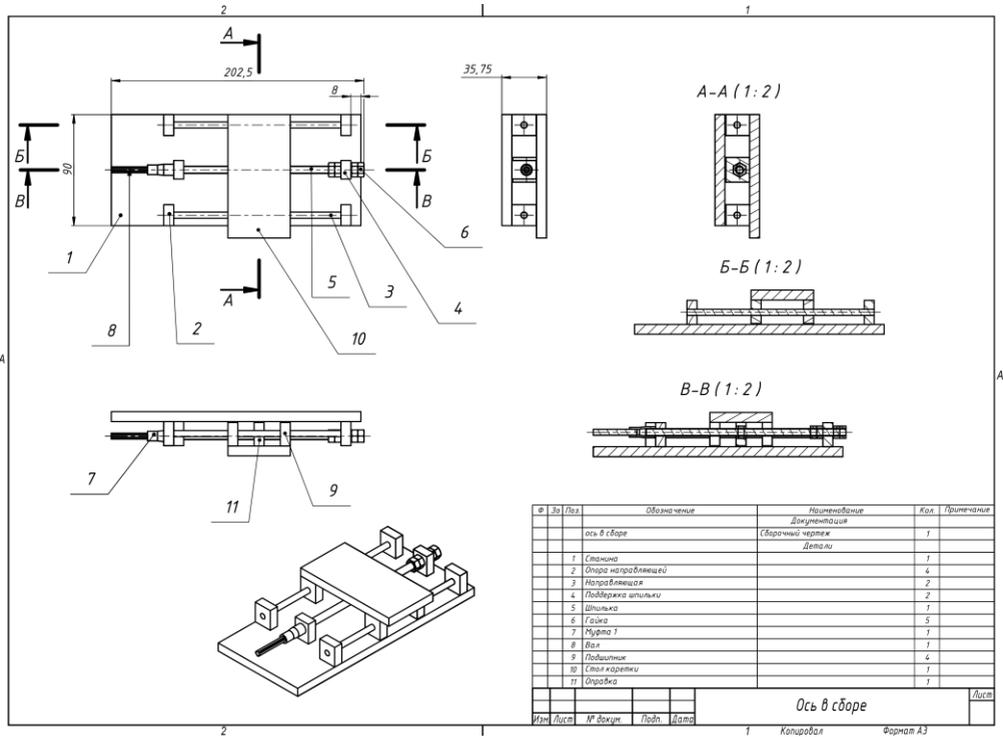
```
87:          r = 0; //обнуление количества разрядов
88:  point = 0; //обнуление поддержания счетчика
дробной части
89:          u = 0; //обнуление счетчика разрядов
после запятой
90:          Bufxyz = 0.0; //обнуление выходной
переменной
91:  if (g[i] == 45) {npbuf = -1; i++; r--;}
92:  while ((g[bufi] >= 48) && (g[bufi] <=
57)) || (g[bufi] == 46){r++; bufi++;} //определение
количества знаков
93:
94:          while ((g[i] >= 48) && (g[i] <=
57)) || (g[i] ==
46)) { //цикл прохода по разрядам числа (от
старшего к меньшему)
95:          if ((g[i] == 46) || (point == 1))
{//определения количества знаков после запятой
96:          point = 1;
97:          u ++;
98:          }
99:          if (g[i] != 46) { //запись цифры в
соответствующий разряд
100:          Bufxyz = Bufxyz + ((g[i]-48) *
ехрон(r)); //запись цифры в разряд
```

```
101:             r--;
102:             }
103:             i++; //переход к следующему символу
104:             }
105:     Bufxyz = Bufxyz / expn(u); //отделение
дробной части 106:             Bufxyz = Bufxyz * 360.0
* nrbuf;
107:
108:     if (nbuf == 88){X = Bufxyz;}
109:     if (nbuf == 89){Y = Bufxyz;}
110:     if (nbuf == 90){Z = (-1.0)*Bufxyz;}
111:     if (nbuf == 71){G = Bufxyz;}
112:     if (nbuf == 84){T = Bufxyz;}
113:     if (nbuf == 77){M = Bufxyz;}
114:     if (nbuf == 83){S = Bufxyz;}
115:     if (nbuf == 70){F = Bufxyz;}
116:             if (g[i] == 0){gotonewstr;} else
{gotocasechar;} //указаниеперехода
117:             } 118:             OnFwd(OUT_C, 0);
OnFwd(OUT_B, 0); OnFwd(OUT_A, 0); Wait(500);
119:     }
120: }
121:
122: task main(){
123:     Precedes(m); //запусквсехзадач124: }
```

125:

Приложение № 2. Чертежи



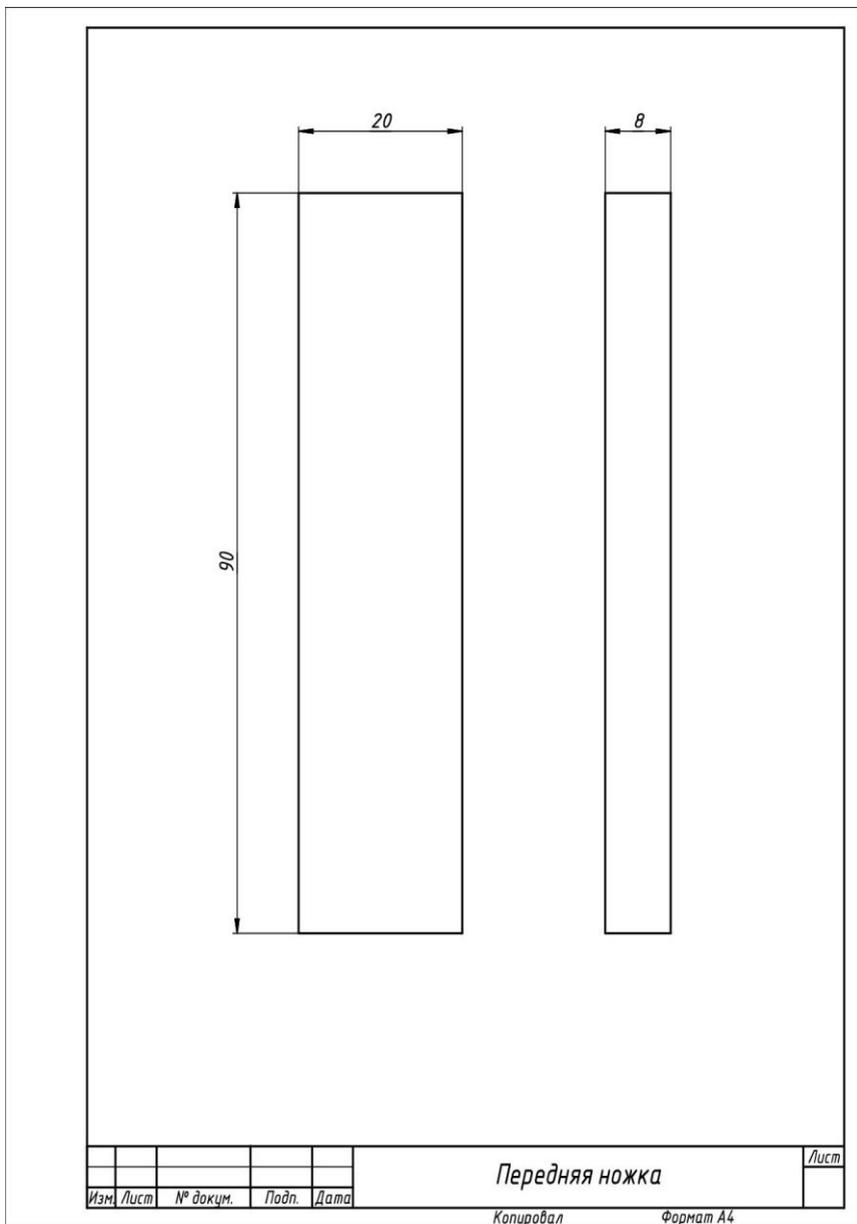


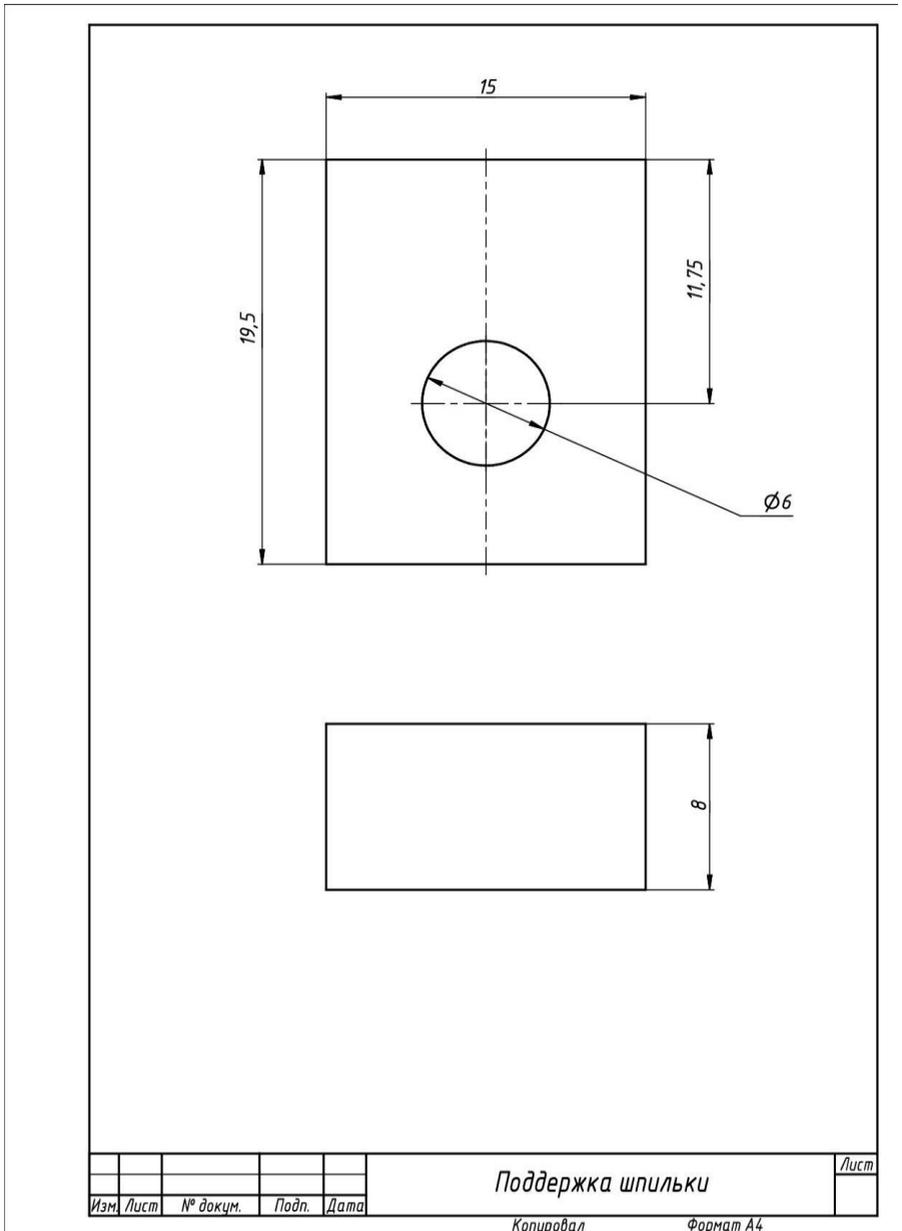
№	Вкл	Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
			ось в сборе	Сборочный чертеж	1	
				Детали		
1			Станина		1	
2			Опора направляющей		4	
3			Направляющая		2	
4			Поддержка шпильки		2	
5			Шпилька		1	
6			Гайка		5	
7			Муфта 1		1	
8			Вал		1	
9			Подшипник		4	
10			Стал каретки		1	
11			Оправка		1	

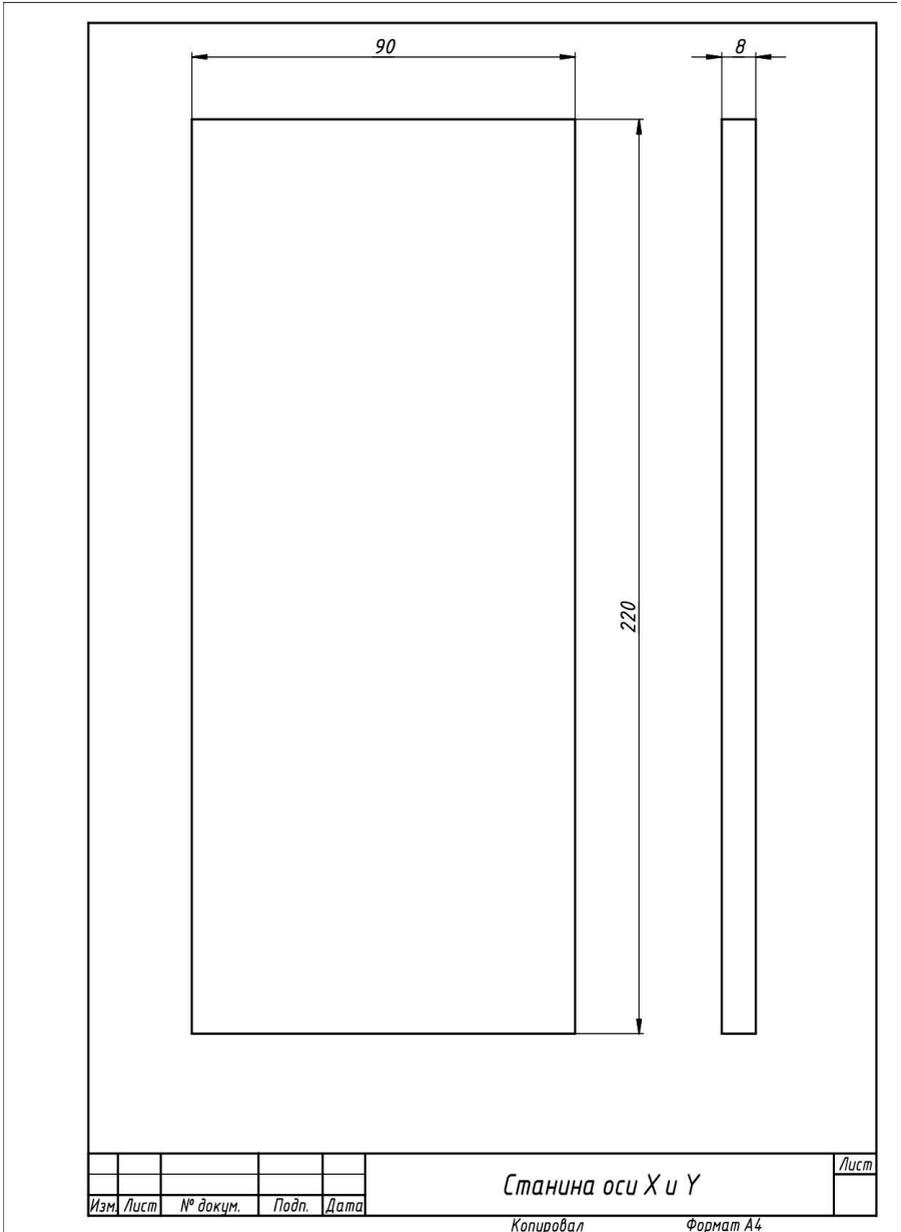
Ось в сборе

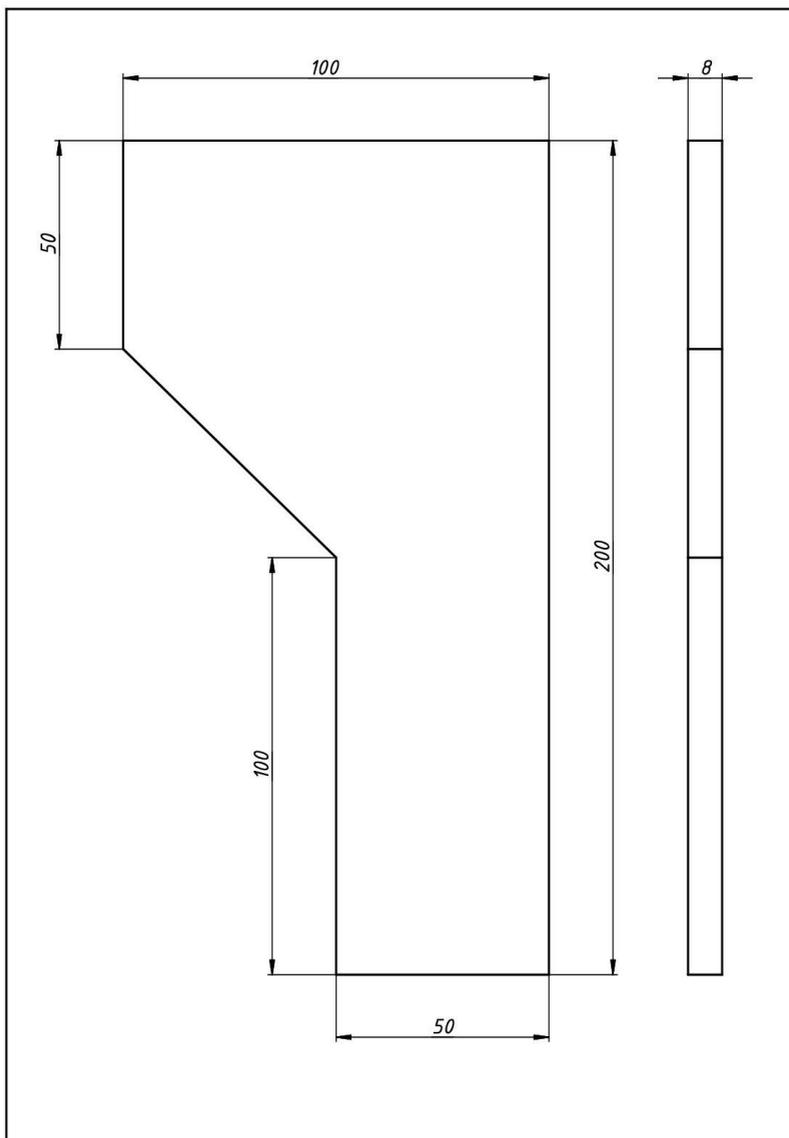
Изм. Лист № докум. Подп. Дата

Копировал Формат А3





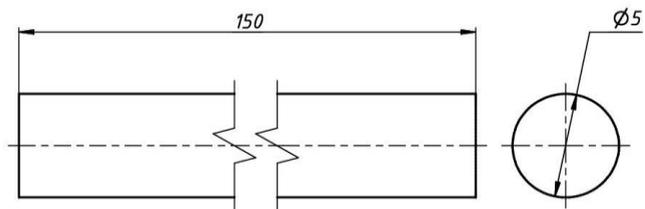




						Станина оси Z	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата			

Копировал

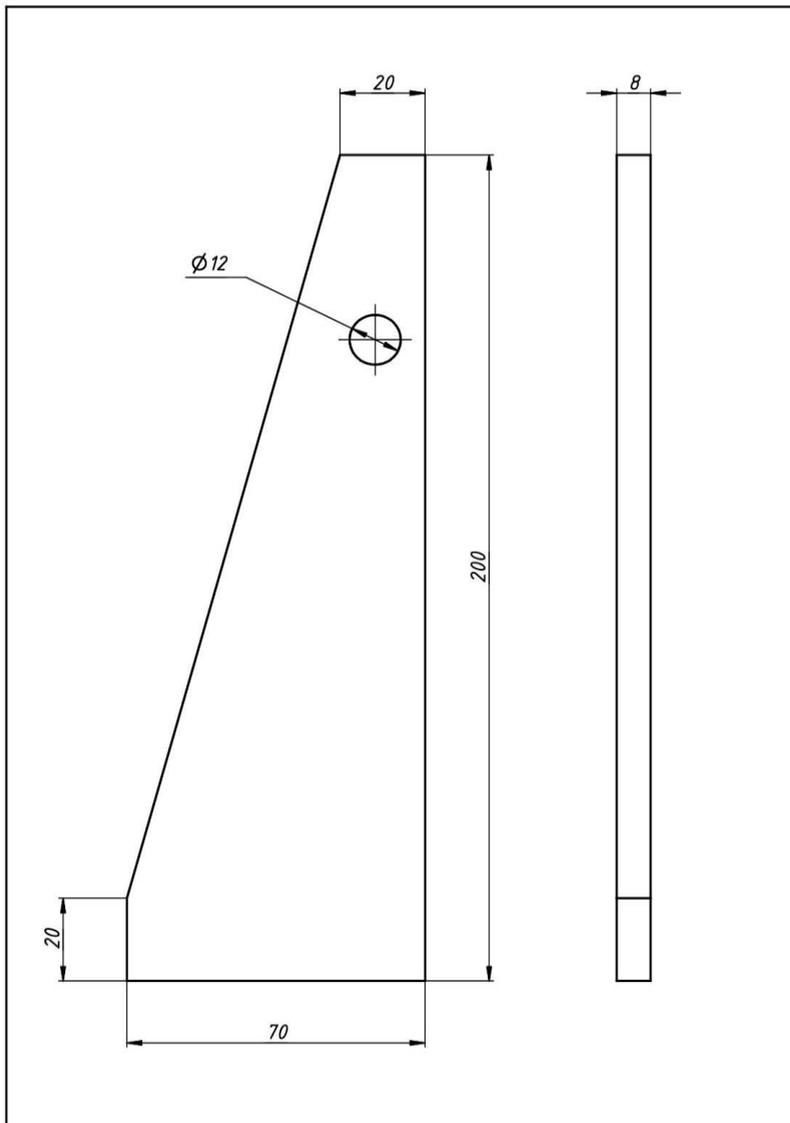
Формат А4



					Направляющая	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Копировал

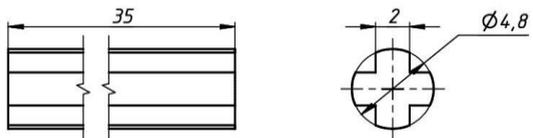
Формат А4



									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Боковина					

Копировал

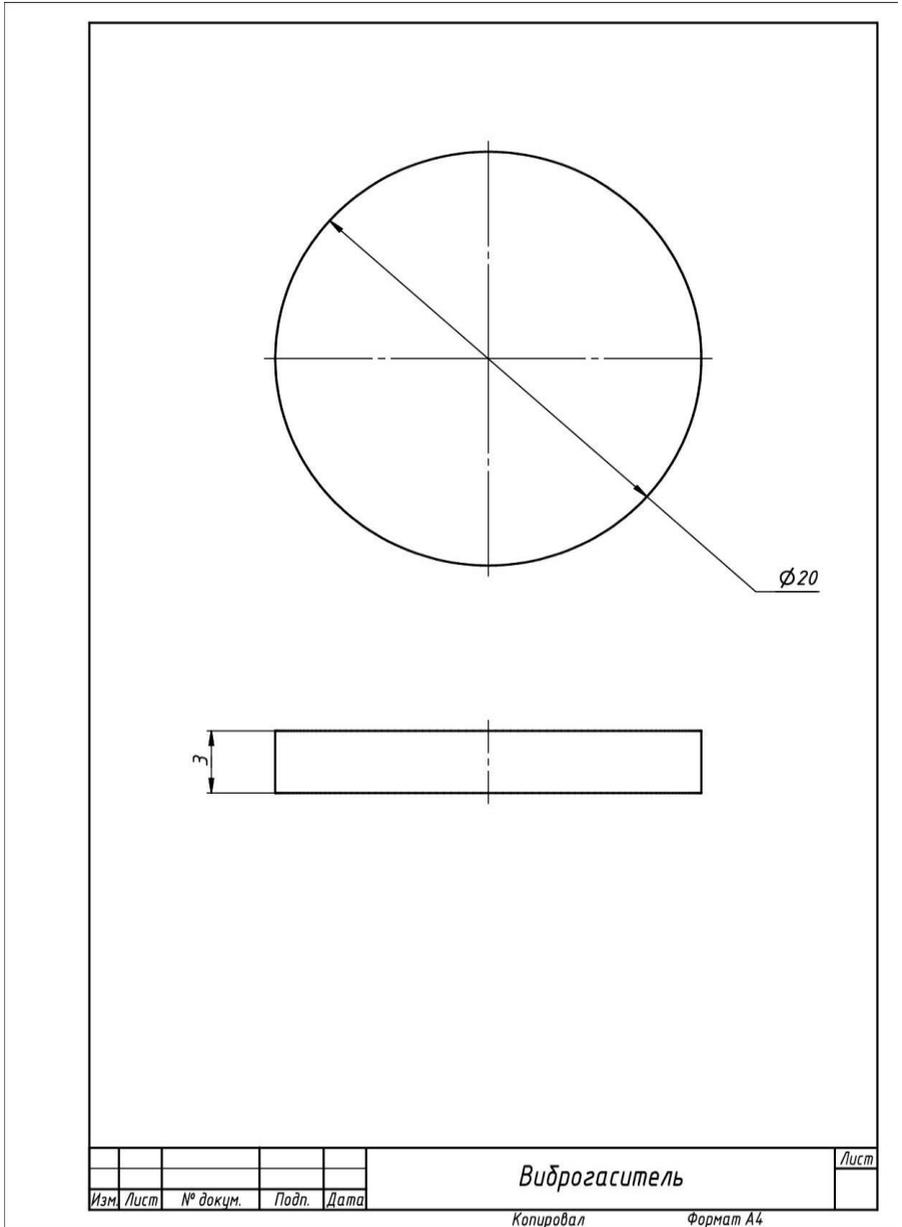
Формат А4

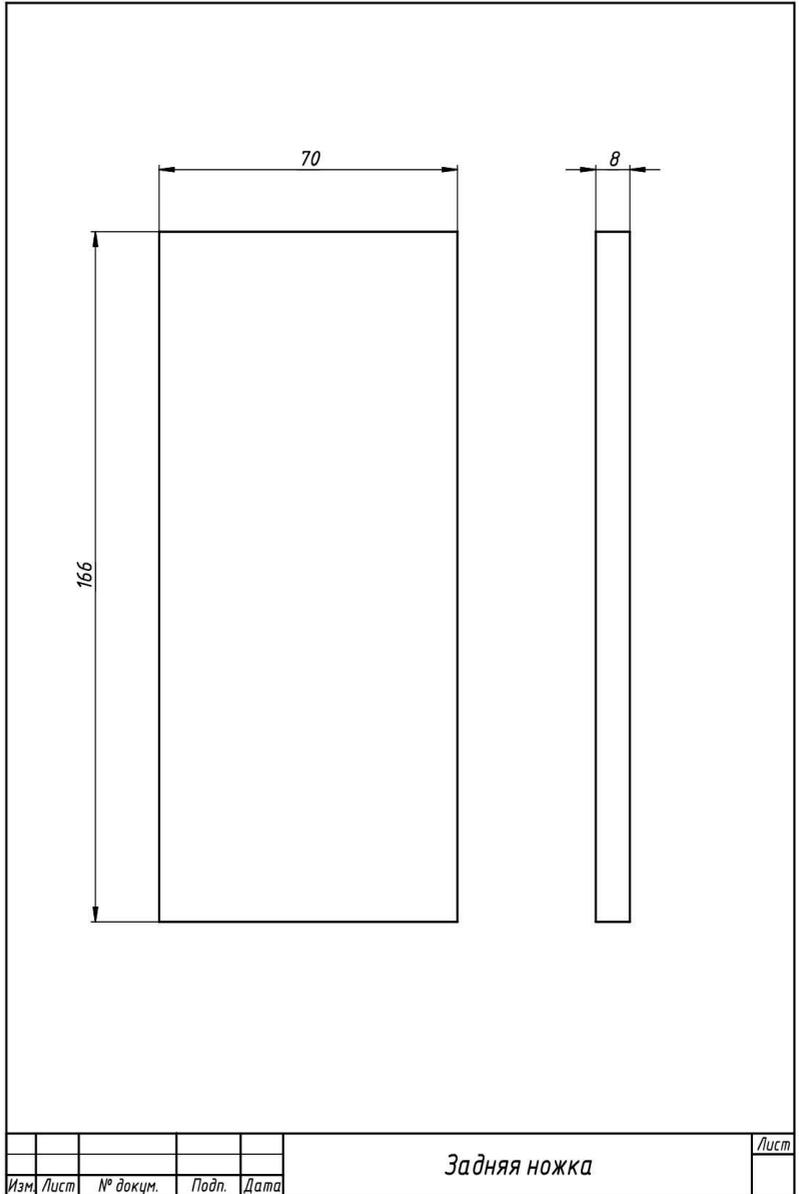


						Вал	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>			

Копировал

Формат А4





Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Задняя ножка

Лист

Копировал

Формат А4

Приложение № 3. Примеры работы устройства

Приложение 3.1. Черчение

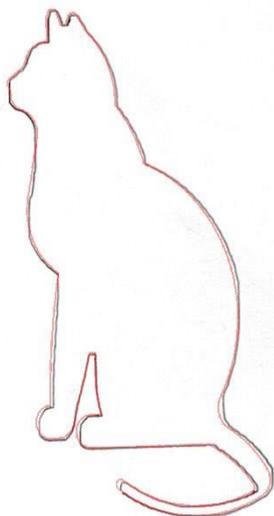


Рис. 22.

Чертеж рисунка «кошка»: красная линия – исходный рисунок, черная линия – результат работы станка



Рис. 23. Чертеж логотипа кафедры МТ2: красная линия – исходный рисунок, синяя линия – результат работы станка

На рис. 22, 23 показаны изображения, полученные на станке, совмещенные с исходными рисунками. Для теста были выбраны несколько изображений:

Кошка (рис. 22) – хорошо показывает обработку плавных линий. Небольшое несовпадение линий контура связано с тем, что стержень имеет конический кончик. Также, возможно, изображение совмещено не совсем качественно, так как каких-либо меток на бумаге я не делал и для масштабирования и поворота изображения при наложении ориентировался только на его контур.

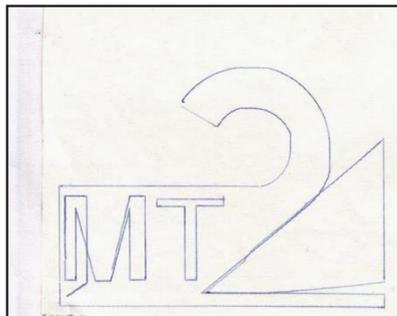
Логотип МТ2 (рис. 23) – показывает, как станок чертит прямые линии и окружности.

Тестовые изображения – различные геометрические формы, текст и контурный рисунок – хорошо показывают повторяемость и точность черчения на станке. Для получения высокой точности необходима синхронность передвижения по всем осям, а также немаловажна и точность позиционирования. Для этого требовался качественный алгоритм, который был придуман. Первые его варианты не позволяли получить высокую точность: изображение рисовалось лесенкой (рис.24 А, В), точность позиционирования была низкой, к тому же некоторые кадры при чтении пропускались (рис. 24 Б, Г), но конечный вариант обладает весьма неплохими характеристиками (рис. 25 А, Б, В, Г, Д) и, что самое главное, повторяемость линий очень точная (рис. 25 Е – чертился 2 раза). Это значит, что погрешности можно предсказать и корректировать. В частности, наиболее выраженную погрешность черчения на станке – линии, расположенные под небольшими углами, станок превращает в вертикальные или горизонтальные из-за того, что при малой скорости мощность

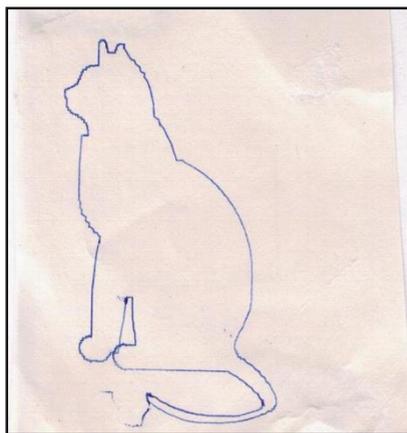
двигателя значительно падает. Это хорошо видно на изображениях окружностей и картинке с цветами (рис. 25 Г, Ж).



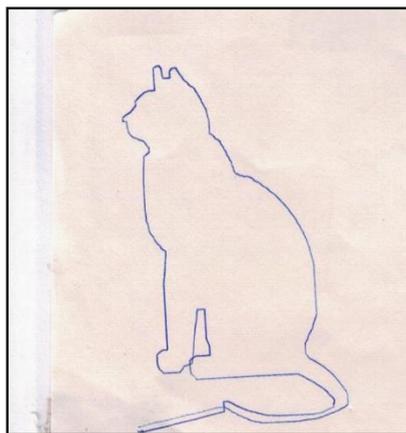
А



Б

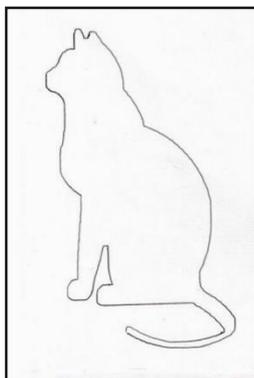


В

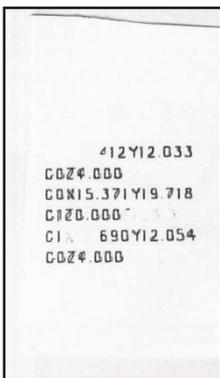


Г

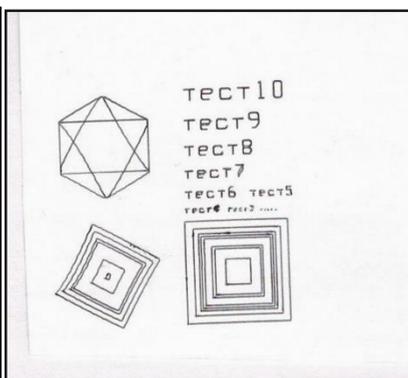
Рис. 24. Возможные ошибки черчения на станке, возникающие при неправильной настройке (пояснения в тексте)



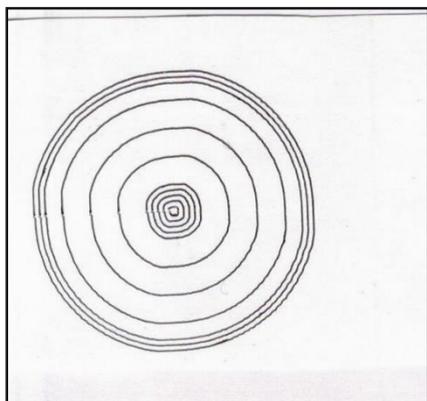
А



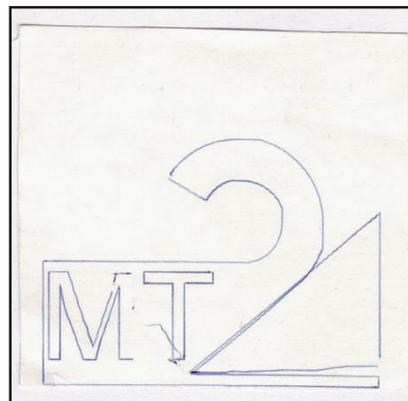
Б



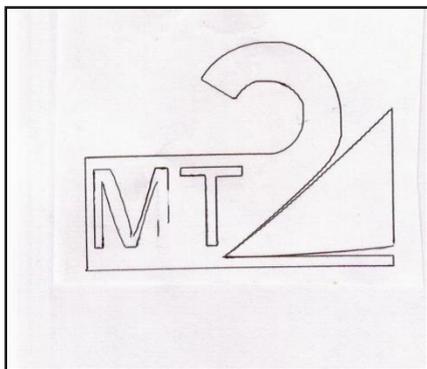
В



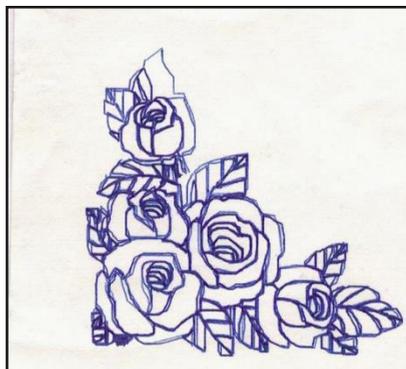
Г



Д



Е

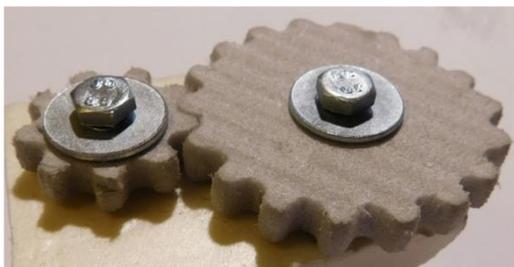
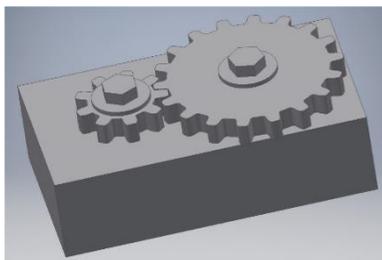


Ж

Рис. 25. Чертежи тестовых изображений

Приложение 3.2. Фрезерование

Здесь представлены различные поверхности, смоделированные на компьютере, заложенные в программу и затем выфрезерованные на станке из пенопласта.



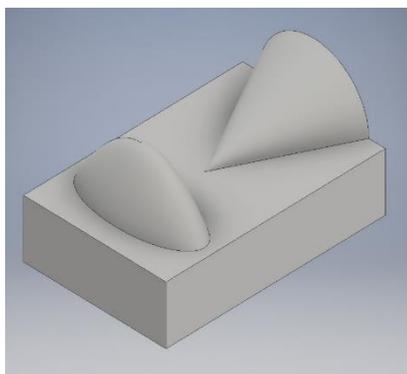
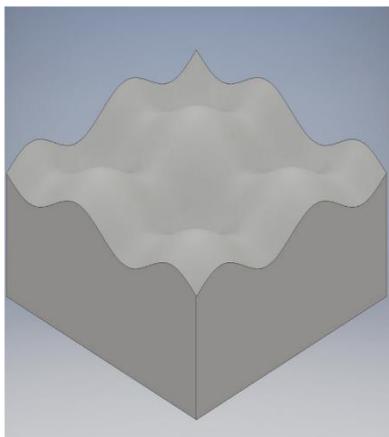


Рис. 25. Чертежи поверхностей, построенные в программе Inventor и выфрезерованные на станке

Приложение 3.3. Сканирование

Сканирование станок делает лучше всего – разрешение и точность высокие. Точности вполне хватает, чтобы получить четкий рельеф поверхности монеты (рис. 26). При сканировании генерируется

файл с координатами точек, принадлежащих поверхности, а затем по нему строится поверхность, например, в Excel.

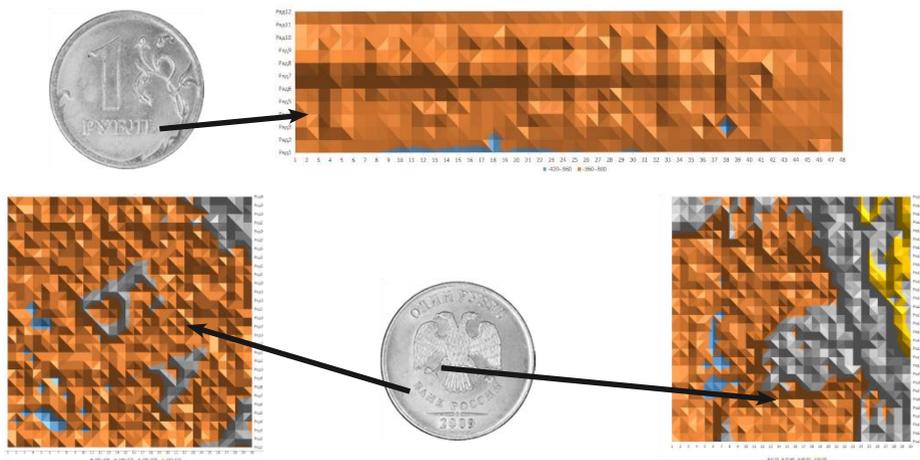


Рис. 25. Сканирование деталей монеты

Приложение 3.4. Сверление

Сверлить на станке возможно не только пенопласт, но и дерево и пластик, так как нагрузка при сверлении значительно меньше, чем при фрезеровании (рис. 27) комбинации отверстий в плексиглазе.

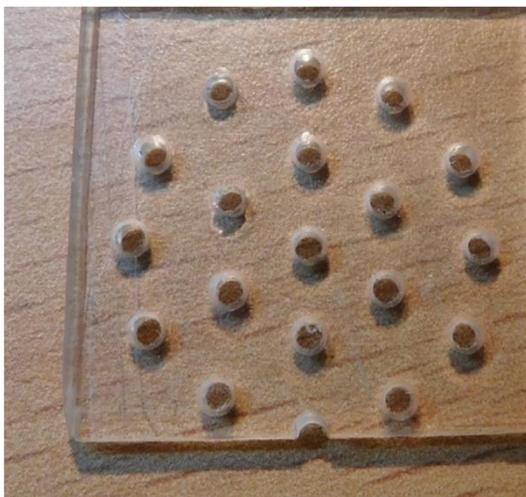


Рис. 25. Результат сверления

Приложение № 4. Дальнейшее развитие проекта

Будущее данного механизма может быть совершенно разным. Данная конструкция доказала свою работоспособность и достаточную точность, и надежность. Станок имеет малые размеры, написанная для него программа рассчитана на считывание данных из распространенного стандарта G-code. Она может применяться для изготовления пробных моделей, для обучения, отработки программ. Для этого хорошо бы иметь возможность обрабатывать материалы более твердые, чем пенопласт – из пенопласта мало что можно сделать, но обрабатывать более твердые материалы деревянные подшипники позволить не могут, поэтому механизм нуждается в больших изменениях.

Во-первых, деревянные подшпипники и брусочки, которые держат шпильки, надо убрать. Вместо них поставить пластиковые (или металлические) втулки, точно подходящие по размеру к стержням. Если втулки сделать не получится или с ними возникнут еще какие-то проблемы, то деревянные бруски можно пролить цианоакрилатом для увеличения твердости.

Во-вторых, конструкция из 3-х взаимно перпендикулярных осей обладает немалым количеством недостатков:

- 1) Как минимум 1 ось крепится на другую, что приводит к сложению люфтов 2 осей и, как следствие, падает точность.
- 2) Возможности данной конструкции невелики, доступ к детали возможен только с одной стороны.

Ниже представлены возможные варианты решения данных проблем:

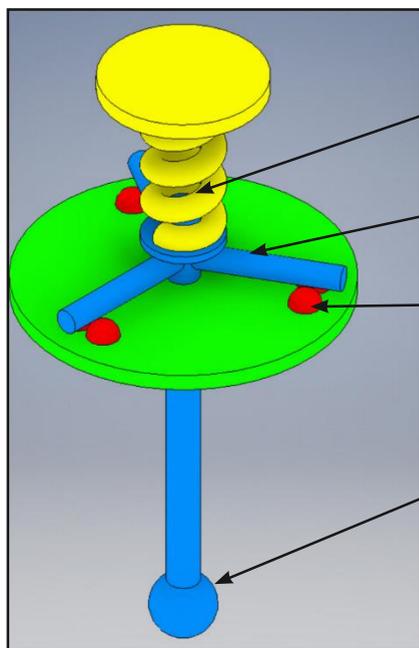
- 1) Оставить все, как есть, но деталь крепить на горизонтальную поворотную ось (фрезерно-токарный модуль, попытка сделать его была предпринята и в процессе создания данного станка (см. рис. 2). Достоинства: увеличиваются возможности станка. Недостатки: остается большая погрешность.

- 2) Сделать что-то похожее на Дельта 3D принтер. Достоинства: режущий инструмент крепится одновременно к 3 осям, что повышает точность. Недостатки: низкая жесткость, возможности не расширяются

3) Сделать конструкцию, в основе которой будет лежать шестерня, перемещаемая с помощью двух параллельных червяков. Если поставить 3 взаимно перпендикулярные шестерни (подобно тому как сейчас располагаются оси), то станок будет иметь возможность перемещать инструмент относительно заготовки в 3 направлениях, вращать заготовку, и поворачивать инструмент под любым углом. Достоинства: высокая точность, жесткость, совместимость вращательного и поступательного движений. Недостатки: сложность изготовления, сложность генерации кода, так как пока не нашел САМ-систему, способную генерировать код под такую конфигурацию станка.

В-третьих, сейчас щуп после замера высоты поднимается на указанную высоту относительно точки замера. Это очень неэффективный метод, так как, если надо сканировать, например, монету, то приходится задавать высоту поднятия на толщину монеты, в то время как для сканирования рельефа на поверхности монеты и стола вокруг неё можно поднимать щуп на гораздо меньшее расстояние. Поэтому появилась идея сделать щуп, оснащенный 3 кнопками. Сопоставляя направление движения и отжатую кнопку (одновременно может быть отжата только одна кнопка) можно не только записать координаты, но и вычислить угол наклона поверхности, что необходимо при автоматическом определении положения детали и переходе от координат станка к координатам детали.

В-четвертых, программная часть станка нуждается в переделке. А именно, вся программа должна выполняться на компьютере, а микроконтроллер только должен включать/выключать моторы в указанное время с указанной скоростью. Также неплохо было бы сделать удобный интерфейс, позволяющий быстро выполнять стандартные операции. Почему изначально это не было сделано? Установить среду программирования, позволяющую выполнять всю программу на компьютере, затруднительно, и я не был уверен, что это легко получится. Поэтому для управления станком я решил написать программу в распространенной среде VircxCC, хотя она и не позволяет обмениваться данными с компьютером во время выполнения программы. Программа получилась весьма неплохой, но настраивать станок через неё неудобно. А самая главная проблема заключается в объеме памяти микроконтроллера – она всего около 100 Кб, а G-code может быть объемом во много раз больше. Однако его все же можно выполнить, если разбить на несколько частей, что, правда, создает дополнительное неудобство. Возможны и другие решения.



Пружина,
прижимающая ролики
к шарикам

Ролик, являющийся
первым контактом

Шарик, являющийся
вторым контактом

Сфера, касающаяся
детали

Рис. 27. Модификация устройства щупа для сканирования

СЕКЦИЯ III. Информатика и системы управления

Система голосового управления передвижной платформой

Ахметшин Антон Алексеевич

г. Москва, ГБОУ «Лицей № 1580», 11 класс

Введение

Первые попытки применить технологии голосового управления компьютерами появились на массовом рынке в середине 90-х, однако их удобство для пользователя оставляло желать лучшего: анализаторы звуковых волн требовали произнесения фраз с четкими и одинаковыми паузами, в одной интонации, и малейшее отклонение не позволяло системе распознать команду.

В наше время компьютеры достигли такой вычислительной мощности что способны распознавать речь в реальном времени, оставаясь при этом доступными по цене, а качество распознавания заметно выросло. Теперь управление компьютером можно осуществлять посредством голоса, так как этот метод привычен человеку, а сама процедура отправки команд подразумевает дистанционное управление без необходимости в передающем устройстве. Такой процесс ввода команд обеспечивает естественный интерфейс общения человека и машины.

Моя работа посвящена созданию передвижной платформы, использующей данную технологию. Платформа должно реагировать на команды пользователя находясь в непосредственной близости от него.

Данную разработку можно применить на складах, где повозками можно будет управлять издалека. При таком методе управления «свободны глаза и руки».

Отрасль складского обеспечения не единственная ниша данного устройства. Возможность дистанционного управления самоходным объектом можно использовать и в военной отрасли, где локальное управление, сохраняющее стрелку мобильность и возможность вести бой может пригодиться.



Цели, задачи

Цель: Создание передвижной платформы управляемой голосом.

Задачи:

- 1) Создание управляющего алгоритма на ПК
- 2) Проектирование передвижной платформы
- 3) Объединение программы и платформы в изделие, управляемое голосом
- 4) Поиск путей улучшения платформы и анализ результатов

Анализ компонентов

Для реализации данного проекта мне потребовались сторонние библиотеки. В сети интернет довольно много библиотек для распознавания речи, специализированные под разные задачи, и чтобы выбрать подходящую необходимо было провести сравнительное исследование их характеристик.

На данный момент фавориты в области распознавания речи являются: Google (Speech Recognition), Yandex(Yandex SpeechKit), однако самым популярным является проект CMU Sphinx.



1) Google Speech Recognition - свободно распространяемая библиотека для распознавания речи поддерживаемая компанией Google. Программа передает аудио на сервера Google, где с помощью

Google speech engine преобразует аудио в текст и возвращает его в виде строки.

Плюсы: свободное использование библиотеки, качественное распознавание вне зависимости от вычислительной мощности компьютера на котором работает программа, отсутствие необходимости создания баз текста и настройки программы под конкретного пользователя.

Минусы: необходимо быстрое интернет соединение, медленное распознавание ввиду передачи аудио файлов через интернет.

2) Yandex Speechkit - Комплекс речевых технологий Яндекса, который включает распознавание и синтез речи, голосовую активацию и выделение смысловых объектов в произносимом тексте.

Плюсы: Yandex Speechkit является самой успешной библиотекой в области распознавания русской речи, качественное распознавание вне зависимости от вычислительной мощности компьютера на котором работает программа, отсутствие необходимости создания баз текста и настройки программы под конкретного пользователя.

Минусы: Ограничение в 10000 запросов в день, необходимо быстрое интернет соединение, медленное распознавание ввиду передачи аудио файлов через интернет.

3) CMU Sphinx - гибкая библиотека для распознавания, написана на Java.

Плюсы: быстрое, не требующие подключения к интернету распознавание речи, происходящие на локальном компьютере.

Минусы: Необходимость вычислительной мощи для локальной машины, необходимость наличия баз данных, качество распознавания ниже чем у серверных аналогов.

Вывод: ввиду того что мой проект специализируется на создании платформы управляемой дистанционно, ему требуется высокая скорость работы в реальном времени, а локальное распознавание является необходимостью в военном деле, где иметь доступ к сети не всегда представляется возможным. Исходя из вышеперечисленного, мой выбор пал на библиотеку Sphinx 4, однако чтобы повысить качество распознавания придется принять ряд мер по улучшению.

Реализация программного алгоритма

Программу решено было сделать так, что при получении команды, компьютер ее немедленно выполняет и переходит в режим ожидания новой команды. Такой алгоритм являлся быстрым и достаточно хорошо распознавал речь. Большим недостатком являлось то, что алгоритм работал корректно только в отсутствие посторонних звуков, а при малейшем шуме он некорректно детектировал слова. Поэтому был принят ряд мер по усложнению алгоритма.

Программный алгоритм должен постоянно прослушивать речь, находя в ней команды, адресованные компьютеру и выполнять их, что само по себе является непростой задачей, ввиду того, что во время разговора пользователь может произнести команду, не предназначенную для компьютера. В связи с этим было решено создать

алгоритм так, чтобы он выискивал в тексте свое имя и в случае положительного результата выполнял последующие команды.

Немаловажной частью программы также было создание соединения между компьютером, обрабатывающим речь (ввиду высоких требований к вычислительной мощи) и платформой. Первый прототип платформы связывался с компьютером через USB порт (JSerialComm), что доставляло немало неудобств, таких как небольшой радиус действия. Второй же прототип было решено связать посредством блютуз, что позволит ему свободно передвигаться в зоне, неподалеку от компьютера.

Ниже приведен алгоритм работы обрабатывающего компьютера и передвижной платформы.



Слева представлен алгоритм работы обрабатывающей машины. Справа - алгоритм работы микроконтроллера платформы.

Проектирование передвижной платформы

Для визуализации исполнения команд в условиях данного проекта решено было собрать передвижную платформу. Прототип представляет из себя платформу с bluetooth модулем под управлением Arduino. Задача самой платформы - это прием сигнала от передатчика и запуск соответствующего мотора. Ввиду низких требований к скорости передвижения платформы решено было собрать ее из подручных материалов. Сам передатчик состоит из bluetooth модуля и Arduino в роли связиста между компьютером и модулем беспроводной связи.

Анализ полученного изделия

В результате проделанной работы мы получили самоходный прототип передвижной платформы управляемой голосом. Также в ходе работы был проведен ряд мер по улучшению распознавания речи. Определения качества распознавания было проведено посредством надиктовывания слов программе и сравнения вывода со входом. На момент первого рабочего прототипа процент качества составлял 73%(16/22). После решения использовать гарнитуру он поднялся до 86% (19/22). А после добавления метода по срабатыванию на ключевое слово, программа избавилась от ложных вызовов.

Заключение

В заключении можно сказать что проект достиг поставленной цели и может свободно передвигаться в радиусе действия беспроводной сети выполняя пришедшие голосовые команды. Можно сказать, что данная платформа будет эффективна в тех случаях, когда необходимо чтобы дистанционное управление не отвлекало оператора, когда нет возможности управлять удаленно, когда удобнее использовать естественный интерфейс общения человека.

Список литературы

● <http://cmusphinx.sourceforge.net> - Основной сайт библиотеки Sphinx4 по распознаванию голоса.

● <http://fazecast.github.io/jSerialComm/> - Основной сайт библиотеки JserialComm по работе с СОМ портами.

● Герберт Шилдт “Java руководство для начинающих”
Издательский дом “Вильямс”.

● <http://arduino.ru/forum/apparatnye-voprosy/bluetooth-cc41> - форум по использованию bluetooth модуля.

Программы расчёта параметров траектории суборбитального многоразового космического аппарата туристического класса

Капитонов Даниил Дмитриевич

г. Москва, ГБОУ «СОШ №354», 11 класс

Научный руководитель:

Пугачёв Евгений Константинович

к.т.н., доцент кафедры ИУ-6,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

В последние годы популярным направлением развития космических полетов стал космический туризм. На данный момент технически осуществимы два варианта космических туров: орбитальный, предполагающий посещение МКС, а также суборбитальный, подразумевающий доставку туристов на высоту 105-120 км, пребывание их в невесомости в течение 3-5 минут, обзор Земли и последующее возвращение на землю. В силу чрезвычайно высокой стоимости (~20 млн. долларов [1]) первый тип туристических космических полетов доступен лишь очень ограниченному кругу лиц, в то же время суборбитальный вариант туристического полета существенно дешевле и составляет порядка 200 тыс. долларов, что позволяет сделать его массовым. В связи с этим создаются суборбитальные космические аппараты, которые должны обладать достаточной степенью комфортности для туристов, высоким уровнем безопасности и надежности, и кроме того должны быть экономически

эффективными – то есть многоразовыми. Немаловажными являются вопросы, связанные с определением места старта и посадки, а также параметров траектории полета таких аппаратов. По задумке, космический туризм должен быть доступен достаточно широкой аудитории, поэтому требования, предъявляемые к здоровью потенциальных туристов должны быть минимальными. Это означает, что траектория, а также скорость полета должны быть такими, чтобы уровень перегрузки не был высоким. С учетом экономических требований оптимальное значение максимальной перегрузки, как по медицинским показателям для человека, так и по уровню силового и теплового воздействия на аппарат, находится в диапазоне от 3,5 до 4,0 – для номинальных условий полета и от 4,0 до 4,5 – с учетом действия возмущений.

Цель данной работы – создание программы для расчета параметров траектории многоразового космического аппарата (МКА) туристического класса для суборбитальных полетов.

К задачам работы относятся:

- расчёт времени полёта, места старта и приземления МКА;
- определение таких траекторных параметров как: угол тангажа, угол атаки, высота полета суборбитального МКА;
- создание анимированного схематичного полета МКА.

1. Исследование предметной области

В настоящее время существует множество проектов многоразовых космических аппаратов, которые различаются по назначению (военный, транспортный, туристический), виду траектории полета (суборбитальный, орбитальный), типу старта (воздушный, наземный), типу посадки (парашютная, при помощи ракетного двигателя, планирующий спуск), по типу носителя (ракета-носитель, самолет-носитель), по количеству ступеней (одноступенчатая, многоступенчатая, с последовательным расположением ступеней) и т.д. К наиболее известным и реализованным проектам многоразовых космических аппаратов (МКА) относятся: Space-Shuttle (США), Буран (СССР), Dragon (США), Dream Chaser (США, аппарат на стадии проведения испытаний). Что касается МКА туристического назначения, то на данный момент наиболее близок к завершению проект Space Ship Two (США). Аппараты для осуществления туристических полетов в космос должны обладать следующими отличительными чертами:

- высоким уровнем надежности при многоразовой и длительной эксплуатации,
- обеспечивать комфорт для пассажиров,
- быть экологически чистыми, простыми в эксплуатации и ремонте и др.

В данной работе исследуется крылатый МКА туристического класса «Одуванчик», разрабатываемый в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Предполагается, что в носовой части МКА «Одуванчик» будут расположены герметичная вставная кабина объемом около 10 кубических метров для пилота (1 человек) и пассажиров (не более 4 человек), отсеки для бортового оборудования и носовой блок двигателей управления. В средней части расположены системы энергоснабжения и обеспечения температурного режима. В хвостовом отсеке установлены двигательная установка, топливные баки [2]. Общая компоновочная схема МКА ТК «Одуванчик» представлена на рисунке 1, а значение некоторых его геометрических характеристик приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика	Значение
Количество пассажиров и вес, кг	5/600
Вес аппарата, кг	3500
Размах крыла, мм	8,25
Площадь крыла, м ²	33
Длина фюзеляжа, м	2

Длина «Одуванчика» составляет 9,4 м, высота 3,7 м (при выпущенном шасси), размах крыла около 8,25 м, площадь крыла 33 м², ширина фюзеляжа 2 м, высота 2 м. Масса МКА ТК «Одуванчик» будет составлять 3500 кг, а масса полезного груза, доставляемого на орбиту,

до 600 кг. Небольшие размеры МКА «Одуванчик» позволяют осуществлять его доставку к месту старта наземным транспортом. Запуск МКА ТК «Одуванчик» планируется осуществлять при помощи одноступенчатого ракетного ускорителя. Расчетная высота, на которую поднимается «Одуванчик», составляет 120 км (при грузе 600 кг).

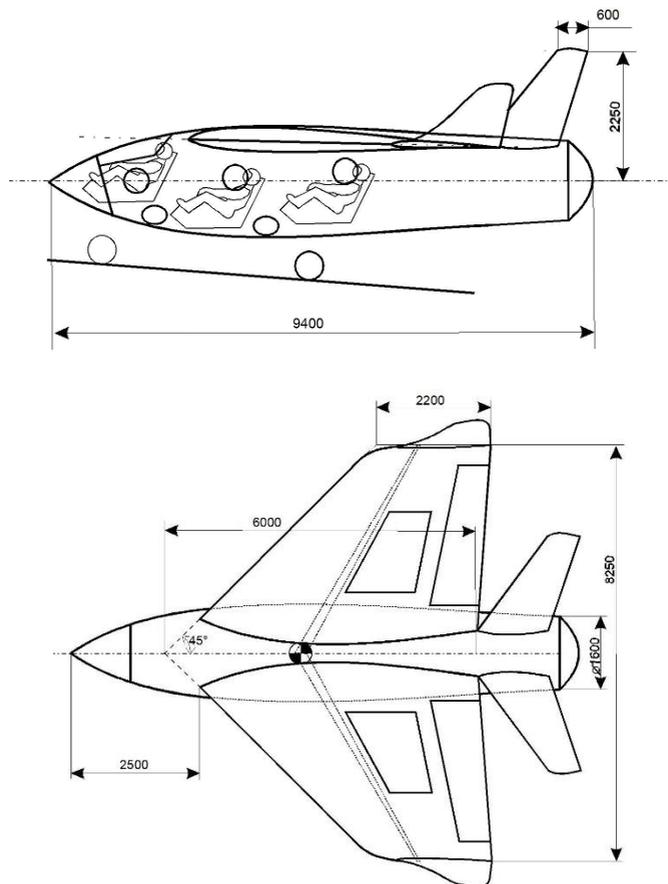


Рисунок 1 – Внешний вид суборбитального варианта МКА ТК «Одуванчик»

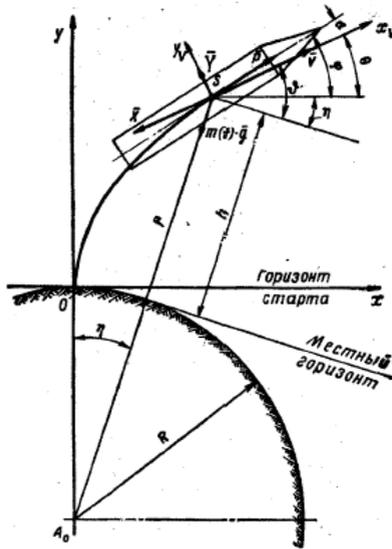


Рисунок 2 – Силы, действующие на космический аппарат на активном участке траектории

Для моделирования параметров траектории используется система уравнений движения на активном участке траектории в проекциях на оси земной системы координат:

$$m(t) \cdot \frac{dv_x}{dt} = P(h) \cdot \cos\varphi - X(V, h, \alpha) \cdot \cos\theta - Y(V, h, \alpha) \cdot \sin\theta - m(t) \cdot g \cdot \sin\eta,$$

$$m(t) \cdot \frac{dv_y}{dt} = P(h) \cdot \sin\varphi - X(V, h, \alpha) \cdot \sin\theta - Y(V, h, \alpha) \cdot \cos\theta - m(t) \cdot g \cdot \cos\eta,$$

$$\frac{dx}{dt} = V_x,$$

$$\frac{dy}{dt} = V_y$$

$$V^2 = V_x^2$$

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2$$

$$r^2 = x^2 + (R + y)^2$$

$$H = r - R$$

$$\eta = \arctg\left(\frac{x}{R + y}\right)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{V_x}{V}\right)$$

$$\alpha = \varphi - \theta$$

$$\varphi = \varphi_{\text{пр}}(t)$$

где $m(t)$ – текущее значение массы ракеты; $P(h)$ – суммарная тяга двигателей, направленная по продольной оси ракеты; X, Y – соответственно сила лобового сопротивления и подъемная сила ракеты; g – текущее значение ускорения силы притяжения Земли; φ – угол тангажа, измеренный между продольной осью ракеты и горизонтом старта; $\varphi_{\text{пр}}(t)$ – программное значение угла тангажа; α – угол атаки; h – высота ракеты над поверхностью Земли; θ – угол наклона вектора скорости к горизонту старта; η – полярный угол.

Сила лобового сопротивления X и подъемная сила Y зависят от плотности воздуха, скорости полета, характерной площади и аэродинамического сопротивления:

$$X = C_x \cdot \frac{\rho V_x^2}{2} S,$$

$$Y = C_y \cdot \frac{\rho V_y^2}{2} S,$$

где C_x – безразмерный аэродинамический коэффициент сопротивления, ρ – плотность воздуха, V_x , V_y – проекции вектора скорости на координатные оси X и Y соответственно, S – характерная площадь.

Плотность воздуха уменьшается с высотой (таблица 2, рисунок 3) и определяется в соответствии с ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная. Параметры.»

Таблица 2 – Основные параметры атмосферы для высот от 0 до 120 км по ГОСТ 4401-81

H , км	T , К	p , Па	ρ , кг/м ³
0	288,15	$1,01325 \cdot 10^5$	$1,22500E+00$
5	255,65	$5,40199 \cdot 10^4$	$7,36116 \cdot 10^{-1}$
10	223,15	$2,64362 \cdot 10^4$	$4,12706 \cdot 10^{-1}$
15	216,65	$1,06170 \cdot 10^4$	$1,70719 \cdot 10^{-1}$
20	216,65	$5,47487 \cdot 10^3$	$8,80346 \cdot 10^{-2}$
25	221,65	$2,51101 \cdot 10^3$	$3,94657 \cdot 10^{-2}$
30	226,65	$11,7186 \cdot 10^2$	$1,80119 \cdot 10^{-2}$
35	237,05	$5,58920 \cdot 10^2$	$8,21387 \cdot 10^{-3}$
40	251,05	$2,77520 \cdot 10^2$	$3,85099 \cdot 10^{-3}$
50	270,65	75,9445	$9,77522 \cdot 10^{-4}$
60	245,45	20,3141	$2,88319 \cdot 10^{-4}$
70	217,45	4,63418	$7,42423 \cdot 10^{-5}$
80	196,65	0,88627	$1,57004 \cdot 10^{-5}$
90	186,65	0,18314	$3,41817 \cdot 10^{-6}$
100	196,60	0,31860	$5,54951 \cdot 10^{-7}$
110	255,487	0,007359	$9,34035 \cdot 10^{-8}$
120	334,420	0,002666	$2,44041 \cdot 10^{-8}$

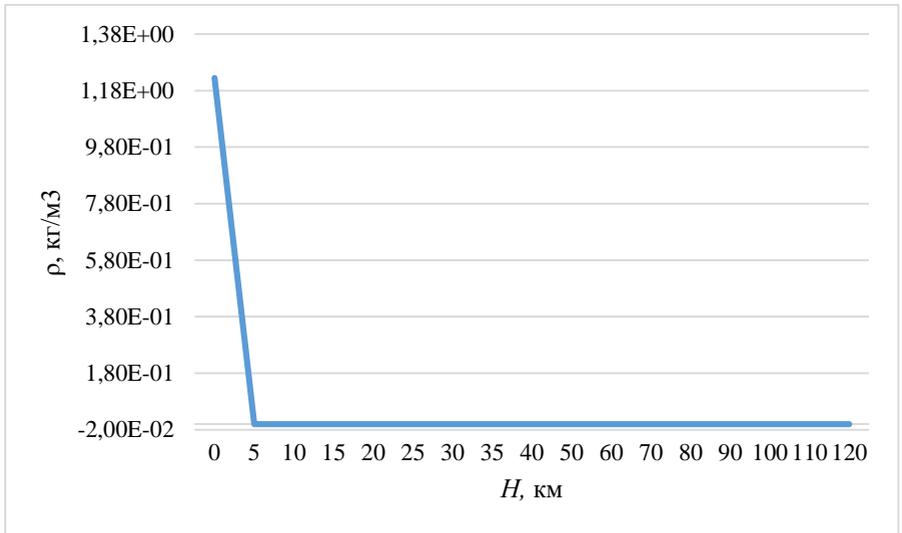


Рисунок 3 – Изменение плотности воздуха ρ по высоте H

Исходные данные для расчетов параметров траектории МКА
ТК приведены ниже:

$M_0 = 10000$ кг – стартовая масса;

$I_{удп} = 3200$ м/с – удельный импульс;

$P_{удп} = \frac{I_{удп}}{g} = 326,3$ с – тяга двигателя;

$m = 46,8$ кг/с – секундный расход;

$\mu = m_t/M_0 = 0,505$;

$\lambda = M_0/P_{удп} = 0,667$ – тяговооруженность.

r – радиус-вектор; $R=6371$ км – средний радиус земного шара.

2. Исследование методов обработки данных

Большое внимание в работе было уделено структурам данных. Под структурой данных понимается совокупность правил и ограничений, которые отражают связи, существующие между отдельными частями данных.

В результате исследований было выявлено, что при проектировании программы целесообразнее всего создавать модель представления данных, которая не зависит от реализации, используя при этом абстрактные структуры данных. Модель представления данных может быть как простой, так и комбинированной, то есть включающей различные абстрактные структуры. Ниже приведены описания основных структур данных.

Множество – это неупорядоченная совокупность взаимно независимых (несвязанных) элементов. Используется если необходимо определять принадлежность какого-либо элемента множеству аналогичных элементов.

Структуры данных с неявными (статическими) связями элементов (таблицы) – это множество элементов, с каждым из которых связан ключ. Используются обычно для хранения данных. Основная операция – поиск информации по ключу. Различают четыре типа таблиц (просмотровые, прямого доступа, двоичного поиска и таблицы с перемешиванием) с различной эффективностью поиска данных.

В просмотрных таблицах записи излагаются последовательно. Недостатком таких таблиц является очень длительное среднее время

поиска. К достоинствам относятся простота создания и добавления данных.

В таблицах прямого доступа ключ однозначно определяет адрес. Чаще всего ключом является натуральное число, или ключ приводится к натуральному числу – номеру элемента. В таких таблицах ключ можно не хранить. Основной недостаток таких таблиц – это то, что подобная организация достаточно редко применима, т. к. ключи часто бывают непоследовательными или изменяются в недопустимо больших диапазонах. Достоинство – быстрый поиск.

В частности, примерами таблиц прямого доступа являются:

1. Массив – множество элементов, расположенных таким образом, что упорядоченное множество целых чисел (ключ) однозначно определяет позицию каждого элемента, а также обеспечивает возможность организации прямого доступа к каждому элементу. Если упорядоченное множество содержит N чисел, то массив N -мерный. Числа, входящие в упорядоченное множество, называются индексами. Каждый индекс имеет свой диапазон изменения.

2. Строка – одномерный массив символов.

3. Запись – конечное упорядоченное множество элементов, в общем случае различных типов. Ключом является порядковый номер поля или его имя.

Логический порядок элементов в просмотрных таблицах и таблицах прямого доступа при реализации обычно совпадает с физическим порядком расположения элементов. Элементами являются

записи. Записи могут быть фиксированной, переменной и неопределенной длины. В зависимости от типа записи таблицы реализуются массивом записей или массивом векторов (статических или динамических), в котором основной массив содержит адреса векторов записей.

Для массива записей фиксированной длины адреса промежуточных записей задаются формулой:

$$A_i = A_1 + (i - 1) \cdot l,$$

где A_i – адрес i -ой записи; A_1 – адрес первой записи; l – длина записи.

К достоинствам такого типа таблиц относится экономное использование памяти, так как записи располагаются одна за другой без промежутков. К недостаткам – необходимость знать заранее общее число записей, их длину и диапазон изменения ключей.

В структурах с явными связями каждый элемент содержит указатели на следующие элементы (связи представлены в явном виде). В основном используются при моделировании данных с изменяемыми связями между элементами, т.к. несут в явном виде информацию о связях. Особенностью данного вида данных, является то, что доступ к элементу осуществляется последовательно.

Также внимания заслуживают древовидные структуры с явными связями, в которых записи располагаются по уровням следующим образом: на 1-м уровне расположена только одна запись

(корень дерева); любая запись i -го уровня связана (адресуется) только с одной записью $(i-1)$ -го уровня.

В данной работе было принято решение использовать структуры данных с неявными связями. Долговременно целесообразно хранить данные в файле в виде множества записей, а в оперативной памяти в виде массива записей.

Методам обработки данных также было уделено большое внимание. В частности, заслуживают внимания методы, связанные с операциями поиска, сортировки и корректировки. Ниже приведен обзор методов.

1. Методы упорядочения обменом:

Данный метод базируется на попарном сравнении соседних элементов и заключается в следующем: первый элемент сравнивается со вторым и, если он больше (меньше), то элементы меняются местами. Далее второй элемент сравнивается с третьим и т. д. После анализа последнего элемента процесс повторяется с начала.

2. Метод, базирующийся на поиске минимального (максимального) элемента, заключается в следующем. Определяется минимальный (максимальный) элемент всего набора и осуществляется обмен с первым элементом. Затем определяется наименьший (наибольший) элемент из оставшегося набора и меняется местами со вторым и т. д.

В методе вставки элемент массива a_i (начиная со второго) сравнивается последовательно с предшествующими a_j , где $j = i-1, i-2,$

... до тех пока не будет найден элемент с меньшим значением, чем a_i . Пусть этот элемент с номером j , где $j < i$. Тогда все элементы с номерами $j+1, \dots, i-1$ сдвигаются на одну позицию, а i -й элемент ставится на место $(j+1)$ -го элемента. Если все впереди стоящие элементы больше i -го, то они сдвигаются на одну позицию, а i -й элемент ставится на первое место.

3. Метод Шелла состоит в том, что упорядочиваемый массив делится на ряд групп, каждая из которых упорядочивается методом вставки, а затем массивы объединяются.

В разрабатываемой в данной работе системе было принято решение использовать метод обменной сортировки.

Особое внимание заслуживают методы поиска. Поиском называется процедура выделения из множества записей подмножества, элементы которого удовлетворяют заранее поставленному условию. Поисковым признаком может служить номер записи в массиве или значение ключа. Условия поиска могут быть различными: по совпадению, по попаданию в интервал, по удовлетворению арифметическому условию, по удовлетворению семантическому условию, по нескольким условиям. Если задано только одно значение признака поиска, то такой поиск называется единичным, если же задано множество признаков поиска, то это групповой поиск. Эффективность различных алгоритмов поиска оценивается количеством сравнений пар признаков, необходимым для выполнения условия поиска.

В методе последовательного поиска записи просматриваются по порядку с целью отыскания записей, для которых значение ключевого признака совпадает со значением признака поиска. Метод является универсальным в том смысле, что применим как к упорядоченным, так и к неупорядоченным массивам данных.

В методе двоичного поиска используется деление массива на части. Метод деления на две части называется двоичным (дихотомическим) поиском. Пусть массив упорядочен и длина его известна. На первом шаге сравнивается значение ключевого признака средней записи p_i . Если $p_i = q$, то после проверки соседних элементов (они могут иметь то же значение ключевого признака) поиск прекращается. Если $p_i > q$, то дальнейший поиск будет осуществляться в 1-й половине массива. Если $p_i < q$, то поиск будет продолжаться во второй половине массива. Затем в выделенном подмассиве определяется средняя запись и производится сравнение p_i с q и т. д.

Метод называют двоичным в связи с тем, что после каждого сравнения принимается одно из двух альтернативных решений.

Метод вычисления адреса применяется к упорядоченным массивам, если значения ключевых признаков не повторяются и их число не превышает числа записей в массиве. При этом записи в массиве должны быть фиксированной длины. Номера записей и числовые значения ключевых признаков связаны между собой адресной функцией.

В гнездовом способе организации множество элементов разбивается на группы по определенному принципу. Затем эти группы объединяют в отдельные гнезда с одинаковой структурой. Далее строят дополнительную структуру, в которой все элементы связываются. Каждый элемент содержит ключевой признак и адрес только одного гнезда. К недостаткам данного метода относится дополнительный расход памяти.

В результате исследований было принято решение использовать последовательный метод поиска.

В результате исследования методов разработки программных продуктов было принято решение использовать спиральную схему. В соответствии с данной схемой программное обеспечение создается не сразу, а итерационно с использованием метода, базирующегося на создании прототипов. На первой итерации, как правило, специфицируют, проектируют, реализуют и тестируют интерфейс. На второй – добавляют некоторый ограниченный набор функций. На последующих этапах этот набор расширяют, наращивая возможности данного продукта.

Данную технологию поддерживают современные системы программирования такие, как Visual C++, Delphi и другие.

В итоге был выбран язык Pascal, а среда разработки Delphi 7. Данное средство является визуальным и поддерживает как процедурный, так и объектный подход к программированию.

3. Определение структуры системы и разработка функциональной схемы

Во время проектирования была разработана функциональная схема программы, которая показана на рисунке 4.

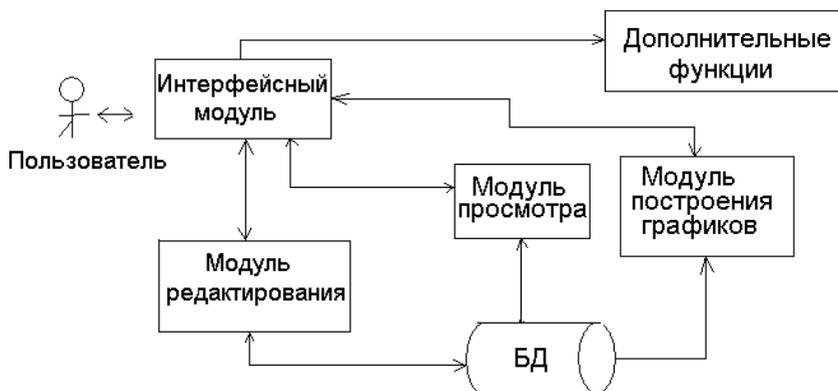


Рисунок 4 – Функциональная схема программы

В базе данных (БД) представлены основные параметры траектории МКА.

Для редактирования данной базы используется модуль редактирования (МР), при работе с которым предоставляется дополнительный сервис (ввод, редактирование, расчет и др.).

Модуль просмотра (МП) позволяет пользователю увидеть содержимое базы данных.

Интерфейсный модуль (ИМ) предназначен для организации диалога между пользователем и системой.

Модуль построения графиков (МПГ) позволяет строить зависимости данных, хранимых в базу.

Дополнительные функции – предоставляют пользователю дополнительные возможности (калькулятор и др.)

4. Разработка интерфейса пользователя

При проектировании интерфейса с пользователем необходимо выбрать форму диалога. В результате проведенных исследований было выявлено, что в настоящее время используют следующие основные формы диалога:

1. Директивная. Данная форма характеризуется тем, что при вызове исполнения операции применяется директива (команда). Инициатором обмена является пользователь, возможности выбора операций не ограничены, интерпретация запроса однозначная и выполняется автоматически. Словарь данной формы состоит из ключевых слов на естественном языке, сокращений, чисел и мнемокодов.

Основное достоинство такой формы диалога – это большая гибкость. Основной недостаток – требует повышенной квалификации пользователя.

2. Табличная. Включает в себя следующие конкретные типы:

- выбор операции для исполнения по меню (меню является по сути дела подсказкой и представляет собой перечень фраз на естественном языке);

- заполнение и редактирование шаблона данных (совокупность фиксированных полей кадра). Различают шаблон-вектор и шаблон-таблицу.

- комбинирование меню и шаблонов в одном кадре.

К достоинствам табличной формы диалога относятся простота обучения (ориентирована на пользователя непрограммиста). К недостаткам – меньшая оперативность и гибкость по сравнению с директивной формой.

3. Фразовая. Ограниченно использует естественный язык. Инициатором шага может быть как пользователь, так и система

Основные достоинства – это более свободное общение с машиной и ориентированность на пользователя непрограммиста. Недостатки – большие затраты, нет гарантии однозначности формулировок и необходимость ввода грамматически правильных фраз.

Для разработки программы определения траекторных параметров МКА была выбрана табличная форма построения диалога. Обусловлено это тем, что в настоящее время для данной формы диалога в инструментальных средствах предусмотрен большой набор готовых интерфейсных элементов и система программирования Delphi не является исключением.

5. Тестирование системы

Тестированием называется процесс выполнения программы с целью обнаружения ошибки. Никакое тестирование не может доказать отсутствие ошибок в программе.

При тестировании программы, разработанной в рамках данной работы, соблюдались следующие основные принципы: тестирование

программы проводилось не только автором и проверялись действия программы на неверных данных.

Во время тестирования использовался метод просмотра за столом, который относится к методам ручного контроля. Данные методы предназначены для периода разработки, когда программа закодирована, но тестирование на машине еще не началось. Эти методы способствуют существенному увеличению производительности и повышению надежности программ и с их помощью можно находить от 30 до 70% ошибок.

Основными методами ручного тестирования являются: инспекции исходного текста; сквозные просмотры; просмотры за столом; обзоры программ.

Существуют и другие методы тестирования: по принципу «белого ящика», «черного ящика» и оценочное тестирование.

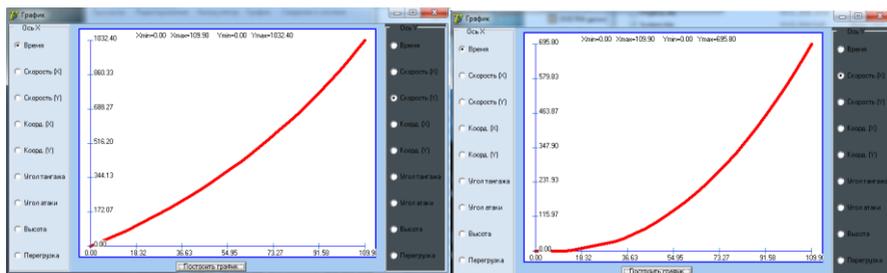
Стратегия тестирования по принципу «белого ящика», позволяет проверить внутреннюю структуру программы. Стратегия «черного ящика» позволяет с помощью тестов осуществить выполнение программы по всем возможным маршрутам передач управления.

Оценочное тестирование позволяет проверить программу в целом, например, протестировать на предельных объемах, на различных конфигурациях и т.д.

В данной работе в основном использовались два метода: структурный контроль и метод эквивалентных разбиений.

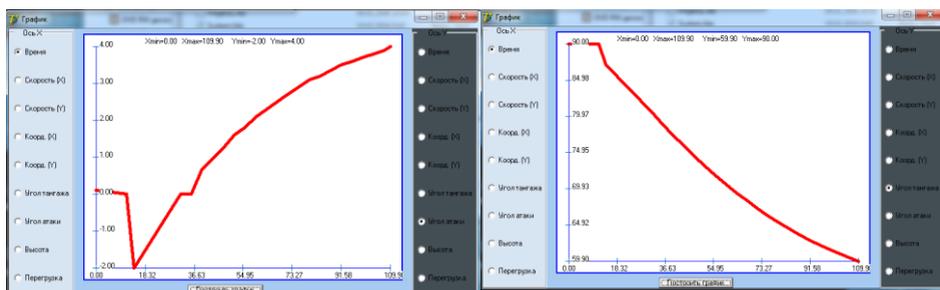
6. Полученные результаты

В результате разработанной программы были получены зависимости скорости полета (рисунок 5 а, б), угла атаки (рисунок 5 в), угла тангажа (рисунок 5 г), высоты полета (рисунок 5 д) и перегрузки от времени полета на рассматриваемом активном участке траектории полета.



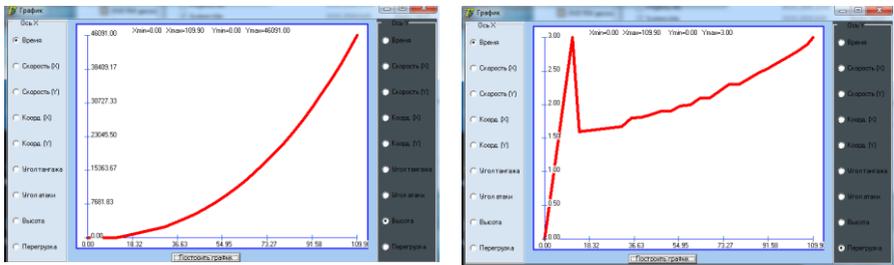
а

б



в

г



д

е

Рисунок 5 – Программы изменения:

а – скорости полета по оси X; б – скорости полета по оси Y; в – угла атаки; г – угла тангажа; д – высоты полета; е – возникающей перегрузки

Заключение

В результате проделанной работы была создана программа, которая определяет такие параметры активного участка траектории МКА, как: угол тангажа, угол атаки, высота полета. Кроме того, разработанная программа позволяет определить перегрузки, воздействующие на МКА во время полета на активном участке траектории, а также скорость полета на данном участке.

В результате проведения данной работы были изучены методы разработки систем обработки данных и основные характеристики предметной области.

В качестве дальнейшего развития системы может быть следующее:

- улучшение интерфейса,

- возможность перерасчёта данных по формулам,
- визуализация полёта.

Список литературы

1. <https://ru.wikipedia.org>
2. Агеева Т.Г., Дудар Э.Н., Резник С.В. Комплексная методика проектирования конструкции крыла многоразового космического аппарата // Перспективные проекты авиационно-космических и ракетно-космических систем, № 10, 2010. – С. 3 – 8.
3. По Паскалю
4. Иванова Г.С. Технология программирования. Москва. МГТУ, 2002.
5. Иванова Г.С., Ничушкина Т.Н., Пугачев Е.К. Объектно-ориентированное программирование. Москва: МГТУ, 2001.
6. Федоров Ф.Г. Delphi для всех. Москва: КомпьютерПресс, 1998.

Система автоматической парковки грузовика с полуприцепом

Каширов Егор Сергеевич

г. Москва, ГБОУ «Лицей №1581», 11 класс

Научный руководитель:

Карпунин Александр Александрович

к.т.н., доцент кафедры ИУ-1,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

Основной причиной развития беспилотных средств грузоперевозок послужила потребность исключения человека из управления транспортным средством, вследствие большого влияния на процесс движения человеческого фактора [1].

В настоящий момент большинство тягачей пилотируются вручную. При ручном управлении возникают трудности, связанные с подготовкой водителей к управлению автопоездом и, в особенности, к процессу парковки. В связи с этим возникает необходимость в автоматизации процесса движения автопоезда, которая бы уменьшила влияние человеческого фактора на процесс парковки, а также снизила время, необходимое для совершения маневра.

На данный момент не существует систем автоматического управления автопоездом, способных обеспечить процесс перпендикулярной парковки полуприцепа в заданный сектор. Поэтому, актуальной является задача создания такой системы, обеспечивающей автономное выполнение данной операции.

Разрабатываемая система предназначена для использования на седельных тягачах с полуприцепом, а также на других средствах грузоперевозок, имеющих в своем составе полуприцеп.

Цель работы: Обеспечить перпендикулярную парковку полуприцепа в заданный сектор.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить конструктивные особенности тягача и полуприцепа.
2. Изучить особенности процесса перпендикулярной парковки полуприцепа.
3. Создать уменьшенную модель системы в натуральном виде.
4. Разработать математическую систему управления тягачом и ее программный прототип.

1. Изучение конструктивных особенностей тягача и полуприцепа

1.1. Кинематические особенности движения тягача и полуприцепа

Движение полуприцепа за тягачом имеет некоторые особенности, которые нужно учитывать при рулевом управлении [6]. Главная особенность состоит в том, что колесная ось полуприцепа движется по радиусу, меньшему, чем радиус движения тягача, как показано на рис. 1.

Данная разница зависит от трех основных параметров:

- 1) длины тягача;
- 2) длины полуприцепа;
- 3) угла между тягачом и полуприцепом.

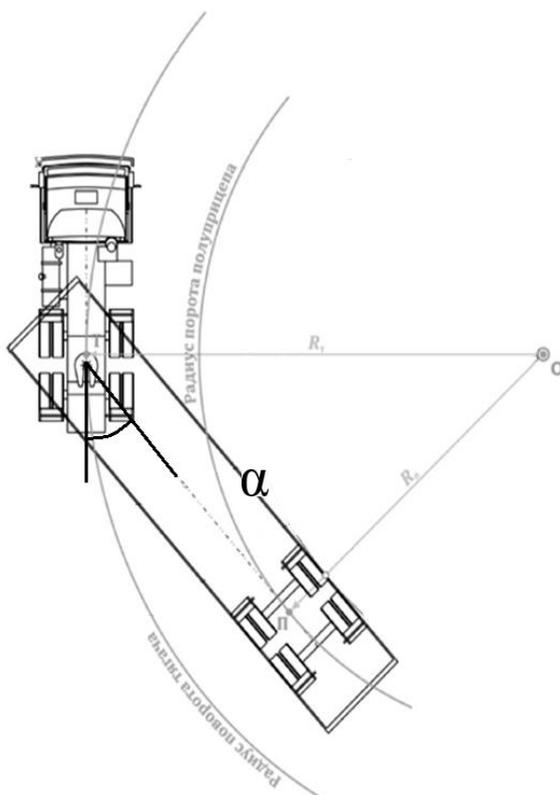


Рис. 1. Движение тягача с полуприцепом по окружности

С помощью геометрических преобразований можно вывести формулу зависимости радиуса поворота тягача от его характеристик,

характеристик полуприцепа, а также от текущего угла между тягачом и полуприцепом,

$$R_T = \frac{L}{\sin\left(\arccos\frac{R_{\Pi}}{L}\right)} \quad (1)$$

где L – длина полуприцепа, R_{Π} – радиус поворота полуприцепа.

1.2. Особенности перпендикулярной парковки полуприцепа

Перпендикулярная парковка полуприцепа является одним из самых сложных маневров автопоезда и подразделяется на несколько этапов [7].

Процесс перпендикулярной парковки начинается с проезда автопоезда от осевой парковочной линии на некоторое расстояние S , как показано на рис. 2. Данное расстояние зависит от габаритных характеристик тягача и характеристик рулевого управления, но не зависит от габаритов полуприцепа.

Необходимость данной процедуры обусловлена тем, что тягач с полуприцепом не может сразу совершить разворот вокруг оси полуприцепа из прямого положения сцепки. Поэтому, автопоезд в процессе парковки будет иметь смещение вдоль оси начального положения.

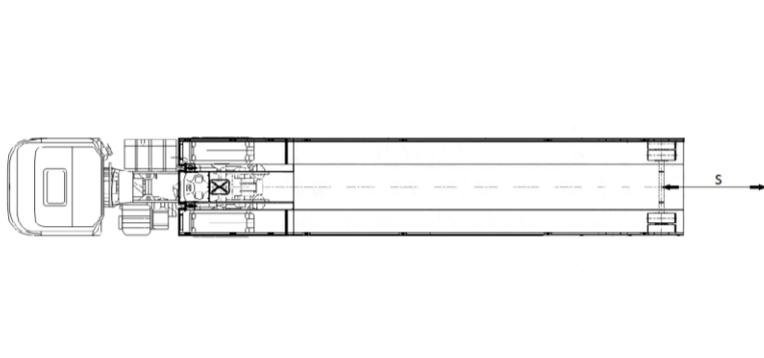


Рис. 2. Проезд автопоезда от осевой парковочной линии

1) Поворот рулевых колес на максимальный угол в сторону, противоположную направлению парковки, и движение задним ходом до образования угла сцепки в 90 градусов, что демонстрируется на рис. 3.

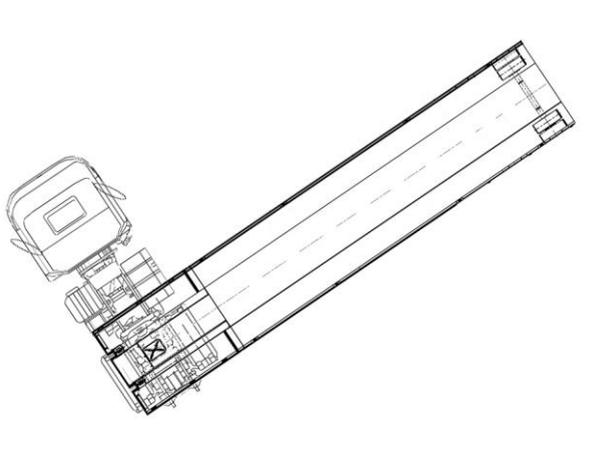


Рис. 3. Складывание автопоезда

2) Поворот рулевых колес на угол, при котором сохраняется угол сцепки в 90 градусов при движении автопоезда задним ходом, движение задним ходом до момента, пока между полуприцепом и осью парковки не образуется некий угол γ , показанный на рис. 4.

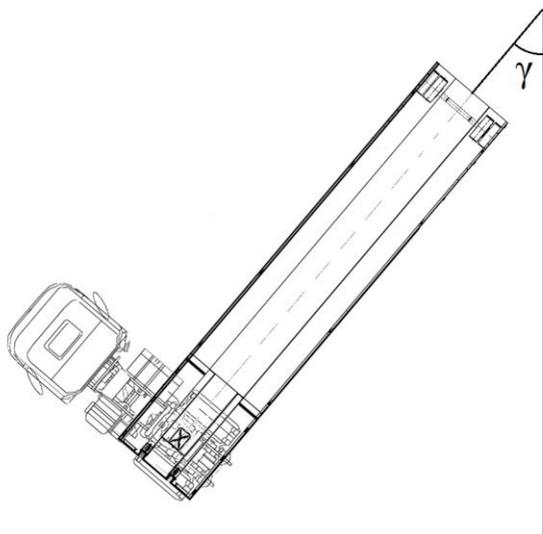


Рис. 4. Движение сложенного автопоезда до угла принятия решения

Данный угол γ является углом принятия решения, при котором еще возможно выравнивание тягача и полуприцепа в одну линию при максимальном угле отклонения рулевых колес в сторону складывания.

3) Поворот рулевых колес на максимальный угол в сторону складывания и движение автопоезда задним ходом до выравнивания тягача и полуприцепа в одну линию, как показано на рис. 5.

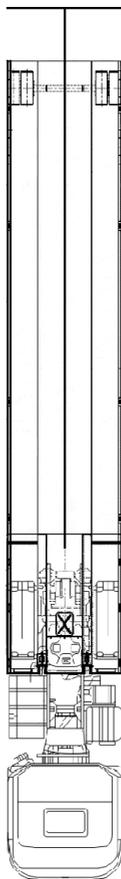


Рис. 5. Выравнивание автопоезда вдоль осевой парковочной
линии

4) Движение автопоезда задним ходом до конечной точки при
поддержании нулевого угла сцепки $\alpha = 0$.

1.3. Конструктивные особенности рулевого управления тягача

Изменение направления движения автомобиля достигается изменением угла отклонения передних рулевых колес влево или вправо при помощи рулевого управления [3], что показано на рис. 6.

Для того чтобы при движении автомобиля на повороте его рулевые колеса имели качение без проскальзывания, они должны катиться по окружностям, описанным из одного центра — центра поворота, лежащего в точке O [2]. В результате колеса автомобиля при повороте описывают окружности разного радиуса: ближнее к центру поворота колесо описывает меньший радиус, чем дальнее.

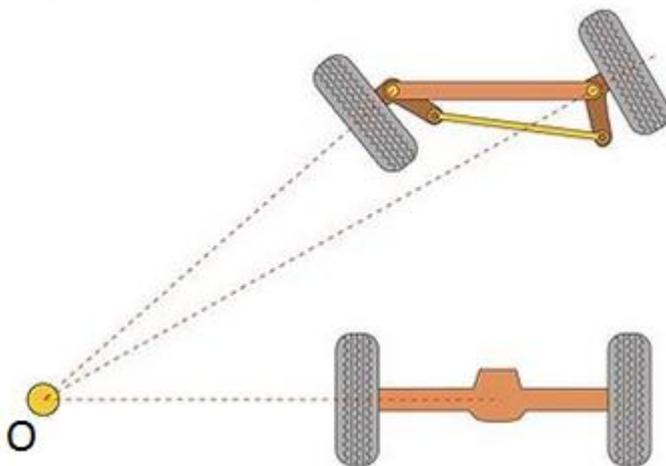


Рис. 6. Рулевое управление колесами тягача

Для движения рулевых колес по разным радиусам и соблюдения схождения радиусов в одной точке, следует соблюдать принцип

Аккермана, проиллюстрированный на рис. 7. Данный принцип определяет геометрию рулевого управления и состоит в использовании наклонных рулевых рычагов, мысленные продолжения которых должны сходиться по центру задней оси автомобиля.

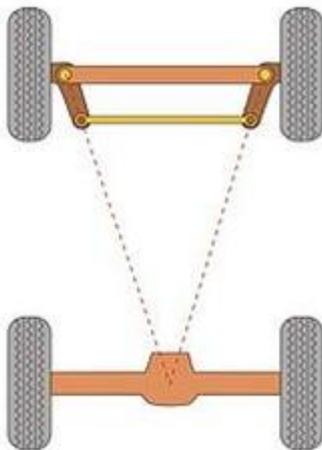


Рис. 7. Принцип Аккермана

1.4. Кинематические особенности движения тягача

Движение тягача по окружности напрямую зависит от его габаритных характеристик и характеристик рулевого управления рис. 8.

С помощью геометрических преобразований можно вывести формулу зависимости радиуса поворота тягача от угла поворота внутреннего рулевого колеса.

$$R_T = \frac{Ll}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{B}{2} \quad (2)$$

В формуле 2 введены обозначения, где

L – база тягача,

B – расстояние между точками пересечения осей шкворней с опорной поверхностью,

β – угол поворота внутреннего рулевого колеса.

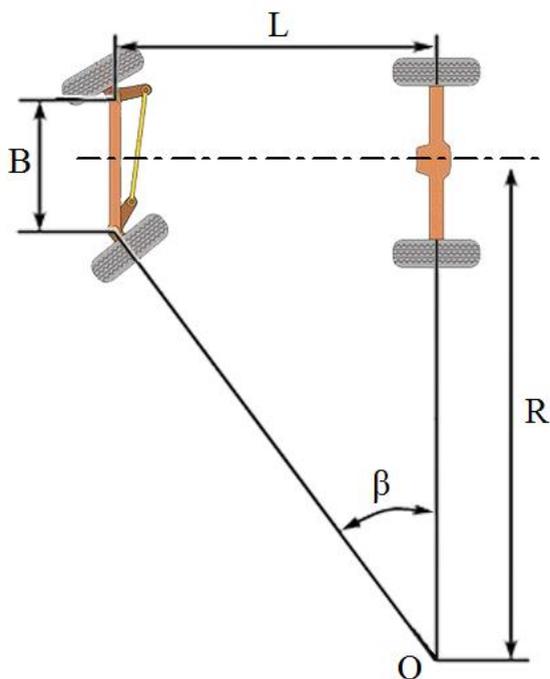


Рис. 8. Движение тягача по окружности

1.5. Устройство трансмиссии тягача

При движении по окружности, ведущие колеса тягача совершают движение по окружностям с разными радиусами [4]. Для того, чтобы качение внутреннего колеса было без проскальзывания, оно должно вращаться с меньшей угловой скоростью, чем внешнее. Вследствие этого возникает необходимость распределения крутящего момента двигателя на колеса в разных количествах. Для реализации этого принципа используется дифференциал, изображенный на рис. 9.

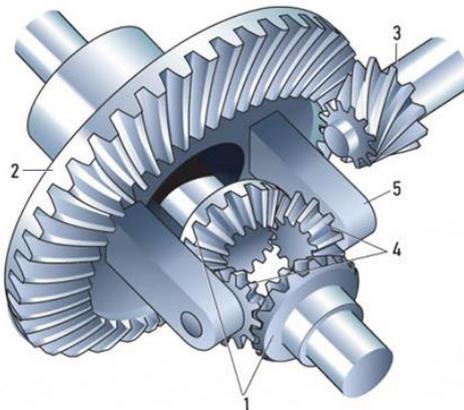


Рис. 9. Дифференциал

Дифференциал состоит из шестерней полуосей (рис. 9, 1), ведущей шестерни главной передачи (рис. 9, 2), ведомой шестерни главной передачи (рис. 9, 3), сателлитов (рис. 9, 4) и корпуса (рис. 9, 5).

2. Управление тягачом

2.1. Зависимость угла регулирования рулевых колес от радиуса поворота полуприцепа

Приравняем формулы (1) и (2):

$$\frac{L}{\sin\left(\operatorname{arctg}\frac{R_{\Pi}}{L}\right)} = \frac{L1}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{B}{2}. \quad (3)$$

Из данного выражения требуется получить зависимость угла регулирования рулевых колес от заданного радиуса поворота оси полуприцепа $\beta(R_{\Pi})$

$$\operatorname{arctg}(\beta) = \frac{\frac{L1}{L}}{\sin\left(\operatorname{arctg}\left(-\frac{R_{\Pi}}{L} + 90\right)\right)} - \frac{B}{2}. \quad (4)$$

2.2. Алгоритм управления тягачом

Для наглядности рассмотрим один из частных случаев: парковка по правую сторону от направления движения автопоезда.

Этапы управления тягачом при выполнении задачи:

- 1) Выставление рулевых колес в центральное положение из крайнего правого (заранее установленного до выполнения программы с целью калибровки). Блок – схема приведена на рис. 10.



Рис. 10. Блок – схема этапа 1

2) Движение автопоезда вдоль парковочного ряда до фиксации свободного парковочного пространства датчиком цвета, проезд автопоезда до точки начала парковочного маневра. Необходимая длина проезда складывается из расстояния от датчика цвета до оси полуприцепа и расстояния S , необходимого для парковки. Блок- схема этапа приведена на рис. 11.



Рис. 11. Блок – схема этапа 2

На рис. 11 введены обозначения, где N – количество оборотов ведущего мотора, необходимое для проезда автопоезда от точки фиксации свободного парковочного места до точки начала парковочного маневра.

3) Поворот рулевых колес на максимальный угол в сторону, противоположную направлению парковки и движение автопоезда задним ходом до образования угла сцепки в 90 градусов. Блок-схема этапа приведена на рис. 12

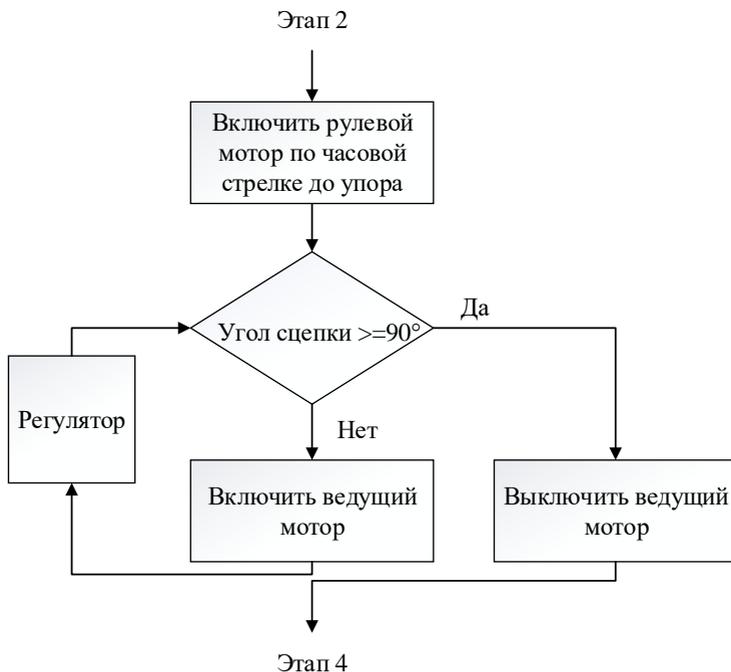


Рис. 12. Блок - схема этапа 3

Для выполнения данного этапа парковки реализован пропорциональный регулятор, позволяющий уменьшать скорость модели по мере приближения значения угла сцепки к заданному значению. Схема регулятора приведена на рис. 13

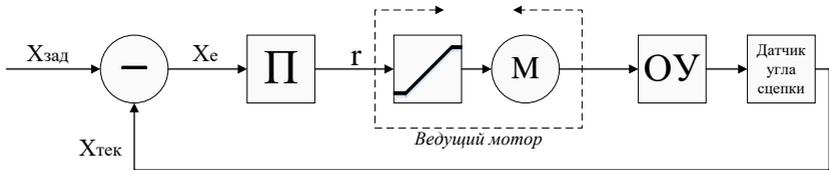


Рис. 13. Регулятор оборотов ведущего мотора

На рис. 13. Введены обозначения, где

- $X_{зад}$ – заданное значение угла сцепки,
- $X_{тек}$ – текущее значение угла сцепки,
- X_e – ошибка угла.

4) Поворот рулевых колес в сторону складывания на угол, при котором автопоезд, движущийся задним ходом, сохраняет угол сцепки 90 градусов. Блок- схема этапа приведена на Рис. 14

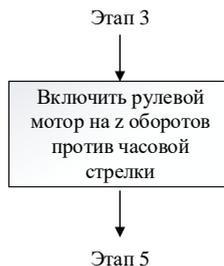


Рис. 14. Блок - схема этапа 4

где z – кол-во оборотов мотора, необходимое для установки рулевых колес на требуемый угол из текущего крайнего положения.

5) Движение задним ходом до достижения угла принятия решения. Блок- схема этапа приведена на Рис. 15



Рис. 15. Блок – схема этапа 5

где γ – угол принятия решения для данных характеристик автопоезда.

6) Поворот рулевых колес на максимальный угол в сторону складывания. Блок- схема этапа показана на Рис. 16.



Рис. 16. Блок – схема этапа 6

7) Движение задним ходом до выравнивания автопоезда вдоль осевой парковочной линии. Блок- схема этапа приведена на рис. 17

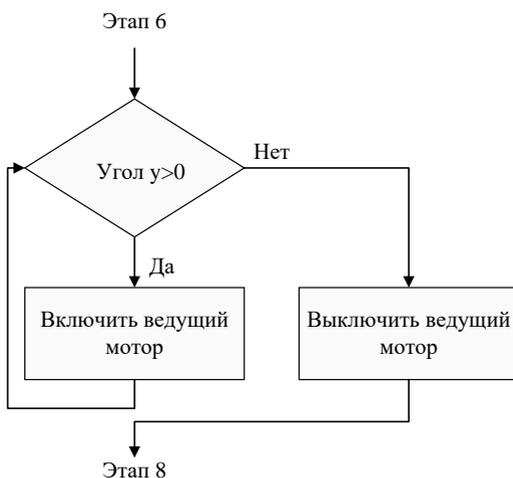


Рис. 17. Блок – схема этапа 7

8) Движение автопоезда вдоль парковочной линии до места назначения.

Блок – схема этапа представлена на рис. 18.



Рис. 18. Блок – схема этапа 8

Для выполнения данного этапа парковки реализован пропорциональный регулятор, позволяющий контролировать положение рулевых колес тягача в процессе движения для обеспечения

прямолинейного движения автопоезда вдоль парковочной линии. Схема регулятора показана на рис. 19.

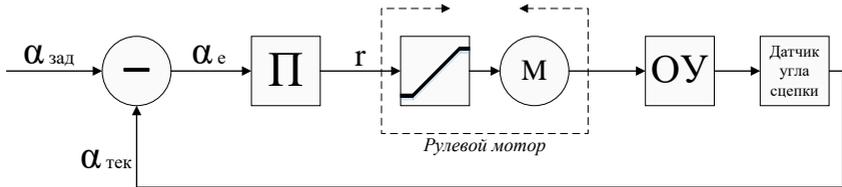


Рис. 19. Система регулирования положения рулевых колес

На рис.19. введены обозначения, где

- $\alpha_{\text{зад}}$ – заданное значение угла сцепки, равное нулю,
- $\alpha_{\text{тек}}$ – текущее значение угла сцепки,
- $\alpha_{\text{е}}$ – ошибка угла.

3. Практическая часть

3.1. Конструкция модели

Для создания механической модели тягача и полуприцепа принято решение использовать комплектующие конструктора Lego, вследствие возможности создания необходимых механических конструкций, а также простоты сборки.

Конструктор Lego представляет собой набор перфорированных деталей, изготовленных из пластмассы, которые способны соединяться друг с другом посредством различных фиксирующих втулок и валов.

Готовая модель представлена на рис. 20.

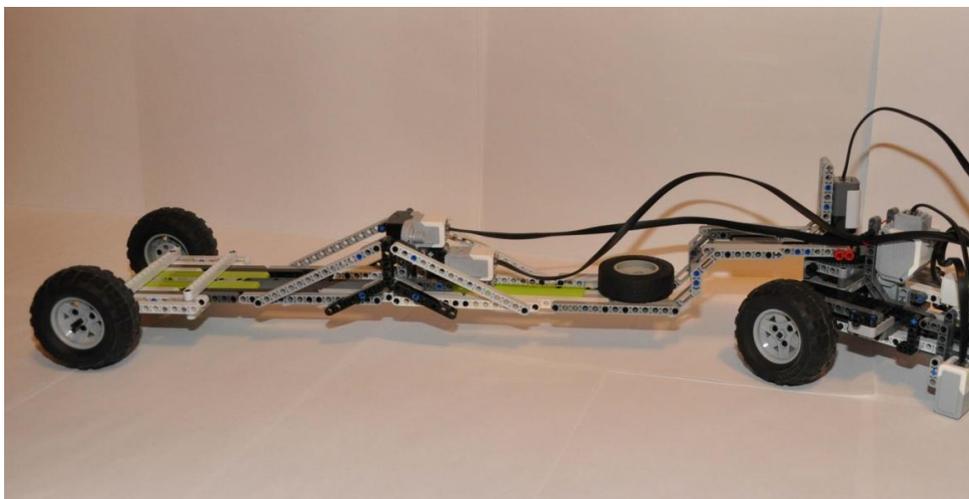


Рис. 20. Модель грузовика с полуприцепом

Основные габаритно-весовые характеристики модели:

- база тягача – 255 мм;
- длина полуприцепа до задней оси – 600 мм;
- расстояние между шарнирами колес – 115 мм;
- полная масса модели – 1,4 кг.

Данные габаритные характеристики являются масштабно уменьшенными характеристиками большинства современных тягачей и полуприцепов [5].

В ходе создания модели учтены все особенности конструкции реального тягача.

Принцип рулевого управления реализован с помощью угловых рулевых тяг, шарниры которых расположены по принципу Аккермана, как показано на рис. 21: линии, проведенные мысленно через шарниры,

сходятся в центре задней оси тягача. Применение данного метода позволило избежать проскальзывания рулевых колес, следовательно – повысить точность.

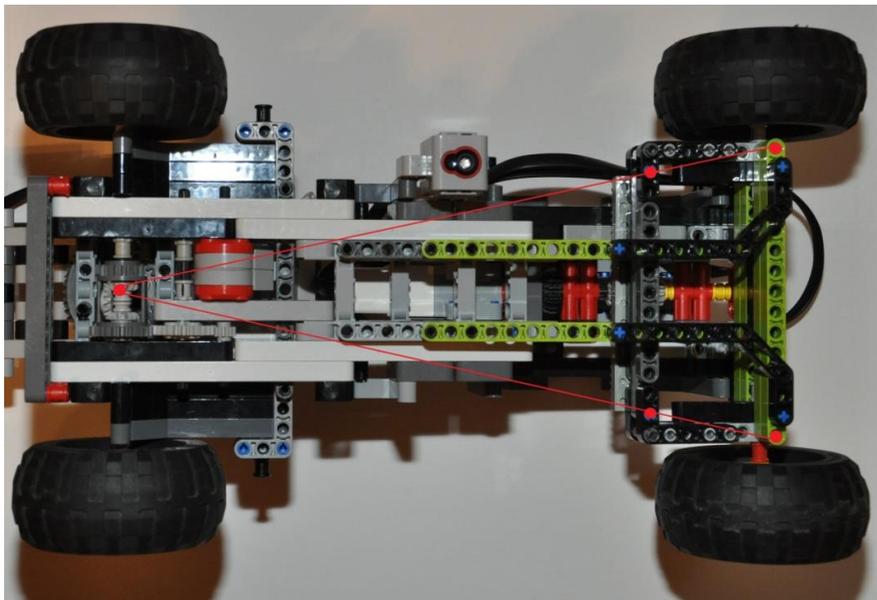


Рис.21. Реализация принципа Аккермана

В данной модели, в отличие от современных магистральных автопоездов, использованы шины арочного типа. Это связано с тем, что с помощью данного конструктора невозможно реализовать необходимые характеристики развала колес, а значит нельзя минимизировать погрешности, связанные с уводом плоскопрофильных шин. Использование арочных шин позволило исключить данные погрешности и повысить точность работы системы.

Изменение угла отклонения рулевых колес производится путем смещения зубчатой рулевой рейки поворотом шестеренчатого вала, который приводится в движение сервомотором. Шестеренчатый вал подключен к сервомотору через понижающий редуктор с передаточным числом 12:20, что позволило значительно увеличить точность рулевого управления.

С помощью данной рулевой системы возможно изменять угол отклонения рулевых колес на 45 градусов в обе стороны с точностью в 0,5 градуса. Конструкция рулевого механизма показана на рис. 22.

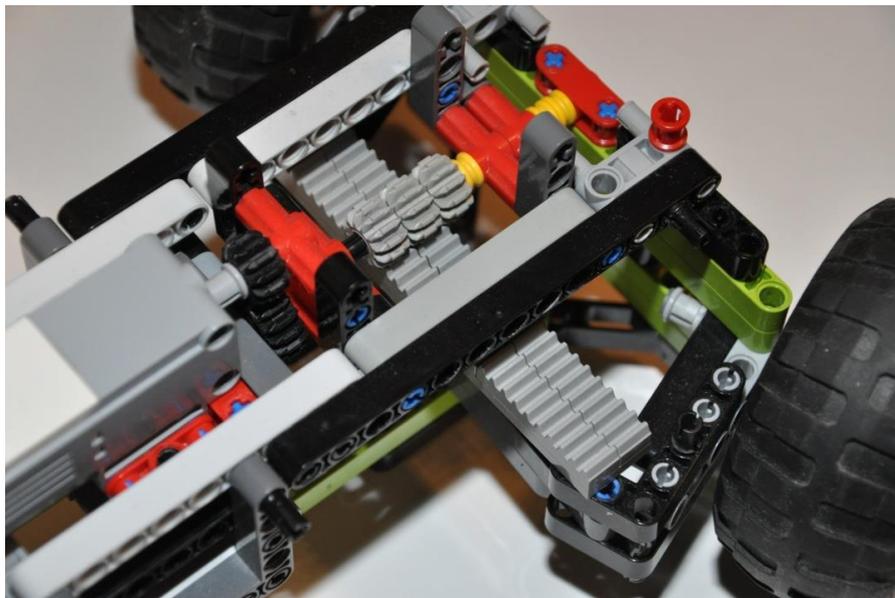


Рис. 22. Рулевой механизм

При создании главной передачи был использован дифференциал, также из конструктора Lego. Он позволил распределить крутящий

момент двигателя на колеса по-разному, вследствие чего при поворотах ведущие колеса практически лишились проскальзывания. Конструкция главной передачи представлена на рис. 23.

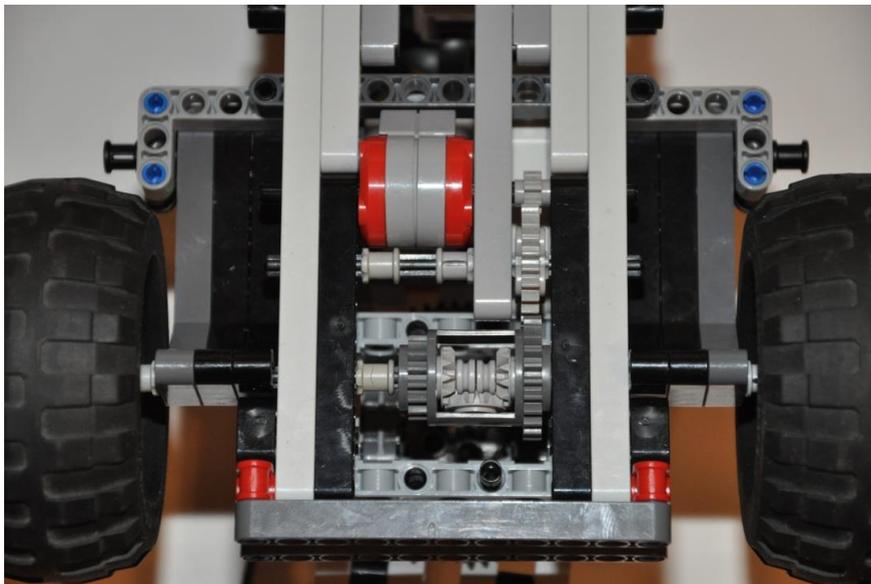


Рис. 23. Главная передача

При создании модели был использован набор электроники mindstorms фирмы Lego. Данный набор состоит из БЦВМ, двух сервомоторов, датчика цвета, угла поворота, инфракрасного датчика и одноосного гироскопа. Также в комплект входят соединительные шестижильные провода.

БЦВМ представляет собой небольшой блок, показанный на рис. 24, который служит источником питания, центром управления модели, средством ввода и вывода информации.



Рис. 24. Контроллер

В качестве питания БЦВМ используются элементы питания формата АА. Рабочее напряжение в цепи составляет 9 вольт.

Моторы, используемые при создании модели, изображенные на рис. 25, оснащены обратной связью, что позволяет им с точностью выполнять поставленные задачи.



Рис. 25. Сервомоторы

Датчик цвета, представленный на рис. 26, использован с целью определения местонахождение свободного парковочного места. При движении автопоезда вдоль парковочного ряда он считывает данные с

индикаторов парковочной зоны, которые в зависимости от того занято или свободно место имеют красный или зеленый цвет. После нахождения свободного места тягач проезжает вперед на необходимое для парковки расстояние.



Рис. 26. Датчик цвета

Датчик угла поворота, изображенный на рис. 27, позволяет определить текущее значение угла поворота сцепки и контролировать его в зависимости от этапа процесса парковки.



Рис. 27. Датчик угла поворота

Гироскопический датчик, показанный на рис. 28, служит для определения текущего угла поворота полуприцепа во время парковки

относительно начального положения. Он позволяет определить угол принятия решения для выравнивания и момент, когда полуприцеп изменил свое положение на 90 градусов относительно начального положения.



Рис. 28. Гироскопический датчик

Инфракрасный датчик, представленный на рис. 29, использован для отключения ведущего мотора при приближении полуприцепа к препятствию (ограничителю парковочного пространства) после заведения полуприцепа в парковочную зону.



Рис. 29. Инфракрасный дальномер

3.2. Функциональная схема модели

Функциональная схема модели приведена на рис. 30.

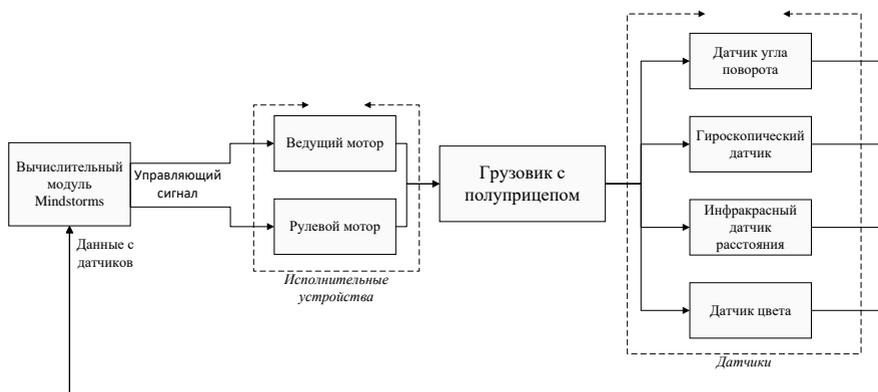


Рис. 30. Функциональная схема модели

3.3. Реализация управления грузовиком с полуприцепом

Практической реализацией управления грузовиком с полуприцепом является программный модуль, основанный на алгоритме, представленном в пункте 2.2. Среда программирования контроллера mindstorms базируется на графическом языке LabVIEW. Фрагмент программы приведен на рис. 31.

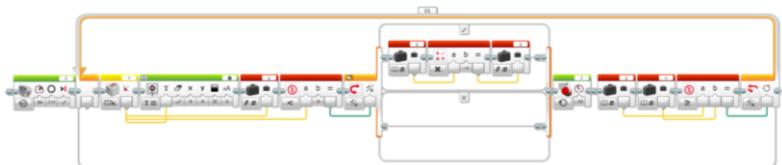


Рис. 31. Фрагмент программы (реализация этапов 4, 5 алгоритма)

4. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

После сборки макета проведена серия испытаний, целью которой было определить зависимость величины угла принятия решения при складывании от длины полуприцепа. Испытания заключались в ручной имитации полного процесса парковки автопоезда с различными длинами полуприцепов и фиксации значений угла принятия решения. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерения угла принятия решения

Длина полуприцепа, мм	445	515	595	635	700	760
Величина угла, град.	97	73	55	47,5	36	38

Как видно из таблицы, величина угла напрямую зависит от длины полуприцепа. По данным измерений построен график и выведена формула зависимости угла принятия решения от длины полуприцепа рис. 32.

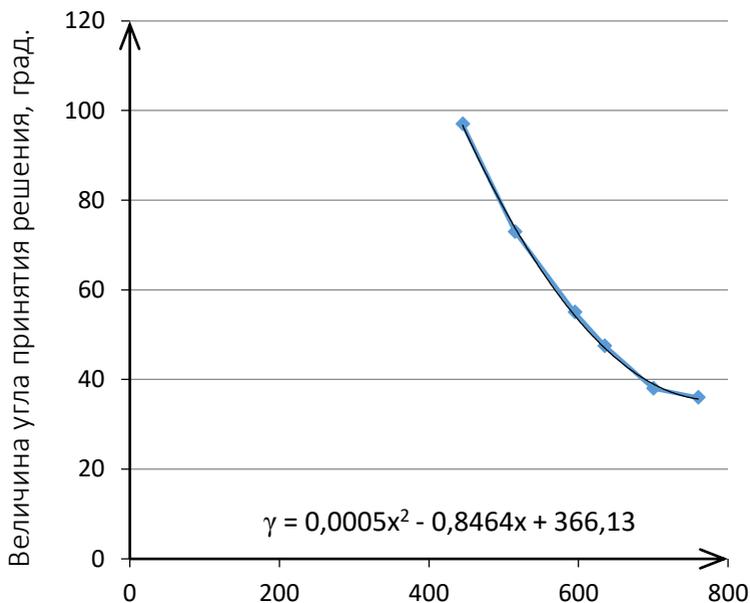


Рис. 32. График и уравнение зависимости угла принятия решения от длины полуприцепа

Также проведена серия испытаний, в результате которой выявлена истинная траектория движения трех основных точек автопоезда: центра рулевой оси тягача, центра ведущей оси тягача и центра оси полуприцепа. Траектория движения представлена на рис. 32.

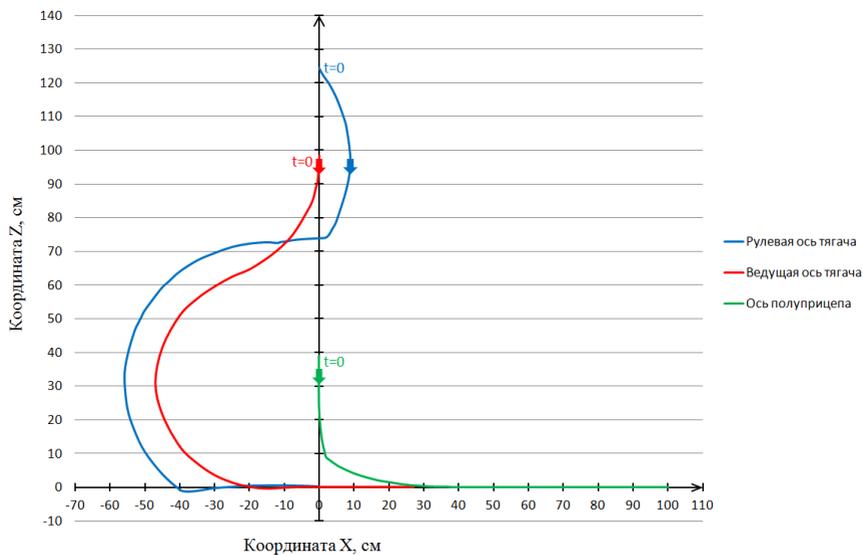


Рис. 33. Траектория движения основных точек автопоезда

В ходе тестов зафиксирована зависимость угла отклонения рулевых колес от времени, график которой представлен на рис. 34, и скорости автопоезда от времени, график которой изображен рис. 35.

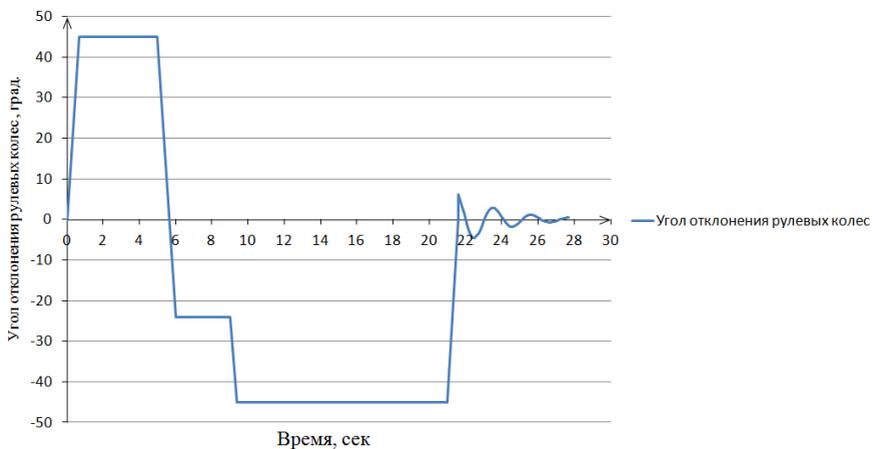


Рис. 34. Зависимость угла отклонения рулевых колес от времени

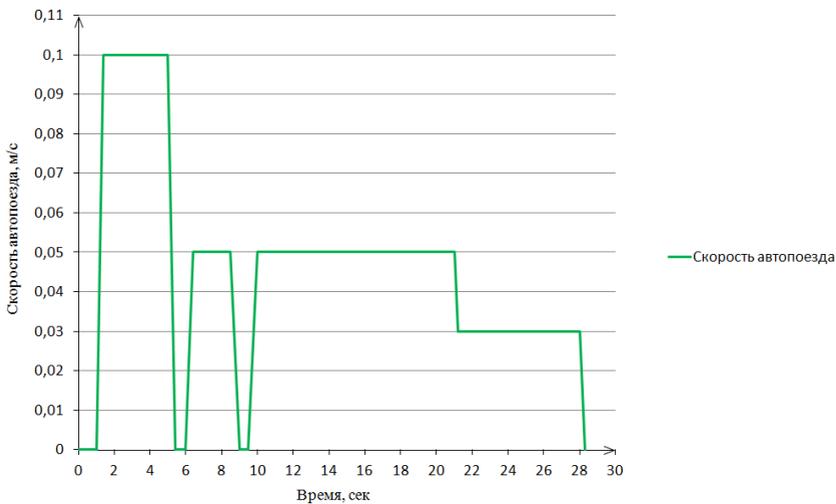


Рис. 35. Зависимость скорости автопоезда от времени

По результатам испытаний можно сделать вывод, что система правильно выполняет поставленную задачу.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью проектной работы было обеспечение автоматической парковки грузовика с полуприцепом в заданный сектор.

Итогом проектной работы стал программно – технический модуль, выполняющий поставленную цель.

В ходе проектной работы были выполнены следующие задачи:

1. Изучены основные конструктивные особенности существующих тягачей и полуприцепов.
2. Изучены особенности процесса перпендикулярной парковки полуприцепа.
3. Создана уменьшенная модель системы на базе конструктора lego и электроники mindstorms.
4. Разработан алгоритм управления тягачом и его программный прототип.

Помимо вышеперечисленного, в ходе проектной работы была написана расчетно-пояснительная записка в среде MS Word на 35 листах формата А4.

Таким образом, можно утверждать, что задачи проектной работы выполнены в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. КАМАЗ и Cognitive Technologies разрабатывают беспилотный автомобиль// RIA.RU: ежедн. интернет-изд. 2015. 3 фев. URL: <https://ria.ru/economy/20150203/1045597217.html> (дата обращения 17.10.2016).
2. Титаренко Д. Н. Базовые понятия геометрии ходовой части и рулевого управления (учебное пособие). СПб.: Институт Евро Авто, 2012. 31 с.
3. Малиновский М.П. Экспериментальное исследование характеристик систем управления транспортных средств (учебное пособие), М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2011. 213с.
4. Андреевич А.Ф., Ванцевич В.В., Лефаров А.Х. Дифференциалы колесных машин. Под общ. ред. А. Х. Лефарова. М.: Машиностроение, 1987. 176 с.
5. Технические характеристики тягача Камаз 5490 [Электронный ресурс], URL: <http://kamaz.ru/production/serial/sedelnye-tyagachi/kamaz-5490-s5/> (дата обращения 18.10.2016).
6. Елугачев П.А., Катасонов М. А., Елугачев М. А. Обоснование ширины и количества полос движения на кольцевых пересечениях автомобильных дорог. САПР и ГИС автомобильных дорог, 2013. Вып. 1. С. 24-28.

7. Биржа плюс авто: задним ходом на автомобиле с прицепом:
электрон. газета 2005. №28. URL:
[http://www.birzhaplus.ru/a/view.php?
gazeta=avto&id=440&ids=1149&inc=&izdanie=avto_2005](http://www.birzhaplus.ru/a/view.php?gazeta=avto&id=440&ids=1149&inc=&izdanie=avto_2005) (дата
обращения 21.10.2016).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Описание программных блоков mindstorms

А. 1. Блоки действия (Слева направо)

- Средний мотор.
- Большой мотор.
- Рулевое управление.
- Независимое управление моторами.
- Экран.
- Звук.
- Индикатор состояния модуля.



Рис. А1. Блоки действия

А. 2. Блоки – операторы (Слева направо)

- Начало.
- Ожидание.
- Цикл.
- Переключение.
- Прерывание цикла.

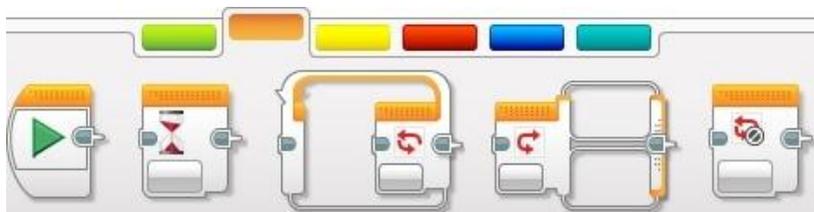


Рис. А2. Блоки действия

А. 3. Блоки датчиков (Слева направо)

- Кнопки управления
- Датчик цвета
- Гироскопический датчик
- Инфракрасный датчик
- Вращение мотора
- Датчик угла поворота
- Таймер
- Датчик касания



Рис. А3. Блоки датчиков

А. 4. Блоки данных (Слева направо)

- Переменная
- Постоянная
- Операции над массивом
- Логические операции
- Математика
- Округление
- Сравнение
- Диапазон
- Текст
- Случайное значение

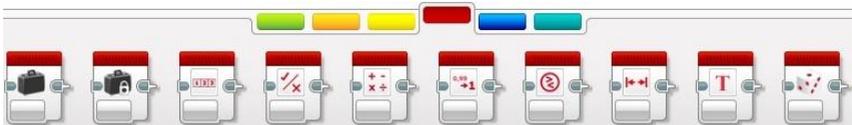


Рис. А4. Блоки данных

А. Программная реализация алгоритма управления



Рис. В1. Реализация этапа 1 алгоритма

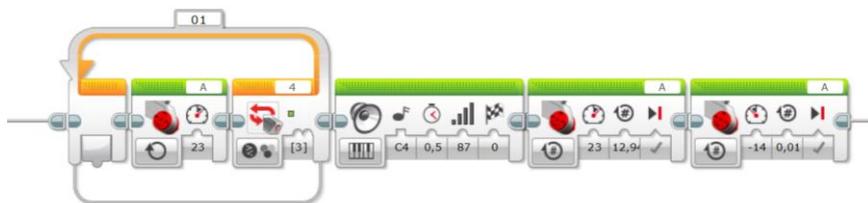
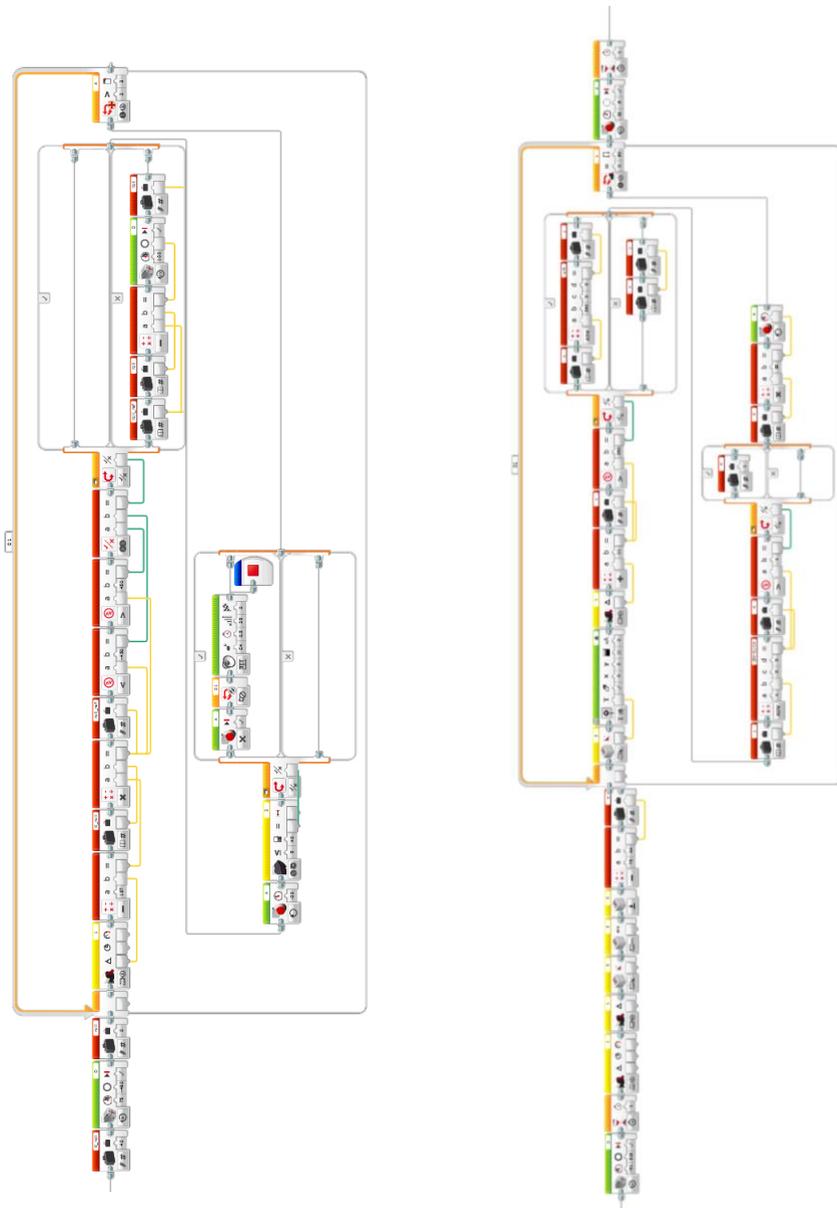
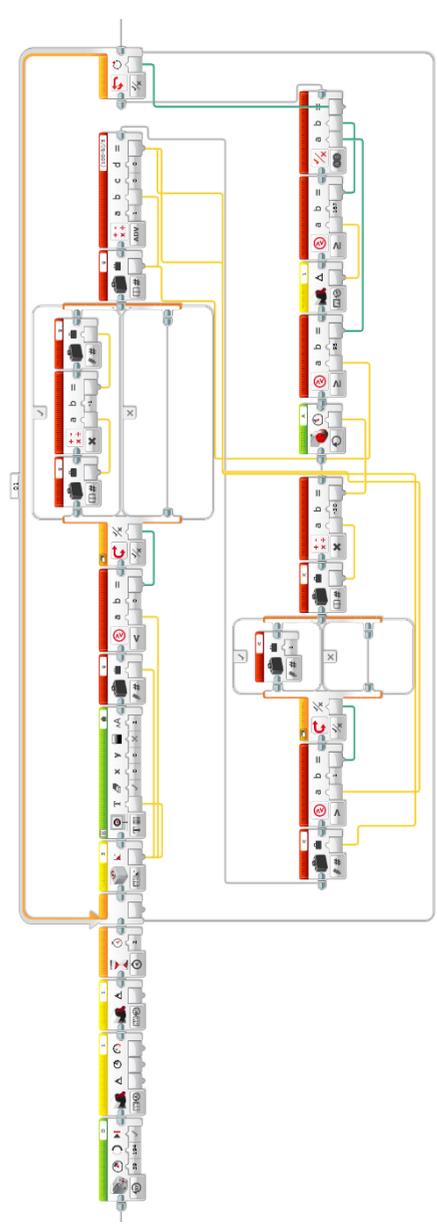
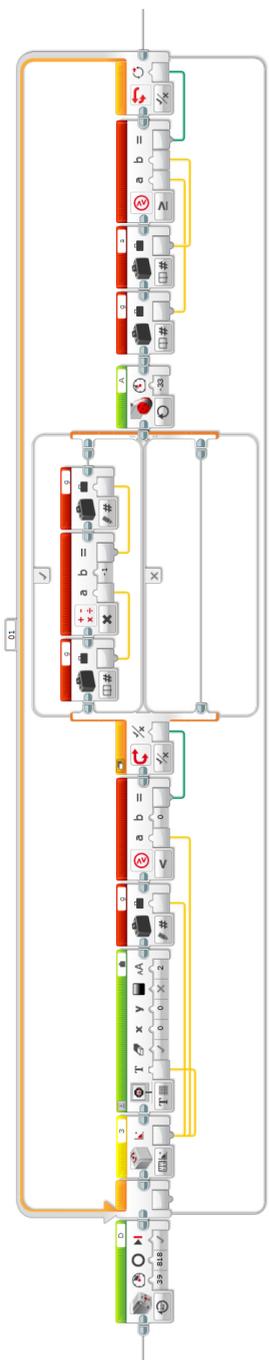


Рис. В2. Реализация этапа 2 алгоритма





Браслет для глухонемых

Марашли Илья Наждатович

г. Москва, ГБОУ «Школа №444», 11 класс

Научный руководитель:

Романова Татьяна Николаевна

к.т.н., доцент кафедры ИУ-7,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

В наше время медицина достигла больших высот, почти все болезни стали излечимы, но, к сожалению, мы все еще не можем сделать жизнь людей-инвалидов комфортной. Нехватка средств на проведение операции по восстановлению - главная проблема. В настоящий момент в Москве проживает около 20 тысяч немых людей. Немые общаются на языке жестов, который знает далеко не каждый человек, из-за этого возникают трудности с общением с людьми, не знающих этого языка. По этой причине я решил создать программно-технический комплекс, который сможет носить с собой каждый человек с ограниченными возможностями, и ему не нужна будет помощь переводчика.

В настоящее время для глухонемых существует лишь одно устройство на базе микроконтроллера Arduino Uno в форме перчатки. Оно представляет собой громоздкое и неудобное устройство, которое находится лишь в стадии проекта (массового производства нет), не имеет озвучивание текста, только выводит его на OLED экране,

работает медленно. Схема данного проекта и подробное его устройство описано в данной статье [1]. Данное устройство и ему подобное предназначено для дистанционного управления механизированной рукой и базируются на одном и том же методе, описанном в той же статье.

Тенденция последних лет - виртуальная реальность, поэтому множество компаний создают устройства для отслеживания положения рук в пространстве, такие как MYO [2] - изобретение THALMIC LABS (США), представленное на рисунке 1. На данный момент стоимость данного устройства составляет 369\$, является труднодоступным в покупке (продается на территории Америки и по предзаказам, система крайне нестабильна и распознает только простейшие жесты, находится все еще в стадии разработки и нет ПО для глухонемых

Также есть творение Майкла Бакуолда - Leap Motion [3] на рисунке 2. Стоит также дорого и работает только в помещении, так как требует постоянного подключения к компьютеру, и лежащего рядом с ним технического устройства, и также как и все предыдущие варианты, не имеет специального ПО для глухонемых. Данная компания является одной из самой лучшей компанией для разработчиков, так как есть крайне много документации для Android VR и Windows VR, также на множестве конференций они раздают свои устройства для разработчиков, чтобы те разработали на базе их устройства свои продукты. Но к сожалению продается в Канаде, Китае, Японии, Корее и Америке, нет в свободной продаже в России. Как и у Leap Motion, так

и у МҮО от компании Thalmic Labs нет технических и программных деталей.

Описание технического комплекса:

В данном проекте представлен программно-технический комплекс, позволяющий переводить язык глухонемых в текст, а затем и в голос. В рамках тенденции работы с виртуальной реальности предложено решение по уменьшению размеров устройства и удешевлению его. Для достижения этой цели я собрал устройство на основе Arduino Nano v3.0 (в дальнейшем планируется заменить ее на Arduino Pro Mini для удешевления и уменьшения устройства), которое является одним из самых дешевых на рынке, но взамен получаем низкую производительность. Ее я решил компенсировать тем, что вся информация обрабатывается на компьютере или телефоне глухонемого, которая поступает на устройство по Bluetooth с Arduino. В данном проекте предложен новый алгоритм для визуализации руки на экране компьютера.

Для начала я решил взять за основу резисторы изгиба. Длина его активной поверхности - 95 миллиметров, что подойдет для практически любой фаланги руки. Резистор FS-L-0095-103-ST [4] меняет своё сопротивление в зависимости от уровня изгиба металлических секций внутри него. Пока он не изогнут, сопротивление находится у минимума в 10 кОм. По мере изгиба сопротивление растёт вплоть до 110 кОм. Затем его нужно подключить к Arduino и оцифровать сигнал. Для этого я собрал простую схему, состоящую из резистора изгиба и

подтягивающего резистора при помощи программного обеспечения Fritzing [5].

Далее была написана простая программа для оцифровки сигнала на C-подобном языке для Arduino версии 1.6.12. После для упрощения задачи и ускорения ее выполнения вместо передачи информации до компьютера по средствам Bluetooth была осуществлена передача данных по COM порту. Их я принимал с помощью программы написанной на python 3.5.

Описание программного комплекса

После оцифровки сигнала для начала была написана программа на Python, которая считывает сигнал с порта. Была использована библиотека pySerial [6], она идеально подошла, так как с помощью нее можно будет подстроить программу под использование при помощи Bluetooth с минимальными правками в коде. Язык Python версии 3.5 был использован так как это один из самых простых языков имеющий большое количество библиотек и инструкций в интернете. Основная часть программы заключается в следующем. Скрипт подключает JSON [7] базу данных и выгружает данные из нее: сопротивление на каждом пальце для каждой буквы. После берет информацию с Arduino (массив состоящий из трех элементов - сопротивление на каждом из резисторов) и сравнивает с результатами массива базы данных. После если результат жеста соответствует задуманному, информация вносится в базу данных для улучшения распознавания дальнейших жестов. Затем подключается YandexApi [8], при помощи которого идет

озвучивание текста. Вторая программа задает начальные значения для базы данных (так как сенсор резистора имеет свойство сбиваться). Программа просит изобразить жестом конкретную букву, после чего в течение некоторого времени просматривает все значения полученные с резисторов, находит среднее значение и заносит их в базу. Ниже подробно расписан алгоритм работы основной программы

1. Программа получает на вход данные с Serial порта
2. Обработывает их, конвертируя в числовой формат
3. Получает значение сопротивления всех резисторов для всех букв из JSON файла
4. Сравнивает полученные значения с Serial порта со значениями JSON файла
5. Выводит на экран ближайшую подходящую букву
6. Озвучивает получившуюся букву

Заключение:

На данный момент собрана основа технического комплекса в форме перчатки, так как крепление в форме полосок на данный момент закрепляется нестабильно. Программа определяет некоторое количество букв (не все), так как подключено три из пяти резисторов из-за трудности их изготовления и как следствия получения, а также из-за постоянного падения напряжения на резисторе большого пальца. Также для качественной обработки всех пальцев необходима нейросеть. Может озвучивать как букву, так и отдельные слова. Готова

программа для внесения коррективов в базу данных и программа для озвучки с помощью Yandex Api.

Перспективы развития:

1. Создание простой нейросети для улучшения распознавания жестов
2. Установка платы Arduino Pro Mini
3. Уменьшение размеров комплекса
4. Замена перчатки на полоски
5. Осуществление передачи данных по Bluetooth

Список литературы:

1. Статья о перчатке на резисторах - www.instructables.com/id/Wireless-Controlled-Robotic-Hand/step2/Making-the-glove/
2. Сайт компании MYO - www.leapmotion.com
3. Сайт компании Leap motion - www.thalnic.com/
4. DataSheet резистора изгиба - files.amperka.ru/datasheets/FS-L-0095-103-ST.pdf
5. Сайт программного обеспечения Fritzing - fritzing.org/
6. Документация по PySerial - pythonhosted.org/pyserial/
7. Документация JSON для Python - docs.python.org/3/library/json.html
8. Официальный сайт Yandex Api - tech.yandex.ru/speechkit/

9. Статья по Yandex Api для Python - habrahabr.ru/post/263423/

10. Статья по нейросетям - habrahabr.ru/post/143129/

Приложение.

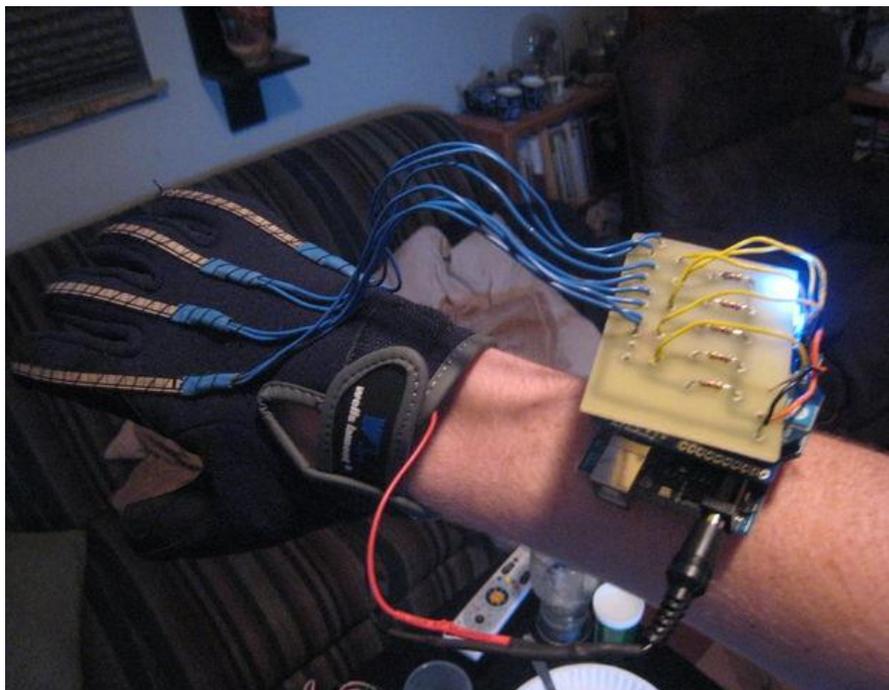


Рисунок 0.



Рисунок 1



Рисунок 2

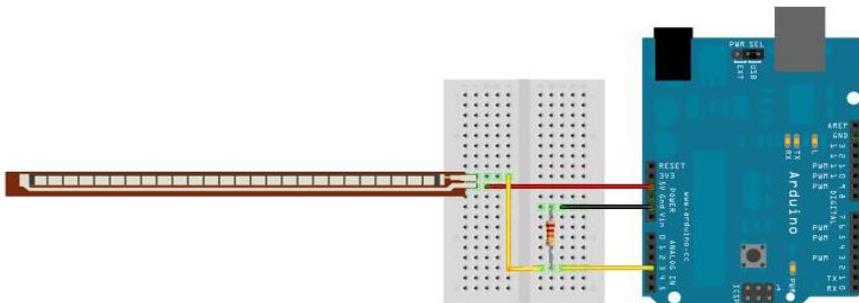
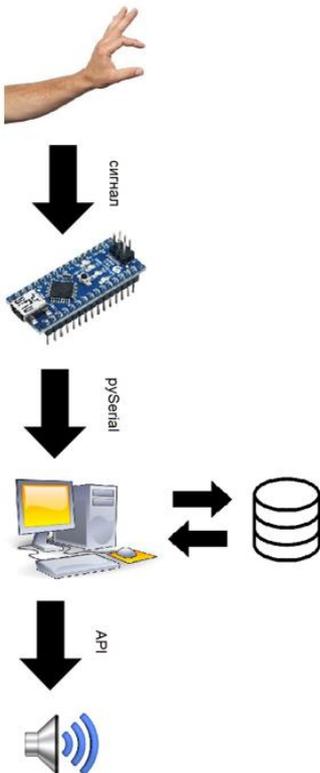


Рисунок 3

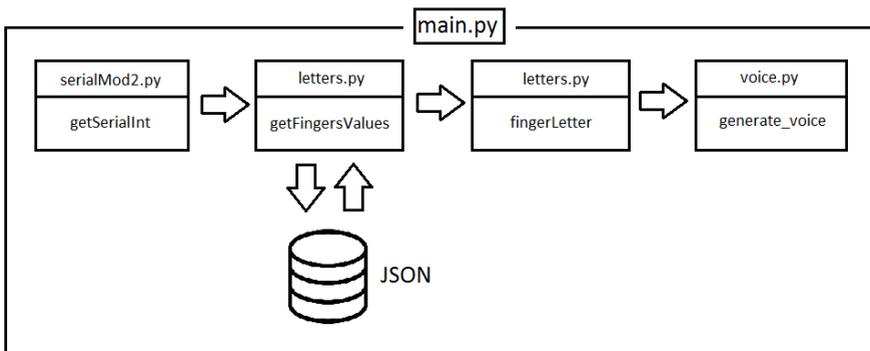
Основной алгоритм работы комплекса:



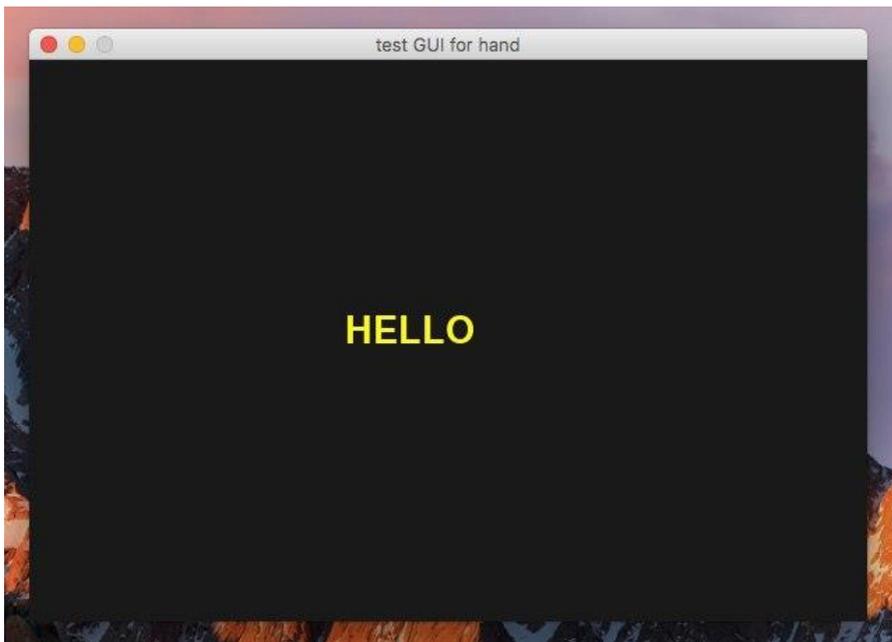
Описание функций программы:

Описание	Название функции
Упорядочивает данные с порта в массив по порядку пальцев	getSerialInt На вход получает строку с Serial порта, выдает массив типа Integer
Для быстрого действия программы для данных с каждого пальца есть своя функция, конвертирующая строку в числовой формат	first_convert, second_convert, third_convert Все эти три функции на вход получает строку, выдают числовое значение
Функция, выгружающая данные по каждой букве из JSON файла	getFingersValues На вход получает букву, выводит предполагаемые значения сопротивления на резисторах сгиба
Определяет букву по данным с резисторов изгиба	fingerLetter Принимает на вход значение с порта, сравнивает его с заготовленными значениями в JSON файле и выдает предполагаемую букву

Описание работы основной программы:



Скриншот программы



Цифровые очки дополнительной реальности

Ноянов Александр Юрьевич

г. Москва, ГБОУ «Школа №2127», 11 класс

Научный руководитель:

Басова Алла Вячеславовна

учитель информатики,

ГБОУ «Школа №2127»

Список использованных сокращений, обозначений и терминов

ABS	Acrylonitrilebutadienestyrene	Крепкий термопластичный полимер
AR	Augmented Reality	Дополнительная реальность
CC	Creative Commons	Лицензия некоммерческой организации, помогающей обмениваться произведениями и укреплять сотрудничество между авторами
I2C	Inter-integrated Circuit	Последовательная ассиметричная шина

		для связей между интегральными схемами внутри электронных приборов
IDE	Intergrated Development Enviroment	Среда разработки
GPS	Global Positioning System	Система глобального позиционирования
LAN	Local Area Network	Локальная сеть
LCD	Liquid Crystal Display	Жидкокристаллическ ий дисплей
LED	Light- emitting diode	Светодиод
Li-Po	Lithium- Polimer Battery	Литий-полимерный аккумулятор
Ni-Cd	Nickel- Cadmium	Никель-кадмиевый аккумулятор
OLED	Organic Light Emitting Diodes	Технология производства дисплеев на основе органических светодиодов

OSH	Open Source Hardware	Оборудование с открытым исходным кодом
OS	Open Sorce	Открытое программное обеспечение
SMD	Surface Mounted Device	Технология поверхностного монтажа
SLA	Sealed Lead Acid	Герметичные свинцово-кислотные
USB	Universal Serial Bus	Универсальная последовательная шина
VR	Virtual Reality	Виртуальная реальность
WI-FI	Wireless Fidelity	Стандарт передачи цифровых потоков данных по радиоканалам
АП		Аппаратная платформа
БД		База данных
ИЛС		Индикация летной системы
МК		Микроконтроллер
ПД		Программный документ
ПИ		Программное изделие
ПО		Программное обеспечение
ТС		Техническое средство

ЧМИ

Человеко-машинный интерфейс

ЭЛТ

Электронно лучевая трубка

Введение

Работа посвящена разработке и созданию очков дополненной реальности на платформе Arduino. Сейчас стремительный процесс миниатюризации электроники приводит к появлению нового класса устройств – носимой электроники, которая становится самым актуальным трендом современности. Особенно ярок и интересен прогресс в области т.н. дополненной реальности, приведший к созданию прототипов очков дополненной реальности – GoogleGlass и MicrosoftHololens. Приложения с использованием этих устройств появляются каждый день и показываются на последних выставках компаний. Мне тоже хотелось поучаствовать в этом процессе. Другой прорыв – появление открытой унифицированной универсальной цифровой платформой Arduino, имеющей крайнюю низкую цену, позволило сделать реальный прототип устройства.

Актуальность. Появление устройств дополненной реальности явилось новой ступенью в развитии техники. Многие компании успели выпустить аналоги этих устройств. Однако стоимость таких устройств чрезвычайно высока из-за специфичности используемых компонентов. Это закрывает дорогу использованию таких устройств ВР в большинстве областей.

Другим прорывом стало появление унифицированной цифровой платформы *Arduino*. Эта платформа включает цифровой процессор с АЦП/ЦАП, программатор с компьютера и среду разработки. Платформа является открытой, что позволило появиться огромному количеству устройств совместимых с ней – от простейших датчиков, экранов до сложных плат Ethernet, WiFi и т.п. Все и не перечислишь. И у каждой уже написаны энтузиастами библиотеки управляющих программ с открытыми кодами. Безимьянные китайские компании выпускают такие устройства ценой в несколько долларов, а компоненты к ним можно приобрести дешевле доллара. Это позволяет создавать самые разнообразные устройства, одно из которых очки дополненной реальности.

На основе полученных знаний:

Рассмотрены возможности существующих устройств дополненной и виртуальной реальности.

Изучены факторы, влияющие на создание изображения и методы создания дополненной реальности.

Изучены существующие универсальные микроконтроллеры и устройства, сопрягаемые с ними, а также написание программ для таких устройств.

Выбран простейший способ проецирование изображений.

Доказано, что возможно создание универсального устройства дополненной реальности малых габаритов на универсальных дешевых компонентах.

Показано, что за счёт универсальности выбранной платформы возможно использование ее как расширяемой как платформы для других разработок за счёт модификации загружаемой программы.

Постановка задачи: Сконструировать доступное универсальное устройство дополненной реальности с возможностью расширения программной части.

Целью работы является разработка доступного каждому универсальному устройству дополненной реальности, расширяемому при помощи встроенного программного обеспечения. Написать расширяемую программную платформу (framework) для устройства. Работа содержит минимизированные, массогабаритные и стоимостными характеристики в сравнении с существующими устройствами дополненной реальности.

Положения, выносимые на защиту:

Использование универсального контролера Arduino позволяет создать доступные очки виртуальной реальности.

Использование открытой архитектуры контролера позволяет написать универсальную платформу для устройств с очками дополненной реальности;

Полученное устройство легко расширяется для разнообразных применений.

Методы проведенных исследований: Для исследования принципа работы очков с универсальной платой управлением был проведен ряд опытов, изучающих программирование универсальных контролеров Arduino, выбраны компоненты экрана, питания устройства, выполнено протипирование устройства, в пакете 3D моделирования спроектирован корпус устройства и распечатан на 3D-принтере, изучена среда программирования Arduino IDE, написано ПО для управления компонентами, оформлен набор классов для расширения устройства другими компонентами. Выполнено сравнение полученного устройства с ныне существующими очками доп.реальности, выявлены их плюсы и минусы.

Научная новизна работы заключается в предложенном выборе оборудования и написание расширяемого программного обеспечения и предложение устройства как универсальной расширяемой платформе.

Апробация работы. Апробация работы проведена на научном семинаре Клуб юныхинженеров в МГТУ им. Н.Э.Баумана.

В рамках работы были решены следующие задачи:

Исследованы принципы работы устройств дополненной реальности.

Выбрана конструкция очков дополненной реальности.

Выбраны компоненты и спроектирован корпус.

Написано программное обеспечение для очков дополненной реальности.

Исследование эксплуатационных характеристик устройства в целом.

Выполнен анализ имеющихся на рынке прототипов и превосходства изобретения над ними.

Структура и объем работы. Работа состоит из пяти основных разделов.

В первом разделе рассматриваются существующие виды устройств доп.реальности, рассматриваются их достоинства и недостатки. Дается технико-экономическое обоснование целесообразности разработки своих очков доп.реальности как универсальной расширяемой платформы.

Во втором приведен список физических законов, лежащих в основе устройства с основными формулами.

В третьем разделе расписана элементная база и выполнен выбор основных компонентов для создания устройства. Так же описано программно-аппаратное обеспечение устройства. Описан принцип программирования и прототипирования.

В четвертом разделе приведены схемы готового устройства и дано описание конструкторского проектирования устройства.

В пятой главе описаны направления возможного дальнейшего развития устройства, описаны планы работ.

На основе вышеизложенных знаний сделано заключение о результате проделанной работы.

Общий объем работы 30 страниц, 26 рисунков, список использованных источников из 19 наименований, список сокращений и чертежи корпуса.

Результатом работы явились сконструированные очки дополненной реальности с минимизированными массогабаритными и стоимостными характеристиками в сравнении с существующими устройствами. Использование универсального контролера позволяет загружать расширяемое программное обеспечение для подключения разнообразных устройств и расширения сферы использования очков доп.реальности.

Работа имеет практическую ценность. Данное изобретение позволяет получать пользователю информацию с различных устройств в реальном времени, не отрывая взгляда на посторонние источники. Так же благодаря открытости платформы данное устройство может быть легко адаптировано под конкретные задачи в разных сферах жизни. Более совершенные очки дополненной реальности уже применяются при сложных медицинских операциях, однако они практически недоступны простым пользователям. Поэтому данная работа может послужить фундаментом для дальнейшего развития этого нового направления в мобильной электронике. Именно получение максимальной практической пользы и приобретение ценных знаний было основным приоритетным направлением. Открытая среда разработки позволяет каждому пользователю, имеющему небольшие навыки в программировании модифицировать готовое устройство

создав для него собственную программу. Это даёт стимул в развитии знаний программирования, а так же общетехнических знаний. Именно доступность благодаря низкой себестоимости служит стимулом в дальнейшем развитии данной работы, давая ей большие перспективы в её дальнейшем развитии.

Интерес представляет конструкция устройства – к обычным очкам сбоку был прикреплен корпус с управляющей платой и экраном, выдающим изображение, а к одному из очков полупрозрачное стекло, объединяющее в глазах изображение с экрана и вид из очков. Расстояние от экрана до стекла и от стекла до глаза подбиралось, чтобы достичь естественности изображения, максимальной резкости и не напрягать излишне зрение человека, одевшего очки.

Полученный результат стоит признать удачным – картинка получается очень четкой и реалистичной. Зрение объединяет вид из очков и изображение с экрана совершенно естественным образом, не создавая дискомфорта и не напрягая зрение.

Кроме того, данный прототип очень удобен своими маленькими габаритами (7см*2см) и своей мобильностью и может быть установлен на любые очки пользователя как дополнительный блок, в отличие отсутствующих устройства, которые включают в себя полный комплект с оправой из-за невозможности разместить компоненты в отдельном от очков блоке, а, следовательно, не универсальны. Предложенный же вариант мобилен и поэтому он может

использоваться в разных условиях, например, на природе, в домашних условиях, на массовых мероприятиях.

1. Общетехническое обоснование разработки цифровых очков дополненной реальности

1.1 Анализ существующих решений устройств дополненной реальности и их принципы работы

Благодаря высоким темпам развития науки и техники электронные устройства становятся более компактными и мобильными, доступными для массового потребления. Пример этого – смартфоны, давно уже ставшие просто необходимыми устройствами для каждого из нас. Следующей ступенью развития мобильной электроники в ближайшем будущем могут стать приложения дополненной реальности. Приложения дополненной реальности накладывают цифровую информацию на физический мир вокруг нас. С одним из таких приложений вы могли бы захватить видеосъемкой телефона изображение улицы города и получить на экране информацию об окружающих ее достопримечательностях.

Существуют два типа устройств – устройства виртуальной реальности (virtualreality) и устройства дополненной реальности (augmentreality).

Устройства виртуальной реальности обычно очень сложны и требуют чрезвычайно большой вычислительной мощности. Это ограничивает компактность и удобство ношения, требует скоростного канала для подключения к внешней вычислительной машине, снижая

области использования. Пока это неизученная территория, т.к. показывались лишь прототипы и рабочие образцы.

Устройства дополненной реальности относительно более просты, что делает возможным автономное использование и длительное ношение. Однако и они обрабатывают очень большой объём информации и требуют мощных вычислительных средств, что ограничивает время работы и портативность. А главное сильно поднимает стоимость изделия.

Многие мировые производители, такие как Sony, Epson и Microsoft [3] имеют на рынке или занимаются разработкой устройств дополненной реальности. Одними из самых известных на сегодняшний день очками дополненной реальности являются Google Glass от компании Google (см. рисунок 1.1.1). В будущем они могут полностью изменить то, как мы воспринимаем мир [11].

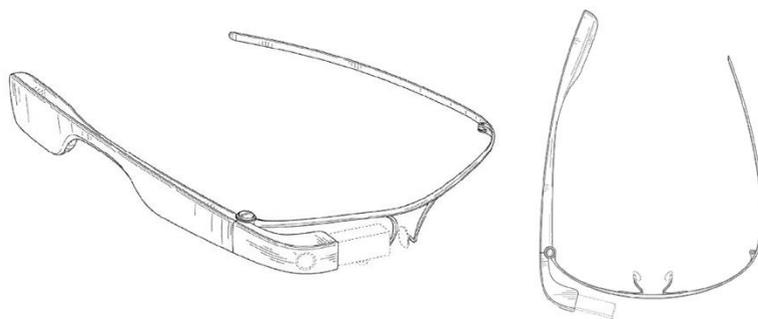


Рисунок 1.1.1 Пример реализации очков дополненной реальности Google Glass

Конструкция основной части с призмой этих очков дополненной реальности представлена на рисунке (см.рисунок 1.1.2).

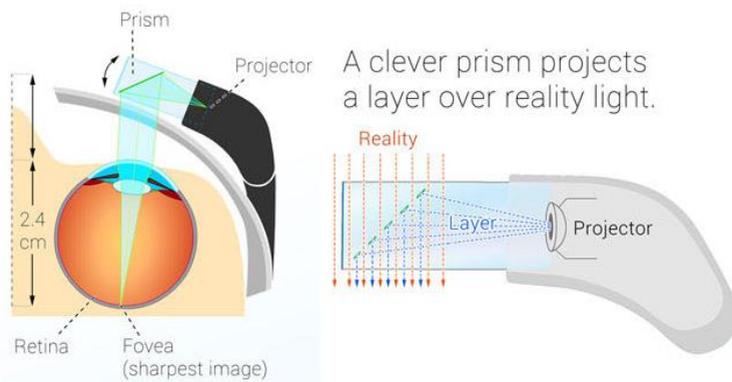


Рисунок 1.1.2- Устройство очков

Изображение с миниатюрного дисплея попадает в глаз, отразившись от наклонной поверхности в призме. Внутри призмы имеется прозрачная поверхность, отражающая свет. Подобного эффекта можно добиться, если составить призму из двух прямоугольных тетраэдров. Еще одной особенностью является перпендикулярное расположение дисплея. Благодаря такой конструкции получается максимальное уменьшение габаритов и увеличение качества. Все компоненты Google Glass, включая камеру в передней части для записи видео, объединены в один модуль и имеют шарнир для вращения в плоскости зрения, что позволяет подстроить их под индивидуальные особенности зрения пользователя. (см. рисунок 1.1.3)

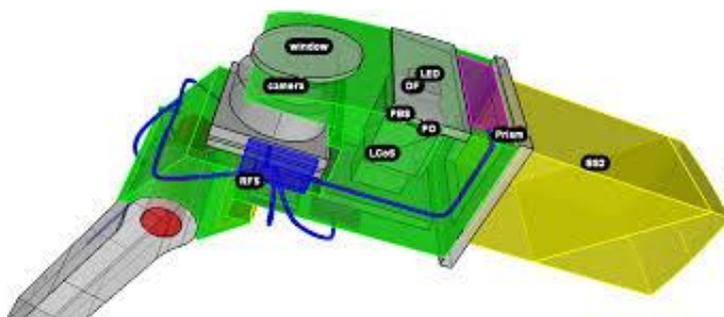


Рисунок 1.1.3- Конструкция очков GoogleGlass [17]

Сама идея вывода дополнительного изображения получила свою реализацию еще в начале 60-х годов двадцатого века с изобретением прицелов для сверхзвуковых истребителей. По классификации они делятся на стационарные ИЛС и нашлемные. Принцип действия индикатора на лобовом стекле (ИЛС) так же основан на отражении света с экрана от стекла, выполняющего роль зеркала. Однако это ограничивает мобильность пилота и не позволяет обеспечить постоянное расположение параметров в поле видимости пилота. По той же технологии работает нашлемный целеуказатель пилота (см.рисунок 1.1.4), однако до изобретения тонких малогабаритных дисплеев их конструкция была довольно громоздкой потому что изображение проецировалось с миниатюрного монитора с ЭЛТ. В современных же прицелах уже применяются LCDдисплеи, что позволяет существенно уменьшить габариты и энергопотребление подобных устройств [18].

цены, что несомненно является главной преградой к их распространению (см. таблицу 1.1).

Таблица 1.1 – Цена существующих приложений дополненной реальности

№	Наименование	Примечание
1	Google Glass	\$1500
2	Sony SmartEyeglass	\$840
3	Epson BT-200	\$700

Рассмотрим целесообразность собственной разработки.

Оценка существующих на рынке моделей приложений дополненной реальности приводит к необходимости создания аналогичного устройства, обладающего сходным функционалом и доступного каждому благодаря простой конструкции и низкой цене. Основные компоненты устройства приведены на рисунке (см. рисунок 1.2.1).

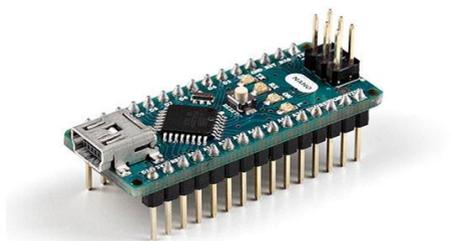
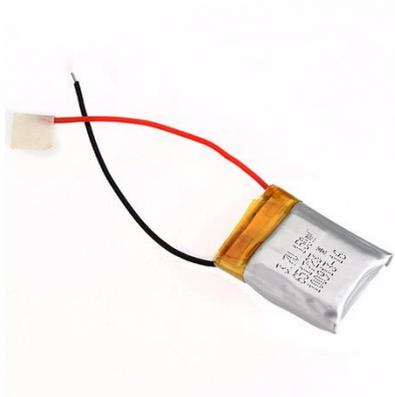


Рисунок 1.2.1 – Основные компоненты устройства

Цены комплектующих самого устройства, а так же общая сумма, включающая затраты на корпусирование и очки, взятые за основу представлены в таблице(см. таблицу 1.2). Цены указаны с учетом доставки и прочих затрат.

Таблица 1.2 – Цены комплектующих очков дополненной реальности

№	Название	Цена
1	OLED I2C Дисплей 128x64	\$4,50
2	Li-Po аккумулятор 150mAh	\$4
3	Arduino Nano (Или аналог)	\$3,50
4	Оправа очков	\$3
5	Оргстекло для зеркала и 3D печать корпуса	\$4
6	Соединительные провода и крепления	\$1
	Себестоимость устройства:	\$20

Соотношение цен всех компонентов представлены в следующей диаграмме (см. диаграмму 1). Данные для диаграммы были взяты из таблицы (см. таблицу 1.2).



Рисунок 1.3.1 – Диаграмма соотношения цен комплектующих

Цена 3D печати корпуса была рассчитана в программе и составила порядка 168 рублей. Себестоимость одного устройства составила по предварительным расчетам порядка 20\$.

1.3 Постановка задачи разработки цифровых очков дополненной реальности

Прежде всего основной задачей является техническое осуществление самой идеи вывода дополнительного изображения между глазом наблюдателя и окружающем миром.

Для ее этого требуется создать простой прототип устройства, который будет обладать определенными функциональными свойствами (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Функциональные параметры создаваемого прототипа

№	Название	Основные параметры
1	Дисплей:	разрешение 128x64 OLED
2	Время работы:	более 3 часов
3	Плата МК:	Arduino Nano
4	крепление на оправу очков	монолитное
5	Корпус:	отсутствует
6	Соединительные провода и крепления:	вдоль душки очков

Ориентируясь на эти параметры проходит создание первого прототипа, на котором проходит проверка самой технологии, выявляются недостатки и преимущества.

Выводы по главе 1

Рассмотрены существующие приложения дополненной реальности, перспективы самой идеи дополнительной реальности в будущем.

Оценка существующих приложений дополненной реальности показала, что существующие модели не доступны рядовому покупателю и на ряду с этим их выбор сильно ограничен.

Это объясняет причину создания аналогичного устройства, цена которого примерно в 35 раз меньше самого дешевого варианта из списка имеющихся устройств. Раскрыта тема цены используемых в

устройстве комплектующих, благодаря которым достигнут минимум в себестоимости.

Поставлены основные задачи и этапы на пути к созданию устройства.

Проведен предварительный расчет цены на корпус устройства. Расчетная цена устройства составила 20\$.

2 Физические принципы работы устройства

2.1 Общий анализ физических принципов

В основе устройства, как и в любом реальном устройстве, лежит множество физических законов. Это создает некоторую сложность в описание, т.к. одни из них настолько привычны и повседневны, что их приведение здесь кажется странными, а другие настолько сложны, что для их объяснения не хватает школьных знаний.

2.2 Отражение и преломление света

Наиболее важные законы, лежащим в основе работы прибора служат фундаментальные законы отражения и преломления света.

На границе раздела двух различных сред, если эта граница раздела значительно превышает длину волны, происходит изменение направления распространения света: часть световой энергии возвращается в первую среду, то есть отражается, а часть проникает во вторую среду и при этом преломляется. Луч АО носит название падающий луч, а луч OD – отраженный луч (см. рисунок 2.2.1). Взаимное расположение этих лучей определяют законы отражения и преломления света.

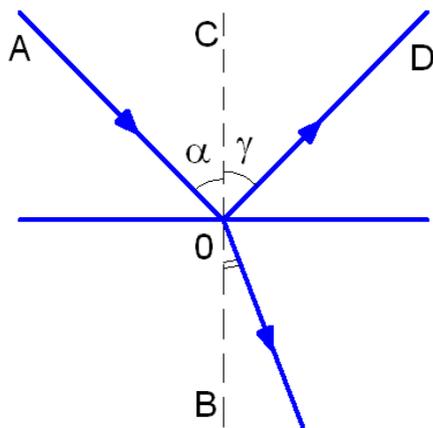


Рисунок 2.2.1. Отражение и преломление света [16]

Законы отражения света

1. Падающий луч, отражающийся луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости

2. Угол отражения γ равен углу падения α : $\gamma = \alpha$

Законы отражения света были найдены экспериментально ещё в 3 веке до нашей эры древнегреческим учёным Эвклидом. Также эти законы могут быть получены как следствие принципа Гюйгенса, согласно которому каждая точка среды, до которой дошло возмущение, является источником вторичных волн.

2.3 Органический светодиод

Органический светодиод (англ. *organiclight-emittingdiode*, сокр. OLED) — полупроводниковый прибор, изготовленный из органических соединений, эффективно излучающих свет при прохождении через них электрического тока.

Основное

применение OLED-технология находит при создании устройств отображения информации (дисплеев). Несмотря на сложность производства цветных экранов в продаже уже имеются некоторые образцы, однако они имеют большую цену. Схема цветного OLED дисплея представлена на рисунке снизу (см.рисунок.2.3.1).

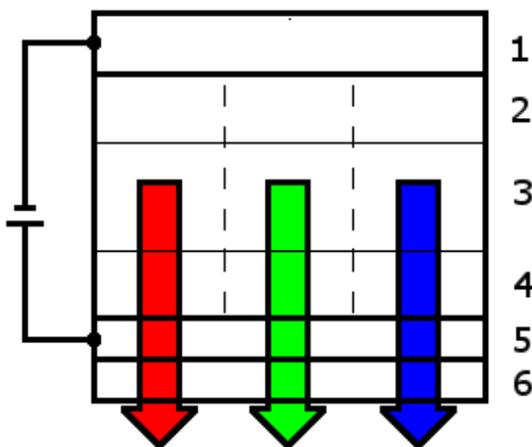


Рисунок 2.3.1 - Схема цветного OLED дисплея (1-Катод, 2,3,4-органическое покрытие, 5-Прозрачный анод, 6-Стекло)

Принцип действия

Для создания органических светодиодов (OLED) используются тонкоплёночные многослойные структуры, состоящие из слоев нескольких полимеров. При подаче на анод положительного

относительно катода напряжения поток электронов протекает через прибор от катода к аноду. Таким образом, катод отдает электроны в эмиссионный слой, а анод забирает электроны из проводящего слоя или, другими словами, анод отдает дырки в проводящий слой. Эмиссионный слой получает отрицательный заряд, а проводящий слой — положительный. Под действием электростатических сил электроны и дырки движутся навстречу друг к другу и при встрече рекомбинируют. Это происходит ближе к эмиссионному слою, потому что в органических полупроводниках дырки обладают большей подвижностью, чем электроны. При рекомбинации электрон теряет энергию, что сопровождается излучением (эмиссией) фотонов в области видимого света.

2.4 Линза

Для увеличения изображения с дисплея в конструкции устройства планируется использовать небольшую собирающую линзу.

В качестве материала линз обычно используются оптические материалы, такие как стёкла, оптические стёкла, кристаллы, оптически прозрачные пластмассы и др. материалы. Отличительным свойством собирающей линзы является способность собирать падающие на её поверхность лучи в одной точке, расположенной по другую сторону линзы (см. рисунок 2.4.1).

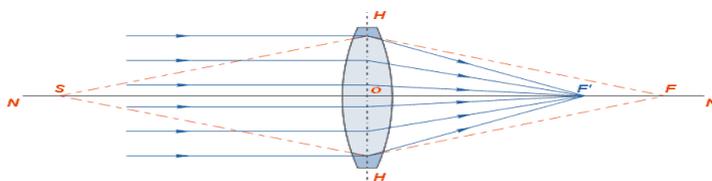


Рисунок.2.4.1 - Собирающая линза

Если на некотором расстоянии перед собирающей линзой поместить светящуюся точку S , то луч света, направленный по оси, пройдет через линзу, не преломившись, а лучи, проходящие не через центр, будут преломляться в сторону оптической оси и пересекутся на ней в некоторой точке F , которая и будет изображением точки S . Эта точка носит название просто фокуса. Для получения максимального изображения с дисплея необходимо что бы он находился на фокусном расстоянии линзы. Рассчитать расстояние от линзы до изображения или размер получившегося предмета можно по формуле тонкой линзы, имеющего для собирающей линзы следующий вид $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$. Через линейное увеличение линзы легко можно рассчитать размер предмета $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{d}{d_0}$. Так же рассчитать оптическую силу, зная ее радиусы кривизны и показатель преломления материала можно по формуле шлифовщика $\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$. Используя эти формулы можно так же провести расчёт сложной оптической системы из нескольких линз.

Выводы по главе 2

В главе рассмотрены основные физические принципы, лежащие в основе работы устройства с указанием физических законов. Там, где возможно, приведены формулы необходимые для расчета параметров выбираемых компонентов и места их размещения в устройстве.

3 Обоснование выбора элементной базы очков дополненной реальности

3.1 Выбор основных компонентов

3.1.1 Дисплей

Основным компонентом для создания ARочков служит дисплей. Размер его матрицы определяет размер картинки, видимой пользователем. Разрешение экрана влияет на качество изображения. По этим двум параметрам были выбраны дисплеи со стандартным размером матрицы 0.96” и разрешением в 128x64 пикселя. параметрам. С такими характеристиками существует довольно много вариантов. Но стоит определиться с выбором технологии работы дисплея. Обычные LCD для устройство не подходят, так как из-за постоянной LED подсветки пользователь все время будет видеть перед собой весь экран целиком как большой прямоугольник, мешающий взгляду. Поэтому использовался дисплей новой на сегодняшний день технологии OLED. Он не имеет общей подсветки и каждый пиксель светится независимо от других. Благодаря этому пользователю видно лишь включенные пиксели дисплея, а так же достигается высокая контрастность изображения. Еще одной проблемой использования

LCD в устройстве служит паразитивная дисперсия, проявляющаяся в скажении цвета и образовании радужных ареолов вокруг изображения при отражении от зеркала. Две технологии дисплеев представлены на рисунке (см. рисунок 3.1.1)

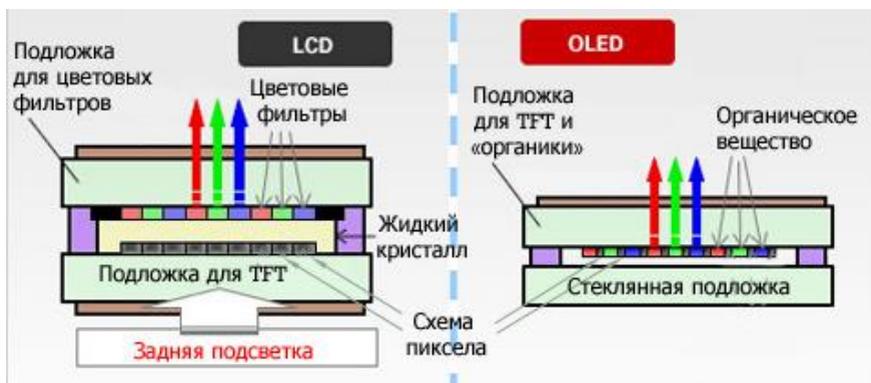


Рисунок 3.1.1 – Строение LCD и OLED дисплея [9]

Для удобства управления и минимизации соединительных проводов в очках, был выбран OLED 0.96'' 128x64 дисплей, управляющийся по I2C. Для работы с дисплеем была использована библиотека OLED_I2C.

3.1.2 Микроконтроллер Arduino

Как и многие другие проекты, ARочки удобнее всего делать на готовой аппаратной платформе. В качестве такой платформы была выбрана Arduino. Arduino — торговая марка аппаратно-программных средств для создания простых систем автоматики и робототехники, ориентированная на непрофессиональных пользователей.

Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ. Аппаратная часть - это набор плат, как официального производителем, так и сторонних производителей. Полностью открытая архитектура системы позволяет свободно копировать или дополнять линейку продукции Arduino [4].

Эта простая, дешевая и удобная платформа для прототипирования произвела своим появлением настоящую революцию, появилась стандартная платформа, имеющая мировую известность. Благодаря этому сейчас существует множество совместимых устройств. Отличительной особенностью Arduino является наличие плат расширения. Так, например, существуют платы расширения для подключения к локальной сети и интернету, для управления мощными моторами, для получения координат и времени со спутников GPS и многие другие. Из линейки существующих плат была выбрана ArduinoNano благодаря своим габаритам. Контроллер NanoV3 построен на МК ATmega328. Она имеет схожую с ArduinoUNOfункциональность, отличаясь сборкой. Отличие заключается в отсутствии силового разъема постоянного тока и разъема Mini-BUSB. Параметры ArduinoNano приведены в следующей таблице (см. таблицу 3.1). Такие параметры делают эту плату идеальной для создания простых мобильных устройств.

Таблица 3.1 – Параметры ArduinoNano [1]

Параметры	Значения
Габариты: (длина,мм ; высота,мм)	185x42
Постоянный ток через вход/выход	40мА
МК:	АТmega328
Рабочее напряжение:	5В
ОЗУ:	2КБ
Флеш-память:	32КБ
Тактовая частота:	16МГц

Наименование параметра	Тип электрохимической системы				
	SLA	Ni-Cd	NiMН	Li-ion	Li-Pol
Плотность энергии (Втч/кг)	30	40-60	60-80	100	150-200
Число рабочих циклов заряда / разряда (уменьшение емкости до 80 %)	<u>200-500</u>	<u>1500</u>	<u>500</u>	<u>500-1000</u>	<u>100-150</u>
Внутреннее сопротивление при напряжении 3,6 В (мОм)	Нет данных	100-200	150-250	150-250	Нет данных
Минимальное время заряда, часов	8-16	1,5	2-4	3-4	8-15

Устойчивость к перезаряду	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая	Нет данных
Саморазряд за месяц	5%	20%	<u>30%</u>	<u>10%</u>	Нет данных
Напряжение на элемент, вольт	2,0	<u>1,25</u>	<u>1,25</u>	3,6	<u>2,7</u>
Ток нагрузки	0,2 С	>2 С	(0,5-1,0) С	<1 С	0,2 С
<u>Диапазон рабочих температур</u> , градусов Цельсия	-20...60	-40...60	-20...60	-20...60	Нет данных
Периодичность обслуживания, дней	90-180	30	60-90	Нет требуется	Нет данных
<u>Стоимость одного цикла</u> , USD	0,1	0,04	0,14	0,1-0,2	0,6

3.1.3 Аккумулятор

Следующим важным компонентом является аккумулятор. О важности его выбора свидетельствуют действия такого производителя, как Samsung, отзывавшего тысячи смартфонов из-за неисправности этого компонента. На сегодняшний день для питания мобильных устройств, портативных компьютеров и прочего оборудования наиболее широко применяются аккумуляторы следующих электрохимических систем: герметичные свинцово-кислотные (SLA),

никель-кадмиевые (NiCd), никель-металлгидридные (NiMH) и литий-ионные (Li-ion).

Таблица 3.2 – Сравнительные характеристики разных типов аккумуляторов

Постепенно начинают завоевывать позиции в сфере сотовых телефонов и портативных компьютеров литий-полимерные (Li-Po) аккумуляторы. Для устройства требуется прежде всего имеющий низкие массово-габаритные параметры и при этом высокую емкость, элемент. Такими характеристиками обладают современные литиевые элементы питания. Среди литиевых аккумуляторов различают два основных типа - литий-ионные (Li-Ion) и литий-полимерные (Li-Po, Li-Po или Li-Pol). Разница между ними – в типе используемого электролита. Впрочем, жесткое разделение тут весьма условно, так как оба типа отличаются в основном используемым электролитом, и все, что будет сказано про литий-полимерные аккумуляторы, практически в полной мере относится и к литий-ионным. С практической точки зрения нас волнует только тот момент, что литий-полимерные аккумуляторы в настоящий момент обеспечивают более высокие разрядные токи. Сравнительные характеристики разных типов аккумуляторов приведены таблице (см. таблицу 3.2).

Нужными техническими параметрами обладают современные литиевые аккумуляторы по типу Li-Po. Поэтому в очках дополненной реальности использовался Li-Po аккумулятор емкостью 150mAh и напряжением 3.7Вольт. Несмотря на то, что рабочее напряжение

Arduino составляет 5 Вольт, плата имеет разъем питания на 3.5В для совместимости с устройствами, работающими с таким напряжением.

3.2 Среда разработки ПО

Программирование ведется целиком через собственную программную оболочку (IDE), бесплатно доступную на сайте Arduino. В этой оболочке имеется текстовый редактор, менеджер проектов, препроцессор, компилятор и инструменты для загрузки программы в микроконтроллер.

Для программирования Arduino чаще всего используется стандартный C++ (используется компилятор AVR-GCC), облегчающими новичкам написание

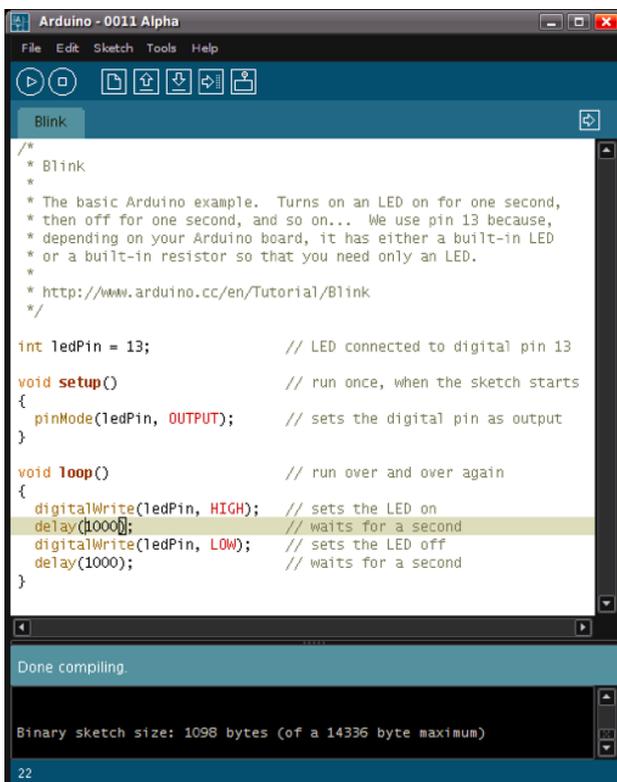


Рисунок 3.2.1 -

Среда разработки Arduino IDE [19]

первой работающей программы. Существует несколько других сред разработки и несколько языков программирования [6] (Sketch, Basic), ориентированных в основном на новичков. В работе использовался язык C++ и доступные в интернете пакеты-драйвера для устройств. ArduinoIDE с примером простой программы показана на рисунке 3.2.1

3.3 Среда прототипирования

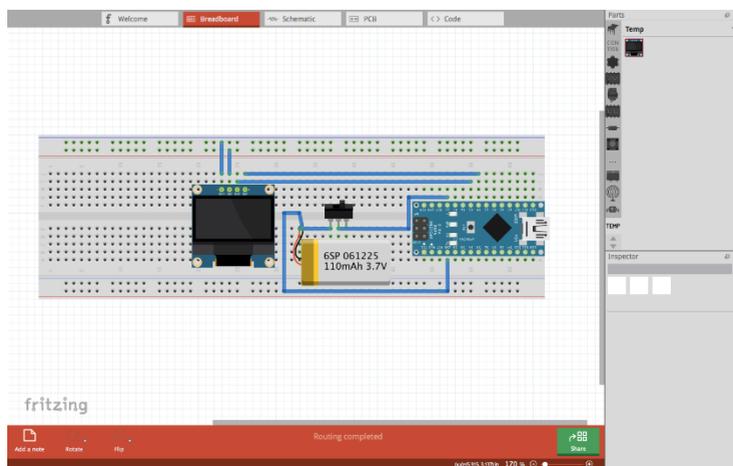


Рисунок 3.3.1 -

Собранная схема прототипа [8] устройства

Этап прототипирования проходил в программе Fritzing.

Fritzing — это замечательная бесплатная OpenSource программа проектирования и макетирования схем. Программа Fritzing предназначена для разработки электронных устройств от прототипа в виде макетной платы до конечного продукта в виде печатной платы.

Устройства создаются из готовых элементов, которые включают монтажную плату Arduino, различные аналоговые и цифровые микросхемы, транзисторы, светодиоды, резисторы, конденсаторы, кнопки, макетные платы, и батарейки. Выбранные для устройства компоненты были собраны на макетной плате для тестирования (см.рисунок 3.3.1)

Выводы по главе 3

Рассмотрены сравнительные характеристики различных элементов, необходимых для создания устройства, их состав и принципы работы. Проведен сравнительный анализ компонентной базы. Выбраны основные компоненты. В качестве дисплея был выбран 128x64 I2Сэкран, созданный по технологии OLED, потому что LCDимеет общую подсветку, что не позволяет достичь хорошего результата. Элементом питания был взят Li-Po аккумулятор, что позволило при низких массово-габаритных параметрах обеспечить длительное время работы устройтсва. Аппаратной платформой была выбрана Arduino. Это позволило разрабатывать ПО в ArduinoIDE. Подробный состав и функционал IDE так же были подробно рассмотрены. Приведен пример программы в данной среде разработки. Определившись с выбором основных компонентов, проходит прототипирование в среде Fritzing. В этой программе создана схема прототипа устройства.

4 Проектирование

4.1 Общая, функциональная и принципиальная схемы устройства

Общая схема работы очков дополненной реальности представлена на схеме (см.рисунок 4.3.1). Основным принципом работы здесь служит принцип отражения света. Благодаря прозрачности отражающей поверхности виден беспрепятственно так же и весь остальной падающий в глаз свет, то есть объединяет искусственно созданное изображение с реальным видимым глазом.

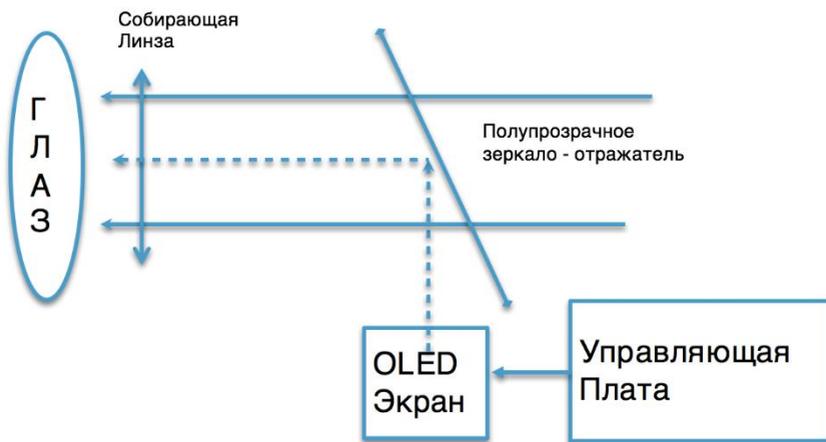


Рисунок 4.3.1 - Общая схема работы очков дополненной реальности

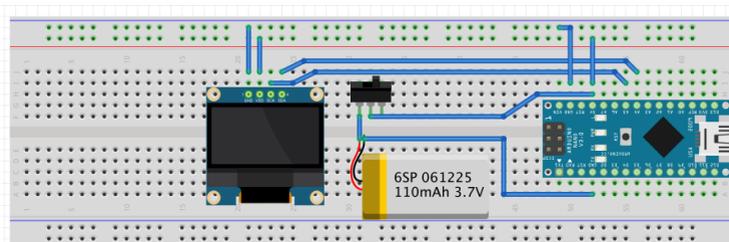


Рисунок 4.3.2- Структурная схема устройства



Рисунок 4.3.3 - Общий вид очков в сборе

4.2 Выбор расположения элементов

Самыми важными компонентами устройства является дисплей и плата контроллера. Поэтому концепция расположения основных компонентов строилась по расположению двух этих компонентов. Дисплей должен находится параллельно отражающему зеркалу для отсутствия искажений отраженного изображения. Предел аккомодации глаза человека составляет около 10см. Если изображение находится ближе, то глаз не может четко сфокусироваться на нем. Расстоянием наилучшего зрения принято считать 25см. Расстояние от глаза пользователя до видимого им изображения складывается из суммы

расстояний от глаза до зеркала и от зеркала до экрана. Если зеркало фиксировано на очках и это расстояние постоянно, то менять общее расстояние можно за счет экрана. Таким образом нельзя достичь величины наилучшего зрения только лишь за счет отдаления экрана от зеркала. При таком подходе размер устройства получится слишком большим для комфортного использования. Возможно использование собирающей линзы, с помощью которой, изменяя ее положение, можно было бы добиться увеличения изображения и адаптации к индивидуальным особенностям организма пользователей. Однако это потребовало бы пересмотра конструкции корпуса и существенного его усложнения. Поэтому на данном этапе работы было решено добиться средней величины в 15 см. Это меньше, чем рекомендуемая величина наилучшего зрения человека, однако больше предела аккомодации. Проведя серию экспериментов на первом прототипе было выбрано расположение зеркала и расположение экрана в 18 см.

4.3 Проектирование конструкции очков дополненной реальности

Отталкиваясь от самого принципа работы в начале было выбран материал для зеркала, которым послужило оргстекло. Прозрачный кусок оргстекла должен находиться под небольшим углом напротив дисплея. Как показали тесты восприятия картинки со смартфона, отражающегося в зеркале на очках, создавать устройство нужно именно для правого глаза. Для этого дисплей должен находиться справа, а зеркало на правой части очков, что бы пользователь получал картинку именно на правый глаз так как

большинство людей правши и их мозг лучше воспринимает картинку именно на правый глаз. Определившись с таким расположением двух главных компонентов последовало проектирование расположения платы контроллера и аккумулятора. Благодаря прямоугольной форме платы и ее небольшим размерам она легко поместилась вдоль правой душки очков. Для фиксации экрана первый прототип был оснащен двумя перекрестными S-образными рейками. Аккумулятор было решено поместить горизонтально между изгибом и платой. Рейки крепились к душке очков двумя зажимами.

Таким образом получился концепт конструкции первого прототипа устройства. Упрощенная конструкция позволила быстро создать прототип и провести на нем ряд тестов, который показал работоспособность концепции. Попытки проектирования новой конструкции уменьшенного зеркала, перенесенного с середины очков правую часть устройства показали, что невозможно уменьшить габариты зеркала без применения линзы. После этого было принято решение использовать зеркало на очках.

4.4 Технологическое проектирование очков дополненной реальности

Процесс проектирования начался с тестов первого прототипа устройства, не имеющего корпус. На нем было опробована новая конструкция монолитного зеркала, состоящего из одной полоски тонкого оргстекла. Однако было выявлено, что если размещать оргстекло по направлению мельчайших неровностей поверхности, то

происходит раздвоение картинки на сдвиг, равный толщине полоски. Так же используя зеркало непосредственно на самом устройстве невозможно достичь аккомодации глаза и нормального расстояния до изображения. По этому было применено выносное зеркало из небольшого куса оргстекла на самих очках. Закончив с тестами первого прототипа было выбрано наилучшее расположение основных рабочих компонентов устройства. Если изначально аккумулятор находился между дисплеем и платой контроллера, то для уменьшения габаритов было решено перенести его за экран. По размерам дисплея и платы был начерчен корпус устройства, состоящий из нижней части (см.рисунок 4.6.1) и крышки (см.рисунок 4.6.2). Все размеры корпуса были взяты исходя их габаритов основных компонентов. Дисплей крепится с помощью четырех винтов, для которых были сделаны крепежные места в корпусе. Аккумулятор же входит между крепежных мест дисплея и располагается под ним. Между платой и дисплеем имеется отверстие для выключателя питания. Для создания более красивых очертаний острые углы деталей были закруглены.

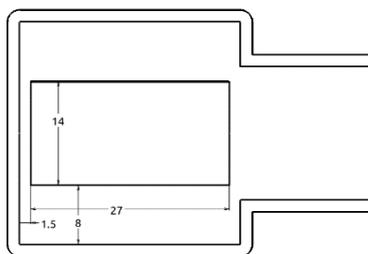


Рис. 4.6.2 - Крышка корпуса
устройства

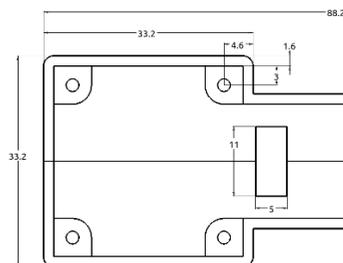


Рис.4.6.1 - Нижняя часть
корпуса

Для подключения USBкабеля к разъему платы контроллера предусмотрено отверстие (см.рисунок 4.6.3). Так же на чертеже показана толщина корпуса, величина которой складывается из суммы толщины аккумулятора и дисплея, плюс небольшая величина зазора для удобства монтажа.

Дизайн всех частей корпуса устройства представлен на следующем рисунке (см.рисунок 4.6.4). Зеленый цвет позволяет лучше рассмотреть все изгибы деталей.

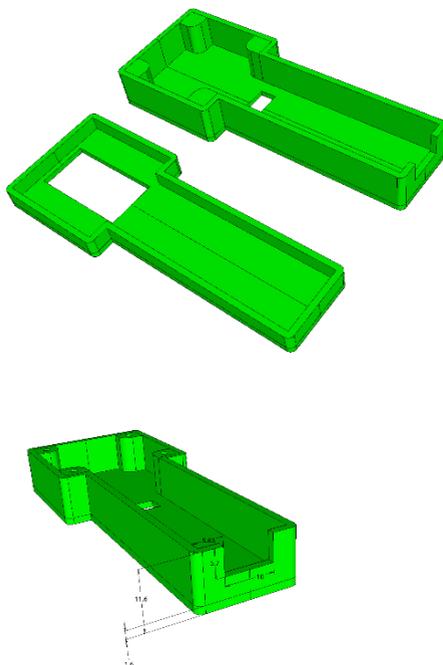


Рисунок 4.6.4 - Общий вид корпуса устройства

По созданному в САПР программе чертежу была построена модель в формате STL. Следующим этапом идет 3D[13]печать корпуса устройства. Первый корпус был напечатан из зеленого ABSпластика для лучшей визуализации дизайнерских и конструктивных особенностей деталей. Первое устройство было собрано именно в таком корпусе. Креплением на дужку очков служит два зажима. Однако такой корпус имел достаточно большой вес. По этому в последующей модификации была уменьшена на 0.4мм толщина стенки. Масса деталей корпуса показана в таблице (см.таблицу4.6.1)

Таблица 4.6.1 - Сравнение массы корпусов

Обычный	Масса, грамм	Облегченный	Масса, грамм
Нижняя часть	15	Нижняя часть	13
Крышка	8	Крышка	7

Такой вариант корпуса оказался лучше не только в плане уменьшения массы корпуса, а, следовательно, и готового устройства, но также это позволяет экономить пластик во время печати, что уменьшает себестоимость деталей.

Новая версия корпуса была напечатана из матового ABS пластика [10], так как он очень красиво сочетается с голубым цветом OLEDдисплея. Специально для этого был выбран синий переключатель питания. Сравнение с предыдущей моделью, а так же общий вид представлен на рисунке (см.рисунок 4.6.4).



Рисунок 4.6.4 - Новый корпус устройства в сравнении с предыдущей версией

Выводы по главе 4

Приведена общая и структурная схема устройства. Рассмотрены результаты испытаний первого созданного прототипа. На основе этих данных проведен процесс выбора расположения основных компонентов. Подробно рассмотрен процесс проектирования корпуса устройства со сравнением двух модификаций и обоснован выбор компонент.

5 Дальнейшие перспективы развития проекта

5.1 Улучшение корпуса очков, зеркала и платы

Корпус очков влияет на свойства очков – громоздкий корпус ухудшает потребительские свойства прибора. Поэтому планируется миниатюризация корпуса – разбиение его на две части – экран и управляющая плата с питанием, что позволит сделать прибор менее выступающим от оправы очков.

Так же планируется улучшить полупрозрачное зеркало, разместив его в более надежную оправу. В аналоге, таком как GoogleGlass, аккумулятор находится в задней части очков и служит балансиrom, уравнивая обе части. В данном устройстве аккумулятор находится в передней части под дисплеем, что уменьшает габариты устройства и упрощает конструкцию корпуса. Незначительный перевес передней части компенсируется в следующей версии Bluetooth-модуль в удлиненном корпусе.

Есть идеи использовать экран более высокого разрешения и более лучшей цветопередачи.

И, наконец, улучшения, относящиеся к плате и ее питанию – использовать пару аккумуляторов, соединенных параллельно или один большей емкости для увеличения времени автономной работы. Так же переключатель питания можно заменить кнопкой, что сохранит ещё больше места и придаст элегантности.

5.2 Связь со смартфонами и удаленное управление

Наиболее правильным подходом в создании носимой электроники представляется разделение функций прибора носимого устройства с другим внешним устройством (смартфоном или компьютером), находящимся рядом. Это снимает ограничения на мощность выполняемых алгоритмов. В таком случае управление и обмен информацией будет осуществляться по энергоэффективному протоколу Bluetooth. Для этого на очки планируется установить модуль Bluetooth HC-05 [7] (см. рисунок 5.1.1). Это позволит кардинально изменить возможности устройства. Рассматривается так же вариант кабельного подключения очков к смартфону, находящемуся в кармане.



HC-05 SUB-MODULE

Рисунок 5.1.1 Модуль Bluetooth HC-05

Но такая модификация приведет к переносу программирования на смартфон/компьютере. Это скажется положительно, так как более распространено и известно, и поэтому более просто. Но слишком радикально для включения в данную работу. В конечном результате планируется превратить устройство в простой монитор вывода

внешней информации. Монитор, который был бы всегда перед глазами у пользователя. Дешевое и компактное устройство имело бы большие перспективы развития и применения.

5.3 Улучшение программного обеспечения очков

доп.реальности

Программное обеспечение контролера Arduino выполняется на объектно-ориентированном языке высокого уровня C++. Это позволяет неограниченно расширять ПО очков. За счет стандартизации платформы практически с каждым устройством уже поставляется библиотека с набором классов и исходным кодом. Поэтому сама интеграция оборудования предельно проста.

5.4 Создание универсальной платформы разработки

Интерес представляет еще большее упрощение для нового разработчика использование программной платформы очков за счет создания универсальной, расширяемой и легко настраиваемой программной платформы для работы с данными очками. Для этого нужно все функции организовать в виде библиотеки-каркаса (framework), которую каждый разработчик сможет легко расширять и перестраивать используя объектно-ориентированные возможности C++.

Так же весь исходный код должен быть выложен в общедоступный доступ (используя стандартные сервисы GitHub/GitLab) и максимально распространен среди разработчиков.

5.5 Добавление новых функций

Прежде всего используя уже изученную библиотеку `OLED_I2C` работы с дисплеем возможно создать множество новых функций, таких как зеркальный вывод текста, так как пользователь видит отражение экрана. Добавив в устройство датчик наклона и гироскоп позволит создавать интерфейс с меню и простыми программами, управление в которых происходит при помощи движения головы. Открытость используемой платформы `Arduino` позволяет каждому стать разработчиком.

Выводы по главе 5

В главе рассмотрены планы на развитие и расширение представленного устройства (очков дополненной реальности). Описаны возможные расширения как компонентов устройства, так и общей схемы его использования. Планов гораздо больше, чем сделано. Во-первых, это объясняется недостатком времени в этом году из-за подготовки к поступлению в институт, а во-вторых, представленное устройство – это передний край, устройство из будущего, которое хотелось сделать доступным всем.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы создания и перспективы использования простого прототипа цифровых очков дополненной реальности. Его действие основано на отражении изображения с экрана от стекла, расположенного под углом, в глаз наблюдателя. Таким образом реализуется эффект получения дополнительного изображения.

В качестве управляющей платы используется контролер ArduinoNano, а разработка программ происходит в ArduinoIDE. Экран OLED с разрешением 128x64 управляется через I2C, что позволяет включить в шину несколько устройств и уменьшить количество соединительных проводов. Развитие проект получил при реализации устройства с напечатанным на 3D принтере корпуса и Li-Po аккумулятором большей емкости, а также переходом от фиксированного зеркала на левой части очков к компактному на самом устройстве. Дальнейшей задачей служит увеличение размере самого изображения, которое видит пользователь, чего возможно добиться с использованием линзы. На данном этапе работы устройство может работать с джойстиком игровой приставки NintendoWii, имеющим акселерометр. Прицел на экране перемещается вслед за движением джойстика. Так же создан ряд программ для различного применения и демонстрации графических возможностей экрана. Планируется установка Bluetooth модуля HC-05 для подключения к смартфону. Таким образом очки будут служить для отображения информации со смартфона.

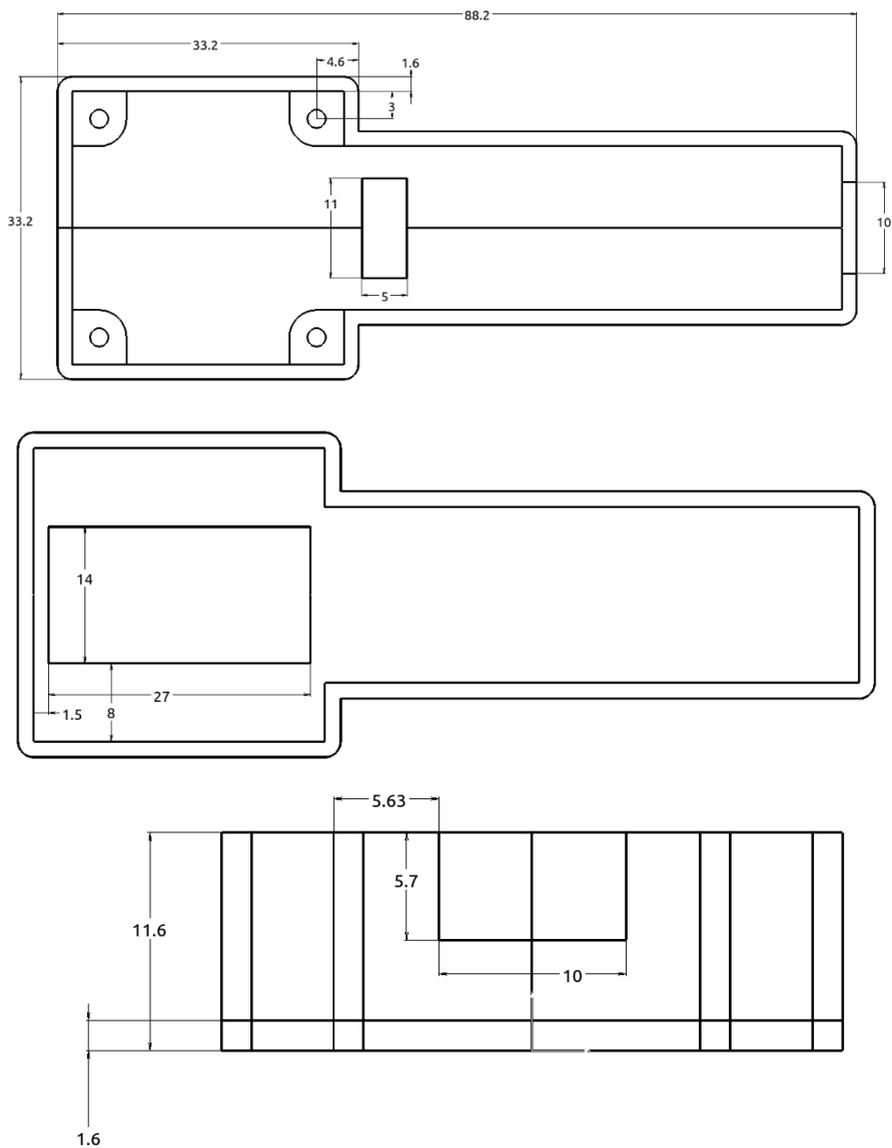
В дальнейшем очки дополненной реальности прочно войдут в нашу повседневную жизнь вместе со множеством других устройств.

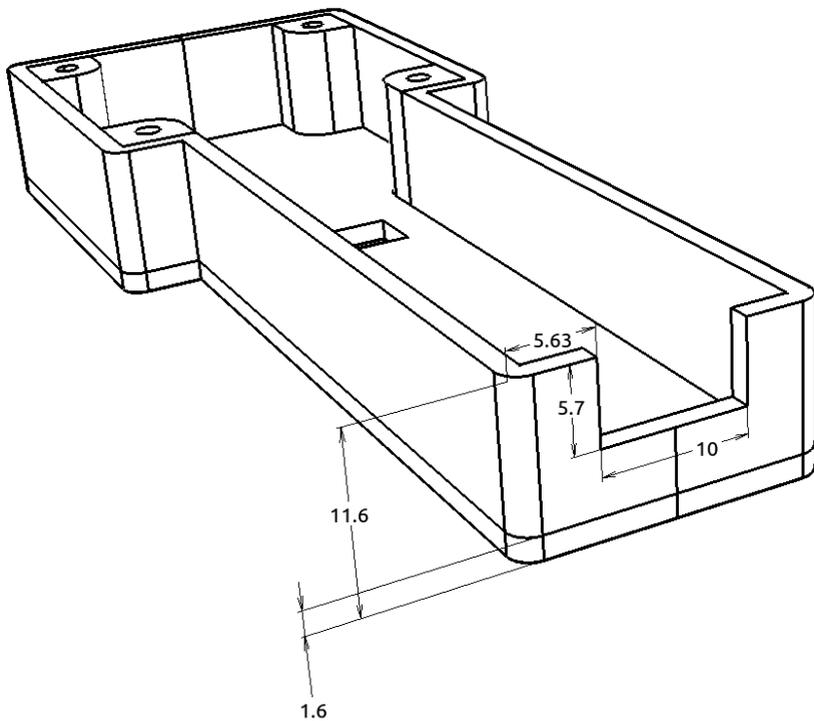
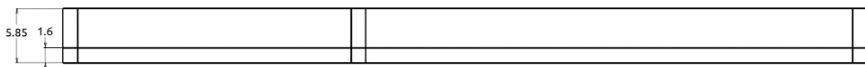
Список литературы

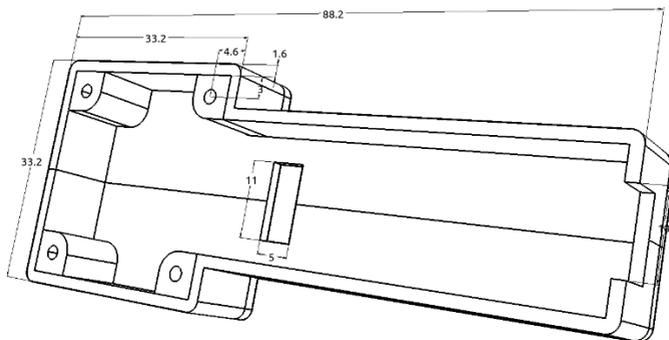
1. Электронная публикация. Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino> Проверено
2. Электронная публикация. Википедия MicrosoftHololens. Режим доступа https://ru.wikipedia.org/wiki/Google_Glass
3. Сайт проекта Arduino. Электронная публикация. Режим доступа <https://www.arduino.cc>
4. Большой справочник Arduino. Электронная публикация. Режим доступа <http://r2vr.ru/doku.php?id=arduino>
5. Серия статей Программирование Arduino с нуля. Электронная публикация. Режим доступа <http://Techy-news.com>
6. Алексей Перепелкин, Строим роботов и другие и другие устройства на Arduino
7. Александр Луцай, Подключение OLEDдисплея по I2C. Электронная публикация. Режим доступа <https://habrahabr.ru/post/313490/>
8. компания YotaDevices, Дисплеи: мифы и реальность, настоящее и будущее . Электронная публикация. Режим доступа <https://habrahabr.ru/company/yotadevices/blog/229513/>
9. компания MakeItLab, Вселенная для 3Дпечати. Электронная публикация. Режим доступа <https://habrahabr.ru/company/yotadevices/blog/229513/>

10. А.Томилин, В.Афанасьев, «Виртуальная реальность», Наука и жизнь, №2, 1999
11. Редакция «Разрабатываем роботов дома. Это вполне реально!», Наука и жизнь №2, 2017
12. Дмитрий Усенков, «Любители 3D печати объединяются», №9, 2012
13. Сообщество студентов Кировской ГМА «Лекция 24, Глаз и его функции»
14. Mhlife.ru«Строение и свойства глаза» , Технологии здоровой жизни
15. Кабардин О.Ф. Справочник школьника по физике, Москва, Просвещение 1998
16. Устройство Google Glass:
<http://www.androidauthority.com/how-it-works-google-glass-195912/>
17. Википедия индикатор на лобовом стекле. Электронная публикация. Режим доступа
https://ru.wikipedia.org/wiki/Индикатор_на_лобовом_стекле
18. СаймонМонкПрограммируем Arduino. Профессиональная работа со скетчами,
19. Massimo Banzi Getting Started with Arduino, O'REILY 2009

Приложение. Чертеж корпуса очков







**Исследование результатов посадки десантного модуля
Экзомарс-2016**

Седых Василий Олегович

г. Москва, ГБОУ «Школа №2127», 11 класс

Научный руководитель:

Лихачев Владимир Николаевич

*к.т.н., начальник сектора динамики полета КА
научного назначения,*

ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»,

1 Введение

Известно, что расстояние от Земли до Марса составляет от 56 до 400 млн. км, что делает невозможным прямой контроль посадки автоматических десантных модулей и очень затрудняет наблюдение. В случае неудачной посадки данных для использования в дальнейших работах оказывается очень мало.

Целью работы является определение и апробация методов наблюдения с Земли посадки десантных модулей исследования Марса.

2 Описание экспедиции

2.1 Цель и задачи экспедиции

Основной целью экспедиции «Экзомарс» является поиск доказательств существования в прошлом и настоящем жизни на Марсе [1].

Экспедиция включает два этапа – «Экзомарс-2016» и «Экзомарс-2020» [2].

Составной космический аппарат «Экзомарс-2016» состоит из орбитального («Trace Gas Orbiter, или «TGO») и спускаемого («Скиапарелли») аппаратов [2].

Общий вид КА «Экзомарс-2016» приведен на рисунке 1.

«TGO» обеспечил перелёт обоих аппаратов к Марсу и затем приступил к исследованию природы проявления различных газов в атмосфере Марса, особенно метана и водяного пара. Он определяет местоположение их источников на поверхности планеты и изменение во времени [2]. По прибытию десантного модуля «Экзомарс-2020» с марсоходом в 2021 году «TGO» будет действовать как ретранслятор данных.

2.2 Назначение десантного модуля «Скиапарелли»

«Скиапарелли» был разработан Европейским космическим агентством (ЕКА) для испытания технологии входа в атмосферу, спуска и посадки на поверхность Марса, а также короткой научной программы измерения электрических полей и замеров концентрации атмосферной пыли [3], [4].

Для посадки «Скиапарелли» был оснащён [4]:

- 1) лобовым теплозащитным экраном и тыльным защитным кожухом;
- 2) парашютной системой;
- 3) навигационно-управляющей системой с радаром, инерциальными измерительными устройствами и двигательной установкой.

У «Скиапарелли» отсутствовал долговременный источник энергии - для электроснабжения научных приборов использовались химические батареи [3].

Общий вид «Скиапарелли» приведен на рисунках 2 и 3.

2.3 Описание метода посадки

16.10.2016 года «Скиапарелли» отделился от орбитального аппарата до его торможения и выхода на орбиту. На высоте 122.5 километра при скорости 21000 км/ч (5.8 км/с) модуль вошёл в атмосферу Марса. В течение трех минут его скорость снизилась до 1650 км/ч за счет аэродинамического торможения с помощью лобового теплозащитного экрана, который разогрелся до 1500...1850 °С [6].

Общая схема посадки приведена на рисунке 4.

На высоте около 11 км был выстрелен из мортиры сверхзвуковой парашют, предназначенный для того, чтобы снизить скорость до дозвуковой. Парашют раскрылся за время около 1 секунды на стропах длиной 27 метров (рисунок 5) и затем теплозащитный экран был отделен от десантного модуля. Высота составляла 7 км на скорости 320 км/ч [6].

Затем на «Скиапарелли» был активирован радар Доплера для того, чтобы измерять расстояние и скорость относительно поверхности Марса [6].

Примерно через минуту после того, как теплозащитный экран отделился, модуль должен был сбросить высоту до около 3 км. Специально разработанная посадочная камера, направленная вниз, должна была начать делать серию снимков приближающейся и

вращающейся поверхности Марса. Переданные на Землю 24 часами позже, эти снимки должны были уточнить траекторию посадки и место приземления.

В момент, когда сенсоры должны были определить, что высота от поверхности составляет 1,3 км, защитный кожух должен был быть отделен вместе с парашютом, при этом скорость «Скиапарелли» должна была составлять от 250 до 270 км/ч [6].

Затем три кластера гидразиновых двигателей по три в каждом должны были заработать в пульсирующем режиме с целью снижения скорости спуска от 240 км/ч до 15 км/ч к моменту нахождения на высоте около 2 метров от поверхности. В этот момент все двигатели должны были выключиться и Скиапарелли должен был упасть на поверхность Марса [6].

3. Данные о посадке, которые можно получить

Методы наблюдения за процессом посадки могут включать:

- прямые – получение текущих и накопленных в бортовой памяти телеметрических данных через ретрансляторы, находящиеся на орбите Марса и радиотелескопы на Земле;

- косвенные – контроль баллистической информации и доплеровского смещения частоты бортовых передатчиков, баллистических данных наблюдаемого движения.

Посадка Скиапарелли наблюдалась на Земле радиотелескопом «GMRT», расположенным около Пуны в Индии. «GMRT» – это кластер из тридцати радиотелескопов, каждый с зеркалом диаметром в 45 м. Он является одним из крупнейших интерферометрических

радиотелескопов в мире 6 (рисунок 6). Данные «TGO» принимались станциями дальней радиосвязи в Калязине в Медвежьих Озерах (рисунок 7).

Несмотря на огромные размеры радиотелескопа (общий размер 25 км 8), с расстояния 175 млн. км 9 чрезвычайно сложно выделить полезный сигнал от передатчика мощностью 5,7 Вт 10. Эта мощность сопоставима с мощностью портативной рации - 5 Вт 11.

В процессе посадки ожидалось выделение несущей частоты передатчика и определение его скорости относительно «GMRT» по доплеровскому сдвигу частоты. Также ценной информацией было появление и пропадание радиосигнала от «TGO» при вхождении их в радиотень от Марса (Рисунок 8)

Наибольшей информативностью обладала прямая телеметрия, которую должны были принимать космические аппараты «TGO» и «Mars Express».

Космический аппарат «Mars Express», который вращается вокруг Марса с 2003 года, был специально подготовлен с целью записать информацию с «Скиапарелли». Примерно за полтора часа до достижения Марсианской атмосферы, десантный модуль вышел из режима энергосбережения. Одновременно «TGO» также достиг позиции, когда он мог принимать радиосигналы Скиапарелли. 6.

4. Математическое описание движения десантного модуля

4.1 Уравнения подлета и входа в атмосферу

Межпланетная траектория движения «Скиапарелли» и «TGO» в процессе перелета к Марсу показана на рисунке 9 – старт с Земли,

рисунке 10 – в момент подлета к Марсу. Движение осуществлялось под воздействием гравитационных сил со стороны Солнца, Земли, Марса и других тел Солнечной системы.

Движение в процессе межпланетного перелета описывалось уравнениями движения материальной точки в гравитационных полях системы тел и воздействием реактивного двигателя и представляло собой сложную пространственную кривую, близкую к эллипсу:

$$\ddot{\vec{r}} = -\vec{r} \sum \frac{GM_i}{|R|_i^3} + \frac{\vec{F}_{ДУ}}{m}$$

Здесь:

\vec{r} – вектор координат в инерциальной системе отсчета (x,y,z)

G – гравитационная постоянная $6,67428(67) \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$;

M_i – масса i -го небесного тела;

R_i – радиус-векторы от «Скиапарелли» до i -го небесного тела – Солнца, Земли, Марса, Юпитера и т.д.

$F_{ДУ}$ – вектор силы тяги двигательной установки = 424 Н 12.

m – масса составного КА TGO + Скиапарелли = 4932 кг 2.

Двигательная установка включалась специально так, чтобы «TGO» только немного «зацепил» атмосферу, погасив свою скорость дополнительно за счет двигательной установки, а «Скиапарелли» вошел в плотные слои атмосферы почти по касательной (рисунки 11 и 12). Первый виток эллиптической орбиты «TGO» показан на рисунке

13. Снижение апогея орбиты со временем за счет продолжающегося торможения в верхней атмосфере Марса и завершающих маневров – на рисунках 14-15.

На «Скиапарелли» было существенное воздействие торможения в атмосфере. Конечный участок его орбитального движения и начальный – аэродинамического торможения, показаны на рисунке 16.

4.2 Уравнения торможения в атмосфере

Атмосфера Марса начинается с высоты 120 км. Профиль атмосферного давления, плотности и температуры относительно высоты по данным 13 приведен в Таблице 1.

Значения плотности атмосферы Марса были интерполированы экспоненциальным законом с использованием программы «Curve Fitting toolbox» пакета MatLab, полученная формула приведена рядом с таблицей 1.

Уравнения торможения в атмосфере Марса от скоростного напора приведены ниже:

$$\ddot{x} = -\frac{S_m}{m} \vec{q}_x, \quad \ddot{y} = -g_m + \frac{S_m}{m} \vec{q}_y, \quad \vec{q} = \frac{|\vec{v}|^2 \rho}{2} \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|}$$

Здесь:

x – координата по касательной к поверхности Марса.

y – координата по нормали к поверхности Марса.

v – скорость.

g_m – ускорение свободного падения на Марсе = 3,711 м/с².

q – скоростной напор.

ρ – плотность атмосферы (углекислый газ) (см. таблицу 1, 13).

S_m – площадь миделя Скиапарелли = 4,5 м² (диаметр 2,4 м) 4.

m – масса Скиапарелли = 577 кг 4.

В пакете MatLab (программа приведена в Приложении 2) мною были проведены расчеты снижения «Скиапарелли» при вхождении в атмосферу Марса под начальными углами 2°, 7°, 12°, 17°, 22° и 27° к горизонту.

Графики координат, скорости, скоростного напора от времени приведены на рисунке 17. Окончание графиков соответствует нулевой высоте.

Для всех расчетов приняты начальная скорость 5800 м/с и начальная высота 120 км. 6

При угле входа в атмосферу 27° скоростной напор составляет до 34000 Па, торможение происходит за 60 секунд с максимальным ускорением 265м/с² при скорости 4800 м/с. Мощность, выделяющаяся в этот момент, равна 714 МВт.

На нулевой высоте вертикальная скорость составляет -1200 м/с

При угле входа в атмосферу 2° скоростной напор составляет до 15500 Па, время 220 секунд, максимальная перегрузка 120м/с² на скорости 3000 м/с. Мощность, выделяющаяся в этот момент, составила 203 МВт.

На нулевой высоте вертикальная скорость составляет -500 м/с

Выводы, которые можно сделать из расчетов:

- 1) Угол входа должен быть малым.
- 2) Для торможения необходим парашют.

В реальности, по окончании участка аэродинамического торможения скорость составляла 450 м/с (1650 км/ч, число Маха 2), высота около 7000 м, когда и был открыт сверхзвуковой тормозной парашют, при помощи которого скорость была снижена до 100 м/с (320 км/ч).

На рисунке 18 приведен рисунок с результатами расчета температурного поля при торможении.

4.3 Модель и уравнения снижения на реактивных двигателях

Движение в процессе снижения на реактивных двигателях упрощенно можно представить как движение материальной точки под действием постоянной гравитационной силы и силы тяги ДУ, а также как вращательное движение под действием моментов сил ДУ:

$$\ddot{x} = g_m - \frac{\sum F_{ДУi}}{m} \quad \text{- поступательное движение в вертикальном}$$

направлении

Здесь:

x – координата в направлении поверхности Марса

g_m – Ускорение свободного падения на поверхности Марса

$F_{ДУi}$ – сила тяги i -го двигателя = 400 Н 14;

m – масса «Скиапарелли» = 577 кг 4.

$$\ddot{\alpha} = \frac{F_{ДУ} * L}{J} \quad \text{- вращательное движение в поперечном}$$

направлении

Здесь:

α – угол отклонения от вертикали по любой из осей

$F_{двi}$ – сила тяги i -го двигателя = 400 Н 14;

J – момент инерции «Скиапарелли» по любой из осей = около 40 кг*м².

L – плечо приложения силы тяги работающего двигателя ДУ = 1,2 м 4.

Мной было проведено моделирование вращательного движения. При моделировании принято, что шаг управления и минимальное время работы двигателя составляет 0,1 сек. Двигатели используются в релейном режиме, отключаясь или включаясь по одному при угле наклона в «плохом» направлении больше 0,1 радиана и отключаясь, если угол меньше.

Начальные условия: высота 300 м, скорость 100 м/с, угловая скорость 5°/с.

На рисунке 19 приведен график колебаний этой упрощенной системы управления.

Из графика видно, что при таком алгоритме управления происходит постепенная раскачка «Скиапарелли» как по углам, так и по угловой скорости, которая в конце концов приведет его к перевороту.

Для борьбы с этим явлением используются специальные законы управления, когда решение на включение или отключение двигателей принимается с учетом угловой скорости или отключая двигатель при других пределах, чем включая.

5. Результаты анализа имеющихся материалов

5.1 Анализ данных радиотелескопов в Индии

Как показали измерения доплеровского сдвига при помощи «GMRT» 6, 16, были зафиксированы два толчка, вызванные сбросом аэродинамического экрана и раскрытием парашюта (рисунок 20).

Они произошли в подходящее для этих событий время, что дало первые данные о том, что, по крайней мере, вход в атмосферу Марса прошел успешно.

Фотография из центра управления полетом радиосигнала, который принимался на «GMRT» на фоне общих шумов, показан на рисунке 21. Она показывает, насколько слабо выделялся этот сигнал на фоне шумов.

Следующие данные поступили от «TGO» через станции дальней космической связи России – точно в заданное время вхождения в радиотень связь прекратилась (Рисунок 8), что также показало точность точки входа в атмосферу. Дальнейший выход из «TGO» из радиотени в точно заданное время также подтвердил успех торможения для орбитального аппарата. 15.

В то же время сигнал «Скиапарелли» неожиданно пропал и больше не появился 15.

5.2 Анализ данных, полученных непосредственно от десантного модуля

К счастью, «TGO» записал около 600 мегабайт данных от «Скиапарелли» и затем передал их на Землю. По этим данным было установлено, а впоследствии уточнено расчетами (17, 18), что в момент

раскрытия парашюта «Скиапарелли» получил в 6 раз большие возмущения, чем предполагалось, инерциальный измерительный блок вошел в насыщение информации и ошибочно в течение 1 секунды удерживал специальный сигнал. Навигационное программное обеспечение в течение 1 секунды ошибочно считало угловую скорость по одному из каналов равной $187,5^\circ/\text{с}$ вместо настоящей (рисунки 22, 23), 18, повернуло расчетный угол ориентации КА на около 200° и продолжило расчет при неправильном угле. В результате через 85 секунд интегрирование ускорений и угловых скоростей полностью нарушилось, значение высоты оказалось отрицательной, что привело к аварийному завершению последовательности посадки - сбросу парашюта и заднего кожуха, отключению двигателей и оборудования для посадки, включению оборудования для работы на поверхности 18.

«Скиапарелли» совершил свободное падение с высоты от двух до четырёх километров и разбился о поверхность на скорости более 300 км/ч б.

5.3 Данные, полученные впоследствии

Впоследствии были обнаружены следы падения «Скиапарелли», а затем сделаны фотографии с высоким разрешением. На рисунках 23 и 24 показано место предполагаемого падения «Скиапарелли» до и после события, На рисунке 25 – фотография места с высоким разрешением, на рисунке 26 – в цвете.

Размеры кратера (2,4 м в диаметре и 0,5 м глубина) дополнительно показали, что «Скиапарелли» упал на поверхность со скоростью около 300 км/ч. б.

5.4 Причина аварии

Если бы не были получены данные непосредственно от «Скиапарелли», то даже незначительного количества данных от «GMRT», станций в Калязине и Медвежьих Озерах было бы достаточно, чтобы локализовать причину аварии:

1) Межпланетный перелет и наведение для входа в атмосферу Скиапарелли прошли штатно.

2) Скиапарелли был работоспособен непосредственно до момента аварии, циклограмма отделения экрана и выпуска парашюта происходила штатно.

3) Авария произошла при включении двигательной установки.

Таким образом, причина аварии была локализована в системе управления и реактивных двигателях.

В результате исследований телеметрических данных, полученных от «Скиапарелли», была сделано заключение:

1) К аварии привели одновременно 3 несоответствия, не выявленные при наземной отработке:

– превышение возмущений от выпуска парашюта расчетных значений;

– несоответствие длительности формирования сигнала «насыщение» гироскопом

– ошибочное поведение программного обеспечения.

2) Ситуацию усугубили:

– отсутствие коррекции данных навигации от доплеровского радара.

– отсутствие полноценной отработки процесса посадки на моделирующем стенде – вместо гироскопа использовалась его математическая модель, поведение которой соответствовало документации, а не самому прибору;

– недостаточные по факту запасы по насыщению гироскопа;

– отсутствие в алгоритмах адаптивной настройки предела насыщения гироскопа – он мог без насыщения измерять скорости вплоть до 375 °/с, но при более частом опросе – вместо 10 раз/секунду – 20 раз/секунду, что можно было довольно просто распознать и реализовать программно.

– отсутствие отработки на стендах случаев экстремальных возмущений от парашюта.

Выводы и заключение

Несмотря на скудность полученной информации был с большой точностью определен момент аварии и, затем, комплекс наиболее вероятных причин.

Анализ этих причин позволяет сделать предложения по улучшению дальнейших экспедиций, а именно:

1) Необходимость очень точных расчётов угла входа в атмосферу, возмущений от нее, в том числе на парашют, раскрывающийся на сверхзвуковых скоростях.

2) Усиленная отработка двигательной установки, динамики и законов управления.

3) Усиленная отработка бортового программного обеспечения.

Данные, полученные в результате даже неудачной посадки Скиапарелли, научили нас многому и будут использованы в дальнейших экспедициях и, в частности, в экспедиции Экзомарс-2020.

17

Автор выражает благодарность научному руководителю и коллективу разработчиков НПО им. С.А. Лавочкина за предоставленные материалы, консультации, практическую и методическую помощь.

Список литературы

1. <http://exploration.esa.int/mars/46048-programme-overview/> The exomars programme 2016-2020
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзомарс> Программа Экзомарс
3. <http://exploration.esa.int/mars/48898-edm-science-payload/> Schiaparelli science package and science investigations
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Скиапарелли_\(спускаемый_аппарат\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Скиапарелли_(спускаемый_аппарат)) Спускаемый аппарат Скиапарелли
5. <http://exploration.esa.int/mars/46124-mission-overview/> Exomars trace gas orbiter and schiaparelli mission (2016)
6. <http://www.russianspaceweb.com/exomars2016-edm-landing.html> ExoMars-2016 landing
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Марс> Марс.
8. http://www.gmrt.ncra.tifr.res.in/gmrt_hpagen/GMRT/intro_gmrt.html Giant Metrewave Radio Telescope

9. <http://blogs.esa.int/rocketscience/2016/03/09/the-big-blog-post-how-exomars-go-schiaparelli-get-to-where-theyre-going/> Rocket Science Blog
10. EXM-RM-MAN-QIQ-00001. ExoMars UHF Transceiver User Manual.
11. <http://old.kbberkut.ru/d50.htm> Рация Хантер.
12. <http://exploration.esa.int/mars/46475-trace-gas-orbiter/> Параметры TGO
13. European Mars Climate Database version 5.0
14. <http://exploration.esa.int/mars/47852-entry-descent-and-landing-demonstrator-module/> Технические данные на Скиапарелли
15. http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/ExoMars/Live_updates_ExoMars_arrival_and_landing Live updates: Exomars Arrival and Landing
16. https://www.gazeta.ru/science/2016/10/20_a_10259855.shtml#page2 Почему пропал сигнал с марсианского зонда «Скиапарелли»
17. http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/ExoMars/Schiaparelli_landing_investigation_makes_progress
18. Schiaparelli Flight and Anomaly. Official ESA presentation 07/02/2017.

Приложение 1. Иллюстрационные материалы



Рисунок 1. Общий вид КА Экзомарс-2016

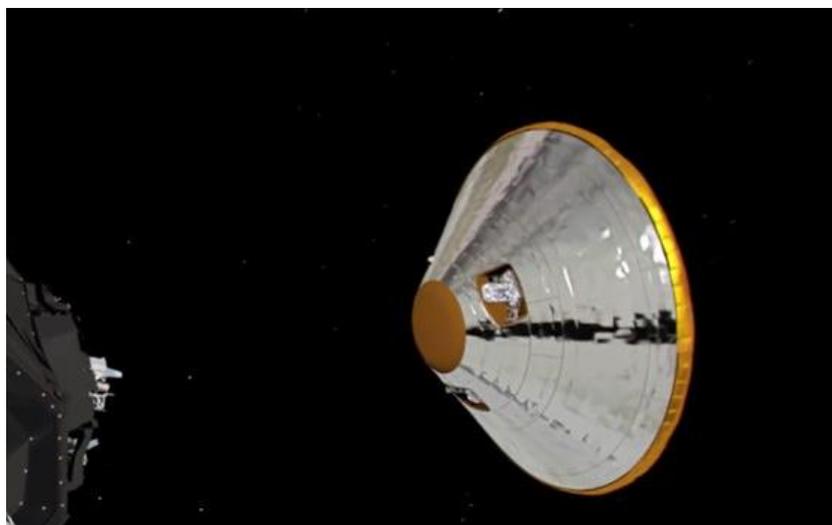


Рисунок 2. Общий вид Скиапарелли после отделения от TGO

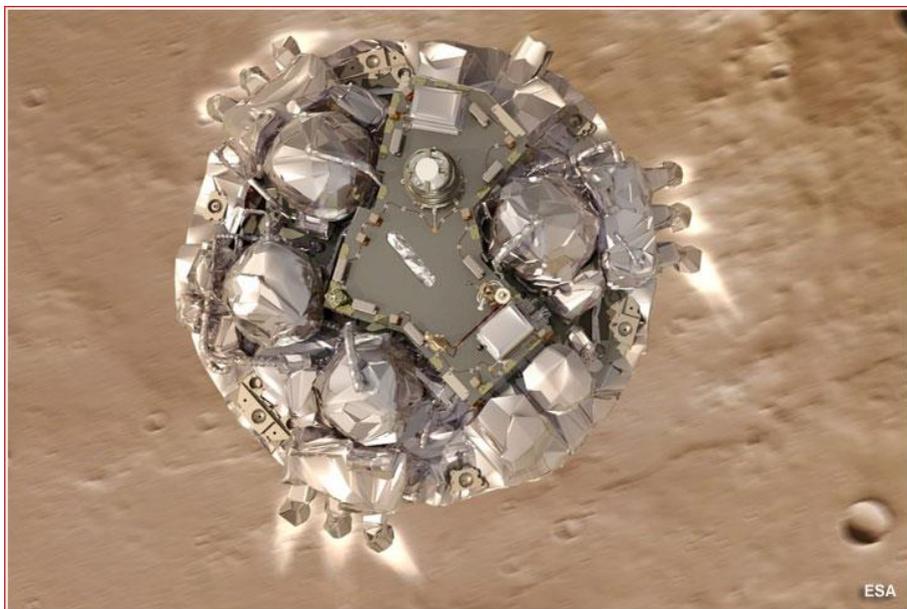


Рисунок 3. Общий вид Скипарелли после отделения теплового экрана.



Рисунок 4. Общая схема посадки Скипарелли

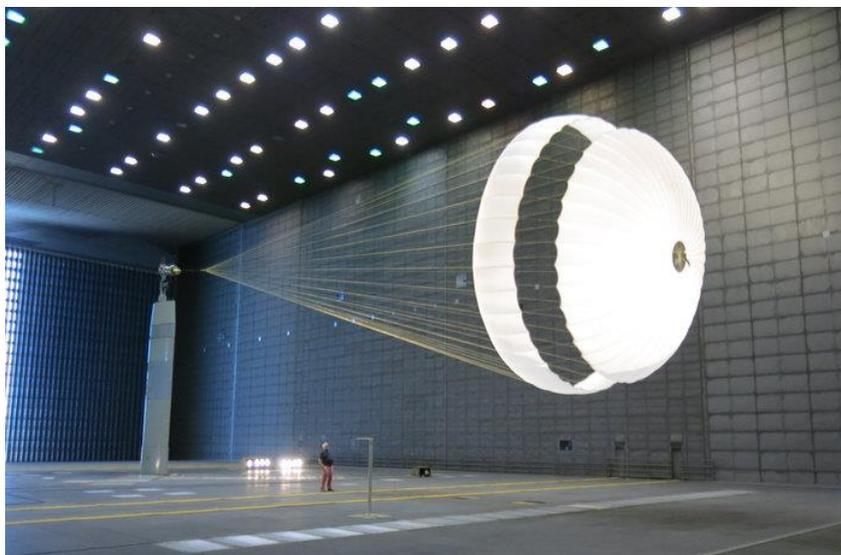


Рисунок 5. Фотография тормозного парашюта Скиапарелли.



Рисунок 6. Общий вид радиотелескопов БМРТ



Рисунок 7. Общий вид станции дальней космической связи в Калязине

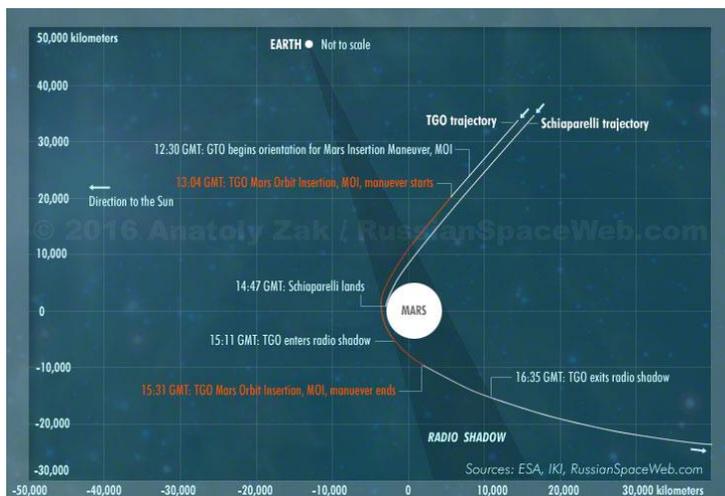


Рисунок 8. Баллистическая схема посадки Скиапарелли и радиотени.

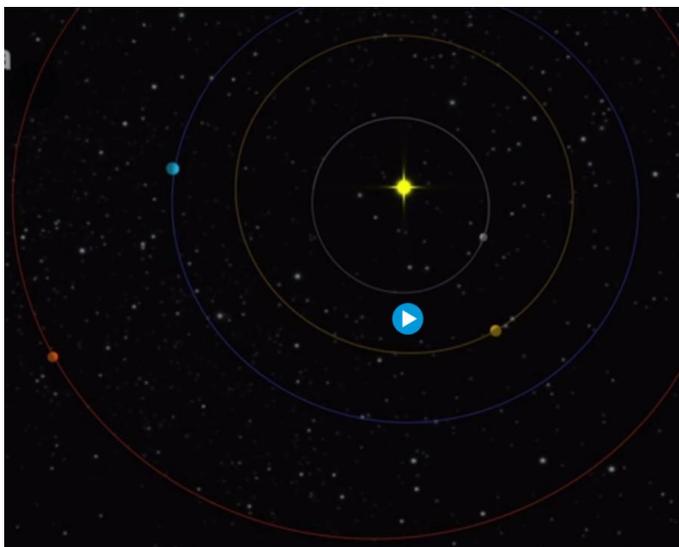


Рисунок 9. Траектория движения при перелете к Марсу – точка старта с Земли.

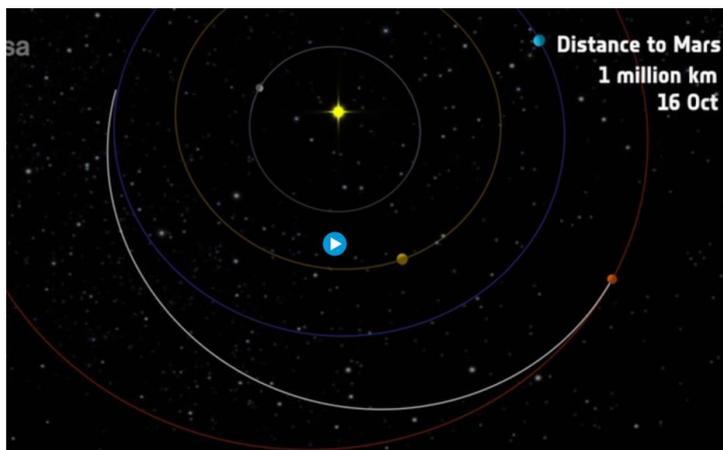


Рисунок 10. Траектория движения при перелете к Марсу – точка подлета к Марсу.



Рисунок 11. Траектория движения Скиапарелли и TGO в момент начала посадки.

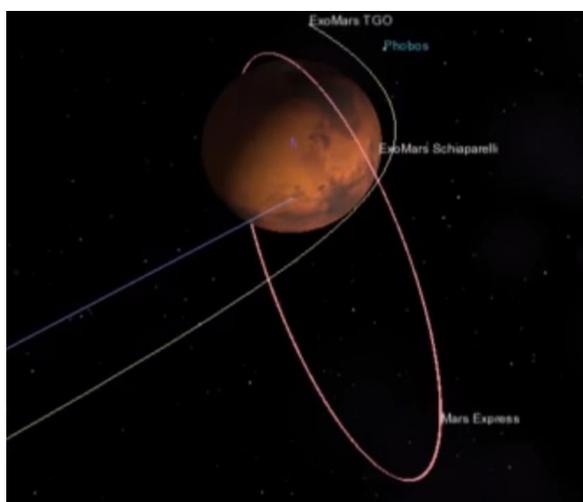


Рисунок 12. Траектория движения TGO при облете TGO Марса.

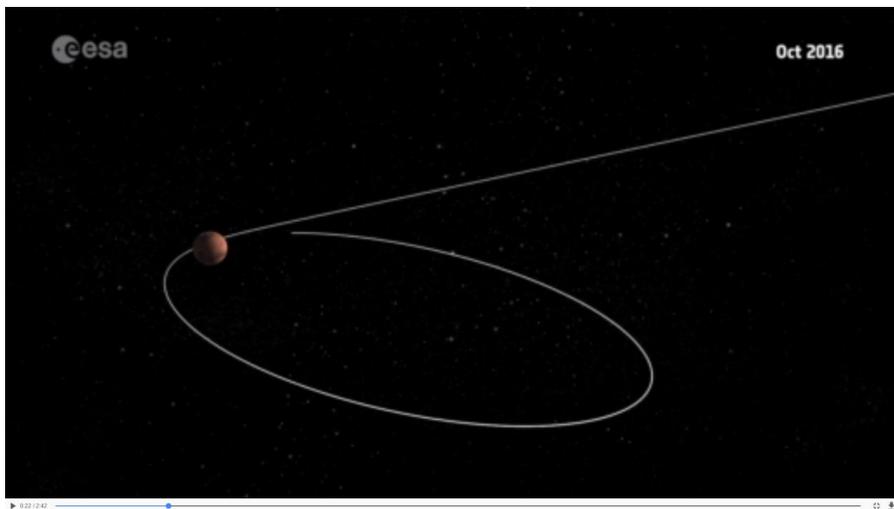


Рисунок 13 Первый виток эллиптической орбиты TGO

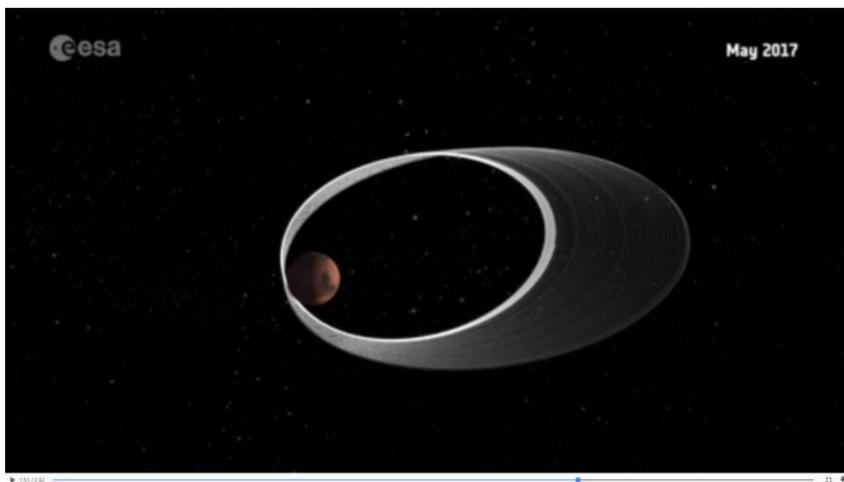


Рисунок 14. Снижение апогея орбиты TGO за счет торможения в верхней атмосфере Марса

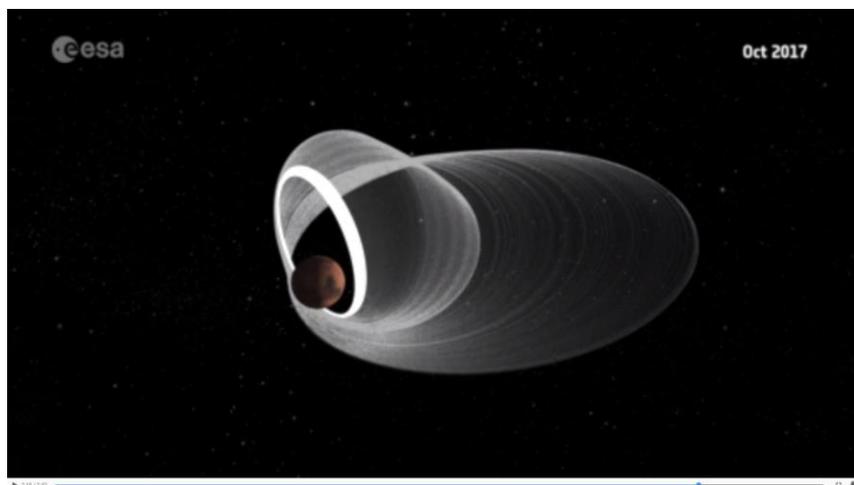


Рисунок 15. Завершающие маневры TGO для выхода на целевую орбиту наблюдения

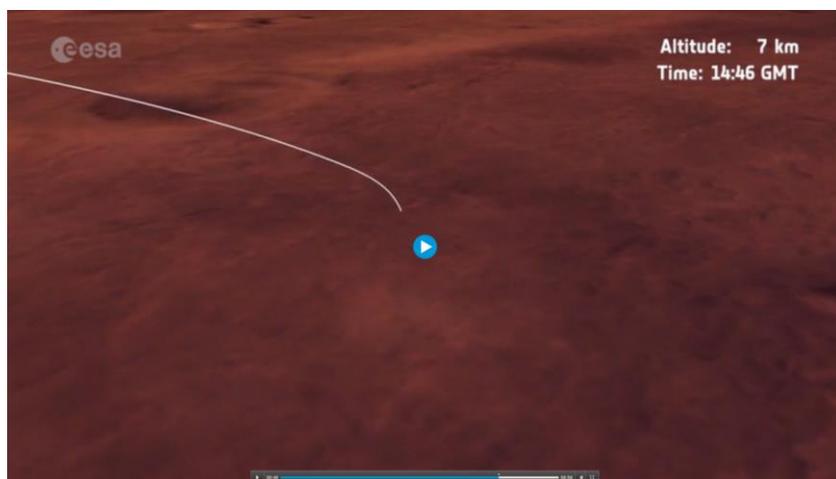


Рисунок 16. Начало торможения Скиапарелли в атмосфере Марса

Таблица 1 Значения давления, плотности и температуры атмосферы Марса от высоты (значения в СИ).

Высота, м	Давление, Па	Плотность, кг/м ²	Температура, К	Высота, м	Давление, Па	Плотность, кг/м ²	Температура, К
127357,984 400	0,000134	0,000000	160,777000	7100,8618 16	402,15100 0	0,010025	210,525000
75338,3359 40	0,131135	0,000004	162,096000	7082,9511 72	402,81300 0	0,010041	210,540000
44614,1210 90	6,413610	0,000222	151,182000	7077,4033 20	403,01800 0	0,010046	210,545000
37905,1210 90	14,902600	0,000497	157,178000	6694,2744 14	417,44200 0	0,010389	210,875000
34085,8203 10	23,547700	0,000763	161,929000	6352,0390 63	430,76300 0	0,010706	211,185000
30936,9960 90	33,313800	0,001048	166,882000	5971,0239 26	446,00900 0	0,011066	211,602000
28304,6113 30	45,905300	0,001399	172,062000	5651,4843 75	459,12400 0	0,011358	212,212000
26148,3632 80	58,426200	0,001750	175,096000	5413,3901 37	469,08600 0	0,011571	212,797000
24208,5195 30	71,608200	0,002115	177,580000	5406,5644 53	469,37500 0	0,011577	212,814000
22529,2539 10	85,740000	0,002503	179,805000	5399,9980 47	469,65300 0	0,011583	212,830000
20901,2070 30	102,01300 0	0,002942	181,860000	5092,4443 36	482,83100 0	0,011865	213,592000
19435,4804 70	117,54600 0	0,003356	183,898000	5049,0732 42	484,71800 0	0,011906	213,700000
18019,1816 40	136,25300 0	0,003818	187,213000	5006,2133 79	486,59100 0	0,011946	213,808000
16874,5156 30	154,91500 0	0,004271	190,314000	4963,6206 05	488,45900 0	0,011985	213,914000
15724,1826 20	174,49200 0	0,004740	193,232000	4930,9311 52	489,89800 0	0,012016	213,996000
14539,3632 80	196,71500 0	0,005263	196,066000	4817,7006 84	494,91900 0	0,012123	214,281000
13524,7343 80	218,11300 0	0,005768	198,431000	4655,8574 22	502,20700 0	0,012279	214,691000
12454,6035 20	242,03300 0	0,006324	200,826000	4459,1123 05	511,23200 0	0,012471	215,195000
11395,9804 70	267,32800 0	0,006905	203,093000	4176,7441 41	524,49100 0	0,012739	216,173000
10303,4990 20	297,21900 0	0,007597	205,375000	3565,9360 35	553,87300 0	0,013301	218,605000
9221,03613 3	329,23700 0	0,008331	207,369000	2541,1284 18	606,68400 0	0,014287	222,970000

8644,32128 9	347,35800 0	0,008747	208,376000	2007,6357 42	635,46200 0	0,014784	225,685000
8147,53320 3	363,89000 0	0,009128	209,241000	1305,7778 32	675,07100 0	0,015457	229,325000
7755,7729 49	377,92600 00	0,00944 9	209,9610 00	517,8508 30	721,6040 00	0,01623 5	233,3880 00
7745,8295 90	378,2840 00	0,00945 8	209,9700 00	129,4721 68	745,3010 00	0,01659 8	235,7840 00
7741,2441 41	378,4500 00	0,00946 1	209,9740 00	35,96215 8	751,0300 00	0,01663 9	237,0070 00
7127,0908 20	401,1840 00	0,01000 2	210,5030 00	14,10302 7	752,3390 00	0,01660 4	237,9280 00

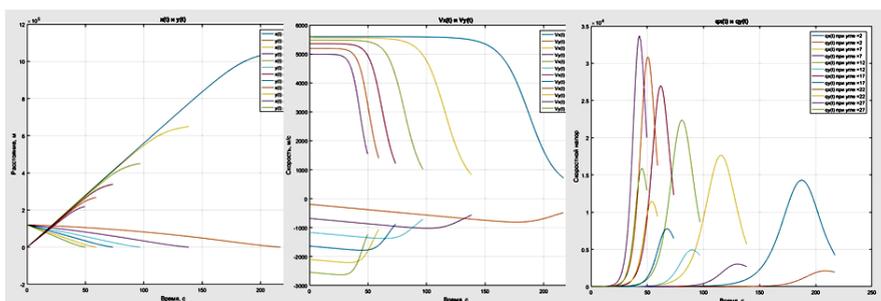


Рисунок 17. Графики координат, скорости и скоростного напора от времени при аэродинамическом торможении при различных углах входа в атмосферу.

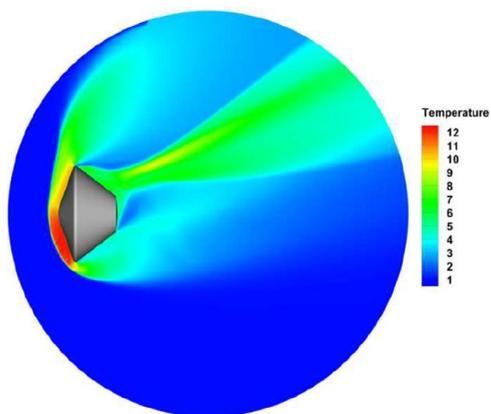


Рисунок 18. Распределение теплового потока во время аэродинамического торможения. Температура безразмерная. Число Маха 7,5.

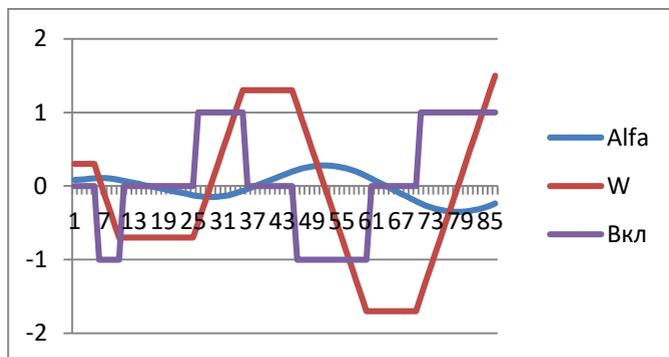


Рисунок 19. Графики угла, угловой скорости и ускорения от времени при работе двигательной установки без специального алгоритма.

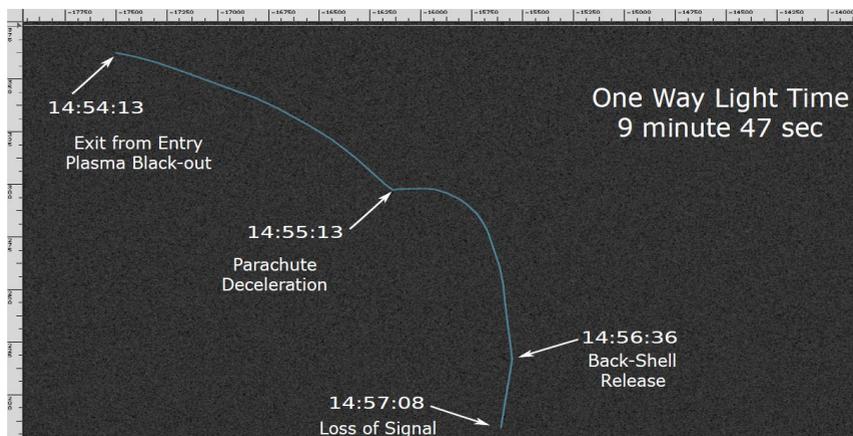


Рисунок 20. Доплеровское изменение частоты сигнала, зафиксированное «GMRT»



Рисунок 21. Радиосигнал, который принимался на «GMRT» на фоне общих шумов.

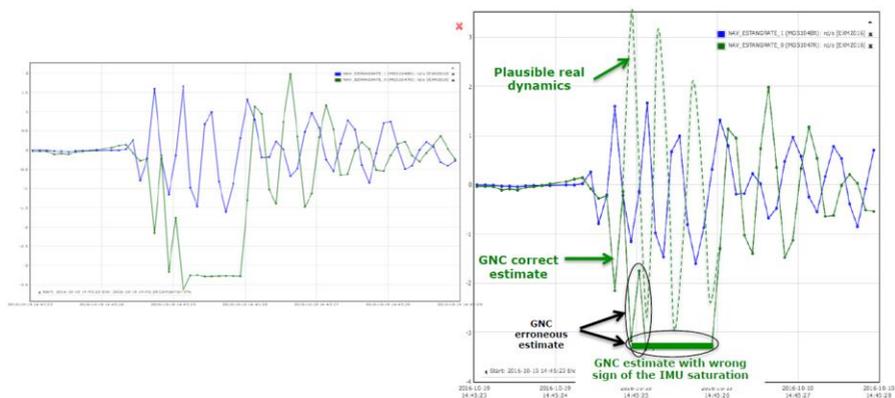


Рисунок 22. Насыщение гироскопа и ошибочные измерения системы управления.

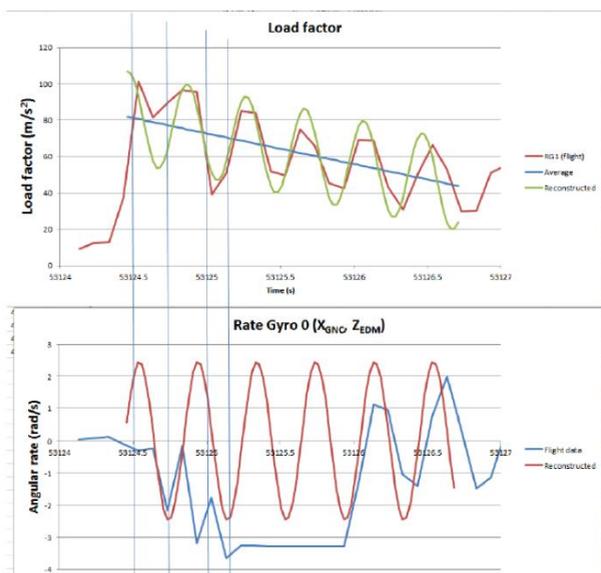


Рисунок 23. Связь данных акселерометра и датчика угловой скорости гироскопа.

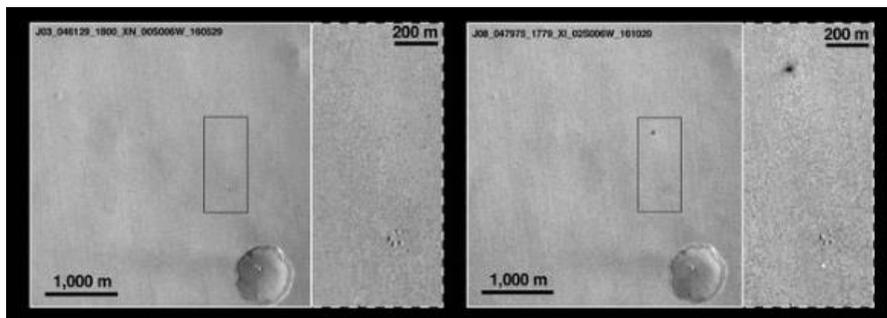
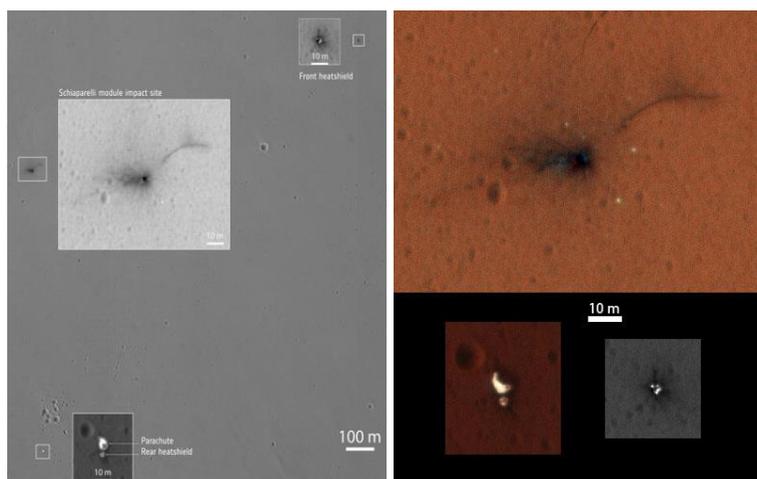


Рисунок 24 и 25 Фотографии предполагаемого места посадки
Скиапарелли до и после события.



Рисунки 26 и 27 Фотографии места посадки Скиапарелли.

Приложение 2. Текст программы на MatLab

```
%% Начальные условия

t = 0:1000; % Максимальное
            время интегрирования

opts = odeset('Events', @myevents); % Условие
остановки интегрирования

x0 = 0; % начальная
координата по касательной

y0 = 120000; % начальная
координата по нормали

v0 = 5600; % начальная
скорость

Test_angles = 2:5:27; % диапазон
углов входа в атмосферу

%% Инициализация графиков

f_xy = figure; f_vxvy = figure; f_qxqy = figure;

legLabelsX = ''; legLabelsV = ''; legLabelsQ = '';

%% Расчет для заданного диапазона углов

for j=1:length(Test_angles)
```

```

    Angle = Test_angles(j);           % Угол входа в
атмосферу

    vect = [x0 v0*cos(deg2rad(Angle)) y0 -
v0*sin(deg2rad(Angle))];

                                           % Вектор
состояния в момент t0

[t, Y] = ode45(@My_ODE, t, vect, opts); %
Интегрирование

    dens = ROATM(Y(:,3));             %
Плотность атмосферы

    qx   = Y(:,2).*Y(:,2).*dens/2;    %
Скоростной напор по x

    qy   = Y(:,4).*Y(:,4).*dens/2;    %
Скоростной напор по y

% Добавление линий на графики

sAngle = num2str(Angle);

figure(f_xy);

plot(t, Y(:,1), t, Y(:,3));

legLabelsX = [legLabelsX {strcat('x(t) при
угле =', sAngle)} {strcat('y(t) при угле =',
sAngle)}];

```

```
hold on

figure(f_vxvy);

plot(t, Y(:,2),t, Y(:,4));

legLabelsV = [legLabelsV {strcat('Vx(t) при
угле =', sAngle)} {strcat('Vy(t) при угле =',
sAngle)}];

hold on

figure(f_qxqy);

plot(t, qx, t, qy);

legLabelsQ = [legLabelsQ {strcat('qx(t) при
угле =', sAngle)} {strcat('qy(t) при угле =',
sAngle)}];

hold on

end

%% Подписи к графикам

figure(f_xy);

grid on;

title('x(t) и y(t)')

xlabel('Время, с'); ylabel('Расстояние, м');
legend(legLabelsX);
```

```
figure(f_vxvy);
grid on;
title('Vx(t) и Vy(t)')
xlabel('Время, с'); ylabel('Скорость, м/с');
legend(legLabelsV);

figure(f_qxqy);
grid on;
title('qx(t) и qy(t)')
xlabel('Время, с'); ylabel('Скоростной напор');
legend(legLabelsQ);

function [ res ] = My_ODE( t,vect )
    dx = zeros(2,1);
    dy = zeros(2,1);
    gm = 3.711;      Sm = 4.5;      m = 577;
    dens = ROATM(vect(3));

    dx(1) = vect(2);
    qx     = vect(2)*vect(2)*dens/2;
    a = -Sm*qx/m;
```

```
dx(2) = a;

dy(1) = vect(4);
qy     = vect(4)*vect(4)*dens/2;
a      = -gm + Sm*qy/m;
dy(2) = a;

res = [dx; dy];

end

function Fatm = ROATM(x)
    a =      0.0327;
    b = -0.0001077;
    c =     -0.01595;
    d = -0.0001594;
    Fatm = a*exp(b*x) + c*exp(d*x);
end

function [ value, isterminal, direction ] =
myevents( t, y )
    e = (y(3) > 0);
    value = int32(e);
```

```
    isterminal = 1;  
    direction = 0;  
end
```

**Разработка информационной системы прогнозирования
кредитной задолженности в банке**

Сироткин Егор Дмитриевич

г. Москва, ГБОУ «Лицей №1564», 11 класс

Научный руководитель:

Червяков Максим Игоревич

студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана

1. Актуальность проблемы, цель и содержание работы

1.1 Обзор показателей кредитной системы российских банков.

Состояние экономики России значительно повышает степень рисков, которым подвергается банк при проведении активных операций. На первое место выходят риски невозврата кредитов.

Кредит – это ссуда, предоставленная кредитором (в данном случае банком) заемщику под определенные проценты за пользование деньгами. Кредиты выдаются физическим и юридическим лицам. [3] Рост проблемной задолженности перед банками является на настоящий момент одним из наиболее обсуждаемых в банковском сообществе вопросов. Актуальность данного вопроса в ближайшем будущем будет расти и останется одной из наиболее важных банковских тематик еще как минимум в течение нескольких лет.

Просроченная задолженность – это своевременно не произведенные платежи поставщикам, кредитным учреждениям, финансовым органам, работникам. К сожалению, до сих пор не выработан оптимальный механизм решения проблемы просроченной

задолженности перед банками, нет ответа на многие вопросы, связанные с управлением проблемными активами. Каждый банк выбирает для себя пути работы с проблемными долгами самостоятельно в соответствии с его структурой, практикой взаимодействия служб банка, объемом и спецификой кредитного портфеля, степенью его «проблемности». [2]

Объем просроченной задолженности в российской банковской системе по итогам 2014 года, по данным Центробанка РФ, увеличился на рекордные 1,1 триллиона рублей до 3 триллионов на 1 января 2015 года.– см. в Рис.1. До этого максимальный годовой прирост объема просроченной задолженности был почти в 2 раза меньше. В связи с высокими темпами роста просроченной задолженности ее доля выросла с 3,8% на 1 января 2015 до 5,3% на 1 января 2016 года. [1]



Рис.1 Динамика объема и годового темпа прироста просроченной задолженности п кредитам физическим лицам

Банку для оценки кредитных рисков, т.е. определения максимально возможного убытка, который может быть получен банком с заданной вероятностью в течение определенного периода времени, необходимо чётко знать сумму денежных средств, которую заемщики вернут без просрочки.

1.2 Система работы банков с просроченной задолженностью.

Основными направлениями работы банка по снижению уровня проблемных активов и предотвращению их возникновения являются:

1) теоретическое, связанное с анализом сформулированной проблемы;

2) прикладное, целью которого является создание условий (в частности формирование соответствующих организационных структур) для реализации намеченных программ по работе с проблемными активами.

Базовым направлением следует считать теоретический анализ, поскольку его результаты определяют и практическую деятельность банка в данной области.

Большинство банкротств российских банков, как показывает анализ, связано с некачественным управлением активами, включая, в первую очередь, управление кредитным портфелем. Это остаток задолженности на определенную дату по всем выданным банком кредитам как физическим, так и юридическим лицам.

Показатель	1.01.15	1.01.16	1.04.16	1.05.16	1.06.16
Просроченная задолженность по кредитам, депозитам и прочим размещенным средствам, млрд.руб.	1978,0	3046,6	3122,7	3148,7	3167,0
Из нее:					
- по 20 крупнейшим по величине активов кредитным организациям, млрд. руб.	1404,5	2033,2	2047,7	2078,9	2064,1
Удельный вес просроченной задолженности в общей сумме кредитов, депозитов и прочих размещенных средств банковского сектора, %	3,8	5,3	5,6	5,7	5,7
Просроченная задолженность в рублях					
- млрд.руб.	1725,9	2537,1	2652,6	2716,9	2737,3
- в % от общей суммы кредитов, депозитов и прочих размещенных средств в рублях	4,7	6,8	7,1	7,2	7,3
Просроченная задолженность в иностранной валюте					
- млрд.руб.	252,1	509,5	470,1	431,8	429,7
- в % от общей суммы кредитов, депозитов и прочих размещенных средств в иностранной валюте	1,7	2,5	2,5	2,4	2,4
- в долларовом эквиваленте, млрд. долл.	4,5	7,0	7,0	6,7	6,5
Просроченная задолженность по кредитам и прочим средствам, предоставленным нефинансовым организациям	1250,7	2075,9	2121,3	2118,2	2128,8
доля просроченной задолженности в общем объеме кредитов и прочих средств, предоставленных нефинансовым организациям	4,2	6,2	6,6	6,7	6,8
Просроченная задолженность по кредитам и прочим средствам, предоставленным физическим лицам	667,5	863,8	889,2	891,3	906,5
доля просроченной задолженности в общем объеме кредитов и прочих средств, предоставленных физическим лицам	5,9	8,1	8,4	8,4	8,6

Табл.1. Динамика и структура просроченной задолженности по кредитам, депозитам и прочим размещенным средствам. [4]

Эта ситуация усугубляется, в частности, нестабильным финансово-экономическим положением заемщиков в неопределенно изменяющихся макроэкономических условиях переходного периода. К макроэкономическим причинам относятся: скачкообразные изменения уровня инфляции и валютных курсов; отсутствие действенного законодательства (включая налоговое), защищающего интересы как

банков, так и промышленных предприятий и стимулирующее их поступательное развитие; общая стагнация производства в кризисные периоды и т.п. К микроэкономическим причинам можно отнести: преобладающее неэффективное использование оборудования, его значительный моральный и материальный износ; отсутствие не только собственных источников капиталовложений, но и оборотных средств; низкую квалификацию управленческого персонала и потерю квалифицированных специалистов из-за низкой и систематически не выплачиваемой заработной платы и др. К макро- и микроэкономическим причинам добавляются еще и сложившиеся морально-этические нормы формирования и поддержания деловых связей: для России их особенность состоит в том, что даже кредитоспособные заемщики не спешат своевременно возвращать долги по кредитам, полученным в «пошатнувшихся» банках. Все это приводит к тому, что реальный уровень проблемной и просроченной ссудной задолженности в отечественных коммерческих банках значительно выше, чем среднемировой показатель.

В настоящее время серьезной проблемой является отсутствие применимых на практике инструментов прогнозирования исследуемого показателя. Особенно актуальны вопросы прогнозирования данного показателя для банков, в которых аудит проводится по международным стандартам финансовой отчетности, и руководители которых ставят задачу уменьшения реально сложившегося уровня показателя до среднемировой его величины.

Кредиторскую задолженность принято разделять на текущую и просроченную.

Текущей называется кредиторская задолженность по обязательствам, сроки погашения которой не истекли (по условиям соответствующего договора или срокам исковой давности).

Просроченной признается задолженность, не погашенная в течение установленных договором сроков. Если предельные сроки определены договором, то задолженность становится просроченной по истечении указанного периода. Если же такие сроки в договоре не указаны, законодательно задолженность может быть признана просроченной только по истечении сроков исковой давности

Наиболее общим и часто применяемым в банковской практике является показатель удельного веса просроченной ссудной задолженности, характеризующий состояние вопроса с проблемными и просроченными активами. Возникает при нарушениях расчетно-платежной дисциплины. Используется при оценке финансового состояния предприятия. Является объектом применения штрафных санкций. Просроченную кредиторскую задолженность следует рассматривать в динамике. – см. Рис.2. Тенденция к росту ее удельного веса в общей сумме краткосрочных обязательств предприятия свидетельствует о повышении риска погашения задолженности.

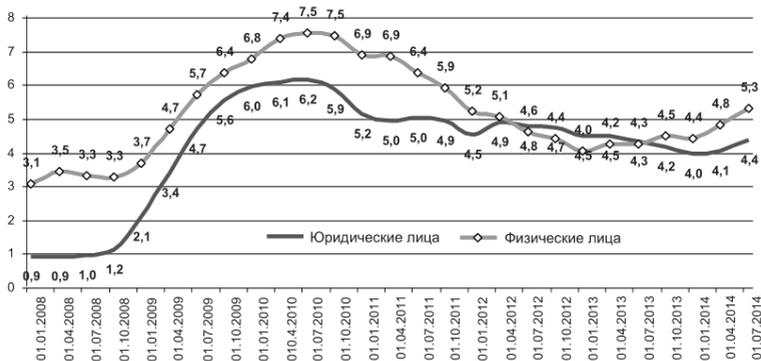


Рис.2 Динамика доли просрочки по кредитам, предоставленным юридическим и физическим лицам. [5]

Этот показатель является одним из центральных (главных) при анализе результатов реализации кредитно-инвестиционной стратегии банка вообще и кредитования реального сектора экономики в частности. Серьезной проблемой является отсутствие применимых на практике инструментов прогнозирования и планирования величины показателя удельного веса просроченной ссудной задолженности кредитной организации.

1.3 Вычисление удельного веса просроченной задолженности.

Для анализа планирования работы банка с проблемными кредитами используется система показателей, отражающих состояние банковской ссудной задолженности. Текущая ссудная задолженность (ТСЗ) - ссудная задолженность по основному долгу, срок платежа по которой в текущий момент времени не наступил. Просроченная ссудная задолженность (ПСЗ) - ссудная задолженность по основному долгу, не погашенная заемщиком в установленные кредитным

договором сроки. Общая ссудная задолженность (ОСЗ) - остаток основного долга по фактическим предоставленным банком заемщику в форме кредита денежным средствам, то есть сумма ПСЗ и ТСЗ на момент проведения анализа показателя. Показатель удельного веса просроченной ссудной задолженности (У) рассчитывается как отношение объема просроченной ссудной задолженности к объему общей суммы задолженности:

$$y = \text{ПСЗ} / \text{ОСЗ} * 100\% = \text{ПСЗ} / (\text{ТСЗ} + \text{ПСЗ}) * 100\%$$

На величину ТСЗ и ПСЗ, а, следовательно, и ОСЗ, влияют как внешние, так и внутренние факторы.

Внешними факторами могут быть: - общее финансово-экономическое состояние страны и региона, в котором банк ведет свою деятельность; - уровень защиты экономических интересов банковской системы и каждого отдельно взятого банка, предусмотренный законодательством страны; - действующая налоговая система и уровень налогообложения; - средний уровень кредитоспособности заемщиков; - другие внешние факторы, включая действия, носящие форс-мажорный характер (в частности, дефолты платежей по обязательствам государств).

Все эти факторы определяют макроэкономическую составляющую риска невозврата кредитов, и соответственно, страновую (региональную) составляющую величины показателя удельного веса просроченной задолженности.

К внутренним факторам относятся: использование высшим руководством стратегических и тактических методов планирования и

управления деятельностью банковской фирмы и соответственно преследование (контроль) стратегических или тактических интересов; квалификация персонала

Цель и содержание работы.

Целью работы является решение задачи получения алгоритма, позволяющего рассчитать сумму просроченных платежей. Для достижения указанной цели:

Выполнено исследование реальной статистики по задолженностям и определены основные закономерности.

На этой основе сформирована модель для прогноза задолженностей.

Получен алгоритм прогнозирования суммы задолженностей.

Разработана блок-схема информационной системы (ИС), реализующая разработанный алгоритм прогнозирования.

2. Разработка алгоритма прогнозирования просроченной задолженности

2.1. Постановка задачи прогнозирования

В качестве исходной статистики используем суммарную задолженность по ипотеке, полученную по данным одного из крупных российских банков. Ее вид представлен на рис. ниже.



Рис.3. Суммарная задолженность по ипотеке

Задачей прогнозирования является разработка алгоритма, который наилучшим образом оценивает будущее значение суммарную задолженность по ипотеке на годовой период ежемесячно на основе известных значений статистики.

2.2. Анализ методов прогнозирования просроченной задолженности

В настоящее время по оценкам из разных источников известно более 100 методов и моделей прогнозирования. Однако единой и общепринятой классификации не существует и различными авторами используются собственные классификации. Среди всех методов прогнозирования выделяются следующие основные группы (см. рис.4):

- Интуитивные
- Формализованные методы
- Математические методы

Интуитивные методы прогнозирования не предполагают разработку моделей прогнозирования и отражают индивидуальные суждения специалистов (экспертов) относительно перспектив развития процесса. Такие методы используются для анализа процессов, развитие

которых либо полностью, либо частично не поддается математической формализации.

Формализованные и математические методы основаны на математических и статистических моделях прогнозируемого временного ряда и поэтому как правило отличаются сложностью и высокими ресурсными требованиями при реализации.

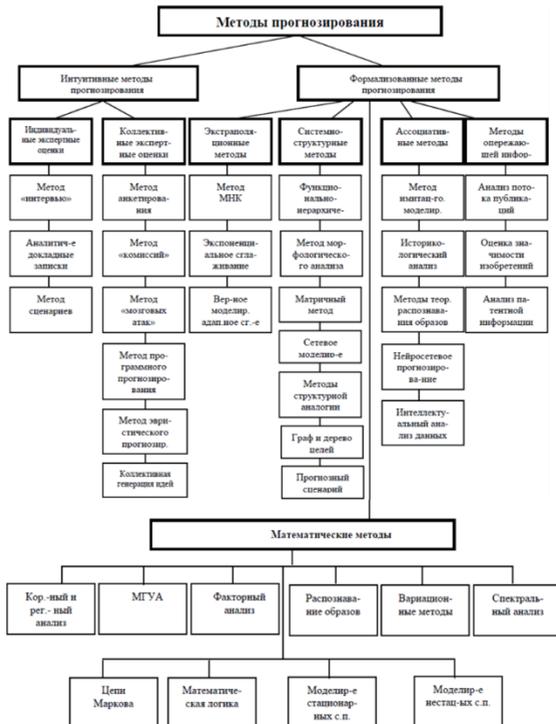


Рис. 4. Методы прогнозирования

Обзор основных формализованных и математических методов, используемых при прогнозировании, приводится в диссертации И.А.

Чучуевой [6], разработанной под руководством доктора технических наук, профессора Павлова Ю. Н.

К этим методам отнесены:

1. Регрессионные модели прогнозирования
2. Авторегрессионные модели прогнозирования (ARIMAX, GARCH, ARDLM). Простейшей авторегрессионной моделью является модель скользящего среднего.
3. Модели экспоненциального сглаживания (ES), к которым также относятся модели Хольта (двойное экспоненциальное сглаживание) и Хольта-Винтерса (тройное экспоненциальное сглаживание).
4. Модель по выборке максимального подобия (MMSP)
5. Модель на нейронных сетях (ANN)
6. Модель на цепях Маркова (Markov chains)
7. Модель на классификационно-регрессионных деревьях (CART)
8. Модель на основе генетического алгоритма (GA)
9. Модель на опорных векторах (SVM)
10. Модель на основе передаточных функций (TF)
11. Модель на нечеткой логике (FL)

Для выбора метода воспользуемся эмпирическими рекомендациями, например, из [7], в котором приведен алгоритм выбора метода прогнозирования в зависимости от специфики прогнозируемого процесса (длины ряда, наличия сезонности,

дисперсии случайной компоненты). В данной зависимости отсутствует сезонность и присутствует случайная компонента.

2.3. Выбор метода прогнозирования

На основе анализа, рассмотренного в п.2.2., для выбора метода прогнозирования были отобраны и исследована эффективность следующих методов:

1. Прогноз методом простого скользящего среднего
2. Прогноз методом экспоненциального сглаживания с коэффициентом $k = 0.8$
3. Прогноз методом экспоненциального сглаживания с коэффициентом $k = 0.5$
4. Прогноз методом экспоненциального сглаживания с коэффициентом $k = 0.3$
5. Прогноз методом экспоненциального сглаживания с коэффициентом $k = 0.1$
6. Прогноз на основе регрессии по линейному тренду.
7. Прогноз на основе регрессии по экспоненциальному тренду.

1. Метод скользящего среднего – один из эмпирических методов для сглаживания и прогнозирования временных рядов.

Суть: абсолютные значения ряда динамики меняются на средние арифметические значения в определенные интервалы. Выбор интервалов осуществляется способом скольжения: первые уровни постепенно убираются, последующие – включаются. В результате получается сглаженный

динамический ряд значений, позволяющий четко проследить тенденцию изменений исследуемого параметра.

Временной ряд – это множество значений X и Y , связанных между собой. X – интервалы времени, постоянная переменная. Y – характеристика исследуемого явления (цена, например, действующая в определенный период времени), зависимая переменная. С помощью скользящего среднего можно выявить характер изменений значения Y во времени и спрогнозировать данный параметр в будущем. Метод действует тогда, когда для значений четко прослеживается тенденция в динамике.

2. Прогноз по методу экспоненциального сглаживания – оптимальный вариант прогноза, когда продажи есть только за несколько периодов (месяцев, дней, недель, кварталов) и еще не понятно - существуют ли тенденции роста или падения.

Формула расчета прогноза :

$$\hat{Y}_{t+1} = k * Y_t + (1-k) * \hat{Y}_t$$

Где:

- \hat{Y}_{t+1} – прогноз на следующий период $t+1$;
- Y_t – данные для прогноза за текущий период t (например, продажи по месяцам);
- k - коэффициент сглаживания ряда, k задается вами вручную и находится в диапазоне от 0 до 1, $0 < k < 1$

- \hat{Y}_t – значение прогноза на текущий период t . Причем в первый период (месяц, день...) $\hat{Y}_1=Y_1$, т.е. \hat{Y}_t в первый период равны продажам в этот период.
 - Чем k больше, тем больше влияние последних периодов на прогноз.
3. Для прогнозирования с помощью линейного уравнения регрессии необходимо вычислить коэффициенты и уравнения регрессии. Уравнение линейной регрессии имеет вид: $y=a*x+b$. a – это значение, на которое увеличивается следующее значение временного ряда. b – точка пересечения с осью y на графике (минимальный уровень). Подставив в данное уравнение x , получим прогноз на следующий период.
4. Для прогнозирования с помощью линейного уравнения регрессии необходимо так же вычислить коэффициенты и уравнения регрессии. Уравнение экспоненциальной регрессии имеет вид: $y = be^{kx}$, параметры a и b называются коэффициентами экспоненциальной регрессии. Подставив в данное уравнение x , получим прогноз на следующий период.

3. Исследование разработанных алгоритмов прогнозирования

3.1. Результаты использования выбранных методов прогнозирования:

Методика исследования статистических данных включает следующие шаги:

1. Подготовка временного ряда. Исключение аномально низких и высоких выбросов статистики.

2. Программирование алгоритмов прогнозирования. Формирование прогноза осуществляется на месяц M , считая все доступные ретроспективные данные известными до месяца $M-1$ включительно. После чего переменная M сдвигается на 1 шаг вперед и цикл прогноза повторяется для нового массива данных.

3. Оценка точности прогноза. Осуществляется в путем оценки показателя MAPE и сравнения прогнозного значения на месяц M и фактическим значением в этот день и последующего усреднения полученного массива ошибок по дням.

Первым методом прогнозирования был выбран метод простого скользящего среднего с окном на 12 месяцев, так как необходимо сделать прогноз на год вперед.



Рис.5. Прогноз методом простого скользящего среднего

Следующим методом прогнозирования был выбран метод экспоненциального сглаживания. Поскольку в формулу входит коэффициент k – параметр сглаживания, возьмем различные значения в пределах $(0;1)$, чтобы оценить, насколько меняется точность.

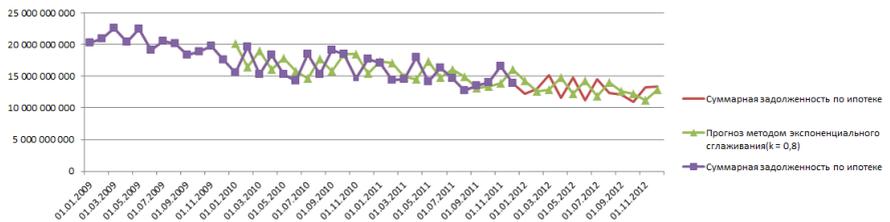


Рис.6. Прогноз методом экспоненциального сглаживания($k=0,8$)

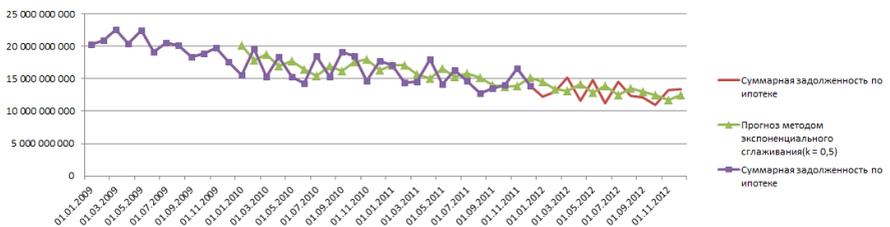


Рис.7. Прогноз методом экспоненциального сглаживания($k=0,5$)

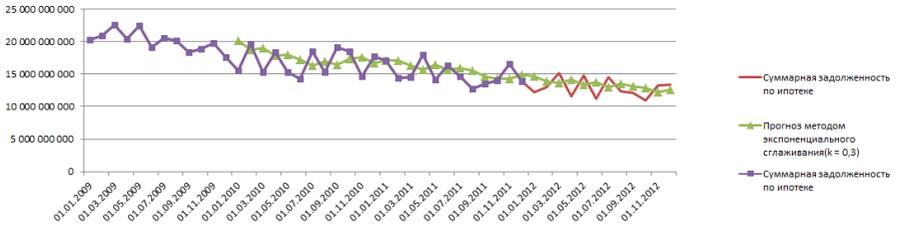


Рис.8. Прогноз методом экспоненциального сглаживания($k=0,3$)

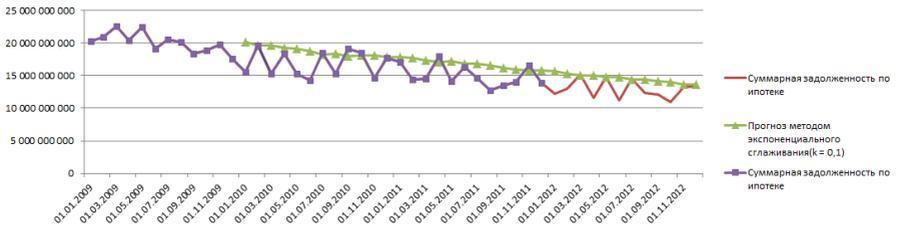


Рис.9. Прогноз методом экспоненциального сглаживания($k=0,1$)

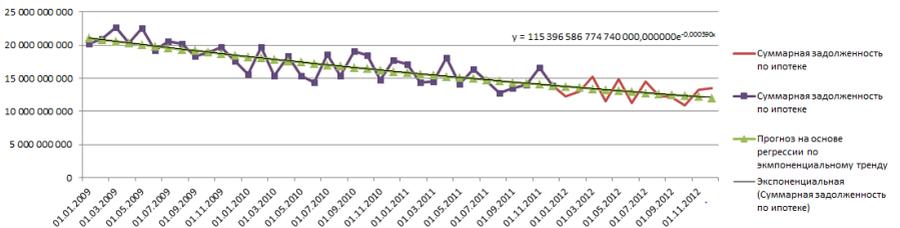


Рис.10. Прогноз на основе регрессии по экспоненциальному тренду

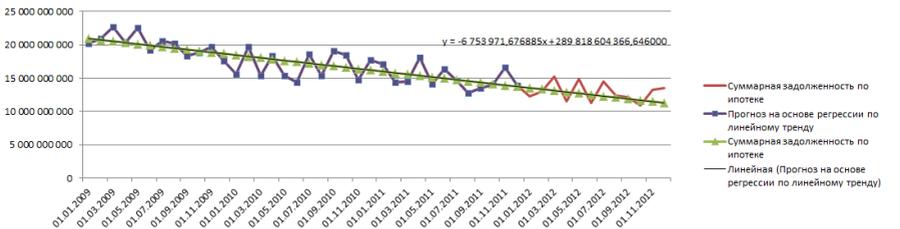


Рис.11. Прогноз на основе регрессии по линейному тренду

3.2 Результаты исследования точности методов прогнозирования

Для сравнения точности выбранных методов прогнозирования использовался показатель «средняя абсолютная ошибка в процентах» - *MAPE* (mean absolute percentage error) [11] определяемый как

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|Y(t) - \hat{Y}(t)|}{Y(t)} * 100\%,$$

где N – число точек временного ряда, для которых получен прогноз

Так как величина *MAPE* характеризует именно ошибку, то показатель точности определяется как: $100\% - MAPE$. Т.е. показатель ошибки *MAPE* и показатель точности находятся в обратной зависимости: чем ниже ошибка- тем выше точность. При этом для интерпретации точности используется следующая эмпирическая шкала [8]:

Ошибка MAPE, %	Интерпретация точности
<10	Высокая
10-20	Хорошая
20-50	Удовлетворительная
>50	Не удовлетворительная

Исследование точности 4-х методов прогнозирования, выбранных в п.4.2, проведено в среде Excel.

Количественные результаты исследования методов прогноза сведены в таблицу 2, а также изображены на рис. 12.

Табл.2. Ошибка(MAPE%) для методов прогнозирования

№	Метод/разновидность	Ошибка(MAPE),%
1	Метод простого скользящего среднего(окно 12 месяцев)	16,2
2	Экспоненциальное сглаживание(k=0,8)	14,7
3	Экспоненциальное сглаживание(k=0,5)	13,2
4	Экспоненциальное сглаживание(k=0,3)	12,7
5	Экспоненциальное сглаживание(k=0,1)	14,8
6	Прогноз на основе регрессии по экспоненциальному тренду	10,0
7	Прогноз на основе регрессии по линейному тренду	10,1

Сравнение точности методов прогнозирования(MAPE,%)

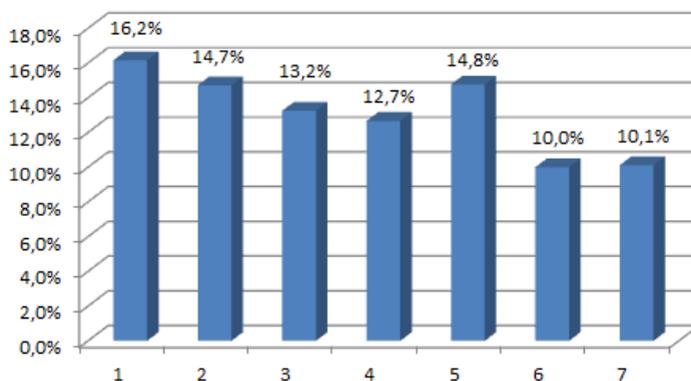


Рис.12. Сравнение точности методов прогнозирования

По результатам исследования методов прогнозирования сделаны следующие практические выводы:

1) Все исследуемые методы дают качество прогноза “хорошее”. Ошибка MAPE 10-20%. Это связано с невысоким уровнем случайности статистических данных, что обусловлено усреднением большого числа ипотечных заёмщиков.

2) Наилучшую точность имеет прогноз на основе регрессии по экспоненциальному тренду (с ошибкой 10,0%).

3) В зависимости от коэффициента сглаживания k в методе экспоненциального сглаживания меняется и точность прогноза. Уменьшая k от 0,8 до 0,3 мы добились максимальной точности (12,7%), но если еще сильнее изменить k до 0,1, точность ухудшается (14,8%). Таким образом, наилучший среди методов экспоненциального сглаживания алгоритм прогнозирования предполагает влияние последнего измерения с весом 30% и предыдущей усредненной оценки с весом 70%.

6. Разработка блок-схемы ИТ-системы прогноза

Структура и информационная модель разработанной системы для прогнозирования кредитных задолженностей представлена на рис.13.

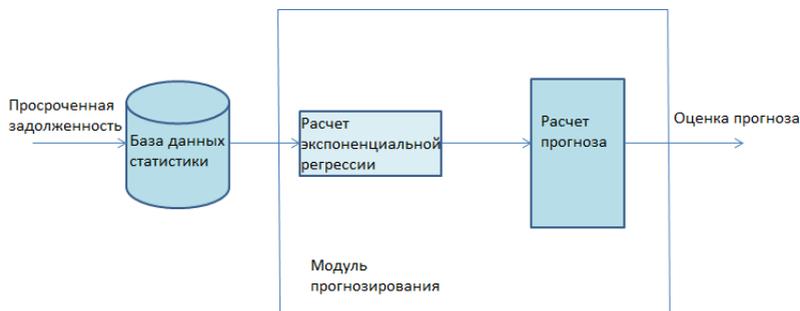


Рис.13. Блок-схема ИС

Входом ИС является статистика по просроченной задолженности. Выходом ИС является оценка прогноза.

Информационная система состоит из трех основных блоков: “База данных статистики” – в данный блок поступает статистика о просроченной задолженности, “Расчет экспоненциальной регрессии”, в котором происходит расчет уравнения экспоненциальной регрессии на основе входных данных “Расчет прогноза”, в котором непосредственно прогнозируется задолженность

Выводы по работе:

1) Задача оценки объема просроченной задолженности имеет для банков ключевое значение, так как банки теряют очень много средств из-за риска невозврата задолженностей.

2) Для прогнозирования объема просроченной задолженности, в работе поставлена задача прогнозирования на основе известной статистики задолженности.

3) Для решения задачи прогнозирования выполнен анализ существующих методов прогнозирования, на основе которого выбран ряд предпочтительных методов прогноза, с учетом специфики исходной статистики. Среди этих алгоритмов:

- Метод простого скользящего среднего(окно 12 месяцев)
- Экспоненциальное сглаживание($k=0,8$)
- Экспоненциальное сглаживание($k=0,5$)
- Экспоненциальное сглаживание($k=0,3$)
- Экспоненциальное сглаживание($k=0,1$)
- Прогноз на основе регрессии по экспоненциальному тренду
- Прогноз на основе регрессии по линейному тренду

4) Для апробации и выбора наилучшего алгоритма прогнозирования проведено моделирование алгоритмов в системе Excel и рассчитана точность прогнозирования этих методов по критерию MAPE.

5) В работе показано, что наилучшей точностью обладает алгоритм прогноза на основе регрессии по экспоненциальному тренду

6) Среди классов алгоритмов экспоненциального сглаживания наилучшей точностью обладает алгоритм экспоненциального сглаживания к $k = 0,3$

Список литературы

1. РИА.Рейтинг.
http://www.riarating.ru/banks_rankings/20160201/630008275.html
2. Скугарева Н.А. АНАЛИЗ УДЕЛЬНОГО ВЕСА ПРОСРОЧЕННОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ В ОБЩЕЙ СТРУКТУРЕ КРЕДИТНОГО ПОРТФЕЛЯ В РОССИИ // Научное сообщество студентов XXI столетия.
3. Википедия.
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%82
4. ЦБ РФ. ОБЗОР БАНКОВСКОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
5. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПРОСРОЧЕННОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ БАНКОВ ПО РОЗНИЧНЫМ КРЕДИТАМ. Авторы: Заернюк В.М. ;Анашкина Е.Н.
6. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального правдоподобия. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Научный руководитель Павлов Ю.Н., М. 2012,
7. Кендэл М. Временные ряды. Финансы и статистика, 1981
8. Д. Ханк. Бизнес-прогнозирование, ИД «Вильямс», 2003г,
9. Материалы сайта: <http://www.4analytics.ru>

СЕКЦИЯ IV. Системы безопасности

Разработка устройства мониторинга wi-fi диапазона

Титов Георгий Андреевич

г. Москва, ГБОУ «Лицей № 1568», 11 класс

Введение

Одной из основных проблем современной информационной безопасности является утечка конфиденциальных данных. Применение firewall, IDS, системных политик и прав доступа не дают полной гарантии защиты от инсайдерских утечек данных. Одним из способов несанкционированной передачи данных является беспроводной. Поиск точек доступа wi-fi является достаточно трудно трудоемкой задачей на данный момент. Обнаружение источников электромагнитного излучения производится при помощи ручных сканеров, что занимает много времени. Я решил создать устройство, способное постоянно отслеживать источники сигнала в автоматическом режиме и отображать координаты обнаруженных точек доступа.

Цель

Разработать и реализовать устройство автоматического мониторинга Wi-Fi диапазона на предмет инсайдерских источников сигнала.

Задачи

- 1) Изучить существующие антенны и выбрать наиболее подходящую для дальнейшей реализации

- 2) Спроектировать двухосевой подвес антенны, позволяющий производить сканирование по азимуту и углу места
- 3) Собрать ВЧ усилитель и детектор сигнала, преобразовывающий колебания в аналоговый сигнал
- 4) Разработать алгоритм и написать код управления устройством
- 5) Собрать готовое устройство

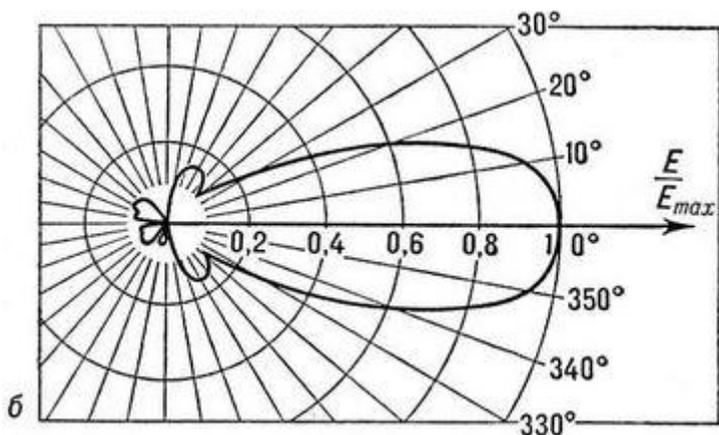
Теоретическая часть

Для приема сигнала было необходимо выбрать антенну с узкой диаграммой направленности, не требующую высокой точности в изготовлении и сложности в подключении в конечную схему.

Было рассмотрено 3 типа антенн:

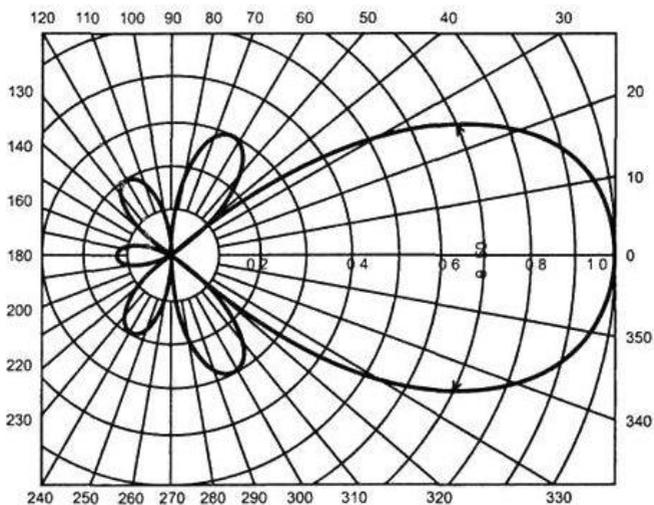
- 1) Антенны типа волновой канал

Антенна с параллельными вибраторами и директорами, расположенными вдоль линии максимального излучения. Вибратор активный, к нему подводятся ВЧ колебания, в директорах, наводятся ВЧ токи за счет поглощения ЭМ волны. Расстояние между рифлектором и директорами подпирается таким образом, чтобы при совпадении фаз ВЧ токов образовывался эффект бегущей волны.



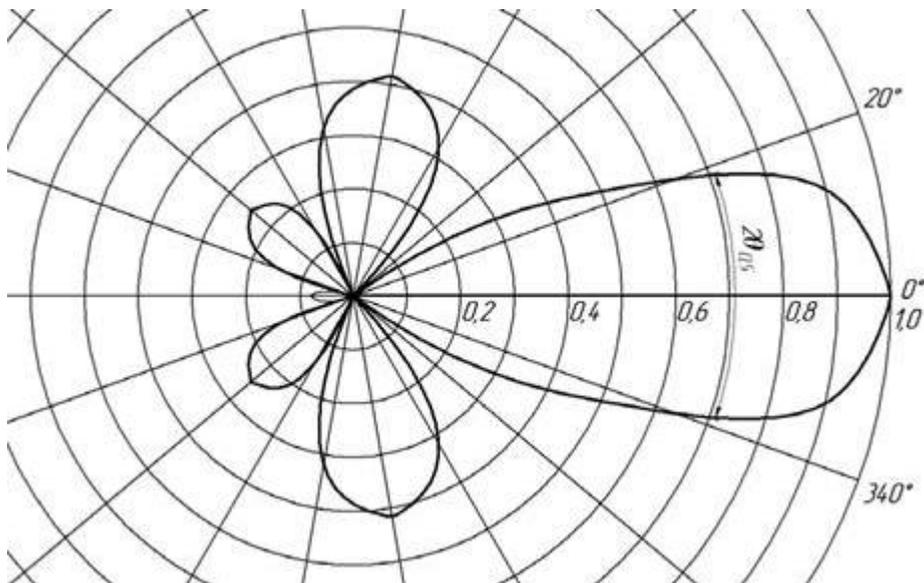
2) Антенны бегущей волны

Возможны различные реализации, такие как биквадрат, растяжка, спиральная антенна. Состоят из вибратора различных конструкций и отражателя, и также имеют кучную диаграмму направленности.



3) Рупорная антенна

Рупорные антенны очень широкополосны и весьма хорошо согласуются с питающей. Для этих антенн характерен малый уровень задних лепестков диаграммы направленности из-за того, что мало затекание ВЧ-токов на теневую сторону рупора. Рупорные антенны с небольшим усилением просты конструктивно, но достижение большого усиления требуют применения выравнивающих фазу волны устройств. Без подобных устройств антенну приходится делать непрактично длинной.



Несмотря на более острую диаграмму антенна волнового канала сложна в изготовлении и требует тонкой настройки. Из вышеперечисленных лучше всего подходит антенна бегущей волны,

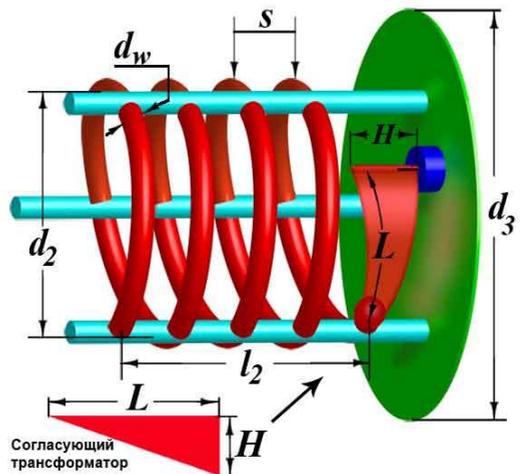
а именно спиральная антенна так как она не чувствительна к точности изготовления и не требует согласующего трансформатора, легко рассчитывается и настраивается.

Практическая часть

Устройство состоит из антенны закрепленной на двухосевом подвесе, усилителя высоких частот, детектора wi-fi сигнала и платы Arduino micro.

Антенна

Антенна была собрана на 3 штангах, так как при сборке на цилиндрическом основании значительно возрастают шумы и падает усиление.



Расчет антенны:

Центральная частота $f = 2445$ МГц

Число витков спирали $N = 16$

Шаг намотки спирали $s = 0.22 \lambda = 27$ мм

Внутренний диаметр спирали $d_2 = 39.1$ мм

Диаметр провода $d_w \sim 2.5$ мм

Диаметр круглого рефлектора $d_3 = 98.2$ мм

Усиление антенны $G \sim 13.64 \text{ dBi}$

Входное сопротивление антенны $R = 140 \text{ } \Omega$

Параметры согласующей линии $140/50 \text{ } \Omega$:

Длина треугольника L : 71 мм

Высота треугольника H : 17 мм

Расчет производился на калькуляторе :

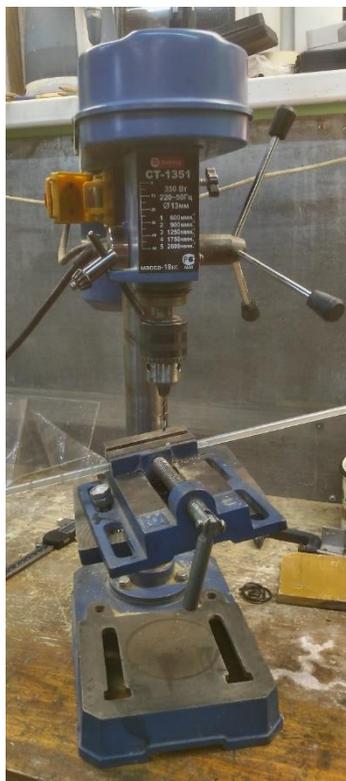
<http://3g-aerial.biz/onlajn-raschety/raschety-antenn/raschet-spiralnoj-antenny>



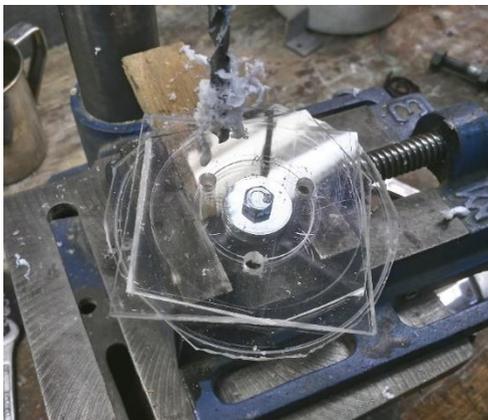
Штанги были изготовлены из пластиковой трубки диаметром 8мм

С шагом 27мм и смещением 9мм относительно соседних штанг были размечены отверстия, через которые в последствие пройдет провод.

Отверстия сверлились под углом 6 градусов так как спираль не перпендикулярна штангам.



Для крепления штанг между собой было изготовлено 2 проставки и отражатель также из оргстекла. Они имеют технологическое отверстие для сборки и центровки при помощи монтажной шпильки.



Ввиду отсутствия токарного станка отражатель был закреплен на сверлильном для придания ему круглой формы.



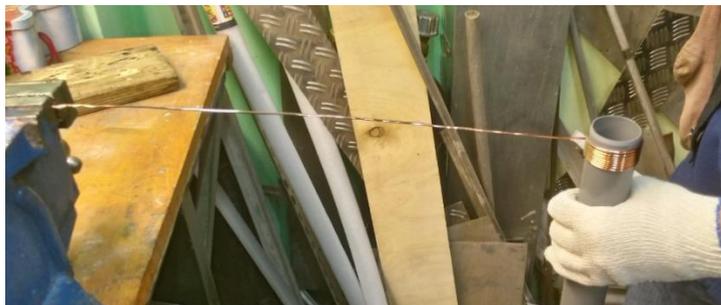
Проставкам была предана правильная форма.



Затем каркас антенны был собран на монтажной шпильке, для последующей склейки.



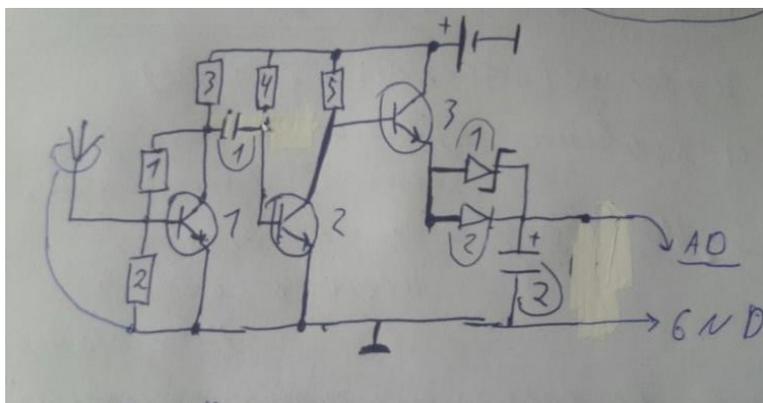
Медный провод был навит на трубу диаметром 40мм для придания ему спиральной формы.



И вставлен в силовой каркас, а отражатель оклеен фольгой.



Усилитель и детектор сигнала



Где A0 и GND идут на соответствующие порты Arduino.

Программа

```
#include <Servo.h>

Servo X;
Servo Y;

int mtr[60][100];
int n;
int base[100][2];
void setup() {
  X.attach(2, 0, 60);
  Y.attach(3, 0, 100);
  Serial.begin(115200);

  //считывание разрешенных источников и их количества
  while(Serial.available()==0) {}
  n=Serial.read();
  for(int i=0;i<n;i++){
    while(Serial.available()==0) {}
    base[i][0]=Serial.read();
    while(Serial.available()==0) {}
    base[i][1]=Serial.read();
  }
}
```

```
//первое считывание уровня сигнала
for(int i=0;i<60;i++)
  for(int j=0;j<100;j++){
    X.write(i);
    Y.write(j);
    mtr[i][j]=analogRead(0);
  }
}

void loop() {
```

Для отсеивания помех каждое новое значение берется как средневзвешенное старых и новых данных с коэффициентами 0,2 и 0,8 соответственно.

```
//считывание уровня сигнала с обработкой помех
int mx=0;
for(int i=0;i<60;i++)
  for(int j=0;j<100;j++){
    X.write(i);
    Y.write(j);
    mtr[i][j]=(mtr[i][j]*8+analogRead(0)*2)/10;
    mx=max(mtr[i][j],mx);
  }
}
```

Для определения координат источников выполняется поиск локальных максимумов в матрице сигналов

```
//поиск локальных максимумов (источнико сигнала)
int mp[60][100];
while(mx>0){
    for(int i=0;i<60;i++)
        for(int j=0;j<100;j++)
            if(mtr[i][j]>0)
                mtr[i][j]-=1;

    for(int i=0;i<60;i++)
        for(int j=0;j<100;j++){
            mp[i][j]*=8;
            if((mtr[i][j]!=0)and(mtr[i-1][j-1]==0)and(mtr[i][j-1]==0)and(mtr[i+1][j-1]==0)and(mtr[i-1][j]==0)and(mtr[i+1][j]==0)and(mtr[i-1][j+1]==0)and(mtr[i][j+1]==0)and(mtr[i+1][j+1]==0))
                mp[i][j]=mp[i][j]+2000;
            mp[i][j]/=10;
```

```
    }

    mx-=1;
}

//поиск инсайдерских источников
int g=0;
for(int i=0;i<60;i++)
  for(int j=0;j<100;j++)
    if(mp>400){
      for(int f=0;f<n;f++)
        if((base[f][1]==i)and(base[f][2]==j)){
          g=1;
          break;
        }
      if(g==0){
        Serial.print(i);
        Serial.print("\t");
        Serial.println(j);
      }
    }
}
```

Заключение

При использовании данного устройства в реальных условиях имеет смысл заменить антенны на фазированную решетку, изготовить которую в гаражных условиях нет возможности. Данное устройство может применяться не только для поиска wi-fi точек доступа, но также для поиска других источников электромагнитного излучения. Возможно использовать несколько подобных устройств, работающих на различных частотах.

Список литературы

<http://3g-aerial.biz/onlajn-raschety/raschety-antenn/raschet-spiralnoj-antenny>

<https://habrahabr.ru/post/158273/>

<http://gardenweb.ru/antenny-begushchei-volny>

<http://vunivere.ru/work10955>

<http://www.wifiantenna.org.ua/antennas/helix/>

СЕКЦИЯ VI. Биомедицинская техника

Разработка конструкции и технологического процесса гастростомической трубки

Некрасова Мария Александровна

г. Москва, ГБОУ «Школа №218», 11 класс

Научный руководитель:

Аполлонова Ирина Анатольевна

к.т.н., доцент кафедры БМТ-4,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

Гастростомия - хирургическая операция, заключающаяся в создании искусственного входа в полость желудка через переднюю брюшную стенку с целью кормления пациента при невозможности приёма пищи через рот [1, 2].

Гастростомия впервые была предложена норвежским военным хирургом Кристианом Эгебергом в 1837 году для лечения больного сужением пищевода.

В настоящее время довольно часто пациентам устанавливают гастростомическую трубку для искусственного энтерального поступления пищи (через стому) при невозможности питания через ротовую полость. Показания — нарушения проводящей способности пищевода при относительном здоровье остального ЖКТ. Питание сразу направляется в желудок, в обход больных участков пищевода и

гортани. Однако, существующие модели представлены исключительно импортными производителями, и в силу несовершенства конструкции вызывают очаги воспаления на слизистой желудка и требуют замены при длительном использовании.

В процессе выполнения работы были решены следующие задачи:

I. Исследованы аналоги гастростомических трубок различных иностранных производителей

II. Выявлены недочеты в существующих конструкциях оборудования энтерального питания.

III. Разработаны медико-технические требования для устройств, предназначенных для внутрижелудочного введения готовых или приготовленные из порошкообразных жидких гипо-, изо-, гиперкалорические смесей.

IV. Проведены расчеты для выбора материалов и для обоснования конструкции.

Целью настоящей работы является разработка отечественного аналога базовой конструкции низкопрофильной эндоскопической гастростомы для проведения энтерального питания пациентов с пораженным пищеводом.

Ожидаемый результат: Разработка медико-технических требований, рабочей документации и технологического процесса изготовления изделия.

1. Методы энтерального поступления пищи

Метод искусственного энтерального поступления пищи заключается в проведении хирургического вмешательства, установки гастростомической трубки, соблюдении гигиенических правил поведения с установленным изделием (чистка, дезинфекция). Все эти итерации ограничивают возможности установки гастростомических трубок для широких категорий пациентов. Поэтому, совершенно очевидными являются следующие задачи модернизации метода энтерального питания

1. Устранение необходимости в общем наркозе,
2. Сокращение периода послеоперационного выздоровления,
3. Повышение надежности конструкции,
4. Сокращение стоимости операции.

Все эти задачи были практически достигнуты, благодаря внедрению и широкому распространению метода чрескожной эндоскопической гастростомии (ЧЭГ), а также гастростомии без эндоскопии[3]. Через правильно установленную гастростому выделения желудочного сока не происходит. После кормления трубка закрывается заглушкой и желудочное содержимое не попадает наружу. Если желудочный сок выделяется на поверхности, значит, ослаблен баллон. Причиной ослабления может быть недостаточный объем жидкости в самом баллоне.

Метод чрескожной эндоскопической гастростомии.

Чрескожный эндоскопический метод применяется, если необходимо обеспечение энтерального питания в течение более 3 недель. Ранее гастростомия являлась прерогативой хирургов, однако сейчас ее могут выполнять и гастроэнтерологи. Используются две методики — чрескожная эндоскопическая гастростомия (ЧЭГ) и чрескожная эндоскопическая еюностомия (ЧЭЕ). Однако ЧЭЕ все еще находится в процессе разработки. Этот метод не всегда возможен и требует значительного мастерства от гастроэнтеролога. В настоящее время зонд размещается под эндоскопическим контролем и устанавливается внутрижелудочный катетер, с помощью которого происходит фиксация гастростомической трубки.

Эти методики позволяют проводить установку гастростомических трубок:

- у пациентов с высоким операционным риском;
- с минимальной седацией (нет необходимости в общем наркозе);
- с сокращением времени оперативного вмешательства до 15-30 мин;
- с возможностью проведения операции, не используя специальные операционные блоки;
- с меньшей стоимостью с полосными операциями;
- с упрощением в уходе за гастростомой;
- с простой и безопасностью для больного.

При этом следуют отметить ряд недостатков ЧЭГ.

- невозможность выполнения при выраженных нарушениях проходимости ротоглотки и пищевода.

- Нарушение герметичности в процессе пользования
- Раздражение кожи и слизистых пациента при контакте с креплением
- Отсутствие отечественных аналогов.

Указанные методы энтерального питания нашли реализацию в виде самых различных конструкций гастростомических трубок.

2. Характерные особенности современных гастростомических трубок

Существует несколько типов уже разработанных и используемых конструкций:

- с наружными силиконовыми кольцами-фиксаторами, с раздуваемыми манжетами и другими приспособлениями на конце для лучшего закрепления в желудке и предотвращения смещения;
- компактные (низкопрофильные), практически не видимые под одеждой;
- с двухканальным Y-образным портом (введение смеси и промывание);
- со специальным клапаном для блокировки обратного заброса содержимого желудка;

- с атравматическими наконечниками для дистального и противоположного концов трубки (проще ввести конструкцию, меньше механическое раздражение желудка);
- с контрастным покрытием по всей длине для рентгеноскопического контроля введения;
- с болюсным питанием (периодически, полноценными жидкими порциями 3-4-5 раз в день через шприц или насос);
- с непрерывным питанием (постоянно, капельно, через зонд).

3. Анализ рынка изделий

В данный момент в мире выделяются три лидера по производству гастростом (табл. 2.1.) [4]:

Таблица 2.1. – Производители гастростом

Наименование продукта	Размер (Fr)	Объем баллона, мл	Длина, см	Страна производства
Kimberly-ClarkMic-Key [5]	12/15/18/20/25/30	5/10/20	17	США
Covidien Kangaroo 3Port tube	12/16/18/20/24	10/15/30	17	США
Nutrica Flocare G-трубка[6]	10/14/16/18/20	3/5/10/15	13/27	Нидерланды

Материалы для изготовления гастростомической трубки - композиционные биосовместимые пластики и силиконы, инертные к физиологической слизи и жидкостям. Линейка гастростомических трубок представлена достаточно широким типорядом, что упрощает индивидуальный подбор конструкции, облегчает уход за стомой и обеспечивает безопасность пациента.

4. Анализ недостатковгастростомических трубок

Аналогов на Российском рынке нет, поэтому одна из проблем-это цена продукта. Кроме того, при более подробном ознакомлении с конструкциями уже существующих моделей, можно выявить некоторые недочеты. Так, например, раздуваемый баллон на конце гастростомы как в ConvidienKangaoo часто лопается, что приводит к неудобству пациента и переустановке гастростомической трубки. Неизбежно протекание конструкции в выходных отверстиях. Постоянный контакт с кожей пациента приводит к раздражениям внешней и внутренней сторонам, также иногда происходит прилипание сплошного диска внутреннего крепления к стенкам.

Длинная трубка может ограничивать движения больного и плохо скрывается под одеждой. Также существует риск выдёргивания длинной конструкции [7, 8].

5. Разработка медико-технических требований

Таким образом, наша стома должна иметь низкопрофильный дизайн (примерно длиной в 7-8 см), благодаря чему трубка будет незаметной под одеждой. Также должна быть представлена линейка в несколько размеров, чтобы конструкция могла подходить любым пациентам. Погрешность изготовления будет составлять 1.2-1.6 Fr. Обязательно наличие маркерного покрытия по всей длине трубки для проведения рентгеноскопической визуализации врачами. Возникает необходимость в антирефлюксном клапане, который сможет предотвращать обратный ток содержимого желудка. Материал для самой гастростомы должен отвечать следующим параметрам:

- Не должен быть токсичным для человека,
- Минимальное количество противопоказаний для человека,
- Гибкость и прочность
- Дешевизна

Всем этим параметрам отвечают биологически инертные материалы, такие как медицинский силикон и пластик.

Во избежание раздражения эпителия диск внутреннего крепления должен быть замещен на трехлепестковую клипсу внутреннего и внешнего крепления диаметром около 3.5-5 см. Чтобы предотвратить неудобства пациента в связи с разрывом баллона с физраствором на конце стомы, в нашей конструкции он будет заменен на обычный стандартный открытый конец.

6. Моделирование энтерального поступления пищи

Для разработки математической модели энтерального поступления пищи необходимо оценить расход вещества в зависимости от угла наклона и радиуса гастростомической трубки. Движение жидкой пищевой массы по гастростомической трубке можно описать с помощью закона Пуазейля

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p}{8\eta l}$$

Где Q — объёмный расход жидкости, м³/с;

Δp — перепад давления на концах капилляра, Па

r — радиус капилляра, м;

η — коэффициент динамической вязкости, Па·с;

l — длина капилляра, м.

Закон Пуазейля—физический закон так называемого течения Пуазейля, то есть установившегося течения вязкой несжимаемой жидкости в тонкой цилиндрической трубке.

При установившемся ламинарном движении вязкой несжимаемой жидкости сквозь цилиндрическую трубку круглого сечения секундный объёмный расход прямо пропорционален перепаду давления на единицу длины трубы и четвертой степени радиуса и обратно пропорционален коэффициенту вязкости жидкости.

Результаты моделирования представлены на рис. 3.2 и рис. 3.3.

(Рис. 3.2. – 3.3.)

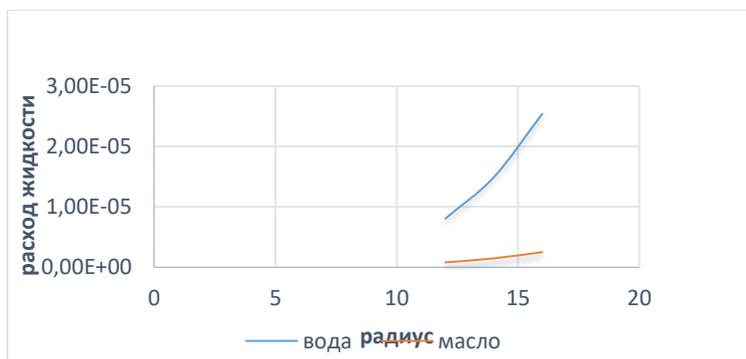


Рисунок 3.2. – График зависимости радиуса трубки от расхода жидкости при наклоне трубки в 90 градусов

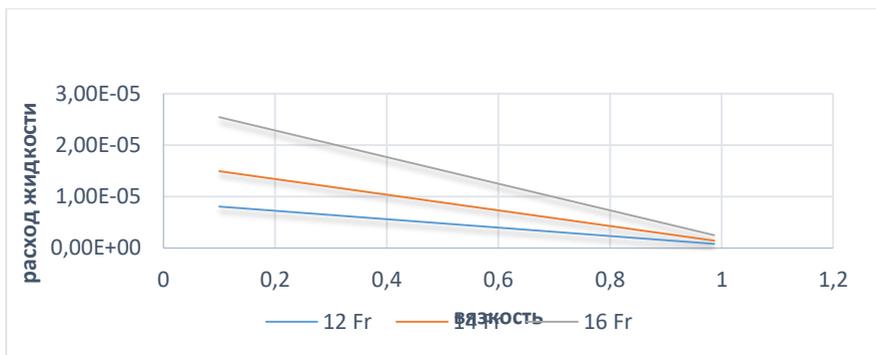


Рисунок 3.3. – График зависимости расхода жидкости от вязкости жидкости при наклоне трубки в 90 градусов

Были проведены дополнительные расчёты для других углов, чтобы убедиться, что выбранные радиусы подходят (Рис. 3.4. – 3.9.).

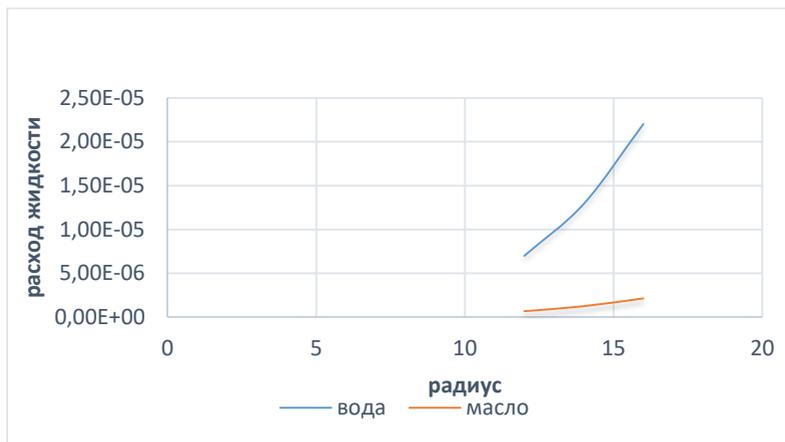


Рисунок 3.4. – График зависимости радиуса трубки от расхода жидкости при наклоне трубки в 60 градусов

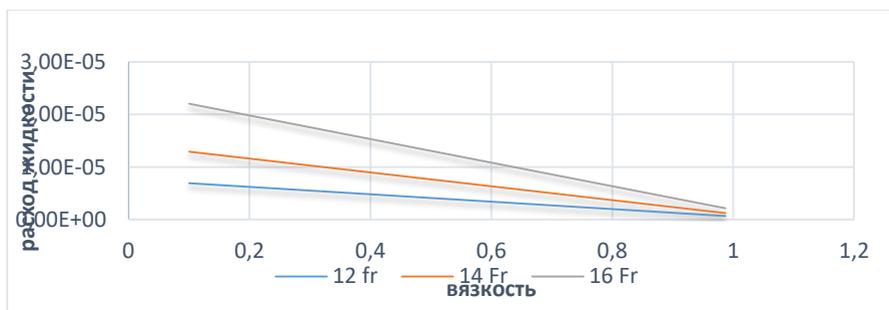


Рисунок 3.5. – График зависимости расхода жидкости от вязкости жидкости при наклоне трубки в 60 градусов

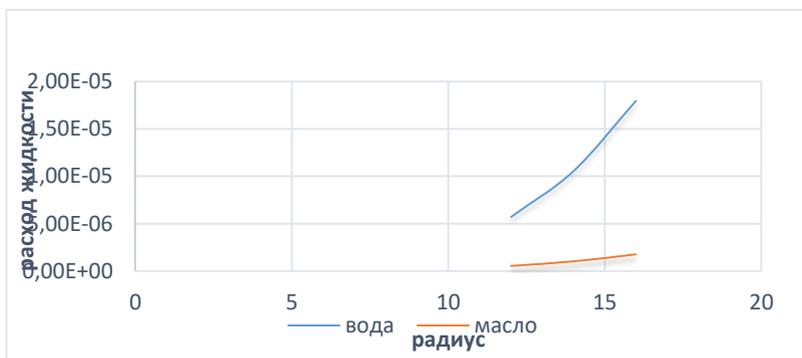


Рисунок 3.6. – График зависимости радиуса трубки от расхода жидкости при наклоне трубки в 45 градусов

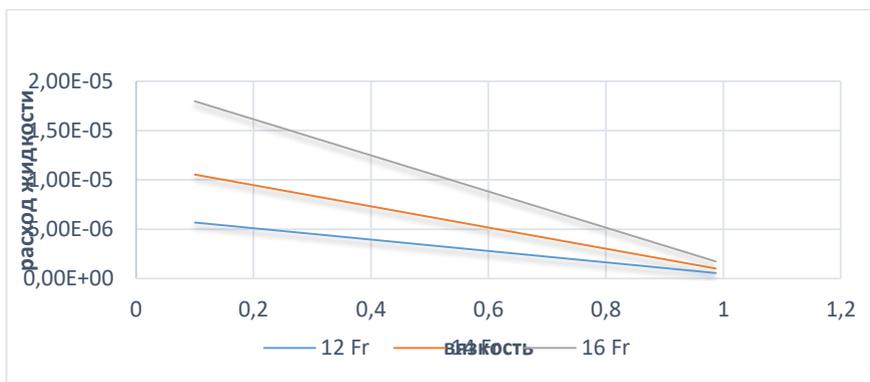


Рисунок 3.7. – График зависимости расхода жидкости от вязкости жидкости при наклоне трубки в 45 градусов

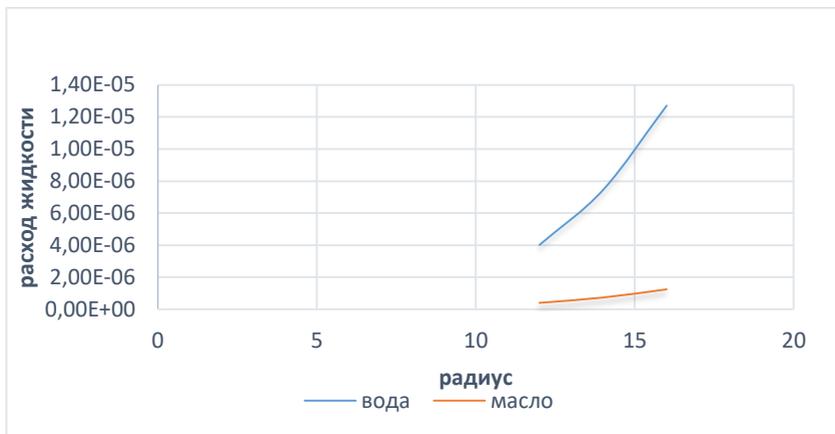


Рисунок 3.8. – График зависимости радиус трубки от расхода жидкости при наклоне трубки в 30 градусов

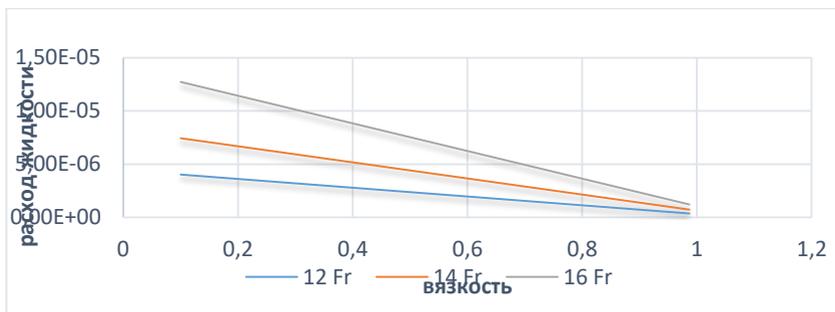


Рисунок 3.9. – График зависимости расхода жидкости от вязкости жидкости при наклоне трубки в 30 градусов

Таким образом, можно определить базовые параметры конструкции низкопрофильной гастростомической трубки (Табл. 3.1.).

Таблица 3.1. – Параметры гастростомической трубки

Размер (радиус)	Длина (l) стомы	Полная длина стомы	Диаметр трехлепесткового диска
12 Fr	от 0.8 до 4.0 см	от 2 до 5.2 см	2.8 см
	от 0.8 до 4.5 см	от 2 до 5.7 см	
14 Fr	от 0.8 до 4.0 см	от 2 до 5.2 см	3 см
	от 0.8 до 4.5 см	от 2 до 5.7 см	
16 Fr	от 0.8 до 4.0 см	от 2 до 5.2 см	от 3.5 до 4 см
	от 0.8 до 4.5 см	от 2 до 5.7 см	
	от 1.5 до 5.0 см	от 2.7 до 6.2 см	

Полная длина стомы складывалась из длины «зажатого» куса трубки и двух концов, задействованных в соединении с другими частями конструкции. Был взят запас в 1,2 см.

7. Разработка конструкции гастростомической трубки

Собрав воедино все получившиеся требования и подсчеты, можно начать разрабатывать примерную конструкцию нашего отечественного аналога гастростомической трубки (Рис. 3.1.). Началом трубки будет служить адаптер с антирефлюксным клапаном («а» на рис. 3.1.), который будет соединен с самой трубкой, сделанной из медицинского силикона, так как этот материал отвечает всем заявленным требованиям. Далее на трубке будет размещена трехлепестковая клипса внутреннего крепления, которая будет зажимать брюшную стенку между этим самым диском и внешним адаптером, входом в трубку. Более того, благодаря своей форме, эту клипсу можно будет проворачивать, тем самым меняя область соприкосновения. Материалом данного элемента также будет медицинский силикон, так как установка стомы происходит путем протаскивания нижней части конструкции через пищевод. Силиконовая конструкция сможет компактно сложиться под действием стенок пищевода, что не принесет никакого вреда внутренним тканям. Заканчиваться вся конструкция будет обычным открытым концом трубки, через который будет выходить вводимый раствор.

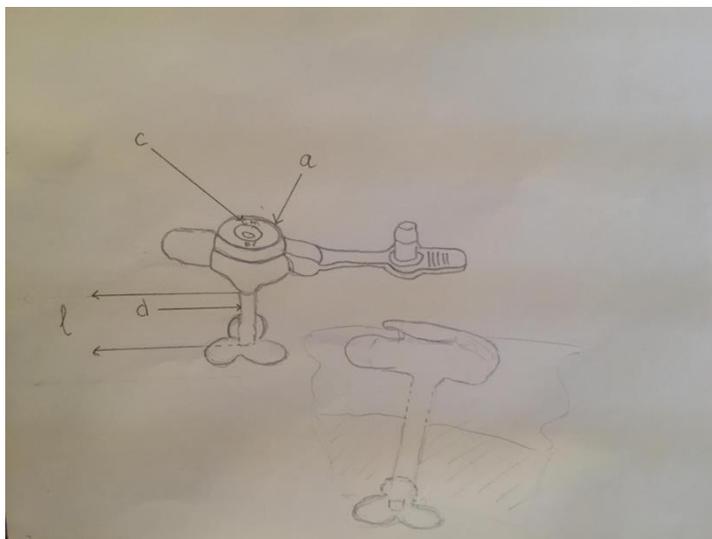


Рисунок 3.1. – Рабочий эскиз гастростомической трубки

где,

c- обозначения размера трубки;

a- клапан для ввода шприца;

d- трубка (стома);

l- длина трубки между клипсой внутреннего крепления и клапаном.

Так как брюшной слой у человека очень тонкий, но может быть увеличен из-за жировой прослойки, то и расстояние между концом адаптера и концом самой гастростомы («l» на рис. 3.1) будет

варьироваться от 0,8 см до 5 см, линейка размеров будет представлена с шагом в 0,2 см. Полная длина стомы будет составлять 3,5-8 см. Диаметр самой трубки в 12/14/16Fr был выбран исходя из свойств жидкости, вливаемой в гастростому; ее вязкости и расхода.

8. Разработка технологического процесса

Обозначив все основные детали нашей конструкции, зададим упрощенный процесс сборки частей нашей трубки. Началом будет служить присоединение гибкого, конусообразного, лепесткового антирефлюксного клапана-катетера. Такие клапаны имеют широкое распространение в российской промышленности, так что их можно будет легко достать или сделать. Однако, придется немного модифицировать деталь, так как соединяться с силиконовой трубкой она будет с помощью быстроразъёмного цангового фитинга. Такой тип соединения позволит безболезненно разъединить конструкции при необходимости, в то же время обеспечивая защиту от протеканий. На нынешнем рынке данные переходники представлены как из металла, так и из пластика и полипропилена и могут быть изготовлены на наших заводах. Также любые медицинские полимерные изделия можно изготовить на заводе «Завод Полимер» в Казани. То есть, обладая всеми необходимыми размерами и материалами, можно наладить производство отечественной низкопрофильной гастростомы. Сама стома будет обычной, стандартной силиконовой трубкой с маркерным покрытием. Такой продукт не будет иметь высокую стоимость и будет легко доступен в короткие сроки. Диск внутреннего крепления будет

иметь диаметр в 4-6 см, в зависимости от диаметра трубки, через которую проводится питание. Соединение будет проходить следующим образом: готовая трубка нужного диаметра и длины вставляется в форму для отливания силиконового трехлепесткового диска, и происходит образование нашей клипсы крепления вокруг этой самой стомы. Такое изделие можно изготовить в Научно-исследовательском институте резиновой промышленности в Сергиевом Посаде.

Таким образом, благодаря собранной информации и проделанным расчетам, конструкция низкопрофильной эндоскопической гастростомы может быть выполнена на российских заводах в достаточно краткие сроки, что не только сокращает время доставки продукта к пациенту, но и экономически получается более выгодно. Обычный трёхмесячный срок ожидания товара сократится как минимум в 10-12 раз. Цена иностранных гастростом колеблется от 60 до 25 тыс. рублей, наша отечественная конструкция позволит не выходить за рамки 15-20 тыс. рублей.

9. Выводы

1. Показана актуальность на основе литературного анализа. Так, в одном только институте Склифосовского в год устанавливают более 156 гастростом.
2. Проведено сравнение аналогов и разработаны медико-технические требования к линейке размеров, к материалам и к конструкции крепления на слизистой желудка.
3. Рассчитаны параметры движения питательной массы и выбраны оптимальные параметры гастростомы.
4. По медико-техническим требованиям и по расчетным параметрам предложена линейка размеров гастростомы и предложена конструкция с фиксацией в виде трехлепесткового диска. Рассчитаны параметры движения массы с помощью уравнения Пуазейля.
5. Выполнены рабочие эскизы гастростомы.
6. Подобрана отечественная элементная база. Гастростома будет состоять из трех главных составляющих: антирефлюксного клапана, силиконовой трубки с маркерным покрытием и трехлепесткового клапана крепления.
7. Предложен технологический процесс сборки гастростомы.
8. Оценен экономический эффект от разработки и внедрения отечественного аналога.

10. Список литературы

1. Гастростомия, гастростома: операция наложения, питание через неё[Электронный ресурс]. Режим доступа <http://operaciya.info/abdominal/gastrostomiya-gastrostoma/>
2. Википедия – Гастростомия[Электронный ресурс]. Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F>
3. Гастростомия: показания, виды, техника, последствия[Электронный ресурс]. Режим доступа <http://moskovskaya-medicina.ru/gastrostomiya-pokazaniya-vidy-tehnika-posledstviya.html>
4. Гастростомические питательные трубки[Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.shop.mpamed.ru/categories/sistemi-enterialnogo-pitaniya/gas-trybki/>
5. MIC-KEY Products. Halyard Health [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.mic-key.com/>
6. NutriciaFlocare - Home Page [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.nutriciaflocare.com/>
7. Хирургическая анатомия стенок живота (часть 1)[Электронный ресурс]. Режим доступа <http://extremed.ru/anatomy/82-generaldata/4110-anatomia-jivota1>
8. Nutricia. Пациентам. Зондовое энтеральное питание. Как ухаживать за гастростомой[Электронный ресурс]. Режим доступа

<http://nutricia-medical.ru/lechebnoe-pitanie/enteralnoe-pitanie/uhod-gastrostoma/>

СЕКЦИЯ VII. Специальное машиностроение

Управление движением шагающего робота

Брадич Александр Стоядинович

г. Москва, ГБОУ «Лицей №1451», 11 класс

Научный руководитель:

Голдинова Кристина Алексеевна

студентка кафедры СМ-7,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

Изучение человеком космоса началось сотни лет назад до нашей эры. Тогда представления древних людей о нем складывалось лишь из того небогатого набора знаний, получаемых путем наблюдений за окружающей его природой. Лишь после того, как в 1609 году, когда впервые была направлена зрительная труба в небо, и получены ряд выдающихся астрономических открытий Галилео Галилеем, началось стремительное развитие астрономии[1].

Начиная с конца XIX века начался период множественных научно-технических достижений в области изучения космоса. Запуск Советским Союзом первого в мире искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. ознаменовал собой начало новой эры в истории человечества – эры космоса [1, 2].

На сегодняшний день освоение внеземного пространства является одним из наиболее важных направлений современного

научно-технического прогресса, крупнейшим достижением человечества, и в связи с динамичным развитием в области исследований космоса, в том числе планет, их спутников и других небесных тел. Возникает необходимость в обладающих высокой проходимостью и мобильностью, автоматических системах специального назначения, способных на стабильную работу, выполнение широкого спектра задач в жестких условиях космического пространства [3].

Наиболее полно этим требованиям будут отвечать шагающие роботы-планетоходы.

Шагающий способ передвижения таких робототехнических комплексов (РТК) представляет основной интерес в большей опорной и профильной проходимости на естественном грунте, сильно пересеченной местности, по сравнению с традиционными способами передвижения, вплоть до возможности передвигаться прыжками, преодолевать препятствия различного характера, чему способствуют прерывистость контакта конечностей робота с поверхностью передвижения и наличие их нерабочего пространства. Вследствие чего, при шагающем способе грунт, по которому передвигается робот, гораздо меньше подвержен разрушению, что может быть немаловажно при подготовке некоторых проектов по исследованию небесных тел [4].

При создании робототехнических комплексов такого типа возникает актуальная необходимость в разработке математических

моделей движения. Созданная в данной научной работе модель позволяет апробировать возможные варианты управления роботом.

Цели и задачи

Целью научной работы является создание математической модели шестиногого шагающего лунохода на базе мобильного гексапода «HEXY», ArcBotics с помощью библиотеки SimMechanics пакета Simulink среды MATLAB.

Задачи работы поставлены следующие:

- Построить модель лунохода в среде MATLAB
- Решить обратную задачу кинематики для ног лунохода
- Синтезировать систему автоматического управления ногами лунохода
- Смоделировать движение лунохода с помощью пакета Simulink среды MATLAB

1. Математическая модель лунохода в среде MATLAB

1.1 Характеристики модели

Для создания математической модели движения лунохода в качестве макета был выбран мобильный гексапод «HEXY», ArcBotics с шестью степенями свободы для каждой конечности (см. Рис. 1.).

Были проведены замеры исходных массогеометрических характеристик робота, которые представлены в приложении (см. Приложение).

1.2 Способы передвижения шагающих роботов. Походка

Способы передвижения шагающих роботов можно разделить по количеству точек опор на поверхность: две, четыре, шесть, восемь и более [4].

Наиболее выгодная техника ходьбы для передвижения по поверхности небесных тел с пересеченным рельефом - с шестью точками опоры. Потому как проблемы обеспечения статической устойчивости движущихся шестиконечных робототехнических комплексов решаются проще по сравнению с другими типами конструкции.

Рассматривая шестиногую модель шагающего РТК, наиболее простым и эффективным способом осуществления его движения является походка «треножником» или «тройками» (т.е. для того чтобы сделать шаг, поднимается три ноги (см. светлые области на Рис.2, Рис. 3.), в то время, как вес переносится на три оставшиеся (см. темные области на Рис. 2, Рис. 3.), что продолжается циклично (см. Рис. 4.)) с помощью которой передвигаются большинство насекомых.

1.3 Построение модели робота в средеMATLAB с использованием библиотеки SimMechanics пакета Simulink

SimMechanics –одна из многочисленных библиотек системы Simulink, предназначенная для проектирования, а также моделирования поступательного и вращательного движения в трех плоскостях разного рода механических систем, подобно другим Simulink-моделям посредством блок – схем [5]. Например, таких как

«Body»(звено),«Revolute»(шарнирное соединение), «Ground» («земля», неподвижное звено, задающее систему отсчета.), «MachineEnvironment» (блок, позволяющий задавать значение ускорения свободного падения, что требуется при создании робототехнических систем космического назначения, например, планетохода. В данной работе значение в блоке соответствует значению ускорения свободного падения Луны, равное $1,62 \text{ м/с}^2$) и других, с помощью которых также была создана модель шагающего робота [8].

1.4 Обратная задача кинематики для конечности робота

В данной работе для определения значений углов между звеньями конечности робота при их перемещении из начального положения в конечное, заданных координатах концов кинематической цепи и длинах звеньев применяется метод обратной задачи кинематики (ОЗК).

Конечность робота представляет собой три звена, последовательно соединяемых шарнирными соединениями, приводящимися во вращательное движение относительно мировой системы координат через силовой привод двигателем.

В связи с тем, что для каждого звена, координаты которого задаются посредством относительных координат, а также вводится собственная, неразрывно связанная с ним система координат, оси которой параллельны осям других звеньев, что можно наглядно увидеть на кинематической схеме шестизвенного манипулятора (см.

Рис. 5.), для решения задачи нахождения угла изначально требуется перейти в систему координат, связанную с нижним звеном конечности, а после – вычислить величину углов других звеньев относительно него.

В математической модели среды MATLAB, пакета Simulink, величины рассчитанных углов подаются на блок «JointActuator» (регулятор), который в свою очередь передает управляющий сигнал на силовой привод звена (следящий привод) для корректировки его положения в пространстве [8, 9].

Для решения обратной задачи кинематики применяется множество методов точных (аналитических) и приближенных. Среди них можно выделить расчет посредством однородной матрицы поворота (так как рассматривается вращательное движение звеньев конечностей робота) третьего порядка [7], а также формул, например:

$$\begin{aligned}q_1 &= \arccos(X_0 * Z_1); q_2 = \arccos(Z_0 * Z_3); \\ q_3 &= \arccos(X_3 * Z_1); z_1 = (Z_3 * Z_0) / (|Z_3 + Z_0|) \quad [6].\end{aligned}$$

Где, q_1, q_2, q_3 – искомые углы между «землей» и верхним звеном, верхним и средним звеном, средним и нижним звеном соответственно.

$X_0, Y_0, Z_0; X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_2; X_3, Y_3, Z_3$ – оси координат собственных систем координат каждого звена («земли», верхнего, среднего и нижнего соответственно).

1.5 Математическая модель привода

Математическая модель следящего привода или сервопривода составляется на основании выбранного двигателя постоянного тока

(ДПТ) независимого возбуждения, а модель его движения – на основании формул, представленных ниже.

Процессы, происходящие в ДПТ во время его работы, можно описать с помощью дифференциального уравнения электрического равновесия якорной цепи двигателя:

$$L \cdot \frac{dI}{dt} + R \cdot I + E = U_{\text{я}}$$

Где:

L-индуктивность якоря;

R-активное сопротивление якоря;

I - ток якоря;

E -противоЭДС = kw, где: k–скоростная постоянная двигателя;
w–скорость вращения (угловая скорость) ротора двигателя;

U_я – напряжение, подаваемое на якорь двигателя;

Из вышеуказанной формулы следует, что $U_{\text{я}} - E = RI + LPI$
I*(R+LP) отсюда следует, что $I = (U - E) / (R + LP)$

Где P – мощность

А передаточная функция привода имеет следующий вид:

$W = (1 / k*w) / ((L*I_{\text{ин}}*S^2 / k*M*k*w) + ((n*L + R*I_{\text{ин}})*S / k*M*k*w) + (R*n / k*M*k*w) + 1)$ -Где дополнительно вводятся значения:

I_{ин} - суммарный момент инерции на валу двигателя;

k*M-постоянная момента, где M – момент, развиваемый двигателем;

n -коэффициент потерь на вязкое трение при вращении якоря;

На основании представленных выше уравнений выполняется построение структурной схемы следящего привода [9].

В данной работе для следящих приводов каждого звена робота была выбрана модель ДТП MAXONA – MAX 26 код 110206 и рядный редуктор MAXONGS 30 А код 110449

Спецификации двигателя (при номинальном напряжении) представлены в приложении (см. Приложение) [10]:

С учетом спецификаций двигателя модель следящего привода (в блоке Subsystem) для любого звена конечности шагающего робота в среде MATLAB приобретает следующий вид (см. Рис.6).

2. Проведение математического моделирования движения робота

2.1 Автоматическое управление конечностями робота

Определив исходные массогеометрические характеристики робота, спецификации используемого двигателя, а также решив ОЗК для звеньев конечностей робота, была построена его математическая модель и следящего привода в среде MATLAB. В качестве способа передвижения РТК решено было выбрать походку «тройками»

На основании сделанного возможно обеспечить автоматическое управление конечностями робота.

Пусть опорная нога гексапода за шаг проходит 10° , тогда свободная в этот момент пройдет 350° , из чего можно сделать вывод о том, что скорость свободной ноги во время совершения шага будет в 35

раз больше скорости опорной конечности. Соответственно будут относиться скорости звеньев этих конечностей.

В Simulink это можно реализовать различными способами. В данной научной работе применяется следующий: задать следящему приводу каждого звена начальную скорость посредством двух констант (в отношении 35:1), которая будет изменяться в зависимости от информации, поступающей на блок «Key» с датчика (блок «JointSensor») (см. Рис. 7.).

После моделирования движения производится его симуляция, в ходе которой получается наглядное анимированное изображение передвижения робота.

Таким образом на основании проведенного моделирования требуемого движения можно сделать вывод о том, что построенная математическая модель работоспособна и позволяет обеспечить передвижение гексапода «тройками» (автоматическое управление конечностями робота).

Заключение

В ходе научно - исследовательской работы были достигнуты все поставленные задачи и получены следующие результаты:

1. Построена математическая модель шестиного шагающего лунохода на базе мобильного гексапода «HEXY» ArcBotics (см. Рис.7., Рис. 8.), а также следящего привода в среде MATLAB с помощью пакета Simulink.

2. Решена обратная задача кинематики для всех звеньев конечностей робота.

3. Проведена работа по реализации автоматического управления движением робота.

4. Смоделировано движение «тройками», получено его наглядное анимированное изображение с помощью пакета Simulink среды MATLAB.

Математическую модель шестиного шагающего лоунохода, созданную в качестве конечного продукта данной научно-исследовательской работы, можно будет реально использовать в учебно-демонстративных целях в высших учебных заведениях.

Список литературы

[1]. Ru.Wikipedia.org// интернет ресурс

[2]. Сезоны-года.рф // интернет ресурс

[3]. Состав и характеристики мобильных роботов: учеб. Пособие по курсу «Управление роботами и робототехническими комплексами». / К. Ю. Машков, В. И. Рубцов, И. В. Рубцов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014

[4]. Bibliofond.ru // интернет ресурс

[5]. Моделирование механических систем с помощью пакета расширения SimMechanics. Научная работа // Махов Александр Александрович, Егорьевский технологический институт (филиал) МГТУ «Станкин», ст. преподаватель

[6].Робототехника. / Фу К., Гонсалес, Ли К.: Пер. с англ. – Москва.: Издательство Мир, 1989

[7]. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами. Учебник для вузов / Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. - Москва.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.

[8]. Matlab.exponenta.ru // интернет ресурс

[9]. Теория автоматического управления для «чайников». / К. Ю. Поляков. – Санкт-Петербург, 2008

[10].Каталог продукции компании MaxonMoto

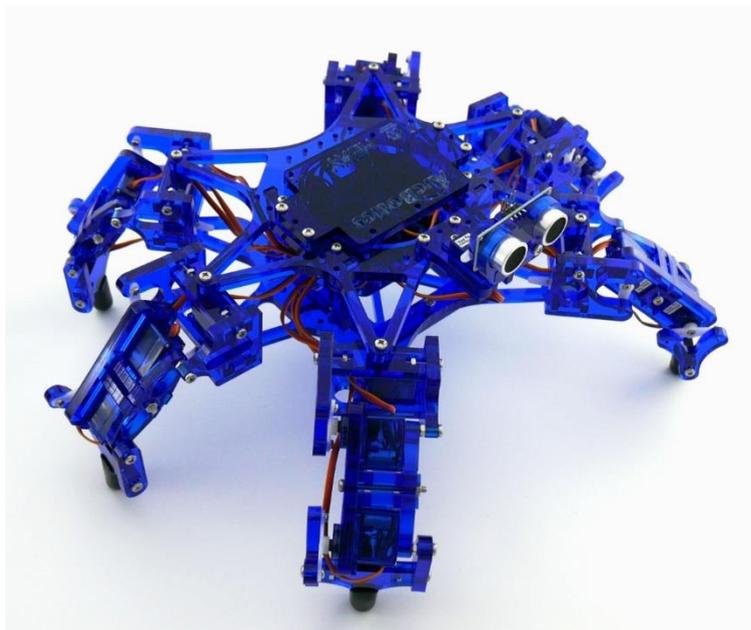


Рис. 1. Мобильный робот гексапод «HEXY», ArcBotics

Исходные массогометрические характеристики мобильного гексапода «HEXY», ArcBotics

Общая масса робота	$M_0 = 0.734$ кг
Масса каждого звена конечности	$M_k = 0.0408$ кг
Длина нижнего звена	$L_H = 0.05$ м
Длина среднего звена	$L_{cp} = 0.05$ м
Длина верхнего звена	$L_B = 0.02$ м

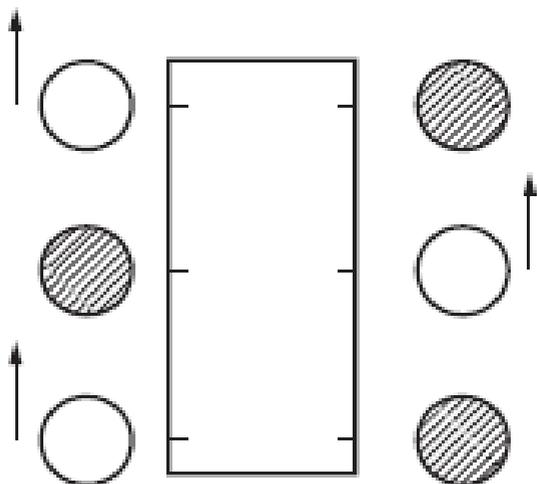


Рис.2. Момент начала движения

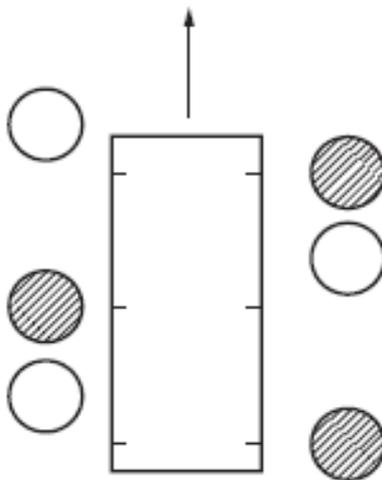


Рис. 3. Момент движения поднятых ног.

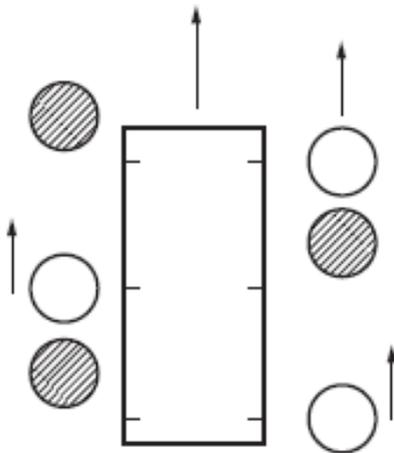


Рис. 4. Перемещение веса РТК с неподвижных ног на движущиеся.

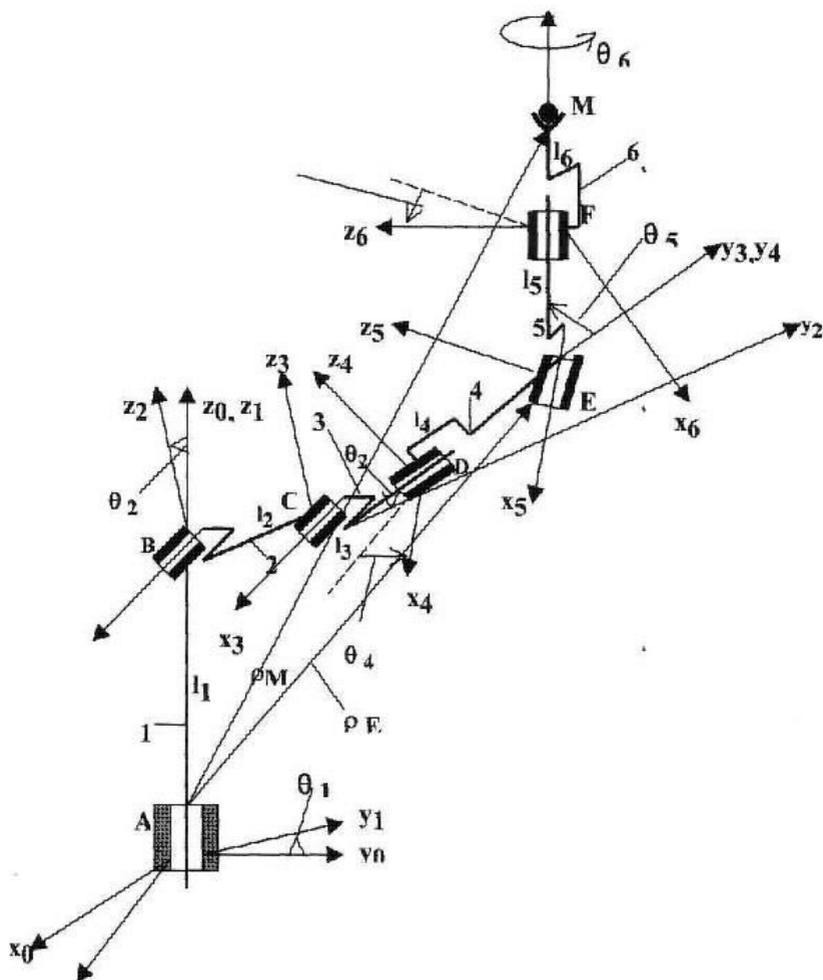


Рис. 5. Кинематическая схема шестизвенного манипулятора.

Спецификации ДТП МАХОНА – МАХ 26 код 110206 (при номинальном напряжении)

$$P = 4.5 \text{ Вт};$$

$$U_{\text{НОМ}} = 6.0 \text{ В};$$

$$\omega = 4090 \text{ об / мин};$$

$$I = 29.2 \text{ мА};$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = 2940 \text{ об / мин};$$

$$M_{\text{НОМ}} = 11.3 \text{ мН*м};$$

$$I_{\text{НОМ}} = 0.84 \text{ А};$$

$$M_{\text{пуск}} = 39.2 \text{ мН*м};$$

$$I_{\text{пуск}} = 2.83 \text{ А};$$

$$R = 2.12 \text{ Ом};$$

$$L = 0.227 \text{ мГн};$$

$$J_{\text{ред}} = 13/6 \text{ г*см}^2$$

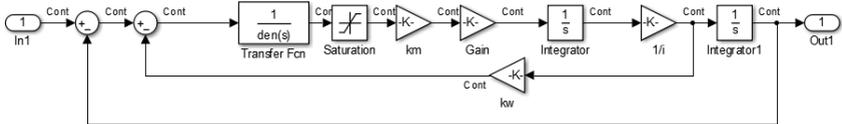


Рис. 6. Модель следящего привода

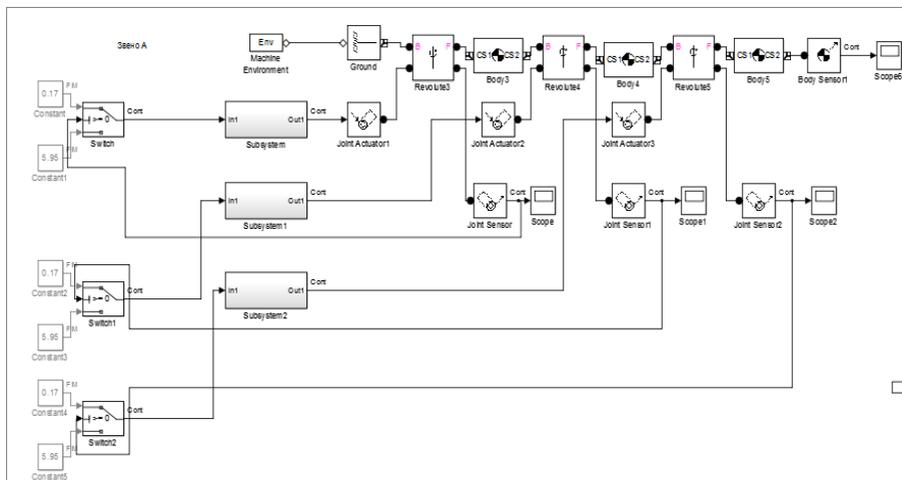


Рис. 7. Математическая модель одной из конечностей шагающего робота

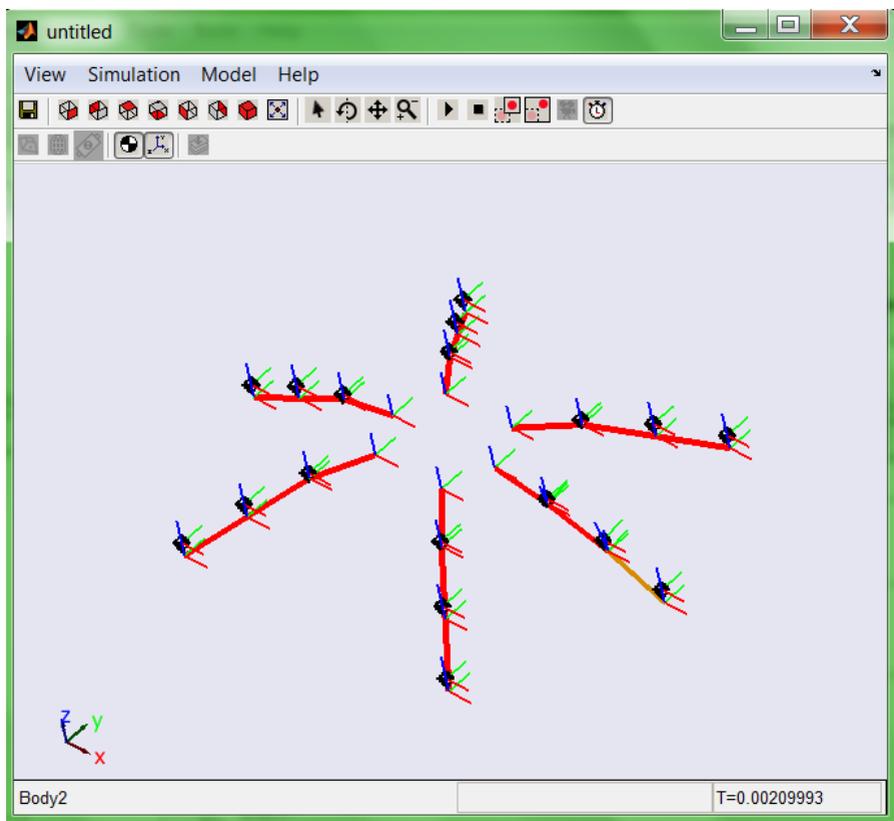


Рис. 8. Наглядное изображение шагающего робота в начале симуляции движения.

Технология изготовления и исследование динамики полёта летающей модели-копии зенитной управляемой ракеты ЗМ8МУ

Васильев Александр Сергеевич

г. Калуга, ГБОУ «Лицей №36», 11 класс

Научный руководитель:

Ретин Сергей Николаевич,

педагог-наставник,

МБОУ ДО «ДДТ города Калуги»;

Потапов Валерий Викторович,

педагог-наставник,

МБОУ ДО «ДДТ города Калуги»;

Введение

Целью данной научно-исследовательской работы является создание летающего прототипа модели ракеты с отделяющимися боковыми блоками таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную подъёмную силу и одновременно минимизировать аэродинамическое сопротивление. В качестве прототипа в масштабе 1:7,5, была выбрана зенитная управляемая ракета 70-х годов ЗМ8М. В качестве основного материала для изготовления использовалось углеродное волокно и лёгкие металлы. Для данной модели мной было составлено подробное пошаговое описание технологии её изготовления, а также проведено полное исследование динамики её полёта. Предлагаемый материал может быть использован как пособие

по работе с композитными материалами при изготовлении и исследовании динамики полёта других моделей ракет.

Сведения о зенитной управляемой ракете ЗМ8М зенитно-ракетного комплекса «КРУГ-М»

Разработка ракеты для ЗРК2К11 «Круг» была начата в Свердловском ОКБ-8 под руководством Л. В. Люльева. Разработкой бортовой аппаратуры 1СБ7 занималось конструкторское бюро НИИ-20 под руководством Н. Я. Хитрова. В 1960 году были проведены бросковые запуски. Далее ЗУР ЗМ8 проходила испытания в составе зенитно-ракетного комплекса.

Зенитная управляемая ракета ЗМ8 предназначена для использования в составе ЗРК2К11. Ракета ЗМ8 имеет две ступени. Во второй ступени размещён маршевый прямоточный воздушно-реактивный двигатель ЗЦ4. В центральной части ступени расположена осколочно-фугасная боевая часть ЗН11, массой 150 кг, с радиовзрывателем ЗЭ26 и баллоном воздушного аккумулятора давления. В качестве окислителя используется воздух, в баках размещён керосин общей массой 270 кг, и изопропилнитрат массой 27 кг. Полный вес второй ступени составляет около 1400 кг. На первой ступени находятся стартовые твердотопливные ракетные двигатели ЗЦ5 с зарядами 4Л11, состоящими из баллистического твёрдого топлива РСИ-12К, для разгона до числа Маха 1,5...2. Масса каждого заряда составляет 173 кг.

Управление производится поворотными крыльями, размещённых по Х-образной схеме. Крылья поворачиваются в диапазоне 28° с помощью гидропневматического привода. По Х-образной схеме размещены стабилизаторы. Компоновка второй ступени с поворотным крылом обеспечивает создание достаточной тяги для взлёта ракеты при углах возвышения пусковой установки от 10° до 60° . Ракета позволяет поражать цели на дальностях от 11 до 45 км при высоте от 3 до 23,5 км. (рис.1).

Динамика полёта моделей-копий ракет

Роль динамики полёта в процессе разработки модели-копии

При разработке модели-копии большую роль играет решение задач баллистики и устойчивости полёта. По результатам этих расчётов определяют основные характеристики модели и её компоновку. Проведенные баллистические расчёты служат основанием для принятия решения о соответствии создаваемой модели-копии заданным ТТТ. На их базе определяют рациональные варианты компоновочной схемы, основные параметры модели, её вес, опорные траектории полёта и действующие нагрузки.

Вопросы устойчивости полёта модели решают путём исследования предполагаемого расположения центров масс и давления. Рассматривая различные варианты решений, выбирают наиболее рациональную динамическую и компоновочную схему модели-копии.

На этапе эскизного проектирования роль динамических исследований ещё более велика. На нём требуется дать исчерпывающий ответ о достаточности принятых решений для достижения требуемых результатов и устойчивости полёта при всех возможных эксплуатационных условиях, т.е. при всех условиях запуска, метеорологических условиях, отклонения параметров модели-копии и бортового оборудования от номинальных и т.д.

Подъёмная сила

Коэффициент подъёмной силы для модели копии ракеты можно представить в виде суммы трёх слагаемых:

$$c_{y1} = (c_{y1}\bar{S})_{\phi} + (c_{y1}\bar{S}k_{т})_I + (c_{y1}\bar{S}k_{т})_{II}$$

Где $k_{тI}, k_{тII}$ - коэффициенты торможения потока передних и задних несущих поверхностей; $\bar{S}_{\phi}, \bar{S}_{II}, \bar{S}_I$ - относительные площади частей модели.

Рассмотрим отдельно каждое слагаемое, входящее в правую часть этого уравнения.

Первое слагаемое учитывает собственную нормальную силу корпуса. При малых углах атаки эта сила приблизительно равна нормальной силе изолированного корпуса, поэтому можно утверждать, что: $c_{y1\phi}^{\alpha} = c_{уиз.\phi}^{\alpha}$

Второе слагаемое характеризует нормальную силу, создаваемую передней несущей поверхностью. Величина этой силы выражается с

помощью коэффициента интерференции: $c_{y1I} = c_{yI \text{ из.кр}}^\alpha K_{\alpha\alpha}$. Величины $c_{yI \text{ из.кр}}^\alpha$ и $K_{\alpha\alpha}$ подсчитываются при числах Маха $M_1 = M\sqrt{k_T}$

Третье слагаемое почти аналогично второму. Отличие заключается в том, что при определении угла атаки несущей поверхности нужно учитывать угол скоса потока, вызванного влиянием передней несущей поверхности: $(c_{y1})_{II} = (c_{yI \text{ из.кр}}^\alpha K_{\alpha\alpha})_{II} (1 - \varepsilon_{\text{ср}}^\alpha)$

Данная модель является моделью-копией «пакетной» схемы. В таком случае для вычисления коэффициента подъёмной силы используют формулу:

$$c_{y1}^\alpha = K_{c_{y1}^\alpha} \left(\frac{S_1}{S_m} c_{y0,1}^\alpha + \frac{nS_2}{S_m} c_{y0,2}^\alpha \right)$$

Где $c_{y0,1}^\alpha$ - коэффициент подъёмной силы центрального корпуса; $c_{y0,2}^\alpha$ - коэффициент подъёмной силы корпуса бокового блока; S_m - площадь миделевого сечения всей системы; S_1 - площадь поперечного сечения центрального блока; S_2 - площадь поперечного сечения бокового блока; $K_{c_{y1}^\alpha}$ - коэффициент интерференции (для четырёх блоков- 2,22).

Величина $c_{\text{уиз.ф}}^\alpha$ зависит прежде всего от формы носовой части. В представленной модели-копии носовую часть рассматривали как тело вращения с кольцевым воздухозаборником на центральном блоке и конусовидную на боковых блоках.

Для центрального блока:

$$c_{y1 \text{ из.ф}}^\alpha = 0,035 \left(\frac{D_{\text{ц.тела}}^2}{D^2} + 1 \right) + \frac{2}{57,3} \frac{(D_{\text{вх}}^2 - D_{\text{ц.тела}}^2)}{D^2} \left(1 - \frac{D_{\text{ц.тела}}}{D_{\text{вх}}} \right)$$

Для конусовидной формы величина $c_{уI \text{ из.ф}}^\alpha$ постоянна и равна 0,035

Наибольшее распространение у моделей-копий получили несущие поверхности с трапецевидными консолями. Форма таких крыльев характеризуется удлинением двух консолей λ_k , сужением консолей η_k и углом стреловидности, измеряемым по какой-либо линии χ_m . Для расчёта $c_{уI \text{ из.кр}}^\alpha$ при скоростях полёта медленнее скорости звука, обычно применяют зависимость:

$$c_{уI \text{ из.кр}}^\alpha / \lambda_k = f \left(\lambda_k \sqrt{1 - M^2}; \lambda_k tg \chi_{0,5}; \eta_k \right)$$

Эта зависимость изображена на графике в приложении (рис.2).

Теперь рассмотрим коэффициенты интерференции $k_{\alpha\alpha}$ и $K_{\alpha\alpha}$. Коэффициент $k_{\alpha\alpha}$ характеризует изменение нормальной силы консолей вследствие влияния на них корпуса, а коэффициент $K_{\alpha\alpha}$ - изменение общей нормальной силы несущей поверхности вследствие взаимного влияния консолей и корпуса. Обычно, для вычисления этих коэффициентов применяют теорию тонкого тела, согласно которой, коэффициенты интерференции не зависят от скорости полёта и определяются только относительным диаметром корпуса. Также анализ экспериментальных данных приводит к выводу, что такие факторы как: влияние сужения консолей, влияние пограничного слоя и влияние длины передней части корпуса могут значительно влиять на коэффициенты, поэтому пренебрегать этими фактами нельзя. Формулы для расчёта коэффициентов, учитывающие сужение консолей можно записать следующим образом:

$$K_{\alpha\alpha}^* = 1 + 3\bar{D} - \frac{\bar{D}(1 - \bar{D})}{\eta_k}$$

$$k_{\alpha\alpha}^* = (1 - 0,41\bar{D})^2 \frac{1 + 3\bar{D} - \frac{\bar{D}(1 - \bar{D})}{\eta_k}}{(1 + \bar{D})^2}$$

Теперь необходимо учесть влияние пограничного слоя. Толщина пограничного слоя (обычно обозначают δ) постепенно возрастает по длине корпуса, вследствие чего линии внешнего потока, обтекающего корпус, вытесняются наружу. Величина смещения линий потока носит название толщины вытеснения и обозначается символом δ^* . Формула для вычисления коэффициента пограничного слоя:

$$k_{\text{п.с.}} = \left(1 - \frac{2\bar{D}^2}{1 - \bar{D}^2} \delta^*\right) \left[1 - \frac{\bar{D}(\eta_k - 1)}{(1 - \bar{D})(\eta_k + 1)} \delta^*\right]$$

Относительную толщину вытеснения δ^* следует подсчитывать в сечении, проходящем через середину боковой хорды консоли на расстоянии: $L_1 = x_6 + b_6/2$. Рассчитывается относительная величина по формуле:

$$\delta^* = \frac{0,093}{\left(\frac{VL_1}{v}\right)^{\frac{1}{5}}} \frac{L_1}{D} (1 + 0,4M + 0,147M^2 - 0,006M^3)$$

Где v -кинематический коэффициент вязкости воздуха (табличное значение).

И наконец влияние длины передней части корпуса. Это влияние обуславливается тем, что у некоторых моделей ракет передние поверхности расположены на небольшом расстоянии от кончика

носовой части. Для учёта этого обстоятельства обычно вводят поправочный множитель $\kappa_{\text{нос}}$, приближённо определяемый по формуле:

$$\kappa_{\text{нос}} = 0,6 + 0,4(1 - e^{-0.5L_1})$$

Итак, конечные формулы для расчёта коэффициентов интерференции имеют вид:

$$K_{\alpha\alpha} = K_{\alpha\alpha}^* \kappa_{\text{пс}} \kappa_{\text{нос}}$$

$$k_{\alpha\alpha} = k_{\alpha\alpha}^* \kappa_{\text{пс}} \kappa_{\text{нос}}$$

Теперь нам необходимо учесть влияние передних поверхностей на задние. Это обуславливается тем, что передние несущие поверхности, будучи установлены под углом атаки, отбрасывают набегающие частицы воздуха в сторону, обратную вектору подъёмной силы. В результате происходит скос потока. Формула для расчёта угла скоса потока $\varepsilon_{\text{ср}}^{\alpha}$:

$$\varepsilon_{\text{ср}}^{\alpha} = \frac{57,3}{2\pi} \frac{i}{\bar{z}_B} \frac{l_{\text{кI}}}{l_{\text{кII}}} \left(\frac{c_{yI}^{\alpha} \text{ из.кр}}{\lambda_{\text{к}}} \right) \frac{k_{\alpha\alpha I}}{K_{\alpha\alpha II}}$$

Здесь \bar{z}_B - относительна координата вихря (определяется по графику зависимости от параметров верхних консолей $\lambda_{\text{к}} \sqrt{1 - M^2}$, $\lambda_{\text{к}} t g \chi_{0,5}$ и $\eta_{\text{к}}$ (рис. 3)); Величина i - коэффициент интерференции вихрей и задней несущей поверхности. Этот коэффициент зависит от следующих параметров: относительного диаметра корпуса в области задней несущей поверхности \bar{D}_{II} , обратного сужения консолей $1/\eta_{\text{к}}$, а также от относительной координаты вихря $2z_B/l_{II}$. Поперечная координата вихря z_B

определяется по формуле $z_B = \frac{1}{2}[D_1 + \bar{z}_B(l - D_1)]$, где D_1 – диаметр корпуса в области передней несущей поверхности. Зависимость от этих параметров представлена в приложении (рис.4).

Последнее что нам надо найти для вычисления коэффициента подъёмной силы- это коэффициент торможения потока. Величина этого коэффициента определяется соотношением размеров передних и задних несущих поверхностей, расстоянием между ними и числом Маха. Приближённая формула для вычисления этой величины:

$$k_T = \frac{k_T^* + S_{II}/S_I}{1 + S_{II}/S_I}$$

Где $k_T^*=0,975$ –постоянная величина: S_I –площадь передней несущей поверхности; S_{II} - площадь задней несущей поверхности.

Аэродинамическое сопротивление

Коэффициент лобового сопротивления модели-копии обычно представляют в виде суммы двух слагаемых:

$$c_x = c_{x0} + c_{xi}$$

Здесь: c_{x0} - коэффициент сопротивления при нулевой подъёмной силе; c_{xi} - коэффициент индуктивного сопротивления.

Для расчёта коэффициента лобового сопротивления моделей копий «пакетной схемы» применяют формулу:

$$c_{x0} = K_{c_{x0}} \left(\frac{S_1}{S_m} c_{x0.1} + \frac{nS_2}{S_m} c_{x0.2} \right)$$

Где $c_{x0.1}$ - коэффициент лобового сопротивления центрального корпуса; $c_{x0.2}$ - коэффициент лобового сопротивления бокового блока;

S_1 - площадь поперечного сечения центрального блока; S_2 - площадь поперечного сечения бокового блока; S_m - площадь миделевого сечения всей системы; n - количество блоков; $K_{c_{x0}}$ – коэффициент интерференции (находится по графику зависимости(рис.5)). В простом случае коэффициенты лобового сопротивления $c_{x0.1}$ и $c_{x0.2}$ можно выразить в формулам:

$$c_{x0.1} = 1,1(c_{x0\phi}\bar{S}_\phi + c_{x0I}\sum\bar{S}_I + c_{x0II}k_{TII}\sum\bar{S}_{II})$$

$$c_{x0.2} = 1,1(c_{x0\phi}\bar{S}_\phi)$$

Где 1,1- поправка на неучтённые детали; $\sum\bar{S}_I$ - отношение суммарной площади всех консолей передней несущей поверхности к характерной площади; $\sum\bar{S}_{II}$ -отношение суммарной площади всех консолей задней несущей поверхности к характерной площади; \bar{S}_ϕ - отношение сечения корпуса(фюзеляжа) к характерной площади; \bar{S}_ϕ - отношение сечение бокового блока к характерной площади; $c_{x0\phi}, c_{x0\phi}, c_{x0I}, c_{x0II}$ - коэффициенты изолированных частей модели-копии.

По физической природе лобовое сопротивление корпуса при вертикальном полёте можно разделить на сопротивление трения и давления. Сопротивление трения представляет собой результирующую сил трения, приложенных ко всей поверхности корпуса. Соответственно сопротивление сил давления- это результирующая сил давления, действующая главным образом на носовую, кормовую и донную (донный срез) части ракеты. В соответствии с таким давлением

коэффициент $c_{x0\phi}$ можно выразить как (коэффициент $c_{x0\phi}$ выражается аналогичным образом) :

$$c_{x0\phi} = c_{x \text{ тр}} + c_{x \text{ нос}} + c_{x \text{ дн}}$$

Пренебрегая отдельными элементами корпуса, можно написать:

$$c_{x \text{ тр}} = (2c_f/2)F_\phi/S_\phi$$

Где F_ϕ - площадь обтекаемой поверхности корпуса без площади бокового среза без площади донного среза; $2c_f$ - удвоенный коэффициент трения плоской пластинки, длина которой равна длине корпуса L_ϕ (зависит от чисел Рей М, определяется по графику зависимости (рис.6)). Использование значений $2c_f$ допустимо вследствие того, что большая часть моделей-копий (в том числе и моя модель) имеют цилиндрическую поверхность, а обтекание цилиндра незначительно отличается от обтекание плоской пластинки.

Далее **коэффициент сопротивления носовой части**. При рассмотрении носовой части с параболическими обводами и сферическим затуплением (на центральном блоке), сопротивление рассчитывается по формуле:

$$c_{x \text{ нос}} = c_{x \text{ нос}}^* \left[1 - r^{-2} \cos^2 \theta (3,1 - 1,4r^{-2} \cos \theta - 0,7r^{-2} \cos^2 \theta) + c_{x \text{ затуп}} r^{-2} \right]$$

Где $c_{x \text{ нос}}^*$ зависит от числа Ми определяется по графику (рис.7); $c_{x \text{ затуп}}$ - также зависит от числа М и определяется по графику (рис.7 для полусферы); $r^{-2}=2r/D$ -относительный радиус переходного сечения.

Коэффициент сопротивления конической носовой части (на боковых блоках) зависит от числа М и определяется по графику (рис.8)

Донное сопротивление зависит от многих факторов таких как форма кормовой части, наличия или отсутствия хвостовых стабилизаторов, состояния пограничного слоя и т.д. Экспериментальными методами удалось установить приблизительную формулу для расчёта коэффициента донного сопротивления:

$$c_{x \text{ дн}} = -(\overline{p_{\text{дн}}})_{\eta=1} k_{\eta} \frac{S_{\text{дн}}}{S_{\text{ф}}}$$

$$\text{Где } -(\overline{p_{\text{дн}}})_{\eta=1} = \frac{0,0155}{\sqrt{\lambda_{\text{к}} c_f}}; k_{\eta} = \eta_{\text{корм}}.$$

Методы расчёта коэффициента передних и задних несущих поверхностей почти идентичны. Единственным исключением является ввод коэффициента торможения потока для расчёта задних несущих поверхностей.

Лобовое сопротивление несущей поверхности с заострёнными задними кромками при вертикальном полёте равно профильному сопротивлению:

$$c_{x0l} = c_{xp} = 2c_f \eta_c$$

Где $2c_f$ - удвоенный коэффициент трения плоской пластинки; η_c - поправочный множитель, учитывающий влияние толщины профиля (зависит от относительной толщины профиля и определяется по графику (рис.9)).

Для расчёта коэффициента индуктивного сопротивления у моделей-копий с заострёнными передними кромками можно использовать упрощённую формулу:

$$c_{xi} = (c_y + c_{x0} \sin \alpha) \operatorname{tg} \alpha$$

Статическая устойчивость полёта

В динамике полёта большую роль играют понятия статического равновесия и статической устойчивости летательного аппарата. Состояние равновесия характеризуется тем, что сумма моментов всех сил, действующих на летательный аппарат равна нулю. Модель-копию принято называть статически устойчивой, если момент аэродинамических сил, возникающих при угловом отклонении от положения равновесия, направлен в сторону исходного положения равновесия.

При малых углах атаки и отклонения рулей обычно пользуются понятием фокусов модели-копии. Фокусом летательного аппарата по углу атаки- называется точка приложения той части нормальной силы, которая пропорциональна углу атаки. Аналогичный смысл имеют понятия фокусов по углам отклонения передних или задних несущих поверхностей этого аппарата. Чтобы обеспечить модели-копии статическую устойчивость, необходимо, чтобы центр тяжести располагался впереди координаты фокуса. Составляющая нормальной силы ракеты по углу атаки создаётся корпусом и несущими поверхностями. Поэтому для определения фокуса всей модели необходимо найти координаты фокуса всех её частей:

$$x_{F\alpha} = \frac{1}{c_{y1}^\alpha} \left[(c_{y1}^\alpha \bar{S} x_{F\alpha})_\phi + (c_{y1}^\alpha \bar{S} k_T x_{F\alpha})_I + (c_{y1}^\alpha \bar{S} k_T x_{F\alpha})_{II} \right]$$

Где $x_{F\alpha\phi}$ - координата фокуса корпуса; $x_{F\alpha I}$ - координата фокуса передних несущих поверхностей; $x_{F\alpha II}$ - координата фокуса задних несущих поверхностей.

Для случая, когда корпус состоит из носовой и цилиндрической части принято считать $c_{y1\phi}^\alpha = c_{y1\text{нос+цил}}^\alpha$, следовательно координата фокуса корпуса определяется выражением:

$$x_{F\alpha\phi} = x_{F\alpha\text{нос+цил}} = L_{\text{нос}} - \frac{W_{\text{нос}}}{S_\phi}$$

Где $W_{\text{нос}}$ - объём носовой части корпуса.

Для нахождения координаты корпуса передней несущей поверхности, представим коэффициент нормальной силы для неё в виде трёх слагаемых:

- 1) коэффициент нормальной силы изолированных крыльев $c_{y1\text{из кр}}^\alpha$
- 2) коэффициент дополнительной нормальной силы, вызванной влиянием корпуса $c_{y1\text{из кр}}^\alpha \alpha (k_{\alpha\alpha} - 1)$
- 3) коэффициент нормальной силы индуцированной консолями на корпусе $c_{y1\text{из кр}}^\alpha \alpha (K_{\alpha\alpha} - 1)$

Координаты точек приложения этих сил обозначим соответственно через $x_{F\text{из кр}}$, $x_{F\Delta}$ и $x_{Fi\phi}$.

Приравнивая сумму моментов сил моменту их равнодействующей, получаем формулу для расчёта координаты фокуса передней несущей поверхности:

$$x_{F\alpha I} = \frac{1}{K_{\alpha\alpha I}} [x_{F_{\text{из кр}}} + (k_{\alpha\alpha} - 1)x_{F\Delta} + (K_{\alpha\alpha} - k_{\alpha\alpha})x_{Fi\phi}]_I$$

Здесь положение фокуса изолированных крыльев обычно выражают через безразмерную величину $x_{F_{\text{из кр}}}$. Её высчитывают по формуле:

$$x_{F_{\text{из кр}}} = x_{A.k} + b_{A.k} \overline{x_{F_{\text{из кр}}}}$$

Где $b_{A.k}$ - средняя аэродинамическая хорда консолей, $x_{A.k}$ - координата начала средней аэродинамической хорды консолей.

Величина $x_{F_{\text{из кр}}}$ - зависит от параметров подбоя $\lambda_k \sqrt{1 - M^2}$, $\lambda_k \text{tg} \chi_{0,5}$ и η_k и определяется по таблице (рис.10).

Координата точки приложения дополнительной нормальной силы $x_{F\Delta}$. Она высчитывается по формуле:

$$x_{F\Delta} = x_{F_{\text{из кр}}} - f_1 \text{tg} \chi_{0,5}$$

Где f_1 – расстояние между фокусом изолированного крыла и точкой приложения дополнительной точки консолей, определяется по графику зависимости от относительного диаметра корпуса (рис.11), $\text{tg} \chi_{0,5}$ - угол стреловидности на половине расстояния от передней кромки;

Координата приложения нормальной силы корпуса, индуцированной консолями, для диапазона скоростей полёта моделей-копий высчитывается по формуле:

$$x_{Fi\phi} = x_6 + b_6(x_{Fиз\ кр} - 0,02l_{к}tgX_{0.5})$$

Координата фокуса задней несущей поверхности определяется аналогичным способом, что и для передней:

$$x_{F\alpha II} = \frac{1}{K_{\alpha II}} [x_{Fиз\ кр} + (k_{\alpha\alpha} - 1)x_{F\Delta} + (K_{\alpha\alpha} - k_{\alpha\alpha})x_{Fi\phi}]_{II}$$

Расчёт скорости и высоты полёта модели

Систему уравнений, описывающих движение модели ракеты можно существенно упростить, если учесть, что одноступенчатые модели имеют относительно малую массу топлива, и принять ряд допущений:

- 1) Масса модели постоянна на активном участке траектории и равна стартовой массе без половины массы топлива
- 2) Тяга двигателя постоянна
- 3) Модель взлетает вертикально и на нее не влияют атмосферные возмущения
- 4) Плотность воздуха постоянна
- 5) Движение модели представляется как движение материальной точки
- 6) Коэффициент аэродинамического сопротивления постоянен и не зависит от скорости полёта

В таком случае уравнение движения на активном участке полёта имеет вид:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P - X}{m_a} - g$$

Где P -тяга двигателя(Н); X -сила аэродинамического сопротивления(Н); m_a - средняя масса модели на активном участке (кг); $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение земного тяготения.

Для дальнейшего упрощения введем новые обозначения:

- 1) Разделив среднюю массу двигателя на среднюю массу модели на активном участке, получим среднее ускорение модели от тяги двигателя и обозначим его как P_{cp}
- 2) Введем понятие баллистического коэффициента модели на активном участке, обозначив его как σ_a

$$\sigma_a = \frac{c_x \rho S}{2m_a}$$

Где c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления модели; ρ - массовая плотность воздуха при нормальных условиях равная $1,225 \text{ кг/м}^3$; S - характерная площадь модели. Учитывая, что сила аэродинамического сопротивления равна $X = \frac{c_x \rho S V^2}{2}$, уравнение движения принимает следующий вид:

$$\frac{dV}{dt} = P_{cp} - \sigma_a V^2 - g$$

Интегрируя методом разделения переменных получим:

$$V_a = \sqrt{\frac{P_{cp} - g}{\sigma_a} \left(1 - \frac{2}{e^{2ta\sqrt{(P_{cp}-g)\sigma_a} + 1}} \right)}$$

Где V_a - скорость полёта в конце активного участка (м/с).

Интегрируя повторно, получаем высоту активного участка полёта:

$$H_a = \frac{1}{2\sigma_a} \ln \left(1 + \frac{\sigma_a V_a^2}{(P_{cp} - g) - \sigma_a V_a^2} \right)$$

По аналогии с баллистическим коэффициентом на активном участке полёта введём баллистический коэффициент на пассивном участке

$$\sigma_{\pi} = \frac{c_x \rho S}{2m_{\pi}}$$

Где m_{π} - масса на пассивном участке полёта равна массе модели без топлива. Теперь уравнение для пассивного участка полёта имеет вид:

$$\frac{dV}{dt} = -\sigma_{\pi} V^2 - g$$

Интегрируя уравнение относительно V получим:

$$H_{\pi} = \frac{1}{2\sigma_{\pi}} \ln \left(1 + \frac{\sigma_{\pi} V_a^2}{g} \right) \text{ и } t_{\pi} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{\pi} g}} \operatorname{arctg} \left(V_a \sqrt{\frac{\sigma_{\pi}}{g}} \right)$$

где H_{π} - высота полёта на пассивном участке (м), t_{π} - время подъёма модели на максимальную высоту (с)

В конце подсчитываем общую высоту полёта как сумму высот активного и пассивного участков полёта:

$$H = H_{\pi} + H_a$$

Технология изготовления летающей модели ракеты

Выбор материалов и сбор необходимой информации

Изготовление любой модели-копии начинается с того, что после математического моделирования полёта и вычисления аэродинамических характеристик, собирается вся необходимая информация о прототипе. Она включает в себя: описание прототипа, технические данные, фотографии, назначение и чертежи прототипа.

Далее выполняется рабочий чертеж в масштабе 1:1. Масштаб модели следует подбирать из соображения габаритов. Выбор слишком маленького масштаба может привести к затруднениям при работе с небольшими элементами корпуса и детализацией. Выбор слишком большого масштаба значительно увеличивает вес модели, а также может повлиять на стабильность полёта и устойчивость ракеты при старте. Затем можно приступить к изготовлению необходимой для сборки модели оснастки.

Одним из самых важных этапов моделирования прототипа ракеты является выбор материалов, из которых модель будет сделана. Материалы должны отличаться прочностью и небольшой массой. Основой для изготовления моей модели послужили такие композиционные материалы как углеродное волокно (карбон) и стекловолокно. Карбон отличается высокой прочностью, жёсткостью, малой массой и жароустойчивостью. По удельным характеристикам превосходит высокопрочную сталь. В качестве скрепляющего материала, была использована двухкомпонентная эпоксидная смола

L+. Стоит отметить, что при работе с эпоксидными смолами необходимо тщательно соблюдать технику безопасности и работать в хорошо проветриваемом помещении пользуясь респиратором, в связи с тем, что смолы токсичны.

Также, при изготовлении данной модели использовались такие материалы как дюралюминий, бальза, липа и пластик.

Корпус и разгонные блоки

Корпус и разгонные блоки первой ступени ракеты состоят из двух слоёв стеклоткани плотностью 360 г/м² и одного слоя углеволокна плотностью 245 г/м². Изготовление второй ступени ракеты начинается с того, что выбирается ровная гладкая поверхность, на которой будет производиться пропитка эпоксидной смолой. Предварительно на токарном станке были выточены две оправки их толстостенных труб. Оправки имели значительную массу в связи с чем должны были оказывать большое давление на поверхность, поэтому в качестве поверхности было выбрано толстое стекло. Затем из стекловолокна и карбона вырезаются заготовки. Заготовку из стекловолокна обжигают. Далее на стекле расстилают первую заготовку из стекловолокна и равномерно пропитывают эпоксидной смолой. Таким же образом поверх первой уже пропитанной заготовки наносят вторую заготовку из углеродного волокна. Заготовки вновь пропитывают. В последнюю очередь, поверх первых двух заготовок наносят третью из стекловолокна. Все три заготовки пропитывают в последний раз. Далее заготовки оборачивают вокруг соответствующим частям корпуса

оправок и стягивают не клеящейся к смоле плёнкой (можно использовать лавсан или фотоплёнку). После всех вышеуказанных операций, оправки оставляют сохнуть на сутки в сухом месте. Чтобы не возникало проблем со снятием заготовок рекомендуется предварительно обработать оправки эдельваксом или разделительным составом. После снятия заготовки подрезают под нужные размеры (согласно чертежу), шпаклюют и грунтуют. Затем заготовки обрабатывают мелкой шкуркой и в конце мокрой шлифовкой. Теперь они готовы к нанесению имитации сварных швов, люков и прочей деталировки. Получившиеся части корпуса покрывают тремя слоями серой матовой краски. В последнюю очередь на модель наносят переводную маркировку. (рис.12)

Изготовление боковых разгонных блоков (первая ступень) по технологии не отличается от блока первой ступени. Головной обтекатель для каждого блока выклеивается из двух слоёв стеклопластика в гипсовой форме. С центральной частью блока обтекатель соединяется при помощи кольца, выточенного из липы. Сопла вытачивают из дюралюминия на токарном станке. (рис.13)

Отдельно следует рассмотреть систему узлов, благодаря которой происходит отделение боковых блоков от блока второй ступени. На фрезерном станке, из пластика фрезеруется силовой шпангоут центрального блока. Шпангоут клеивают внутрь корпуса блока. Передний узел спаивается из жести и крепится к боковому блоку. Аналогично происходит и с шарнирным узлом.

Отделение происходит следующим образом. После спада тяги двигателя блока первой ступени срабатывает вышибной заряд, который выталкивает поршень, расположенный рядом с шарнирным узлом. При этом задняя часть каждого бокового блока отделяется от блока первой ступени. При достижении определенного угла отклонения блока, происходит разделение и переднего узла. (рис.14).

Головной обтекатель

Головной обтекатель, в связи со сложностью его изготовления как одной цельной детали, было решено разделить на четыре составные части. Каждая часть обтекателя вытачивалась на токарном станке из липы (в соответствие с рабочим чертежом). Затем части склеивались вместе 30-минутной двухкомпонентной эпоксидной смолой. Далее места стыка частей шпаклюются и обрабатываются мелкой шкуркой. После обработки стыков обтекатель покрывается одним слоем грунта для выявления неровностей. Неровности обрабатываются мелкой шкуркой и мокрой шлифовкой. Теперь обтекатель готов к нанесению на него имитации сварных швов и люков. В конце обтекатель второй раз покрывают слоем грунта и окончательно подготавливают к покраске. Покраску производят таким же образом, что и блок первой ступени, тремя слоями серой матовой краски. (рис.15)

Чтобы сравнить теоретические расчеты с реальными, головной обтекатель был приспособлен к несению такого исследовательского оборудования как электронный высотометр и термометр. При необходимости, есть возможность разместить и другое

исследовательское оборудование внутри головного обтекателя в пределах его вместительности.

Стабилизаторы

Данная модель-копия имеет 8 стабилизаторов. Изготовление каждого стабилизатора начинается с выбора материала. В связи с выбранным масштабом стабилизаторы должны быть максимально лёгкими и прочными. В качестве материала была выбрана лёгкая бальза. Первым делом заготовки из бальзы обрабатывают до ширины, которая является максимальной на стабилизаторе. Затем, на заранее подготовленной оснастке, каждую заготовку профилируют согласно чертежу. После профилирования заготовки пропитывают эпоксидной смолой и приклеивают один слой тонкого стекловолокна по всей площади стабилизатора. Получившиеся стабилизаторы получают одновременно прочными и легкими. Далее стабилизаторы покрывают слоем грунта и обрабатывают сначала мелкой шкуркой, затем мокрой шлифовкой. Конечным этапом является нанесение трёх слоёв серой матовой краски и нанесение маркировки. (рис.16)

Система спасения, подбор двигателей и пусковая установка

Для обеспечения зажигания одного двигателя достаточно активировать его с помощью запала. Однако для зажигания нескольких двигателей встаёт вопрос об изготовлении специальной установки, которая сможет активировать несколько двигателей одновременно. Активация двигателей происходит путем поджигания пороха, который

находится внутри дюралевого цилиндра. Взрывная сила подожжённого пороха может выйти только через стальные трубки и тем самым поджечь сами двигатели ракеты. Положение трубок настроено так, чтобы они напрямую входили в сопло двигателя и при активации не повредили саму модель-копию. На основании пусковой установки высверлены отверстия для крепления направляющих штырей. Они необходимы для стабильного старта модели-копии. (рис.17)

Срабатывание системы спасения ракеты с отделяющимися во время полёта частями, представляет собой многоэтапный процесс, каждый этап которого должен сработать в определённое время с точностью до десятых секунды.

При выборе модельных ракетных двигателей следует учитывать такие параметры как полный импульс (H^*c), максимальная тяга (H), время работы (c) и время горения замедлителя (c). Стоит помнить, что самостоятельное изготовление модельных ракетных двигателей по технике безопасности, является недопустимым. Каждый двигатель является одноразовым.

Для данной ракеты были выбраны 5 двигателей с полным импульсом 2.5 (H^*c), максимальной тягой 13 (H), временем работы 0.8 (c) и замедлителем 3 (c) и 3 двигателя с полным импульсом 20 (H^*c), максимальной тягой 32,9 (H), временем работы 1.6 (c) и замедлителем 3 (c). Четыре двигателя с максимальной тягой 13 (H) установлены в боковых блоках и один такой же двигатель в центральном блоке.

Двигатели с максимальной тягой 32,9 (Н) установлены в центральном блоке.

Срабатывание системы спасения происходит следующим образом:

- 1) Пусковая установка активирует все 8 двигателей ракеты
- 2) Через 0,8 секунды вышибной заряд двигателя с максимальной тягой 13 (Н) передаёт свой импульс в пирокрест и происходит отделение боковых блоков (рис)
- 3) Ещё через 0,8 секунды заканчивают свою работу 3 двигателя с максимальной тягой 32,9 (Н) и начинается пассивный участок полёта модели.
- 4) Через 2,2 секунды после этого срабатывает вышибной заряд на боковых блоках, который выталкивает установленный в них ватный пыж вместе с парашютом
- 5) Через 0,8 секунды в одном из трёх двигателей с максимальной тягой 32,9 (Н) также срабатывает вышибной заряд, который через огневод выталкивает ватный пыж и три парашюта.

Таким образом можно обеспечить безопасное возвращение модели-копии на землю. Стоит отметить, что данная ракета является многоразовой и для повторного полёта необходима только замена пыжей и двигателей.

Заключение

Таким образом мной проведена пошаговая разборка конструирования модели-копии зенитной управляемой ракеты ЗМ8М и представлены аэродинамические расчеты, которые важны для всех типов ракет. В среднем на проектирование и изготовление подобной модели-копии может уйти 1,5-2 года. Ракеты такого типа относятся к классу S7 и могут участвовать в соревнованиях по ракетомодельному спорту. Для постройки такой модели с необходимо большое количество опыта поэтому начинать моделирование лучше всего с более простых однодвигательных ракет. Для представленной модели были проведены испытания срабатывания системы спасения и пробные испытательные запуски. Вычисление всех предложенных в работе коэффициентов и других аэродинамических характеристик для модели представлены в приложении.

Список литературы

- 1) Свободная энциклопедия «Википедия» [Сайт]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (Дата обращения 12.10.2016).
- 2) Минаков В.И. Спортивные модели-копии ракет, том 1. (Учебное пособие), 2006. 158 с.
- 3) Минаков В.И. Спортивные модели-копии ракет, том 2. (Чертежи ракет), 2006.
- 4) Минаков В.И. Спортивные модели-копии ракет, том 3. (Учебное пособие), 2006. 222 с.

5) Полтавец Г.А. Аэродинамика моделей ракет. (Учебное пособие),Изд-во МАИ, 2004. 59 с.

Лунная база из композиционных материалов

Елхина Анна Максимовна

г. Москва, ГБОУ «Школа №825», 11 класс

Научный руководитель:

Денисова Лилиана Валентиновна,

к.т.н., доцент кафедры СМ-13,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

Луна – единственный естественный спутник Земли и второй по яркости объект на земном небосводе. В современной истории Луна является первым и единственным небесным телом, на которое была произведена высадка человека. Луна привлекает людей своим богатством ресурсами и перспективой развития таких отраслей, как металлообработка, литейное производство, электроника, энергетика и туризм. Также освоение Луны помогло бы в развитии науки. Перед тем как заселять Луну, необходимо выбрать материал, из которого будут сделаны жилые модули. Я считаю, что наиболее перспективными являются надувные модули из композиционных материалов.

Цель работы: Обоснование выбора композиционных материалов надувного космического модуля на основе исследования его внешнего теплообмена.

Задачи:

1. Рассмотреть существующие и перспективные лунные модули.

2. Ознакомиться с перспективными композиционными материалами, подходящими для надувных Лунных модулей.

3. Провести моделирование температуры наружной поверхности теплоизоляционного слоя надувного Лунного модуля и проникающих тепловых потоков.

1. ПРЕДПОСЫЛКИ ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ

Бурное развитие космической техники позволяет думать, что колонизация космоса — вполне достижимая и оправданная цель. На Луне имеется множество природных ресурсов. Этот спутник находится на сравнительно близком расстоянии от Земли, ее ландшафт изучен, было сделано множество снимков ее поверхности. На Луне есть такие важные промышленные металлы, как железо, титан, алюминий. В поверхностном слое лунного грунта накоплен редкий для Земли изотоп — гелий-3. В перспективе он может стать основным источником топлива для термоядерных реакторов. Вакуум и дешевая солнечная энергия поспособствуют развитию таких отраслей, как металлообработка, литейное производство, электроника. Фактически условия для обработки металлов и создания микроэлектронных устройств на Земле менее благоприятны из-за большого количества свободного кислорода в атмосфере, ухудшающего качество литья и сварки, делающего невозможным получение сверхчистых сплавов и подложек микросхем в больших объёмах. Помимо этого Луна интересна как место для размещения опасных и вредных производств. Для учёных лунная база является уникальным местом для проведения

научных исследований в области планетологии, астрономии, космологии, космической биологии и других дисциплин. Изучение лунной коры может дать ответы на важнейшие вопросы об образовании и дальнейшей эволюции Солнечной системы, системы Земля — Луна, появлении жизни. Отсутствие атмосферы и более низкая гравитация позволяют строить на лунной поверхности обсерватории, оснащённые оптическими и радиотелескопами, способными получить намного более детальные и чёткие изображения удалённых областей Вселенной, чем это возможно на Земле, а обслуживать и модернизировать такие телескопы гораздо проще, чем орбитальные обсерватории. Луна, благодаря своим впечатляющим ландшафтам и экзотичности, также выглядит как весьма вероятный объект для космического туризма, который может привлечь значительное количество средств на её освоение, способствовать популяризации космических путешествий, обеспечивать приток людей для освоения лунной поверхности. Космический туризм будет требовать определённых инфраструктурных решений.

Также существуют планы использования лунных баз в военных целях для контроля околоземного космического пространства и обеспечения господства в космосе.

2. УСЛОВИЯ НА ЛУНЕ

Луна меньше Земли по диаметру вчетверо, а по массе в 81 раз. Средняя ее плотность 3300 кг/м³. Вероятно, у Луны нет такого

плотного ядра, какое есть у Земли. Величина ускорения свободного падения на Луне - 1,62 м/с.

Мы видим всегда только одно полушарие Луны, на котором никогда не заметно ни облаков, ни малейшей дымки, что служило одним из доказательств отсутствия на Луне водяных паров и атмосферы. Позднее это было подтверждено прямыми измерениями на поверхности Луны. Небо на Луне даже днем было бы черное, как в безвоздушном пространстве, но окружающая Луну разреженная пылевая оболочка немного рассеивает солнечный свет.

На Луне нет атмосферы, смягчающей солнечные лучи, не пропускающей к поверхности рентгеновское и корпускулярное излучения Солнца, уменьшающей отдачу энергии ночью в космическое пространство и защищающей от космических лучей. Там ни облаков, ни воды, ни туманов, ни радуги, ни зари с рассветом. Тени резкие и черные.

С помощью автоматических станций установлено, что непрерывные удары мелких метеоритов, дробя поверхность Луны, как бы обтачивают ее и сглаживают рельеф. Мелкие осколки не превращаются в пыль, а в условиях вакуума быстро спекаются в пористый шлакоподобный слой. Происходит молекулярное сцепление пыли в подобие пемзы. Такая структура лунной коры придает ей малую теплопроводность. В результате при сильных колебаниях температуры снаружи в недрах Луны даже на небольшой глубине температура сохраняется постоянной. Огромные перепады температуры лунной

поверхности от дня к ночи объясняются не только отсутствием атмосферы, но и продолжительностью лунного дня и лунной ночи, которая соответствует двум нашим неделям. Температура в подсолнечной точке Луны равна $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в противоположной точке ночного полушария — $170\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Уже со времен Галилея начали составлять карты видимого полушария Луны. Темные пятна на поверхности Луны были названы «морями» (рис. 1). Это низменности, в которых нет воды. Дно их темное и сравнительно ровное. Большую часть поверхности Луны занимают гористые, более светлые пространства. Есть несколько горных хребтов, названных, подобно земным, Альпами, Кавказом и т. д. Высота гор достигает 9 км. Но основной формой рельефа являются кратеры.

3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ (СОВРЕМЕННЫЕ) ПРОЕКТЫ ЛУННЫХ БАЗ

Проект лунной базы под названием «Lunar Oasis» (рис. 2) был предложен еще в 1989 году, однако, и поныне представляет большой интерес, т.к. считается одним из самых реалистичных, оригинальных и проработанных.

Ее авторами являются сотрудники НАСА из Хьюстона — Майкл Дьюк и Джон Ньехофф. Самое сложное в таком решении стал материал для стен лунного сооружения. Ученые предложили простой вариант — надувную конструкцию. Для этой цели на Луну планировалось доставить первый модуль с данной надувной системой и предметами

жизнеобеспечения. Следующий грузовик с Земли должен «привезти» сюда дополнительное оборудование для строительства, систему энергоснабжения и продовольствие. Миссия-3, собственно, предназначена для транспортировки самих «жильцов» на Луну. Для производства энергии планировалось использовать мини-АЭС.

Жилой наддувной модуль должен по замыслу состоять из десяти мест для проживания. Наполнить его можно водородом, который можно получить путем электролиза из лунного реголита — это исключит замерзание. Сборка произойдет в небольшом кратере, причем, максимальная часть конструкции окажется ниже уровня лунной «почвы». В общей сложности на строительство всей системы могло бы уйти около трех лет, после которых последовали бы еще семь лет ее эксплуатации.

Лунная база «Звезда». По окончании этапа дистанционного изучения предполагаемой территории базы на Луну отправится экспедиция из четырех человек на «Лунном поезде».

«Лунный поезд» конструкции КБ Бармина предназначался для строительства временного городка, а по его завершении — для научных вояжей по окрестностям. В него входили: тягач, жилой вагончик, изотопная энергоустановка мощностью 10 кВт и буровая установка. Ходовая часть у всех этих машин была, как у луноходов: каждое колесо имело свой электромотор, благодаря чему отказ одного или даже нескольких из 22 моторов не парализует общий ход.

Для метеорной, тепловой и ультрафиолетовой защиты обитаемых помещений поезда был разработан трехслойный корпус. Сверху и изнутри — стенки из специальных сплавов, между ними — подушка из вспененного наполнителя. Полный вес «лунного поезда» составлял 8 тонн.

В ходе развития проекта проступали черты будущей базы на 12 человек. Первоначально она должна была состоять из девяти типовых блоков цилиндрической формы. Габариты блока: длина — 8,6 метра, диаметр — 3,3 метра, полная масса — 8 тонн.

На заводе блок изготавливается укороченным, в виде металлической «гармошки» длиной 4,5 метра — под габариты транспортного корабля. На строительной площадке в гармошку под давлением подается воздух, она разъезжается, и блок подрастает до 8,6 метра. База состояла из блоков: командного пункта, научной лаборатории, хранилища, мастерской, медпункта со спортзалом, камбуза со столовой и трех жилых помещений. Опытный образец одного из таких блоков использовался в 1967 году во время экспериментов по длительному пребыванию в замкнутой среде, проводившихся в Институте медико-биологических проблем. Из-за дороговизны (около 80 миллиардов долларов) проект лунной базы «Звезда» отложили в долгий ящик.

Лунная колония программы «Apollo». Сначала на Луну отправляется модуль «Лунное убежище». Если в течение трех месяцев его агрегаты функционируют нормально, к Луне отправляется

космический корабль, состоящий из типового командного модуля «Аполлон» («Apollo CSM») и «Лунного такси». Первый остается на окололунной орбите, второй совершает прилунение. После того как «такси» опустится на поверхность Луны, астронавты покинут его, перейдя в «убежище». Там они проведут полные две недели экспедиции. Габариты «Лунного убежища» в точности такие же, как и у «такси», но запасов топлива гораздо меньше, что позволяет разместить на модуле гораздо больший запас воздуха и продуктов, а также дополнительный комплект научного оборудования.

В более поздний период рассматривался радикальный проект «Аполлон-ЛЕСА» («LESA Shelter», «Lunar Exploration System for Apollo»), предусматривающий создание принципиально нового космического корабля, предназначенного для посадки на Луну. При этом в комплекс «ЛЕСА» входил блок «убежища» и вездеход «Молаб» («Molab» — сокращение от «Mobile Lunar Laboratory»). Весь комплекс доставлялся на поверхность Луны в беспилотном режиме. В первоначальном проекте «ЛЕСА-убежище» комплектовалось на экспедицию из трех человек, которая проведет на Луне 90 дней, позднее — на экспедицию из шести человек. В разработанных проектах лунной базы «Аполлон» в качестве средства транспортного обеспечения предлагалось использовать ракету «Сатурн-5».

4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛУННЫХ МОДУЛЕЙ

Материалы для надувных конструкций Лунных модулей должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Минимальная масса;
2. Высокая надежность;
3. Материалы для силовых конструкций должны иметь низкую плотность (кг/м^3), должны быть прочными и должны иметь высокую удельную прочность (кДж/кг) и удельный модуль упругости (кДж/кг).
4. Стойкость к воздействию проникающей радиации;
5. Низкая теплопроводность;
6. Материал (группа материалов) должны быть экологически безвредными.
7. Материалы, из которых изготовлены помещения (отсеки), где будут находиться люди, должны обладать высокой герметичностью по отношению к газам.
8. Материалы для теплоизоляции (теплозащиты) модулей или жилых отсеков должны иметь низкую плотность и низкий коэффициент теплопроводности ($\text{Вт}/(\text{м}^*\text{К})$).

Композиционные материалы или композиты - это двух или многокомпонентные системы, собранные по принципу синергизма и соединенные между собой силами поверхностного сцепления. С точки зрения удельной прочности - перспективны органопластики (армопластики), например, арамидное волокно "Армос-2" (Россия) и

эпоксидное связующее ЭХД-МК (Россия). С точки зрения удельного модуля упругости - перспективны углепластики, например, углеродная нить М60J (фирма "Торейка", Япония) и эпоксидное связующее.

Теплоизоляция. Самая эффективная теплоизоляция космических летательных аппаратов при температурах $\pm 150^{\circ}\text{C}$ – это ЭВТИ (рис. 5) или экранно-вакуумная изоляция, которая широко используется при теплоизоляции обитаемых космических летательных аппаратов, например, «Салют-6», «МИР» (Россия) или МКС.

Можно применять в качестве теплоизоляции высокопористый материал из коротких базальтовых волокон и минеральной связки из Al_2O_3 (рис. 6), который по критерию «себестоимость-теплопроводность» в 7-8 раз меньше теплоизоляционного материала ТЗМК-10, используемого для изготовлений теплозащитных плиток ВКС «Буран».

Конструктивная схема космического корабля «Аполлон», в котором аэроавты США летали на Луну (рис. 7).

Одним из наиболее прочных современных композиционных материалов является кевлар. Кроме высокой прочности, кевлар обладает множеством других уникальных свойств, а именно: при контакте с огнем и высокими температурами это волокно не горит, не дымится и не плавится; кевлар не токсичен и не взрывоопасен; температура его терморазложения составляет 430-450 градусов; при

замерзании кевлар становится только прочнее, он способен выдерживать криогенные температуры; этот материал является электроизолятором.

Для своего проекта я выбрала полусферическую форму купола надувного Лунного модуля с радиусом 3м. Материал модуля должен быть многослойным: 2 слоя кевлара, и 2 слоя изопренового каучука (1 и 3 слои – кевлар, 2 и 4 – изопрен).

5. РАСЧЕТ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ ЛУННОГО МОДУЛЯ

Воздействие факторов, оказывающих косвенное влияние на тепловой режим космического аппарата - ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца, корпускулярная радиация, микрометеорные потоки. В космическом пространстве вне пределов атмосферы планет единственным видом теплообмена космического аппарата с окружающим его пространством (если исключить процессы, связанные с выбросом масс) является теплообмен излучением. Поверхность космического аппарата поглощает падающую на нее лучистую энергию и в свою очередь излучает в окружающее пространство энергию, равную сумме поглощенной и подведенной изнутри.

Особенность процессов теплообмена в космическом пространстве состоит в том, что они происходят между телами, имеющими существенно различные температуры: Солнце - основной источник тепловой энергии имеет эффективную температуру

поверхности около 5800 К, поверхности космических аппаратов и планет - температуру порядка сотен Кельвинов, «черное» космическое пространство - температуру, близкую к 4 К. Основная доля энергии солнечного излучения (~92%) приходится на диапазон длин волн от 0.3 до 3 мкм, а основная доля энергии излучения планет и поверхностей космических аппаратов - на диапазон длин волн свыше 4 мкм.

Для селективно излучающих материалов коэффициент поглощения падающего теплового потока существенно зависит от диапазона длин волн, в котором переносится этот тепловой поток. Поэтому для таких материалов в общем случае коэффициент поглощения солнечной радиации A_s не равен степени черноты E .

Закон, открытый независимо Йозефом Стефаном и Людвигом Больцманом, состоит в предположении пропорциональности плотности энергии излучения его давлению $p = \rho/3$. В 1880 г. подтверждён Лео Гретцем. Закон Стефана-Больцмана - закон излучения абсолютно чёрного тела, - определяет зависимость мощности излучения абсолютно чёрного тела от его температуры.

Он формулируется так: мощность излучения абсолютно чёрного тела прямо пропорциональна площади поверхности и четвёртой степени температуры тела:

$$\Phi = E\sigma T^4 S$$

Тепловой поток, идущий от планеты, состоит из собственного излучения планеты и отраженной от планеты солнечной радиации.

Коэффициент поглощения отраженной от планеты солнечной радиации в силу своей природы близок к коэффициенту поглощения солнечной радиации A_s , а коэффициент поглощения собственного излучения планеты может быть принят равным степени черноты E поверхности космического аппарата, так как излучение обоих тел приходится, в общем, на один и тот же диапазон длин волн.

Модуль находится на Луне и в этом случае поглощает лучистые тепловые потоки: прямого солнечного излучения Q_c , собственного длинноволнового теплового излучения Луны Q_l , отраженного Луной солнечного излучения $Q_{л.с}$. Поверхность оболочки излучает теплоту в окружающее пространство.

Проникающая через оболочку теплота представляет собой разность поглощаемого и излучаемого потоков:

$$1) Q_{пр} = Q_c + Q_{л.с} + Q_l - Q_n$$

$$2) Q_c = A_s \cdot q_{л} \cdot \cos Z \cdot F_{мид}$$

$$3) Q_{л.с} = A_s \cdot \varphi_{мод-л} \cdot A_{л} \cdot q_{л} \cdot F_{мод}$$

$$4) Q_l = E \cdot \varphi_{мод-л} \cdot q_{л} \cdot (1 - A_{л}) \cdot \cos Z \cdot F_{мод}$$

$$5) Q_n = E \delta_0 T_1^4 F_{мод} = C_0 \cdot E \cdot (T_1/100)^4 \cdot F_{мод}$$

$$6) Q_{пр} = (\lambda_{мод}/\delta_{мод}) \cdot (T_1 - T_2) \cdot F_{мод}$$

$q_{л}$ - плотность солнечного излучения на поверхности Луны ($q_{л} = 1367 \text{ Вт/м}^2$)

A_s - коэффициент поглощения поверхности модуля ($A_s = 0,5$)

$\varphi_{мод-л}$ - угловой коэффициент модуля (полусферы) и поверхности Луны

(плоскости) ($f_{\text{мод-л}} \sim 0,2$)

R - радиус модуля ($R = 3\text{м}$)

Z - угол падения солнечных лучей

E - степень черноты модуля ($0.5 < E < 0.9$)

Ал - альbedo Луны ($\text{Ал} = 0.12$)

1-Ал - коэффициент поглощения поверхности Луны ($1-\text{Ал} = 0.88$)

$\delta_{\text{мод}} \sim$ толщина стенки модуля, $\delta_{\text{мод}} = 55 \cdot 10^{-3}\text{м}$)

$\lambda_{\text{мод}}$ - коэффициент теплопроводности стенки модуля в радиальном направлении ($\lambda_{\text{мод}} = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$)

T1 - температура наружной поверхности модуля, К

T2 - температура внутренней поверхности модуля ($T_2 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$)

Fмид - площадь Миделя (площадь проекции модуля на плоскость, перпендикулярную солнечным лучам), м^2

F мод – площадь поверхности модуля, м^2

δ_0 – постоянная Стефана – Больцмана ($\delta_0 = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$);

C0 – константа $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ($C_0 = 5,6704$)

Fмид = πR^2 (при $Z = 0$)

Fмид = $\pi R^2/2$ (при $Z = \pi/2$)

Fмод = $4 \pi R^2/2 = 2 \pi R^2$

При $Z = 0$ уравнение 1 принимает вид:

$$7) Q_{\text{пр}} = A_s \cdot q_{\text{л}} \cdot \pi R_2 + A_s \cdot \varphi_{\text{мод-л}} \cdot \text{Ал} \cdot q_{\text{л}} \cdot \pi R_2 + E \cdot \varphi_{\text{мод-л}} \cdot q_{\text{л}} \cdot (1 - \text{Ал}) \cdot 2\pi R_2 - C_0 \cdot E \cdot (T_1/100)^4 \cdot 2\pi R_2$$

Решаем уравнение (7) совместно с уравнением (6), откуда находим T_1 .

В результате подсчетов получаем максимальную допустимую температуру оболочки модуля $\sim 386,81\text{K}$. Так как температура на подсолнечной стороне Луны равна 380K , можно сделать вывод, что теплоизоляционный слой достаточно защищает.

7.ВЫВОДЫ

Создание конструкций на основе надувных орбитальных и напланетных модулей большого объёма являются одной из наиболее приоритетных задач. Они сравнительно дешевы в производстве, просты в установке и разворачивании. Эти модули, при меньшей стоимости, могут иметь большие габариты и объем, чем модули, которые используются в настоящее время, обеспечивая при этом необходимый уровень защиты от неблагоприятных космических факторов. Исходя из расчетов внешнего теплообмена теплоизоляционного слоя Лунного модуля, предложенная последовательность из композиционных материалов достаточно защищает от неблагоприятных космических условий.

8. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия. 10 класс. Учебник. – М.: Просвещение, 1983. – 145 с.
2. Чернобров В.А. Энциклопедия чудес, загадок и тайн
3. <http://t-human.com/wubba-lubba-dub-dub/lunar-oasis-proekt-lunnoj-bazy>
4. Первушин А. И. Битва за звезды-2. Космическое противостояние (часть I)
5. http://www.planeta-zemla.info/bzv_158.html
6. Комков М.А., Тарасов В.А. Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 431 с.
7. <http://tkaninfo.ru/tkani/kevlar.html>
8. Палекшин А.В. Исследование и разработка методов моделирования внешнего теплообмена космических аппаратов с помощью инфракрасных источников излучения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

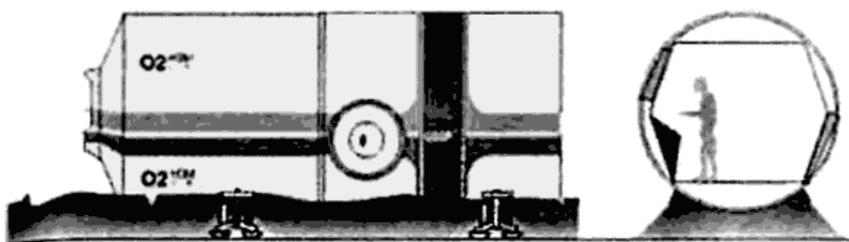
**Типовой блок лунной базы «Звезда» («ДЛБ»)**

Рис. 4

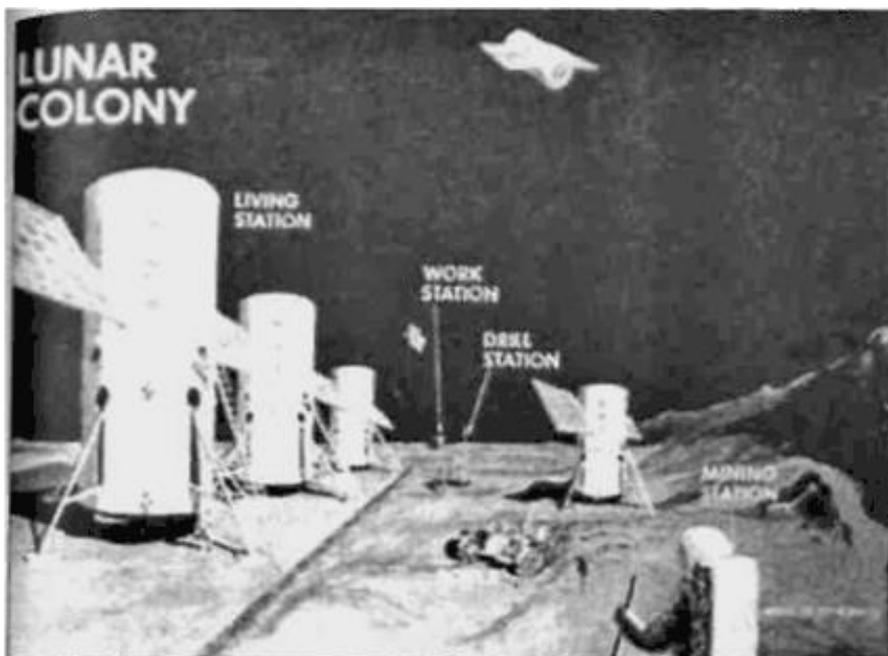
**Лунная колония НАСА (1970 год)**

Рис. 5

Рис. 9. ЭВТИ – экранно-вакуумная теплоизоляция: конструктивная схема и свойства

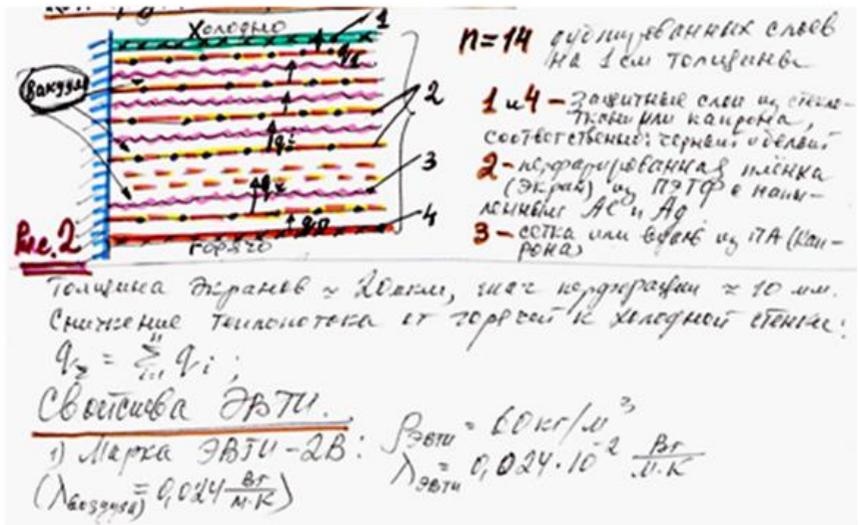
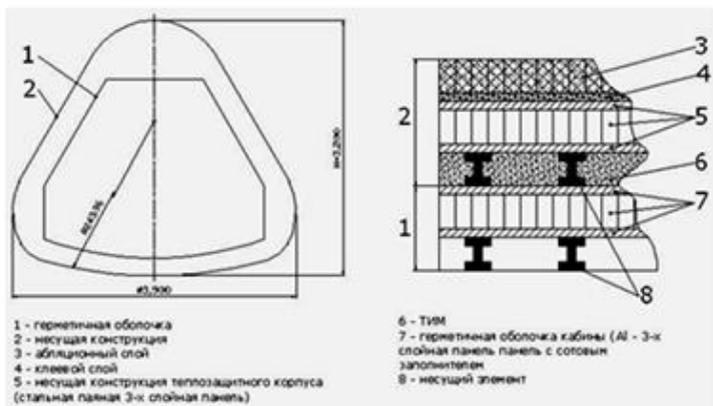


Рис. 6



Рис. 7

Пример 3. Конструктивное исполнение ТЗП (Космический корабль «Аполлон»)



**Анализ защищённости космического модуля надувного типа
в условиях открытого космоса**

Камалов Тимур Витальевич

г. Москва, ГБОУ «Лицей №1501», 11 класс

Научный руководитель

Колпаков Владимир Иванович,

д.т.н., профессор кафедры СМ-12,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

«Сложные проблемы всегда имеют простые,
легкие для понимания неправильные решения»

Один из Законов Мерфи.

Введение.

В работе рассматривается проблема защиты модулей космических станций, в частности, модуля надувного типа, от поражения элементами космического мусора. Актуальность проблемы возрастает вместе с ростом числа космических аппаратов, с одной стороны, а также отработавших аппаратов – с другой. Программы решения «проблемы космического мусора» разрабатываются во всех космических державах. В работе выдвигается ряд идей, способствующих решению данной проблемы.

В связи с активным развитием космической отрасли, создаются всё более лёгкие и простые модули космических кораблей. Но, как только появляется изобретения, вместе с пользой и практикой

приходят определённые вопросы и проблемы. Один из таких вопросов возник при создании и запуске надувного космического модуля. Как же защитить его в условиях открытого космоса от метеороидов и космического мусора? [7,8]

Целью своей работы я ставлю анализ защищённости и изучение известных и применяющихся способов защиты космического модуля надувного типа, а также предложение ряда идей по защите модуля.

1. Объект защиты.

Что же представляет из себя надувной космической модуль BEAM?

Bigelow Expandable Activity Module (BEAM) — экспериментальный надувной жилой модуль производства компании Bigelow Aerospace, предназначенный для размещения на Международной космической станции.

10 апреля 2016 года модуль был доставлен в негерметичном грузовом контейнере космического корабля Dragon в рамках миссии SpaceX CRS-8, после чего с помощью манипулятора «Канадарм2» пристыкован к узловому модулю «Спокойствие» (рис. 1). Модуль будет находиться в составе станции в течение двух лет, в течении которых датчики, находящиеся на модуле, будут регистрировать все изменения, происходящие внутри и снаружи BEAM. Так же, за время работы модуля, 4 раза планируется посещение модуля космонавтами, работающими на МКС, в остальное время люк, ведущий в модуль, будет герметично закрыт. [1, 11]

В свёрнутом состоянии модуль (рис.2) имеет объём $3,6 \text{ м}^3$, в то время, как в развёрнутом состоянии объём составляет 16 м^3 рабочего и жилого помещения. Масса модуля составляет 1200 килограмм. [11]

2. Проблема космического мусора

Одной из главных позиций, на которых основывается планирование и создание противометеороидной защиты корабля, является анализ засоренности космического пространства. [7, 9]

Согласно определению ООН, космический мусор – это все находящиеся на околоземной орбите или возвращающиеся в атмосферу антропогенные объекты, включая их фрагменты и элементы, которые являются нефункциональными. [1,2]

Параллельно с развитием космической отрасли на планете, можно отследить динамику роста космического мусора (отработавших спутников, ступеней, ракет-носителей и т.д.), эта динамика приведена на следующих графиках (рис.3 и рис.4). [1,10]

Исходя из данных, представленных на этих диаграммах, мы можем сделать вывод, что количество космического мусора с каждым годом неуклонно растёт. Следовательно, риск столкновения с космическим кораблём становится всё выше и выше.

Причем, состав космического мусора (рис.5) говорит о том, что в околоземном пространстве существуют крупные части искусственных и природных космических тел, траектории которых можно отслеживать, а также мелкие частицы мусора, траектории которых в настоящее время отследить невозможно.

3. Классификация способов защиты.

Существующие в настоящее время пути и способы защиты космического модуля от столкновений с космическими телами можно классифицировать следующим образом:

1. Активная
 - 1.1. Уничтожение космического мусора на подлете к модулю различными способами
 - 1.2. Изменение траектории опасного объекта различными способами
 - 1.3. Уклонение от столкновения при приближении модуля к опасному отслеживаемому объекту путем коррекции орбиты модуля.
2. Пассивная
 - 2.1. Внешняя защитная конструкция - бампер, принимающая удар на себя.
 - 2.1.1. Элементы полезных конструкций (например, солнечные батареи модуля).
 - 2.1.2. Специальные дополнительные защитные конструкции - экраны (например, сочетание легких прочных металлических сеток и защитных пластин).
 - 2.2. Повышение прочности материала стенок модуля (в том числе, многослойность стенок).

2.3. Прокладывание траектории полета с минимальной вероятностью столкновения.

3. Отдельным видом защиты (как уменьшения рисков столкновений) можно считать государственные и международные программы по очистке околоземного пространства от космического мусора.

4. Анализ способов защиты модуля.

Активная защита представляет собой вид защиты, при которой модуль взаимодействует с космическим мусором, либо уничтожая его на подлёте, либо меняя его траекторию на безопасную, либо уклоняясь при приближении к потенциально опасному объекту. Такой вид защиты используется на Международной космической станции для уклонения от опасных объектов.

Такая защита требует, прежде всего, упреждающей информации о приближающихся потенциально опасных объектах. Причем эта информация должна быть получена заранее, чтобы защищаемый модуль успел выбрать алгоритм активной защиты и реализовать его. Так, например, в рамках программы Phoenix, поддерживаемой американским DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency — Агентство передовых оборонных исследовательских проектов), американские инженеры придумали специальных роботов в форме футбольных мячей и приблизительно такого же размера (Рис.7). Они предназначены для работы вне пределов станции и патрулирования пространства вокруг МКС с целью обнаружения опасного

космического мусора. Для обнаружения объектов, потенциально угрожающих станции, устройства используют трехмерные камеры. Эти приборы позволяют с удаленного расстояния провести съемку местности, а полученные данные передают астронавтам на борт МКС. Потом экипаж станции сам принимает решение о том, как действовать дальше. [4]

Пассивная защита представляет собой, во-первых, конструкцию-бампер, которая механически защищает космический корабль от повреждений принимая весь удар на себя. Примером такой конструкции могут послужить солнечные батареи, расположенные на Международной Космической Станции (рис.6). В случае попадания небольших частиц космического мусора на солнечные панели повреждения наносятся только внешней конструкции, не повреждая основной модуль. [5,8]

Однако использование солнечных батарей в качестве бампера может привести к серьезным негативным последствиям, если батареи будут повреждены мусором сверх допустимой к разрушению площади.

Более эффективной защитой является создание специальных прочных и легких дополнительных защитных конструкций-экранов, задачей которых будет исключительно ограждение модулей от попадания поражающих частиц. Примером такого экрана может служить разработка ученых НИИ прикладной математики и механики Томского госуниверситета (ТГУ) – система защитных конструкций от космического мусора для орбитальной обсерватории "Спектр-УФ".

Ученым удалось подобрать оптимальное сочетание двух преград - защитного экрана и металлической сетки, которая первой встречает атакующие частицы и дробит их. Остатки фрагментов, раздробленные сеткой, попадают на экран и рассеиваются, не нанося ущерба космическому аппарату.

Специальные конструкции-экраны могут быть больших размеров и защищать не один модуль, а группы модулей, снижая тем самым стоимость защиты каждого. Такие экраны целесообразно делать секционными, чтобы при их повреждении менять не весь экран, а отдельные вышедшие из строя секции, восстанавливая защищенность модулей. [5,8].

Часто используемый вид пассивной защиты – многослойные стенки модуля, которые защищают его от пробития частицами космического мусора и небольшими метеороидами. Реализацией этого вида защиты можно назвать оболочку космического модуля ВЕАМ, которая состоит из нескольких слоев, в число которых входит материал Vectran. Вектран — это жидкокристаллическое полиэфирное волокно (рис.8), по свойствам схожее с кевларом, но на 15-20% прочнее его. Vectran обладает высокой прочностью, эластичностью, прекрасной устойчивостью к изгибу, механическим и химическим воздействиям. Причем хорошо сохраняет эти свойства при низких и высоких температурах. В сравнении с кевларом, вектран более стоек к воде и ультрафиолету, обладает практически нулевым растяжением. Вектран активно используют для противостояния микрометеоритам и

космическому мусору. Этот материал уже поработал в космосе — в частности, использовался в амортизационных баллонах при посадке марсоходов Spirit и Opportunity. [1,11]

Ещё один вид пассивной защиты закладывается перед запуском космического модуля. Имея данные о наиболее крупных и опасных объектах в околоземном пространстве, можно рассчитать и проложить траекторию полёта космического модуля по наименее опасному пространству космоса. Очевидно, что этот способ защиты минимизирует риски столкновения только с крупными и наблюдаемыми космическими объектами.

Эффективность различных способов защиты повышается, если реализовывать их с учетом категорий поражающих частиц.

Поражающие частицы делятся на категории по размерам, массам и скоростям, с которыми они передвигаются в космическом пространстве.

Так как различные частицы находятся на разной высоте (Рис.9), возникает необходимость изменения защитной оболочки космического корабля во время прохождения различных слоёв атмосферы.

Отдельным и универсальным видом защиты любых космических аппаратов является деятельность в рамках государственных и международных программ по очистке околоземного пространства от космического мусора. Каждая космическая держава вносит свой «вклад» в засорение околоземного пространства (рис.10). Однако

сегодня и космические державы, и международное сообщество начинают осознавать угрозы, которые представляет космический мусор для аппаратов, работающих на околоземной орбите. Также понятны опасности, которые несут природные космические объекты: астероиды, метеороиды и космическая пыль. [8]

Примерами попыток решить проблемы космического мусора могут служить:

- создание в структуре ООН Комитета по использованию космического пространства в мирных целях по предупреждению образования космического мусора;

- включение в Федеральную космическую программу России на 2016—2025 годы создания к 2025 году «уборщика» мусора с геостационарных орбит (Планируется, что в течение полугода каждый «Ликвидатор» будет переводить на орбиту захоронения до 10 объектов); [3]

- создание в США службы для отслеживания траекторий объектов на околоземной орбите: «Сети по наблюдению за космическим пространством». Службой отслеживаются объекты диаметром от нескольких сантиметров.

5. Вывод

Для эффективной защиты надувного космического модуля от поражения элементами космического мусора и природными космическими объектами необходимо оптимальное сочетание активных, пассивных и организационных мер защиты, каждая из

которых имеет свои неоспоримые плюсы и свои объективные особенности.

6. Список литературы

1. Свободная энциклопедия «Википедия». [Сайт]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. «Конвенции и соглашения ООН». [Сайт]. Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/space_debris.shtml
3. Информационное агенство россии ТАСС. [Сайт]. Режим доступа: <http://tass.ru/kosmos/3672483>
4. Техномагия «Роботы-мячи защитят МКС от космического мусора». [Сайт] Режим доступа: <http://techno.info/2014/09/05/soccerball/>
5. Добраца Д.Б. Теоретико-экспериментальная оценка стойкости сотовых панелей космического корабля при взаимодействии метеорно-техногенных частиц // Вестник Томского Государственного Университета. – 2014, №2(28). –С.58-68.
6. Назаренко А.И. Моделирование космического мусора. – ИКИ РАН, 2013. – 216с.
7. Зеленцов В.В.. Проблемы космического мусора // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана – Электрон. журн. – 2015, №4.– С.89-104.

8. Зеленцов В.В. Защита космического аппарата от воздействия фрагментов мелкого космического мусора // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Электрон. журн. – 2015, №6. – С.123-142.

9. Вениаминов С.С., Червонов А.М. Космический мусор — угроза человечеству. – ИКИ РАН, 2012. – 191с.

10. NASA «Надувной модуль BEAM».

11. «Надувной модуль МКС». [Сайт]. Режим доступа:
<https://geektimes.ru/post/274090/>

7. Приложение

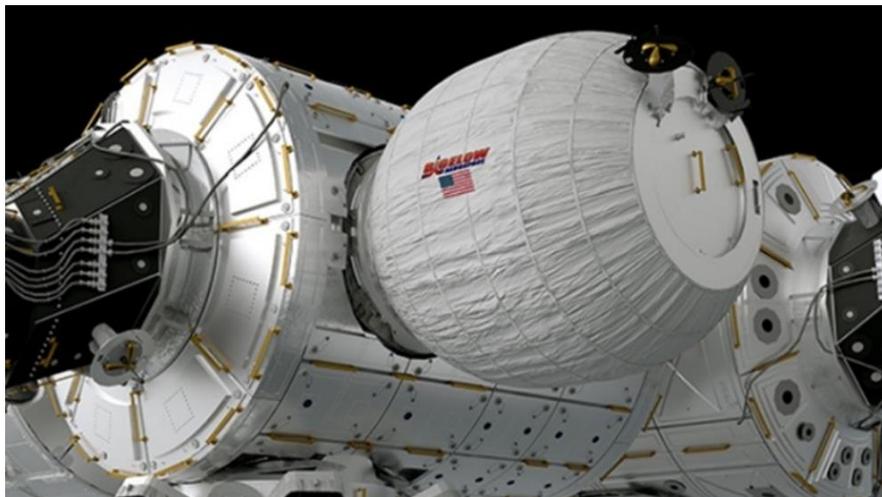


Рис.1. Космический модуль BEAM на МКС.



Рис.2. Космический модуль BEAM в сложенном виде



Рис.3. История изменения количества космических объектов в околоземном космическом пространстве

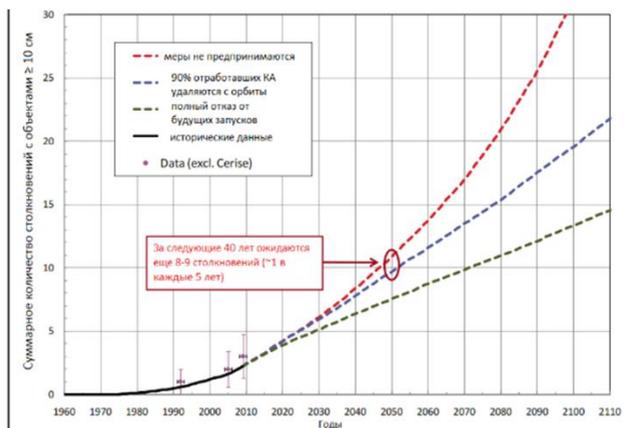


Рис.4. Прогноз роста количества крупных столкновений, усредненный по 100 прогнозам модели НАСА LEGEND



Рис.5. Состав космического мусора искусственного происхождения



Рис.6 Конструкция солнечных панелей на МКС



Рис.7. Роботы на МКС Фото: NASA

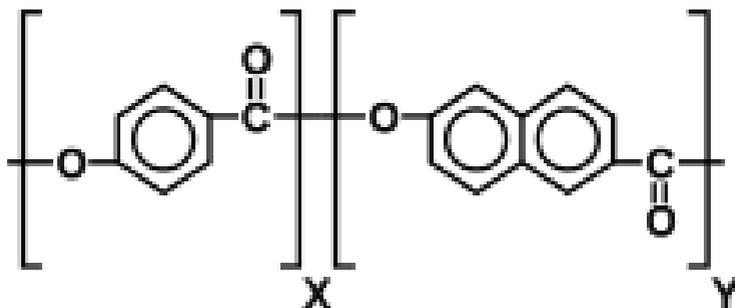


Рис.8. Структура молекулы Вектрана

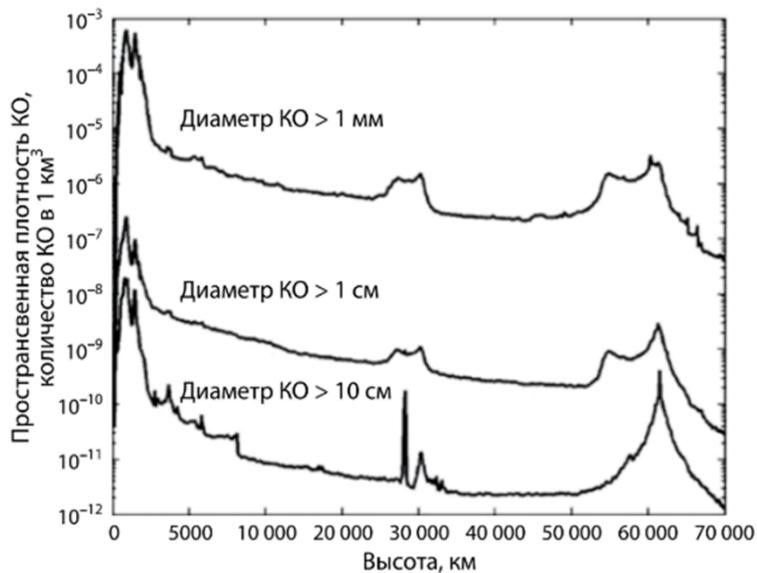


Рис. 9. Распределение пространственной плотности по высоте



Рис. 10. Тройка стран-«лидеров» по производству космического мусора

**Разработка транспортного робототехнического комплекса с
адаптивными двигателями**

Лецинская Даната Юрьевна

г. Подольск, МОУ «Гимназия №1», 11 класс

Научный руководитель:

Дьяков Алексей Сергеевич,

к.т.н., доцент кафедры СМ-10,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

**1. Обзор основных типов двигателей для внедорожных
транспортных средств.**

Многие тысячелетия колёса исправно служили в повозках, передвигаемых силой животных. Вариации колёсных двигателей встречаются чаще всего. Это многообразие объясняется кажущейся простотой колёс и их широкой распространённостью в качестве двигателей сотен миллионов автомобилей и тракторов. Однако долговечность и надёжность колёс оставляют желать лучшего: только колесо – единственный узел автомобиля, который приходится всегда возить с собой в запасе. Стоимость комплекта шин для грузового автомобиля, который он изнашивает за время эксплуатации, в 9 раз превышает начальную стоимость самой машины. Тем не менее, никто не ратует за отказ от колёсных двигателей, так как колёса обладают рядом преимуществ, и главное из них – простота устройства.

Колёсный движитель автомобиля со всеми ведущими колёсами обеспечивает надёжное движение по шоссе, снегу глубиной до 0,7...1,0 м, сухому сыпучему песку, весенней размокшей пашне, грязным просёлочным и разбитым лесным дорогам, луговине и уступает в проходимости гусеничным машинам лишь на предельно-тяжёлом бездорожье.

Появляющиеся время от времени сообщения о том, что, наконец-то, сконструирован вездеход, способный перемещаться по любым средам, проверки практикой не выдерживают, однако резервы дальнейшего повышения проходимости колёсного движителя ещё не использованы. С начала XX века хорошо зарекомендовали себя для внедорожных транспортных средств гусеничные движители. Трансмиссия гусеничных машин значительно проще, чем у полноприводных колёсных автомобилей. Движитель гусеничных машин применительно к работе на бездорожье обеспечивает снижение силы сопротивления движению и увеличение силы тяги по сцеплению при полном использовании сцепного веса. В сравнении с другими движителями обладает наиболее высокой проходимостью по всем видам бездорожья и преимущественно используется в этих условиях. Отсутствие плавности поворота у большинства двухгусеничных машин, низкие скорости движения, высокие расходы топлива, непригодность к работе на шоссе, низкая надёжность при малом сроке службы металлической гусеницы являются недостатками гусеничного движителя. Современные конструкции гусеничных

двигателей позволяют им во многом избавиться от данных недостатков. Роторно-винтовой двигатель (РВД) одновременно является опорным и ведущим элементом, допускает использование полного веса в качестве сцепного и в сочетании с механической 10 трансмиссией развивает значительную силу тяги при малой мощности двигателя. Поэтому роторные двигатели казались многообещающими для внедорожных машин. Однако выяснилось, что у роторно-винтового двигателя имеется принципиальный недостаток: износостойкость винта и затраты мощности на передвижение зависят от природы трущихся поверхностей, т. е. коэффициента трения между червяком и дорогой, а также угла внутреннего трения самого грунта. Кроме того, устойчивость движения находится в зависимости от однородности и горизонтальности пути, что делает роторно-винтовой двигатель малопригодным для транспортных машин.

На аппараты с воздушной подушкой (АВП), у которых между днищем и грунтом введён сжатый воздух, возлагалось много надежд. Так, при транспортировке по болотистой местности тяжёлых неделимых грузов из всех наземных транспортных средств эффективнее всего оказались платформы на воздушной подушке. Но и у них выявлены свои специфические недостатки. Хотя показатели таких машин по проходимости на грунтах со слабой несущей способностью почти идеальные, всё же для создания воздушной подушки требуется высокая удельная мощность двигателей. Кроме того, бесконтактные машины на воздушной подушке не могут

передвигаться по сильно пересечённой местности, изобилующей барьерами, широкими и глубокими канавами, крутыми подъёмами и спусками, а также плохо управляемы: они сползают с любого уклона и отклоняются от заданного направления даже при слабом боковом ветре.

Комбинированные движители, как правило, являются более сложными по конструкции и поэтому менее надёжными и более дорогими в производстве и эксплуатации, чем движители у исходных машин. Это обычно сводит на нет преимущества комбинированных движителей. В отличие от вышеперечисленных движителей так называемого монотонного взаимодействия с поверхностью движения в последнее время всё большее внимание уделяется опорно-двигательным аппаратам с дискретным взаимодействием. В первую очередь к ним относятся шагающие системы. Интерес к ним обусловлен тем, что такие движители могут работать в условиях полного бездорожья, наносят окружающей среде минимальные повреждения и, наконец, являются перспективной базой для аппаратов, предназначенных к работе в экстремальных условиях. К недостаткам таких машин можно отнести достаточно высокую сложность конструкции и систем управления. Альтернативные движители обычно служат для выполнения каких-либо особых функций. Однако для основной массы потребителей такие движители не представляют интереса.

Гусеничные движители



Треугольный гусеничный движитель





Адаптивные гусеничные движители



Гибридные-гусеничные движители.

Амфибия с гусеничным движителем.



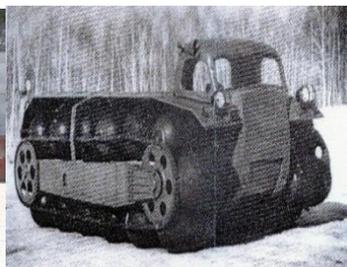
Колёсно – гусеничный движитель



Движитель с волновыми гусеницами



Двигатель типа «Аэрол» с подвижными пневмокатками



Роторно-винтовой движитель



Шагающий движитель



Двигатель на воздушной подушке



Колесно-шагающий движитель. Колесный движитель на шинах низкого давления.

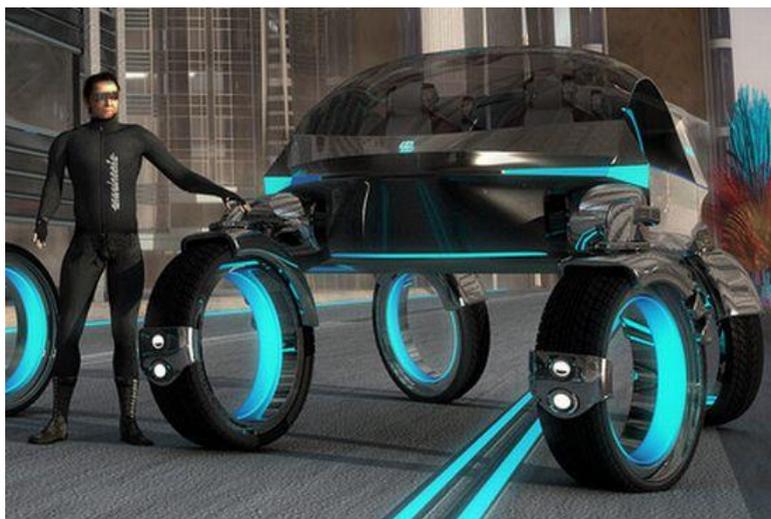


Бескарасный колесный движитель



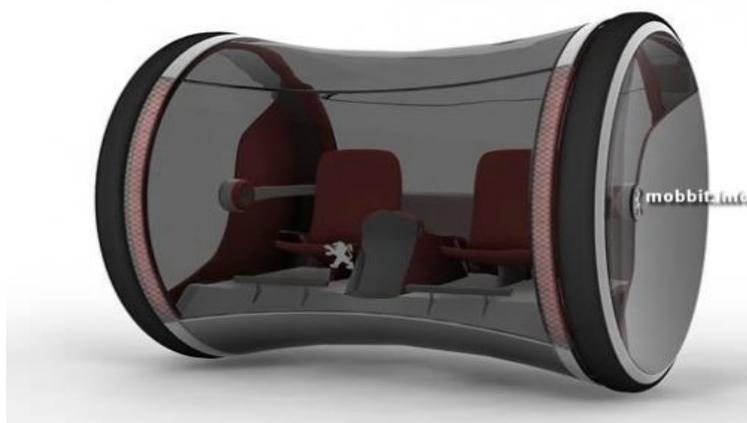
Металло эластичный колесный движитель.

Безосевой колесный движитель.



Моно приводной колесный движитель.

Одноосный каркасный колесный движитель



Адаптивный колесный движитель.

Внешнеприводной колесный движитель



Балансирный колесный движитель.

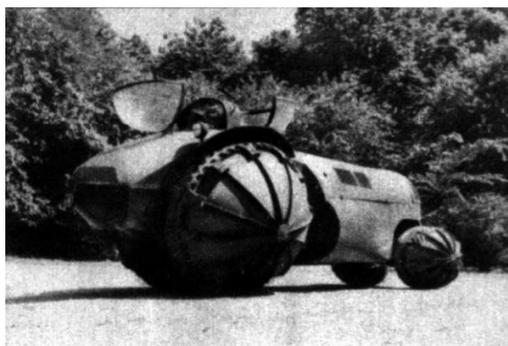
Амфибия с колесным движителем



Гибридный колесный движитель



Сферический колесный движитель



Шаровые колесные движители



2. Обзор и анализ транспортных робототехнических комплексов массой менее 100 килограмм.

В XXI веке роботы прочно вошли в нашу жизнь. Мы уже давно не удивляемся автоматическим производственным линиям и даже целым роботизированным заводам, выпускающим различную продукцию под контролем всего нескольких операторов, или роботам-саперам, которые регулярно используются спецслужбами для обезвреживания взрывных устройств или борьбы с террористами. С недавних пор робототехнические системы перешагнули грань опытных и малосерийных образцов и стали активно внедряться в военной сфере наиболее развитыми странами. Ни для кого не секрет, что в наше время разработка технологий военной робототехники стала одним из приоритетных направлений при создании новых образцов вооружения и военной техники, и модернизации существующих.

И у нас, и за рубежом сейчас полным ходом идут исследования в области создания робототехнических комплексов наземного, воздушного и морского базирования. Активно развиваются новые технологии в военной робототехнике в части увеличения надежности



Боевая и разведывательная машины российского робототехнического комплекса «Нерехта»

систем управления, помехозащищенности каналов связи, повышения автономности и дальности действия, безопасности применения. На первый план выходит решение проблем группового применения робототехники различного назначения, в том числе совместно с обычными экипажными боевыми машинами.

Что же представляют собой современные боевые роботы, и каковы их задачи? До недавнего времени любой дистанционно управляемый объект называли роботом, однако это не совсем верно. Современные робототехнические системы представляют собой, как правило, мобильные электромеханические и гидравлические платформы с телеуправлением, имеющие

программно-аппаратные средства, позволяющие автоматизировать выполнение некоторых задач без участия оператора. Что касается наземных роботов, то они в большинстве своем могут автоматически отслеживать рельеф местности, огибать препятствия, ориентироваться на местности за счет средств технического зрения и спутниковой навигации, прокладывать маршрут между двумя пунктами, обнаруживать цели по заданным параметрам. В этом случае оператор лишь контролирует действия машины, а вот управление оснасткой – будь то манипулятор или пулемет – остается за ним.

Основное предназначение военных робототехнических систем – это замена человека в боевых ситуациях в целях сохранения человеческой жизни, либо для работы в условиях, несовместимых с возможностями человека. Набор функций современных роботов довольно велик: разведка сил и средств противника, обнаружение снайперов, уничтожение техники и живой силы с помощью бортового оружия, целеуказание, нейтрализация взрывных устройств, разминирование местности, радиоэлектронная борьба, химическая, биологическая и радиационная разведка, доставка грузов, в том числе боеприпасов, и многое другое.

Как считают военные, основными областями применения наземных робототехнических комплексов ближайшего будущего станут:

- ведение разведки,
- прорыв обороны противника,
- обеспечение обороны роботизированными огневыми точками,
- подавление огневого противодействия роботами с автоматическим оружием и противотанковыми средствами,
- ликвидация нештатных ситуаций с опасными в обращении боеприпасами,
- обезвреживание взрывоопасных предметов,
- проведение аварийно-восстановительных работ,
- эвакуация с поля боя личного состава и техники под огнем,
- инженерная разведка,
- минирование и разминирование,
- обеспечение преодоления заграждений,
- доставка боеприпасов и горюче-смазочных материалов в зону огневого воздействия,
- патрулирование, охрана и оборона районов и объектов.

2.1 США



Роботизированная
колесная платформа
MiniCrusher (США)

Универсальная роботизированная платформа **MiniCrusher** создавалась специалистами NREC с учетом наработок по машине Crusher, но в значительно меньших габаритах. Благодаря конструкции подвески 6-колесного шасси, робот способен преодолевать сложные препятствия и имеет хорошую устойчивость даже на высоких скоростях. В качестве

выполняемых задач предполагались исследования и мониторинг опасных участков местности, обезвреживание взрывоопасных предметов, разведка и наблюдение, транспортировка грузов.

Масса MiniCrusher составляет 56,7 кг, при этом он способен нести полезную нагрузку до 45 кг в открытом грузовом отсеке объемом 19670 куб. см. Компактные размеры — 76 x 51 x 30 см — позволяют легко его транспортировать. Электротрансмиссия на всех шести колесах позволяет разгоняться до скорости 24 км/ч, преодолевать подъемы более 40 град., передвигаться по гравию, камням, бревнам. Питание

осуществляется от серийных промышленных свинцово-кислотных аккумуляторов.

Робототехническая платформа **TALON** была разработана в конце 1990-х гг. американской компанией Foster-Miller, Inc, которая в настоящее время является североамериканским подразделением QinetiQNorthAmerica, входящим в состав британской компании QinetiQGroup PLC. Эта



Робототехническая гусеничная платформа TALON (США)

машина легкого класса массой 52 кг выполнена на гусеничном шасси и изначально предназначалась для обезвреживания мин и взрывных устройств. Роботы семейства TALON находятся на вооружении с 2000 года и вместе с американскими боевыми подразделениями применялись в Боснии, Афганистане, Ираке. Всего было произведено примерно 3000 таких платформ различных модификаций.

В зависимости от модификации вес робототехнических комплексов семейства TALON составляет от 52,1 до 70,7 кг,

длина 0,864 м, ширина 0,572 м, угол. Шасси приводится в действие электродвигателем, зарядки аккумуляторов хватает на 4,5 ч непрерывной работы (режим ожидания – до 7 суток). Максимальная скорость 8,3 км/ч, максимальный угол подъема и крена – до 43 град. В стандартную полезную нагрузку входят три обзорные камеры, основная цифровая камера с 26-кратным увеличением, универсальный манипулятор. Возможна дополнительная установка тепловизора, камеры ночного видения, лазерного дальномера, спецаппаратуры. Робот может перевозить полезный груз массой до 45 кг или буксировать до 680 кг.

Управление осуществляется по радиоканалу на дальности до 800 м (с удлиненной радиомачтой — до 1000 м) или по кабелю до 300 м. Масса комплекта управления составляет 15 кг, в него входит малогабаритный пульт управления с «джойстиком», портативный «ноутбук» и другие приборы, размещающиеся на самом операторе и в карманах специального жилета.

Дальнейшим развитием платформы TALON стал боевой робототехнический комплекс **SWORDS**. (Special Weapons Observation Reconnaissance Detection Systems — специальная система оружия, наблюдения, разведки и опознавания) массой 90 кг. Специалисты Foster-



Боевая гусеничная
роботизированная платформа
SWORDS (США)

Miller разрабатывали его совместно с инженерами армейского арсенала в Нью-Джерси. Предполагалось что эти машины будут участвовать в боевых действиях вместе с подразделениями армии США, осуществляя огневую поддержку и разведку.

Робот имеет гусеничное шасси, аналогичное TALON, способен передвигаться по пересеченной местности со скоростью 6,6 км/ч. Он может преодолевать завалы из камней и колючую проволоку, подниматься по лестницам. Для повышения скорости передвижения гусеницы могут быть заменены колёсами. Система электропитания оставлена прежней, время работы — 4,5 ч, режим ожидания – до 7 дней.

В состав полезной нагрузки входит система спутниковой навигации GPS, 5 дневных и ИК камер (одна сопряжена с прицелом; вторая кругового обзора на выдвижном штоке, третья широкоугольная панорамная, две курсовые – передняя и задняя), лазерный дальномер, средства связи и обмена данными. Дальность управления по радиоканалу — до одного километра. Управление осуществляется с переносного пульта массой 13 кг, который оснащен двумя джойстиками, экраном и клавиатурой.

Вооружение робототехнического комплекса может включать 5,56-мм автоматическую винтовку M16, пулемёты M249 (5,56 мм) или M240 (7,62 мм), 12,7-мм снайперскую винтовку «Barrett» M107, 40-мм гранатометы с шестью или четырьмя стволами, а также 66-мм 4-ствольный РПГ M202.

Модульная конструкция SWORDS позволяет вместо вооружения установить манипулятор грузоподъёмностью до 45 кг, а также громкоговорители, нелетальное оружие (например, лазерные излучатели для ослепления противника).

Разработкой
компании
QinetiQNorthAmerica
является
робототехнический
комплекс **DragonRunner**
10. Он создавался
специально на базе
существующей
дистанционно
управляемой машины
SpyRobot под требования
Корпуса морской пехоты
США для разведки
местности в радиусе
эффективной дальности
стрельбы стрелкового
оружия, а именно —
чтобы «предоставить
морским пехотинцам
возможность заглядывать
за угол в бою в
населенном пункте».

Робот отличается от других моделей малыми габаритами — 31 х



Гусеничный робот
DragonRunner 10 может переноситься
одним человеком (США)



Робот DragonRunner 10

42 x 15 см — и небольшой массой — 5-6 кг, поэтому может переноситься одним бойцом в заплечной укладке.

Шасси выполнено сменным: гусеницы при необходимости могут быть заменены на 4 колеса. Малогабаритный пульт управления имеет экран, на который выводится изображение с одной или сразу с четырех камер. По заявлению разработчиков, комплект сменного оборудования позволяет оператору прямо на поле боя осуществлять смену полезной нагрузки робота под решение конкретной задачи. Это может быть манипулятор с несколькими степенями свободы, способный поднимать груз до 4,5 кг, модуль с комплектом видеокамер или малогабаритный блок с сенсорами. В базовую комплектацию входят передняя и задняя всеуточные камеры, микрофон. Система управления проста в работе — для ее требуется минимальное обучение оператора, и может быть развернута для боевого применения в течение нескольких секунд.

DragonRunner 10 способен вести разведку как на открытой местности, так и в зданиях и недоступных для человека местах (канализация, пещеры и т.п.), обеспечивать охрану периметра, осуществлять осмотр техники (например, днища автомобилей или внутренний салон автобусов), обнаруживать и ликвидировать взрывоопасные предметы. Электрические приводы позволяют роботу передвигаться со скоростью 6,4 км/ч, запаса аккумуляторов хватает на 3 часа работы.

В 2003 году комплекс был введен в эксплуатацию и сейчас является одним из наиболее распространенных в войсках. Его первое боевое применение американскими военными состоялось в мае 2007 года в Ираке.

Робот **Matilda II** был разработан в 2006 году. Он был выполнен на гусеничном шасси с электрическим приводом, имел массу 27,6 кг и размеры 76 x 53 см.

Скорость передвижения составляла 3,2 км/ч, дальность управления – до 700 м, время непрерывной



Роботизированная гусеничная платформа Matilda II (США)

работы – до 10 часов. В комплект входили обзорные камеры, микрофон и динамик. Полезная нагрузка составляла 56 кг в виде сменных модулей – это могли быть различные разведывательные датчики, манипулятор для обезвреживания взрывоопасных предметов или гидравлическая пушка для уничтожения СВУ.

Робот **G2 BOT** также был выполнен на гусеничном шасси с электроприводом, но был значительно легче – 11,3 кг. Его размеры составляли 52 x 34 см, скорость передвижения 6,4 км/ч,

зарядки аккумуляторов хватало на 2 часа работы. Дальность управления – до 500 м. В комплект входит цветная круглосуточная камера с ИК подсветкой, а также сменные целевые модули – дополнительный манипулятор и разведывательные камеры

Робот **Element** массой 18 кг и размерами 76 x 53 см также имеет гусеничное шасси и электрический привод. Скорость движения составляет 3 км/ч, время непрерывной работы – 10 часов. В качестве полезной нагрузки массой до 57 кг предусмотрены места для сменных модулей различного назначения, в том числе нелетального оружия.

В 2012 году американская компания iRobot разработала малогабаритного робота **110 First Look** массой 2,4 кг и размерами 25 x 23 x 10 см. Он относится к так называемым



Малогабаритный робот 110 FirstLook (США)

«забрасываемым» роботам, то есть при необходимости может быть заброшен оператором, например, в окно, проем или на крышу, где автоматически принимает исходное положение для

ведения наблюдения. Машина выполнена на гусеничном шасси и оборудована флипперами — вращающимися на 360 град. пластинами, которые повышают проходимость при преодолении препятствий. Малогабаритный пульт управления носится оператором на запястье. Он оснащен сенсорным экраном и цифровым приемопередатчиком с дальностью действия до 200 м. Сообщалось, что, используя несколько роботов 110 FirstLook, можно составить единую сеть, которая позволит увеличить дальность дистанционного управления и расширить площадь обзора территории.

Робототехнический комплекс 110 FirstLook оснащен четырьмя видеокамерами с ИК подсветкой, направленными вперед, назад, вправо и влево. Размеры робота теоретически позволяют разместить на нем и другие приборы, например тепловизор, приборы радиационной, химической и бактериологической разведки, средства двусторонней звуковой связи. Электропривод сообщает машине скорость до 5,5 км/ч, она может преодолеть препятствия высотой до 20 см, двигаться по песку, выдерживает падение с высоты до 4,5 м на твердую поверхность. Зарядки аккумуляторов хватает на 6 часов непрерывной работы.

Для повышения возможностей робототехнических систем, что тесно связано с увеличением их массы, компания iRobot создала для военных целей многофункциональную платформу **Warrior 710** массой 129-136 кг. Ее основными задачами являются проведение



Роботизированная гусеничная платформа Warrior 710 (США)

работ по разминированию, расчистка дорог, пожаротушение, разведка, удалённое наблюдение за местностью, оказание помощи при чрезвычайных ситуациях, перемещение грузов и проведение сварочных работ, а также эвакуация раненых солдат из-под огня противника.

Робот выполнен на гусеничном шасси и может развивать скорость до 12,9 км/ч с грузом на манипуляторе массой 68 кг, либо тянуть груз массой до 227 кг. За счет дополнительных гусениц-флипперов он способен преодолевать вертикальные стенки высотой до 47 см, лестницы с углом наклона 45°, брод глубиной 76 см, рвы шириной до 61 см. Длина робота составляет 0,89 м, ширина 0,73 м, высота 0,46 м. Зарядки аккумуляторов

хватает на 10-16 часов работы. Дальность действия пульта дистанционного управления аппаратом составляет 800 м. При потере связи Warrior 710 способен самостоятельно вернуться в исходную точку для ее восстановления.

Помимо основного манипулятора, в комплект полезной нагрузки входит комплект обзорных камер и микрофон. При необходимости манипулятор может быть заменен на вооружение фирмы MetalStorm – пулемет или скорострельный гранатомет. Также может устанавливаться аппаратура радиационной, химической и биологической разведки.

С 2010 года робототехнический комплекс Warrior 710 планировалось испытать и поставлять в армейские подразделения и подразделения SWAT. Он также может



Гусеничный робот PackBot-510
(США)

взаимодействовать с другим военным роботом легкого класса — **PackBot-510** — разработки той же компании. В частности, он может помочь ему преодолеть значительные препятствия, либо

поднять на некоторую высоту (например, чтобы проникнуть в окно). Этот робот предназначен для ведения наблюдения, организации разведки и дистанционной проверки маршрута.

PackBot-510 также имеет гусеничное шасси с дополнительными гусеницами-флипперами для преодоления препятствий, но он значительно меньше – масса 10,9 кг, размеры – 68 x 40 x 41 см. Он оснащен комплектом камер, в том числе панорамной и инфракрасной, многофункциональным манипулятором. Аккумуляторы обеспечивают 4 часа непрерывной работы или запас хода 16 км со скоростью до 9,3 км/ч. Дальность линии дистанционного управления составляет до 1000 м. При потери связи робот автоматически возвращается в исходную точку маршрута, а также способен осуществлять автопереворот при падении.

К 2011 году компания iRobot произвела более 3000 образцов PackBot-510 для силовых структур нескольких стран мира.



Гусеничный робот 300
SUGV (США)

Основываясь на успехе PackBot, компания iRobot, объединившись с Boeing, к 2010 году разработала серию легких робототехнических комплексов **300 SUGV**, предназначенных для разведки и обезвреживания мин и других взрывных устройств. Модификация 310

SUGV имеет массу 13,2 кг, модификация 320 SUGV – 14,5 кг. Длина и ширина составляют 70 x 44 см, что позволило уместить робота в легком модульном рюкзаке для переноски.

Гусеничный движитель аналогичен PackBot. Скорость движения – до 10 км/ч, преодолеваемый подъем – до 60 град., стенка – до 25 см, брод – 15 см. Две батареи ВВ-2590/U обеспечивают продолжительность работы до 6 часов. Помимо обзорного модуля на подъемной штанге с различными типами камер, робот может оснащаться многофункциональным манипулятором.

Отдельная
тема наземных
роботов – это
шагающие
машины. Так в
2005 г.
американская
компания
BostonDynamics
совместно с Foster-
Miller и другими



Шагающий робот BigDog (США)

фирмами создала четырёхопорного шагающего робота с адаптивным управлением **BigDog**.

Этот проект финансировался агентством DARPA с целью создания роботизированной платформы поддержки подразделения – для переноски снаряжения и грузов личного состава, то есть для тех же целей, что и роботы CAMEL и SMSS. Однако вместо колёсного или гусеничного двигателя разработчики оснастили BigDog четырьмя «ногами» для возможности передвижения в любых условиях пересеченной местности, в лесу, по глубокому снегу, песку, камням и т.д.

Длина робота BigDog 0,91 м, высота 0,76 м, вес 110 кг. Он способен передвигаться по труднопроходимой местности со скоростью до 6,4 км/ч и при этом нести до 154 кг груза, в том

числе с подъемом 35 град. Навигация, передвижение и равновесие контролирует бортовая компьютерная система, получающая данные от многочисленных датчиков и лазерного гироскопа. В передней части робота установлена система бинокулярного зрения.

В качестве силовой установки используется двухтактный одноцилиндровый двигатель внутреннего сгорания. О служит приводом для гидронасоса, который в свою очередь питает многочисленные гидроприводы «ног» (по 4 в каждой). Каждый из гидродвигателей состоит из гидроцилиндра, сервоклапана, а также датчиков положения и усилия.

На испытаниях робот устойчиво передвигался по самым сложным поверхностям как с грузом, так и без. Однако выяснилось, что шум работающего двигателя сильно демаскирует робота, поэтому разработчики планируют исправить этот недостаток в будущем.

Дальнейшим развитием BigDog стал робот LS3 (Legged Squad Support System), которого компания Boston Dynamics представила в 2012 году. Новая машина имеет другую



Шагающий робот LS3 (США)

конструкцию шагающих опор и усовершенствованную систему управления.

LS3 это высококомбинированная, полуавтономная шагающая роботизированная платформа, способная взаимодействовать с войсковыми подразделениями. Она оборудована электрическим приводом, который в отличие от ДВС не создает много шума. Робот способен транспортировать до 180 кг груза на расстояние более 32 км со скоростью до 11 км/ч, и при этом не нуждается в каком-либо вмешательстве в течение 24 часов.

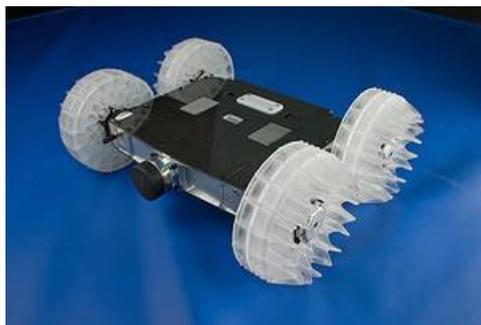
В системе управления предусмотрены следующие режимы работы: следование за лидером (вплотную или на определенном расстоянии), движение по заданным точкам маршрута с

помощью системы GPS с самостоятельным обходом и запоминанием препятствий, выполнение голосовых команд.

Этап испытаний, которые платформа LS3 проходит с июля 2012 года в Армии и Корпусе морской пехоты США планировалось завершить в течение двух лет.

Еще одной оригинальной разработкой компании BostonDynamics стал малогабаритный шестиногий робот **RHex** массой 12,5 кг. Финансирование разработок велось рядом американских университетов и агентством DARPA с 1998 года. Вместо колесного или гусеничного движителя на RHex применены шесть «ног» с индивидуальными электроприводами, использующие математическую модель движения, позаимствованную у насекомых. Робот способен передвигаться со скоростью до 3,2 км/ч по пересеченной местности, взбираться по лестницам, подъемам в 45 град., делать прыжки. Размеры робота — 56 х 40,6 см — позволяют ему проникать в недоступные для человека места. Зарядки аккумуляторов хватает на 6 часов непрерывной работы. Дальность дистанционного управления достигает 700 м. В передней части корпуса установлена всесуточная камера с подсветкой. Дополнительно может быть установлено другое оборудование.

Следующий
необычный
аппарат от
компании
BostonDynamics –
прыгающий
малогабаритный 4-
колесный робот
Sandflea массой 5
кг и размерами 33 x
46 x 23 см.



Малогабаритный колесный робот
Sandflea (США)

Разработку инициировало агентство DARPA для оснащения сил быстрого реагирования армии США. Первоначально проект разрабатывался в Национальной лаборатории Sandia.

Для возможности преодолевать большие препятствия робот оснащен устройством, которое подбрасывает его на высоту от 1 до 8 метров. При этом траектория прыжка полностью контролируется бортовой системой стабилизации, а конструкция колес компенсирует нагрузку при приземлении. Таким образом, оператор не теряет изображения, передаваемого с встроенной камеры. Последняя оснащена подсветкой в видимом и инфракрасном диапазоне. По обычной местности Sandflea передвигается со скоростью до 5,4 км/ч, но при необходимости может перепрыгнуть высокую стену, или запрыгнуть в окно или

на крышу здания. На одной зарядке обеспечивается работа в течение 2 часов и 25 прыжков.



Малогобаритный
гусеничный робот
Scorpion (США)

Целая серия малогабаритных робототехнических комплексов разведки и наблюдения были разработаны в 2008-2010 годах компанией MacroUSA. Так, например гусеничный робот **Scorpion** массой 12 кг оборудован круглосуточной камерой с видимой и ИК подсветкой, микрофоном и дисплеем на задней панели. В дополнение к этому имеется возможность устанавливать дополнительное оборудование

массой до 9 кг, например, датчики РХБ заражения, дополнительные камеры. Зарядки батарей хватает на 6 часов непрерывной работы. Scorpion может передвигаться по пересеченной местности, песку, камням и преодолевать различные препятствия, в том числе крутой подъем и лестницы. Основными задачами для него являются визуальная и аудиоразведка и наблюдение, особенно в условиях высокой опасности, инспектирование труднодоступных участков, радиационная, химическая и биологическая разведка местности.

Конструкция робота специально усилена, чтобы противостоять многочисленным ударам и вибрации.



Малогобаритный колесный робот
Beetle (США)

Малогобаритный «забрасываемый» робот **Beetle** той же компании имеет массу всего 1 кг и размеры 20,6 x 15,5 см и выполнен на 4-колесном шасси с электроприводом. Корпус выполнен из алюминиевого сплава и пластика. Для разведки и наблюдения имеется всесуточная камера с подсветкой в видимом и ИК диапазоне, а также микрофон. Скорость робота не превышает 2 км/ч. Дальность управления – до 200 м в пределах прямой видимости с помощью легкого пульта с экраном и клавиатурой.

Однако военных, для которых проектировалась данная система, не устроили характеристики прочности корпуса робота. Несмотря на модернизацию, которую провели специалисты MascoUSA для выдерживания падения робота с 3-метровой

высоты на твердую поверхность, его закупка для силовых структур США так и не состоялась.

Дальнейшим развитием Beetle стал робот **Stingray** аналогичной конструкции. Его спроектировали с учетом значительного усиления конструкции корпуса и возможностью преодоления серьезных препятствий. Масса составила 1,8 кг, основные размеры – 25,4 x 20,5 x 9,5 см. Робот Stingray оборудован всесуточной камерой с полем зрения 50 град, которая имеет углы наклона ± 85 град. В передней части корпуса встроены светодиодные фонари белого и ИК спектра. В дополнение к этому на корпусе имеется планка Пикатинни, на которую можно устанавливать дополнительное устройство весом до 700 г. Аккумуляторы обеспечивают продолжительность работы более 2 часов. Радиус действия системы управления в прямой видимости составляет 200 м, в остальных случаях — 50 м.

Среди легких «забрасываемых» роботов компании MacroUSA имеется разработка, получившая название **Armadillo**. Этот робототехнический комплекс был создан сразу в нескольких вариантах, максимально унифицированных между собой.



Малогобаритный колесный робот
Armadillo (США)



Робот Armadillo с дополнительным
оборудованием

Модификации Armadillo V3.5 и Armadillo V4.0 имеют массу 3,13 кг и 3,70 кг соответственно. Они способны выдержать падение с высоты до 2,5 м или горизонтальный полет на 8 метров и могут сразу после забрасывания начать работать. Оба варианта оборудованы планками Пикатинни для установки различных сенсоров или приспособлений (например, устройство обезвреживания СВУ, манипулятор, тепловизор) общей массой до 3 кг. Круговой обзор на 360° обеспечивается всеуточными цветными камерами, установленными на всех сторонах машин. На варианте V4.0 передняя камера может наклоняться, а также имеется подсветка в видимом и ИК диапазонах на всех четырех сторонах. Тогда как вариант V3.5 имеет две камеры, переднюю и заднюю ИК подсветку. Первый имеет размеры 29,5 x 27 см, второй — 32 x 26,5 см. Оба робота оборудованы микрофоном и опциональной системой GPS, а также цифровым акселерометром.

Система управления имеет радиус действия в прямой видимости до 300 м (в не прямой видимости 200 м). Резиновые колеса диаметром 130-мм позволяют роботам Armadillo преодолевать уклоны в 45 град. В дополнение на них может устанавливаться комплект для преодоления ступеней, который включает флипперы и резиновые гусеницы вместо колес. Максимальная скорость передвижения – 3 км/ч, заряда батарей хватает на 3,5 часа работы.

Следующая модификация — Armadillo V4.5 — была разработана с целью увеличения скорости передвижения и полезной нагрузки. Этот робот имеет большее число разъемов для подключения различных устройств и специально спроектирован для обезвреживания взрывоопасных предметов. Он принимает исходное положение при любых переворотах и способен преодолевать ступени лестниц. Масса 6,9 кг, размеры 57 x 30 см, скорость до 5 км/ч, дальность управления – до 500 м.



Малогабаритный
«забрасываемый» робот **Throwbot**
ХТ (США)

Американская компания **ReconRobotics** является разработчиком и производителем одних из наиболее массовых моделей малогабаритных «забрасываемых» робототехнических комплексов. Несмотря на отказ Минобороны США в

2013 году от очередного контракта на закупку около 1000 роботов, эта компания реализовала по всему миру около 4000 таких систем для различных силовых структур.

Самая легкая модель «забрасываемого» робота от **ReconRobotics** является **Throwbot ХТ** массой всего 0,54 кг, производство которой началось в середине 2012 г. Высокие

противоударные характеристики робота позволяют без каких-либо последствий бросать его с высоты до 9 метров. Два миниатюрных электродвигателя вращают колеса на концах цилиндрического корпуса. Аккумулятор обеспечивает продолжительность работы 1 час на плоской поверхности. Скорость ограничена 1,6 км/ч, чего вполне достаточно для системы предназначенной в основном для работы в зданиях или в городской местности. Размеры — 21 x 19,3 см.

Основными сенсорами являются черно-белая камера с ИК подсветкой, и высокочувствительный всенаправленный микрофон. Канал передачи данных у Throwbot XT может настраиваться на три разных частоты, поэтому один оператор может управлять сразу тремя роботами. В городских условиях дальность управления составляет 30 м, на открытой местности – до 300 м.

Дальнейшим развитием Throwbot XT стал **ReconScout IR**, оборудованный черно-белой инфракрасной ПЗС-камерой с полем зрения 60 град. и ИК подсветкой, эффективной на расстоянии более семи метров. Размеры — 14 x 19,4 см

Следующая модель — **ReconScout XL** массой 0,64 кг. Этот робот может развивать скорость до 2,16 км/ч, но при этом имеет меньшую ударную прочность (падение с высоты 4,6 м и бросок на 9,1 м). Размеры — 30 x 21,6 см. Сенсоры и канал связи оставлены прежние.

Все «забрасываемые» роботы компании ReconRobotics управляются с помощью блока управления OperatorControlUnit II, который позволяет видеть захваченные камерой изображения на 3,5-дюймовом дисплее, при этом в наушники подаются все окружающие звуки. Блок весит 0,73 кг, на нем имеется «джойстик» для большого пальца, клавиатура, две антенны.

Помимо США, «забрасываемые» роботы компании ReconRobotics поставлялись в Данию, Францию, Италию, Норвегию, Швейцарию и Великобританию, Австралию, Египет и Иорданию.

2.2 Россия

В России исследованиям в области военной робототехники всегда уделялось большое внимание. Начиная с 1990-х годов разработки велись на основе задела, созданного еще в СССР. Однако глубокий кризис, охвативший нашу страну в то время, значительно затормозил или совсем приостановил все ведущиеся работы по созданию роботов. Лишь после 2000 года начался определенный подъем, подтолкнувший конструкторские организации к проведению исследований в робототехнике на основе современной элементной базы. Сейчас военное руководство России уже четко определило основные области применения боевых и обеспечивающих роботов, выработало предложения по их номенклатуре.

К настоящему времени в нашей стране завершен ряд научно-исследовательских работ в области наземной робототехники, созданы действующие макетные и серийные образцы. Помимо армии, значительное количество отечественных наземных робототехнических комплексов легкого класса поступило и другим силовым и гражданским ведомствам. Серьезным шагом в ускорении разработки российских военных роботов стало формирование Главного центра робототехники на базе фондов бывшей Военно-воздушной инженерной академии имени Жуковского. Внедрение робототехнических комплексов проводится в рамках комплексной целевой программы «Создание перспективной военной робототехники до 2025 года», разработанной в Министерстве обороны. Сейчас полным ходом идут работы по созданию универсальных роботизированных платформ, боевых, разведывательных, инженерных и транспортных роботов. Первые серийные робототехнические комплексы поступили в воинские части Инженерных войск России уже в 2015 году.

Одним из первых российских боевых роботов стал **МРК-27 БТ**, разработки МГТУ им. Н.Э. Баумана, показанный на выставке

INTERPOLITEX в 2009 году. Он представляет собой



Боевой гусеничный робот МРК-27 БТ
(Россия)

многоцелевой робототехнический комплекс на гусеничном шасси с электроприводом массой 170 кг и предназначен для ведения боевых действий с целью снижения потерь личного состава – а именно подавления огневых точек противника, уничтожения его живой силы, нанесения ударов по сооружениям и технике.

Боевой роботизированный комплекс состоит из целого арсенала оружия: двух реактивных огнеметов «Шмель», двух противотанковых гранатометов РПГ-26, 7,62-мм пулемета «Печенег» (боезапас 100 патр.), шести мортир для запуска дымовых гранат. Вооружение устанавливается без каких-либо доработок на специальную подвижную платформу, которая может подниматься и наводиться по вертикали и горизонтали.

Комплекс видеокамер позволяет оператору вести прицельный огонь и ориентироваться в пространстве. Машина управляется дистанционно с переносного пульта на расстоянии от 200 до 500 м.

По утверждению разработчиков, российский робот имеет ряд преимуществ перед зарубежными аналогами. Так, по сравнению с американскими роботами SWORDS он более устойчив за счет особой системы сцепления гусениц с землей, более подвижен при преодолении препятствий, имеет минимальную отдачу при стрельбе.

МРК-27 и его модификации прошли государственные испытания (в том числе, на устойчивость к взрыву), применяются в технических подразделениях Минатома, МЧС и ФСБ.

На базе шасси МРК-27 имеются также другие модификации, ранее принятые на снабжение МЧС, ФСБ, Минатома: МРК-27ВУ предназначен для проведения взрывотехнических работ — визуальной разведки потенциально опасных зон, поиска, эвакуации или уничтожения взрывных устройств; МРК-27Х предназначен для проведения работ в условиях химического заражения и может проводить визуальную разведку опасных зон и экспресс-анализ воздуха, транспортировать и укладывать в спецконтейнер химически опасные предметы, брать пробы жидкостей и грунта; МРК-27МА

предназначен для работы в зонах с повышенной радиацией и обеспечивает визуальную разведку территории, транспортирование и укладку в спецконтейнер радиоактивных предметов.

Еще в конце 1990-х гг с учетом опыта успешного применения мобильных робототехнических комплексов в МГТУ им. Н.Э. Баумана был разработан мобильный



Гусеничный робототехнический комплекс МРК-46М (Россия)

робототехнический комплекс **МРК-46М**, предназначенный для выполнения работ по ликвидации последствий локальных радиационных аварий. Он представляет собой самоходную гусеничную платформу с электроприводом, оснащенную манипулятором, фронтальным погрузчиком, двумя подвижными телекамерами, автоматическим кабелеукладчиком, аппаратурой управления и контроля. Управление и питание робота осуществляется по кабелю.

Манипулятор работа имеет 5 степеней подвижности и предназначен для погрузки и транспортирования кусковых и штучных грузов, наведения блока детектирования мощности гамма-излучения на контролируемые объекты, работы с дополнительным технологическим оборудованием. Для выполнения транспортных и погрузочно-разгрузочных работ применяется фронтальный погрузчик. Рабочим органом погрузчика является ковш, установленный на шарнирно сочлененной раме. Подвижная телевизионная установка состоит из телекамеры, осветителя и электромеханизма наведения.

В состав аппаратуры поста оператора входят пульт управления, блок питания и распределения, блок громкоговорителя, два видеопросмотровых устройства, блок контроллера приемопередачи.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана также был создан роботизированный комплекс тяжелого класса МРК-61 массой 800 кг. Он предназначен для проведения работ в условиях химического и радиационного



Тяжелый гусеничный роботизированный комплекс МРК-61 (Россия)

заражения, в том числе инспекционных проверок, погрузочно-разгрузочных работ, аварийно-спасательных работ, а также применяется в составе многоцелевого комплекса МРК-60. Робот способен выполнять визуальную разведку; газовую, химическую и радиационную разведку местности; аварийно-спасательные работы в условиях химического заражения и зонах повышенной радиоактивности; проводить дозиметрический контроль местности; обозначать зараженные зоны; ликвидировать источники повышенной радиации. В настоящее время он состоит на вооружении подразделений РХБ защиты Российской Армии.

Шасси робота – гусеничное, с электроприводом, габариты — 1,01 x 1,15 x 2,55 м, грузоподъемность манипулятора — до 100

кг, зарядки аккумуляторов хватает на 4 часа работы. В состав оборудования входит манипулятор с 5 степенями свободы, кабелеукладчик, 4 цветные телекамеры, микрофон, система освещения, навесное технологическое и специальное оборудование.

Радиус действия системы управления составляет 300 м по кабелю, либо 600 м по радиолинии. При работе по кабелю время непрерывной работы неограниченно. Управление осуществляется с поста, оснащенного пультом, дисплеем, клавиатурой, антеннами и блоком питания.

Одна из современных разработок МГТУ им. Н.Э. Баумана – легкий робототехнический комплекс «Пластун» массой 50 кг. Этот робот легкого класса предназначен для патрулирования и



Колесный робототехнический комплекс «Пластун» (Россия)

обнаружения подозрительных объектов и людей, в том числе в целях обеспечения безопасности различных мероприятий. Он

выполнен на 6-колесном шасси с электроприводом и способен нести полезную нагрузку до 100 кг. Габариты машины – 64 x 46 см, скорость движения – 2,5 км/ч. Для обзора служат видеокамеры с подсветкой, расположенные на корпусе со всех четырех сторон. Дополнительно могут устанавливаться круглосуточные камеры и тепловизоры, различные датчики. В спецкомплектации робот «Пластун» оснащен газоанализаторами и автоматизированными системами обнаружения подозрительных предметов.

Сообщалось, что одну такую машину уже заказала Служба внешней разведки России, а ФСБ планирует в ближайшее время заказать примерно 100 единиц.



Прототип боевого
колесного робота ДУМ (Россия)

В 2010 году в Ижевске специально для премьер-министра России были представлены образцы различной современной техники, в числе которых был и прототип боевого робота с условным названием **ДУМ** (дистанционно управляемая

машина), разработанный НПЦ «Спецтехника» ОАО «НИТИ Прогресс». Масса машины — около тонны, шасси – 6-колесное

полноприводное, она была оснащена поворотной установкой с 7,62-мм пулеметом ПКТ, способна действовать на расстоянии до 1,5 км от своих войск. Сообщалось, что опытный образец машины проходил испытания.

В 2013 году на проходившей в Нижнем Тагиле IX Международная выставка вооружения, военной техники и боеприпасов «RussiaArms EXPO» российское предприятие «Специальная



Гусеничный боевой робот «Стрелок»
(Россия)

строительная техника» представила робототехнический комплекс «Стрелок» массой 450 кг. Машина выполнена на гусеничном шасси, оснащена двигателем внутреннего сгорания мощностью 11 л.с., дающим возможность передвигаться со скоростью человека — 4 км/ч. Робот способен преодолевать подъемы и склоны в 30 град., взбираться по лестнице, а его габариты – 1,65 x 0,7 x 0,96 м — позволяют свободно применять

его в зданиях (например, для разведки или в антитеррористических операциях).

Комплекс «Стрелок» вооружен 7,62-мм пулеметом ПКМ, установленном на поворотной платформе с углами наведения по горизонтали +45/-45 и вертикали +60/-20. Приводы – гидравлические. Он также оборудован тремя обзорными камерами. Главная камера — круглосуточная с дистанционным управлением объектива, вторая служит для наведения оружия и оборудована детектором движения. Камера заднего вида также имеет подобный детектор.

Дальность управления роботом на открытом пространстве достигает 20 км, в условиях городской застройки — до 5 км. Переносной пульт управления выполнен во всепогодном корпусе, имеет экран и клавиатуру.

Российское предприятие «Ковровский электромеханический завод» (КЭМЗ) занимается разработкой наземных робототехнических комплексов не один год, и к настоящему времени серийно производит сразу несколько образцов различного назначения.

Так, саперный робототехнический комплекс **«Варан»** массой 190 кг, предназначен для проведения визуальной разведки, работы с взрывоопасными предметами, в том числе их обезвреживания или загрузки в специальные контейнеры для эвакуации, а также выполнения

технологических операций по обеспечению доступа к взрывным устройствам.

Для повышения проходимости робот выполнен на гусеничном шасси с электроприводом. Максимальная скорость движения – 1,8 км/ч, преодолеваемые подъемы и спуски — до 30 град., брод глубиной 15 см. Зарядки аккумуляторов хватает на 4 часа непрерывной работы. В транспортном положении «Варан» имеет габариты 1,2 x 0,7 x 0,7 м.

Робот оснащен манипулятором с пятью степенями свободы и может поднимать им груз до 50 кг. Для обзора имеются камеры с подсветкой. При необходимости могут устанавливаться дополнительные модули. Управление осуществляется с переносного пульта по кабелю длиной 200 м, либо по радиолинии до 1000 м.



Колесный робототехнический комплекс «**Вездеход-ТМЗ**» (Россия)

Другим робототехническим комплексом аналогичного назначения, но более легкого класса, разработанным специалистами КЭМЗ совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана является «**Вездеход-ТМЗ**» массой 35 кг. Его назначение — выполнение оперативно-тактических задач в труднодоступных и опасных для человека зонах, в том числе проведение аудио и видео разведки объектов и территорий, осмотр объектов, подозрительных на наличие взрывоопасных устройств, расположенных в помещениях зданий и на местности, а также автотранспортных средств, доставка, установка и дистанционное приведение в действие разрушителей взрывоопасных устройств.

Робот выполнен на 6-колесном шасси с электроприводом и имеет габариты 61 x 51 x 46 см. Скорость передвижения – 2,5 км/ч, преодоление подъемов и склонов — до 20 град., брод глубиной 10 см, стенка высотой 10 см. Установленный на комплексе манипулятор с 4 степенями свободы имеет вылет до 1,2 м и грузоподъемность до 3 кг. Для обзора имеются две камеры. Время непрерывной работы — 70 мин. Управление осуществляется с переносного пульта по кабелю длиной 75 м или по радиолинии на дальность до 600 м.



Колесный
робототехнический комплекс
««Вездеход-ТМ5»» (Россия)

Для более сложных задач, в частности кроме разведки местности в труднодоступных и опасных для человека зонах, — решения вопросов разминирования и самостоятельного уничтожения взрывоопасных предметов, теми же предприятиями — МГТУ им.

Н.Э. Баумана и КЭМЗ был разработан и серийно освоен мобильный робототехнический комплекс «Вездеход-ТМ5» массой 50 кг.

Робот имеет шестиколесное шасси с электроприводом и способен передвигаться со скоростью до 3,6 км/ч. Габариты в транспортном положении – 70 x 55 x 45 см. Он оборудован манипулятором с 4 степенями свободы грузоподъемностью 7 кг, основной телекамерой с подсветкой и еще тремя обзорными, а также комплектуется различными типами разрушителей взрывных устройств. На специальной буксируемой тележке возможна транспортировка системы радиопомех.

Время непрерывной работы от аккумулятора – 2 часа. Управление роботом осуществляется с помощью компактного переносного пульта посредством радиолинии на расстоянии до 600 м или по кабелю до 200 м.

Еще одной совместной разработкой МГТУ им. Н.Э. Баумана и КЭМЗ в сфере робототехники является многофункциональный комплекс легкого класса **«Вектор»**. Он выполнен на гусеничном шасси и имеет оснащение, аналогичное машинам «Вездеход-ТМ5» и «Варан».



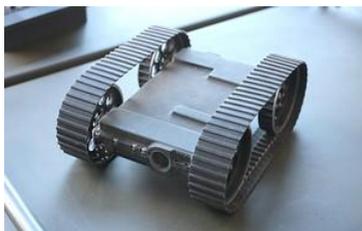
Колесный боевой робот «Металлист»
(Россия)

Для подразделений силовых министерств и ведомств в КЭМЗ был создан многофункциональный робототехнический комплекс «**Металлист**» массой 50 кг. Фактически – это полноценный боевой робот с широкой номенклатурой сменного вооружения и приспособлений. Он может применяться при проведении мероприятий по противодействию нарушениям общественного порядка и террористическим актам путем оказания огневой поддержки, проведения разведки и наблюдения, применения специальных средств, а также осуществления отвлекающих действий. Робот выполнен на 6-колесном шасси с электроприводом, имеет габариты 70 x 65 x 55

см, скорость до 7 км/ч, способен преодолевать подъемы и склоны до 20 град., стенку до 12 см, брод 10 см.

На специальной поворотной платформе с углами наведения по горизонтали ± 100 град. и по вертикали $-10/+40$ град. может устанавливаться снайперская винтовка ВСК-94. На специальной подъемной штанге крепится пистолет ПЯ. Оружие совмещается с прицельными камерами с подсветкой, изображение от которых выводится на пульт оператора. В передней части корпуса расположены четыре пусковых установки для запуска грант РГ-60ТБ, РДГ-М, РГ-603, РГР, «Заря-2» (дальность метания до 7 м), сзади может крепиться транспортный контейнер (например для доставки спецгруза). Кроме этого робот имеет обзорные камеры, микрофон и громкоговоритель.

Время непрерывной работы в максимально интенсивном режиме составляет 1 час, в режиме наблюдения с запасным аккумулятором – до 12 ч. Управление осуществляется с переносного пульта массой 7 кг, закрепленного у оператора на груди. Пульт имеет экран, два «джойстика», клавиатуру и передатчик. Дальность управления по кабелю – 200 м, по радиолинии – до 500 м.



Малогобаритный
робототехнический комплекс СРР
(Россия)

Другой разработкой ОАО «НИТИ «Прогресс» стал миниатюрный робототехнический комплекс СРР из класса «забрасываемых» роботов. Как и другие машины подобного типа, этот робот может быть брошен оператором в окно, проем

здания, через ограждение или на крышу для последующего обследования с помощью встроенной видеокамеры. Прочный плоский корпус и гусеничный движитель позволяют СРР проникать в труднодоступные для человека места. По своим характеристикам он не уступает современным западным образцам.

2.3 Израиль

Государство Израиль вследствие своего геополитического положения постоянно вдет боевые действия или контртеррористические операции, а потому создание наземных роботизированных комплексов является для него одной из приоритетных задач. Использование военных роботов для снижения потерь личного состава увеличивается с каждым годом, причем основной толчок к этому был дан еще в 1990-х

годах, когда Израиль стал применять беспилотные летательные аппараты для разведки в боевых условиях. С этого времени израильские компании по заданию военных разрабатывают наземные робототехнические комплексы всех видов – от миниатюрных «забрасываемых» и легких колесных и гусеничных, до полноценных тяжелых машин с вооружением или специальным оборудованием. Накопленный Армией обороны Израиля опыт применения дистанционных и автономных разведывательно-боевых систем был настолько актуален, что им вплотную заинтересовались представители американского ВПК, выпускающие современные роботизированные комплексы.

В настоящее время основное количество наземных робототехнических комплексов сосредоточено в инженерных подразделениях израильской армии, а также подразделениях специального назначения. Также они активно используются полицейскими службами для наблюдения, патрулирования, обезвреживания взрывоопасных предметов и даже борьбы с террористами-смертниками.



Малогабаритный боевой робот VIPeR
(Израиль)

Малогабаритный боевой робот **VIPeR**, разработанный в 2007 году компаниями ElbitSystems и Galileo, предназначен для разведки и ведения боя в городских условиях, а также может выполнять задачи по уничтожению взрывоопасных предметов. Масса робота 11,4 кг, габариты – 36 x 36 x 22 см. Для передвижения служит оригинальный гусеничный движитель с электрическим приводом. Помимо обычных препятствий он позволяет взбираться по лестницам.

VIPeR может быть вооружён 9-мм пистолетом-пулемётом «Узи» с лазерным прицелом, либо пистолетом «Глок» или 40-мм гранатомётом. Для обезвреживания взрывоопасных предметов может устанавливаться гидропушка, либо другое саперное

оборудование, например, устройство обнаружения взрывчатых веществ. Для обзора и обнаружения робот оборудован дневной и ночной камерами с подсветкой, а также микрофонами.

Управление роботом осуществляется по радиолинии с переносного пульта с экраном и шлема. Блок передатчиков и аккумуляторов размещается у оператора за спиной. Возможно также управление по кабелю. Существует автономный режим, когда робот возвращается в исходную точку при потере связи с оператором.



Малогабаритный
робототехнический комплекс
Eyedrive (Израиль)

Еще один малогабаритный робототехнический комплекс — **Eyedrive** — был разработан фирмой ODF Optronics, которую в сентябре 2013 г. приобрела компания MistralGroup. Он относится к «забрасываемым» разведывательным роботам и

имеет массу 2,3 кг и габариты 28 x 25 x 10 см. Предназначен для наблюдения, разведки, обследования помещений, выполнения поисковых работ. Впервые робот Eyedrive применялся израильскими войсками в боевой операции в Секторе Газа в

январе 2009 года. Сейчас он состоит на вооружении нескольких стран мира, в том числе имеется у спецслужб России.

Eyedrive представляет собой малогабаритную 4-колесную платформу с электродприводом и дистанционным управлением. Проходимость может быть увеличена за счет добавления резиновых гусениц на имеющиеся колеса при небольшом увеличении размеров до 35 x 32 x 16,5 см. Система наблюдения состоит из 4 стационарных видеокамер и одной поворотной, а также микрофона, позволяющими вести круговое наблюдение и разведку с непрерывным видео и аудиослежением. Информация, полученная сенсорами робота, передается на компьютер оператора через Wi-Fi, бортовая система самостоятельно обрабатывает всю визуальную и аудиоинформацию и при обнаружении подозрительного сигнала оповещает оператора.

Скорость передвижения робота – до 12 км/ч, дальность управления – до 300 м, непрерывное время работы – до 3 часов. Для выполнения специальных операций на корпусе робота могут крепиться дополнительные модули или заряд ВВ.

Для задач
ведения разведки
для основных
пехотных
подразделений
компанией Robo-
team был
разработан
многоцелевой
робот **MTGR**
(Micro-



Колесный малогабаритный
многоцелевой робот MTGR (Израиль)

TacticalGroundRobot – тактический наземный микроробот) массой 7,3 кг, концепция которого была взята у американского PackBot.

Для работы в городских условиях MTGR имеет гусеничное шасси с гусеницами-флипперами, но для движения по бездорожью есть возможность добавления наружных колес большего диаметра, что улучшает проходимость. При этом габариты увеличиваются с 45,5 x 37 x 14,5 см до 47,2 x 47 x 16, 5 см, а масса вырастает до 8,6 кг. Скорость движения составляет 3,2 км/ч, преодолеваемые препятствия – стенка высотой 35 см, уклоны 45 град., лестничные ступени высотой 20 см.

Робот оборудован пятью камерами: передняя в нише с видимой подсветкой и углами наклона -20/+90 град. и 4 на всех

сторонах корпуса для кругового обзора с ИК подсветкой. Манипулятор с захватом для обезвреживания взрывоопасных предметов имеет 4 степени свободы. Максимальный вылет составляет 36 см, грузоподъемность 5,4 кг. На нем также установлены две камеры — одна с 10-кратным увеличением, вторая — ближнего плана на захвате, обе имеют ИК подсветку. С помощью планки Пикатинни могут устанавливаться дополнительные сенсоры, например датчики радиации, газоанализаторы, тепловизоры и т.д.

Канал связи робота может образовывать сеть с другими устройствами, позволяя увеличить дальность действия до 500 метров в прямой видимости. Время автономной работы от аккумуляторов составляет 2-4 часа. Управление осуществляется с переносного пульта массой 2,3 кг с экраном, двумя «джойстиком» и клавиатурой.

По результатам испытаний робототехнический комплекс MTGR был закуплен Армией обороны Израиля и командованием силами специальных операций США. В 2015 году Польша выбрала MTGR для оснащения армии этими разведывательными роботами в рамках проекта Tarantula. Первоначально планировалось закупить 50 машин до 2018 г., но в связи с ростом напряженности в соседней Украине, потребность в таких системах увеличилась и поставку решили завершить уже к концу 2016 года.

Та же компания Roboteam разработала малогабаритный «забрасываемый» робот **IRIS** (Individual Reconnaissance and Intelligence System – индивидуальная система разведки и



Малогабаритный «забрасываемый» робот IRIS (Израиль)

сбора информации) массой 1 кг, впервые показанный в 2013 г. Заброс осуществлялся с помощью специально метательной системы типа пращи. Робот имел прочный корпус из композиционных материалов, выдерживающий падение с высоты 10 м или бросок на 65 м. Благодаря симметричной конструкции он мог падать на любую сторону и после этого сразу быть готовым к работе. Двигатель – 4 колеса из композитного нейлона. Габариты — 17,5 х 20,5 х 9,5 см — позволяют оператору носить IRIS прямо в кармане. Робот оборудован передней всесуточной камерой с механизмом наклона на ± 90 град., лазерным целеуказателем и микрофоном. Защищенный канал связи обеспечивает управление с 200 метров, продолжительность работы 4-6 часов.

Однако на следующем этапе разработки от концепции заброса с помощью пращи отказались, хотя работа по-прежнему можно было забросить вручную. Основная конструкция и узлы остались прежними, но габариты изменились на 23 x 20 x 9 см, а масса выросла до 1,3 кг. Полезная грузоподъемность достигла 1 кг (для этого на корпусе установлена планка Пикатинни). Колеса также были модифицированы. В результате робот сохранил способность подниматься по лестницам, преодолевать стенку высотой 64 мм и уклоны 45 град., а максимальная скорость составила 4,8 км/ч. Управление осуществляется с малогабаритного пульта Роси-5 массой 540 г. Время непрерывной работы составляет от 3 до 6 часов. Несколько новых роботов IRIS прошли испытания у потенциальных заказчиков, после чего начался серийный выпуск.

Также компания Robo-Team предлагает роботизированную платформу аналогичную Rex под обозначением **Probot** (ProfessionalRobot) массой 120 кг. Это



Колесная роботизированная платформа Probot (Израиль)

4-колесное шасси с электроприводом грузоподъемностью 250 кг и максимальной скоростью 7,5 км/ч может легко следовать за солдатами по пересеченной местности, преодолевая препятствия и уступы высотой до 23 см. Перевозимый груз устанавливается сверху на платформе. Там же могут крепиться носилки для эвакуации раненых.

Робот оборудован четырьмя круглосуточными камерами (по одной на каждой стороне) и модулем круговой ИК подсветки. Передняя камера может отклоняться на $-45/+90$ град. и имеет кратность увеличения $\times 10$. Канал связи имеет радиус действия в прямой видимости до 1 км. Дополнительно платформа оборудована следящими и тепловизионными сенсорами для автоматической навигации в городе, внутри помещений и на открытой местности. Имеется режим следования за лидером.

Разработка Probot пока еще продолжается, несколько прототипов находятся у потенциальных заказчиков с целью испытаний перед началом производства. В дополнение компания Robo-team планирует создать для робота комплекты для обезвреживания взрывоопасных предметов с манипулятором большой грузоподъемности, разведывательный комплект, комплекты обнаружения радиационного, химического и биологического заражения.

2.4 Франция

Разработкой роботов-саперов во Франции активно занимается

компания ECA Robotics, поставляя их, в том числе и на экспорт. Так в классе легких машин в 2010 г. был создан

робототехнический комплекс **Cameleon EOD** массой 27 кг, предназначенный для обнаружения и обезвреживания взрывоопасных предметов. Робот выполнен на гусеничном шасси (с двумя дополнительными гусеницами-флипперами) с электрическим приводом. Габариты составляют 67 x 50 см, полезная нагрузка 25 кг, скорость движения до 10 км/ч, время работы без подзарядки — 2,5 часа. Манипулятор имеет 6 степеней свободы, в дополнение к нему имеется телекамера с подсветкой, газоанализаторы и датчики. Могут устанавливаться модули с манипуляторами другой конструкции. Дальность управления достигает 300 м, пульт управления малогабаритный, обслуживается одним оператором.



Гусеничный робот-сапер Cameleon EOD (Франция)



Гусеничный робот
Cameleon CBRN (Франция)

Другая модификация этого робота, получившая обозначение **Cameleon CBRN**, была создана ECA Robotics специально для работы в условиях радиоактивного, химического или биологического заражения, а

также обнаружения опасных зон, контроля и анализа сред. Робот имеет массу 25-27 кг, выполнен на том же гусеничном шасси Cameleon и имеет те же габариты длины ширины. Скорость движения составляет 6 км/ч, время непрерывной работы — 4 часа. В качестве полезной нагрузки устанавливается круглосуточная камера кругового обзора и целый комплекс РХБ разведки, включающий датчики обнаружения гамма и нейтронного излучения, радиометр, датчики обнаружения газов и взрывчатых веществ. Он также способен производить дегазацию и деактивацию. Дальность управления составляет 400 м, помимо телеуправления предусмотрен режим автоматического сбора данных с помощью датчиков с передачей результатов на пульт оператора. В настоящее время роботы Cameleon CBRN эксплуатируются службами чрезвычайных ситуаций Франции.

Для более сложных задач компанией ECA Robotics была разработана и более тяжелая платформа

TSR 202 массой 270 кг. Этот робот также предназначен для

работ в опасных для человека условиях, в том числе при работе с взрывоопасными предметами и при обследовании местности с радиационным или химическим заражением. Шасси гусеничное с электроприводом, габариты – 1,2 x 0,67 м, скорость движения — 3,6 км/ч, время работы от аккумуляторов — 4 часа. Дальность дистанционного управления по радиоканалу была увеличена до 500 м. В комплект оборудования входит мощный манипулятор со сменными захватами, цветная камера с 30-кратным увеличением, обзорные камеры с подсветкой, микрофон и динамик.

В классе сверхлегких роботов для армии компания ECA Robotics разработала довольно удачную многофункциональную роботизированную платформу **Cobra Mk2** массой всего 6,1 кг.



Многоцелевой гусеничный робот
TSR 202 (Франция)

Полезная нагрузка достигает 5 кг, в состав которой входят модули с датчиками РХБ разведки, обезвреживания взрывоопасных предметов, а также разведывательный модуль с видеокамерой кругового обзора. Шасси 4-колесное с электроприводом, габариты – 36 x 39 см.



Многоцелевой колесный
робот Cobra Mk2 (Франция)

В состав встроенного оборудования входит передняя ПЗС-камера с углами обзора ± 80 град., и фиксированная задняя цветная камера. Имеется видимая и ИК подсветка, микрофон и динамик. Зарядки аккумулятора

хватает на 2,5 часа непрерывной работы. Максимальная скорость составляет 5 км/ч, высота преодолеваемых препятствий 150 мм. Дальность работы радиоканала управления на открытой местности составляет 250 метров. Имеются два разных блока управления — с экранами 7 дюймов и 10 дюймов с различающейся конструкцией «джойстиков». Помимо этого компания ECA Robotics для управления своими роботами предлагает использовать планшеты и смартфоны на базе ОС Android, что значительно снижает нагрузку на оператора. Робот Cobra Mk2 оборудован системой спутниковой навигации GPS,

благодаря чему бортовая система может запоминать пройденный путь и вернуться в исходную точку автоматически.

Первым военным заказчиком роботов Cobra Mk2 стала Канада, заказавшая 20 таких машин в 2011 г. с возможностью дальнейшей поставки еще 80 штук. При этом заказчик потребовал установки оптико-волоконной системы дистанционного управления, позволяющей работать с роботом на дистанциях до 1000 метров.



Колесный робототехнический комплекс R-Trooper (Франция)



Колесный малогабаритный робот μ -Trooper (Франция)

Робототехнический комплекс **R-Trooper** массой 800 кг разработан компанией ThalesLand&JointSystemsDivision в 2010 году по заказу Минобороны Франции. Он выполнен на базе

полноприводного 6-колесного шасси и предназначен для решения широкого круга задач: наблюдения и разведки; контроля охраняемого периметра и патрулирования; доставки грузов; проверки опасных участков, обезвреживания мин и самодельных взрывных устройств. Интересной особенностью является то, что робот может быть носителем двух малогабаритных разведывательных роботов μ -Trooper разработки той же компании, которые значительно расширяют его возможности по дистанционной разведке и наблюдению.

Габариты – 2,8 x 1,6 x 1,35 м, полезная нагрузка – 250 кг, скорость движения – до 50 км/ч, преодолеваемый подъем – 30 град., спуск – до 45 град., продолжительность непрерывной работы — до 8 часов. Силовая установка — электрическая. В состав полезной нагрузки может входить различное разведывательное оборудование, либо датчики РХБ разведки. Помимо режима дистанционного управления предусмотрен также автономный режим патрулирования по заданному маршруту. Для этого в бортовую систему робота включены обзорные дневные и ночные камеры, лазерные 2D и 3D сканеры, система спутниковой навигации GPS.

Малогабаритный робот **μ -Trooper (Micro-Trooper)** разработки той же компании ThalesLand&JointSystemsDivision имеет массу 10 кг и выполнен на 6-колесном шасси. Он разработан для решения задач наблюдения и разведки,

обнаружения химических, биологических, радиоактивных веществ, осуществления целеуказания, защиты периметра; ликвидации взрывоопасных предметов. Предусмотрено совместное использование с робототехническим комплексом R-Trooper, который выступает в качестве носителя двух машин μ -Trooper.

Габариты робота – 52 x 41 x 10,6 см, полезная нагрузка составляет 2 кг, скорость движения – до 4 км/ч, преодолеваемые подъемы/спуски — 30/45 град., продолжительность непрерывной работы — до 2 часов. За счет симметричной конструкции робота для движения вперед-назад не требуется его разворот в нужную сторону. В состав оборудования входит одна обзорная вседневная камера, четыре дальномера, приемник системы GPS. Могут также устанавливаться дополнительные модули с датчиками. Дальность системы управления по радиоканалу достигает 300 м, пульт размером с обычный «ноутбук» переносится оператором вместе с радиопередатчиком и аккумулятором в сумке.

С 2012 года французская компания NexterRobotics ведет разработку малогабаритных, в том числе «забрасываемых» роботизированных систем. Так, 4-



Линейка колесных малогабаритных роботов Nerva (Франция)

колесный робот массой 4,5 кг, получивший обозначение **Nerva LG**, стал первым из семейства легких роботов NexterRobotics. Если на корпусе робота не установлено дополнительное оборудование, то он полностью реверсивен, то есть готов к работе в любом положении сразу после забрасывания. Конструкция выдерживает падение с высоты 3 м или бросок на дальность 7 м. Диапазон скоростей – от 4 до 15 км/ч. Стандартные колеса имеют диаметр 150 мм, но могут устанавливаться специальные колеса с более широкими протекторами и поперечными захватами, либо комплект мягких гусениц. Для сил специальных операций предусмотрен комплект для плавания с поплавками и гребными колесами.

Nerva LG оснащен 4 камерами кругового обзора (передняя камера с высоким разрешением имеет систему подсветки) и

микрофоном. Дополнительное оборудование устанавливается на планки Пикатинни. Время непрерывной работы — 2 часа, дальность управления – до 1000 м на открытой местности или 300 м в городской застройке.

Серийный робот Nerva LG был показан на выставке Milipol 2013 одновременно с более легкой моделью **Nerva S** той же компании. Этот двухколесный робот массой 2 кг может использоваться как в помещениях, так и на открытой местности. Время непрерывной работы составляет 4 часа. Nerva S изначально создавался как «забрасываемый» робот, его масса и прочность позволяют забрасывать его через окно, он имеет такой же диапазон скоростей как Nerva LG и использует такой же канал связи. В состав оборудования входит камера высокого разрешения с видимой и ИК подсветкой и микрофон. Дальность управления от 200 до 500 м.

Еще одним роботом данной серии стал **Nerva HD**, выполненный на 6-колесном шасси. Его масса составляет 12 кг, габариты 65 x 45 см. Электродвигатель сообщает максимальную скорость до 15 км/ч, одной зарядки аккумуляторов хватает на 2 часа непрерывной работы. В состав оборудования входят камеры кругового обзора, передняя HD-камера, различные сменные модули. Дальность управления – до 1000 м. По сравнению с меньшими роботами, модель Nerva HD имеет более полный навигационный комплект, включающий систему GPS. В

результате робот получил возможность в полуавтоматическом режиме двигаться по заданным точкам маршрута, автономно патрулировать местность или автоматически возвращаться в исходную точку при потере связи.

Наземными робототехническими комплексами также занимается французская компания Tecdron. Так, в 2014 г. ей был создан легкий робот оригинальной конструкции **Sauman** массой 26 кг. Каждую из четырех гусениц-флипперов его шасси приводит в действие свой электродвигатель. В



Малогабаритный
робототехнический комплекс
Sauman (Франция)

сложенном виде две задние гусеницы поворачиваются и фиксируются вдоль корпуса, а две передние – вдоль уже сложенных. Необычное конструктивное решение позволяет роботу преодолевать подъемы до 55 град. и двигаться по боковым уклонам до 50 град. Максимальная скорость движения составляет 6-8 км/ч, масса полезной нагрузки — до 20 кг, время непрерывной работы 3 часа.

В комплект оборудования входит широкоугольная камера с подсветкой и микрофон. Для улучшения обзорности может

устанавливается вторая камера на шарнирной штанге (складывается в корпус, может подниматься на высоту до 35 см). Дальность действия системы дистанционного управления в прямой видимости — 1 км или 300 м в городской застройке. Оператор использует для управления специальный малогабаритный пульт или компьютер типа «ноутбук». В качестве дополнительного оборудования для робота компания Tecsdron предлагает видеокамеру на панорамной головке с увеличением х36, термографическую видеокамеру, лазерный дальномер, РХБ датчики.

Колесным аналогом Sauman от той же компании стал робот **Quator** массой 29 кг, выполненный на 4-колесном шасси. Он предназначен для перевозки снаряжения подразделения, сопровождая его в автоматическом режиме по любому типу местности. В



Колесная роботизированная платформа Quator (Франция)

настоящее время роботизированная платформа Quator принята на вооружение французской армии и производится серийно.

Колеса диаметром 26 см и балансирная подвеска позволяют преодолевать подъемы в 45 град. и боковые уклоны

до 40 град., а также вертикальные препятствия высотой 20 см. Оборудование аналогично роботу Sauman, только сзади установлена дополнительная камера. Аналогична и система управления с дальностью до 1 км. Заряда аккумуляторов хватает на 4 часа работы. Quator может перевозить груз массой до 50 кг и тянуть прицеп с грузом массой 100 кг.

Компания Tecdron также разработала более тяжелого робота **Quator XL** массой 260 кг. Он способен не только перевозить груз массой до 500 кг, но и нести разведывательное оборудование. Колеса диаметром 39 см приводятся в действие индивидуальными электродвигателями по 1500 Вт каждый. Максимальная скорость 15 км/ч, преодолеваемые подъемы и склоны — до 40 град., боковые уклоны – до 35 град, вертикальные препятствия – до 30 см.



Гусеничная
роботизированная платформа
Scarab LX (Франция)



Малогобаритный колесный
робот Scorpio (Франция)

Для работы на труднопроходимой местности компания Tecdron предлагает роботизированную платформу **Scarab LX** массой 215 кг, выполненную на гусеничном шасси. Ее грузоподъемность составляет 200 кг, она способна преодолевать вертикальные препятствия высотой до 40 см. Планируется оснастить Scarab LX аппаратурой для решения разведывательных задач, а также для операций по разминированию и для ведения наблюдения и патрулирования в опасных

зонах.

В плане разработки сверхлегких «забрасываемых» робототехнических комплексов Tecdron предлагает 3-колесный робот **Scorpio** массой 5,9 кг, разработанный в 2013 году. Шасси

Scorpio выполнено из авиационного алюминия; он водонепроницаем до глубины 2 м и имеет антикоррозийное покрытие. Робот может быть брошен на 10 м без риска повреждения. Два электродвигателя приводят в действие боковые колеса, а заднее колесо выполняет роль стабилизатора. Преодолеваемые уклоны – до 35 град., боковые уклоны – до 30 град., колеса диаметром 180 мм обеспечивают хорошую проходимость на сложных поверхностях (грязь, щебень или песок). Зарядки аккумулятора хватает на 4 ч непрерывной работы. В состав оборудования входит передняя широкоугольная всеуточная камера с ИК подсветкой и микрофон. Радиус действия системы дистанционного управления составляет 300 м, а в условиях городской застройки — 100 м.

Сообщалось, что робот Scorpio проходит испытания во французской полиции. Испытывали его также специальные подразделения армии Франции, и единственным недостатком признали слишком большой вес.

Другая французская компания — M-TecksRobotics — также разработала несколько наземных роботов сверхлегкого класса. Например, малогабаритный



Малогабаритный колесный робот Arthron POD 125A (Франция)

робот **Arthron POD 125A** на 4-колесном шасси может выдерживать падение с высоты до 2,5 метров. Его симметричная конструкция позволяет приступить к работе сразу после приземления, причем спереди и сзади установлены по две одинаковые цветные камеры и одной ночной камере с подсветкой. Имеется навигационная система GPS. Емкости аккумулятора хватает на 1,5 ч работы, максимальная скорость составляет 15 км/ч, дальность управления — до 300 м на открытой местности и до 250 м в городских условиях, возможно управление по 30-м кабелю.

Оригинальная архитектура связи робота предусматривает его использование в массовых операциях, когда сразу несколько машин разворачиваются на большей площади. При этом для создания сети можно использовать до 127 роботов, каждый из

которых работает как отдельный узел сети, что повышает дальность действия и функциональную гибкость, особенно в городских условиях.

2.5 Германия

В Германии в производстве робототехнических комплексов серьезных успехов достигла компания TelerobGmbH. В 2000 году ее специалистами были разработаны дистанционно



Гусеничный робототехнический комплекс Telemax EOD (Германия)

управляемые роботы-саперы Telemax и tEODor, предназначенные для обследования взрывоопасных предметов, с последующим их разминированием или эвакуацией. Применяются как правило в паре. Сообщалось, что компания TelerobGmbH реализовала по всему миру более 700 образцов своих роботов, состоящих на вооружении силовых структур 40 стран. В 2011 году компанию TelerobGmbH приобрела британская корпорация Cobham, и таким образом стала продвигать робототехническую продукцию от своего имени.

Робототехнический комплекс **Telemax EOD** массой 80 кг и грузоподъемностью до 20 кг выполнен на 4-гусеничном шасси (гусеницы-флипперы) с электроприводом. Габариты в транспортном положении – 80 x 40 x 75 см, Скорость до 4 км/ч, преодолеваемые уклоны до 45 град., вертикальная стенка – до 50 см. Для повышения мобильности имеется возможность установки четырех колес, при этом скорость возрастает до 10 км/ч. Манипулятор с вылетом по горизонтали 1,53 м с телескопическим выдвиганием до 1,73 м имеет грузоподъемность 5 кг. На каждом из его сегментов установлена камера с кратностью увеличения $\times 72$. Имеется возможность установки манипуляторов разного назначения с различными характеристиками, либо устройств для обезвреживания взрывоопасных предметов. Время работы на одной зарядке составляет 2-4 часа.

Дистанционное управление роботом осуществляется из микроавтобуса, где расположены места для двух операторов с панелями управления. В этом же микроавтобусе перевозят и самого робота.





Гусеничный робот
OSCAR (Германия)

На базе Telemax был так же разработан специализированный робот **OSCAR** (Observation, Surveillance, Clarification And Reconnaissance). Основной задачей этой машины является разведка и наблюдение в опасных зонах с радиационным, химическим или биологическим загрязнением, а также оценка степени опасности этого загрязнения. Робот имеет то же шасси, что и Telemax, но вместо манипулятора оборудован платформой кругового вращения с установленными на ней комплексом датчиков – инфракрасной камерой, дневной камерой с видимой подсветкой, тепловизором, лазерным дальномером, датчиками РХБ загрязнения. В задней части могут устанавливаться контейнеры для перевозки опасных грузов.

Еще одним боевым роботом германской разработки является модель **SIM-RACAR-Lambda** массой 75 кг. Машина создана



Гусеничный боевой робот SIM-RACAR-Lambda (Германия)

компанией SIM Security&ElectronicSystemGmbH в инициативном порядке. Робот предназначен для разведки и огневой поддержки в боевых условиях, а потому разработчики оснастили его полноценной противопулевой броней.

SIM-RACAR-Lambda выполнен на гусеничном шасси с электроприводом. На корпусе установлен боевой модуль кругового вращения на котором может устанавливаться вооружение, например 7,62-мм пулемет или 40-мм гранатомет (масса полезной нагрузки до 45 кг). В состав встроенного оборудования входит цветная видекамера высокого разрешения и микрофон. Габариты – 90 х 48 х 50 см, время непрерывной работы от одной зарядки аккумуляторов – 10 часов. Робот

управляется оператором с помощью переносного блока управления с расстояния до 1000 м.



Легкий разведывательный колесный робот Forbot (Германия)



Легкий разведывательный колесный робот Foxbot (Германия)

В 2010 году на выставке Robotik ELROB немецкая компания RoboterwerkGmbH представила прототип легкого разведывательного робототехнического комплекса **Forbot** массой 20 кг. Робот выполнен на 6-колесном шасси с электроприводом, имеет габариты 60 х 50 см, способен нести полезную нагрузку до 30 кг. В качестве основного оборудования была установлена камера высокого разрешения с круговым обзором, но по

словам разработчиков, робот также может быть оборудован другими специальными модулями. Одной из особенностей робота является то, что конструкторы помимо специального

пульта с дисплеем и клавиатурой, предусмотрели возможность управления им с помощью iPhone.

Другой разработкой этой же компании является легкий разведывательный робот **Foxbot**, создание которого велось с 2004 года по заданию Минобороны Германии. В 2008 году был в частности представлен образец Foxbot 3.0. Шасси робота выполнено колесным с балансирной подвеской для лучшего преодоления препятствий, в том числе лестничных ступеней. Габариты позволяют проникать ему в труднодоступные для человека места. Привод колес – электрический, управление роботом – дистанционное по радиоканалу с нескольких сот метров. Представленный робот был оснащен обзорной всесуточной камерой на поднимающейся платформе.

2.6 Италия

Производителем робототехники в Италии является всемирно известная компания по производству вооружений ОТО Melara, активно заимствующая опыт других государств в этой области. Так, для



Малогабаритный колесный робот TRP-3 NEC (Италия)

разработки малогабаритного разведывательного робота **TRP-**

3 NEC массой 3 кг компания ОТО Melara взяла за основу американский комплекс аналогичного назначения Armadillo V3.5. Шасси 4-колесное с электроприводом, габариты 30 x 26 см, скорость 1,8 км/ч, время непрерывной работы 3 часа. В качестве встроенного оборудования имеются 6 камер с подсветкой (одна дневная цветная и одна ночная камера впереди, дневные камеры сзади и по бокам, а шестая установлена наверху робота для проведения инспекций под подозрительными автомобилями) и микрофон. Планка Пикатинни установлена по требованию заказчика для установки лазерного дальномера, что в составе с системой GPS и цифровым компасом позволяет роботу получать координаты обнаруженной цели.

Робот TRP-3 NEC предназначен для обеспечения разведывательной информацией средних пехотных полков, оснащенных БМП Frecsia 8×8, в условиях связанных с риском для жизни или в труднодоступных для человека местах. Стационарный блок управления, устанавливаемый в боевой машине Frecsia 8×8 имеет 13-дюймовый дисплей и соединен с узлом связи с интегрированным каналом передачи данных. Блок с самого начала создавался для управления также другими наземными роботами, разработанными компанией как часть программы «оцифровывания итальянской армии» (Forza NEC). Радиус действия канала управления на открытой местности составляет 450 м, в городских условиях — 200 м.

Более тяжелая модель робота **TRP-2 FOB** (также известен под обозначением **TRP-2 Combat**) массой 100 кг создавалась компанией ОТО Melara для комплексной разведки и сбора информации разведывательных подразделений итальянской армии, а также огневой поддержки. При этом ситуация в Афганистане



Боевой гусеничный робот TRP-2 FOB
(Италия)

значительно ускорила разработку. Таким образом, TRP2 FOB был доработан из существующей платформы, которая уже удовлетворяла части требуемых параметров, например, имела

возможность разборки на переносные модули. Общая концепция соответствует американскому роботу MAARS.

Гусеничное шасси приводится в движение электродвигателями, скорость 15 км/ч, зарядки батарей хватает на 4 ч работы, габариты – 1,15 x 0,6 м. В дополнение к навигационной системе GPS в бортовую систему управления был добавлен автономный навигационный модуль для обхода препятствий, что значительно снизило нагрузку на оператора. Для повышения мобильности при перемещении по лестницам длина гусеницы робота по сравнению с прежним прототипом была увеличена, а также добавлен хвостовой рычаг. В задней части установлена мачта, на поворотном устройстве которой крепится камера с увеличением, используемая для захвата цели, а также неподвижная обзорная широкоугольная камера. Оптоэлектроника с узким полем зрения установлена модуле для оружия — слева дневная камера, справа — неохлаждаемая тепловизионная камера. В состав вооружения может входить 5,56-мм штурмовая винтовка Beretta ARX160, пулемет FN Minimi такого же калибра или однозарядный 40-мм гранатомет Beretta GLX160.

Модульный блок управления оснащен «джойстиком», экраном, блоком связи и компьютером. Оператор не только контролирует движение робота, но и отвечает за открытие огня из бортового оружия.

Робототехнический комплекс TRP2 FOB прошел испытания на армейском полигоне в Неттуно, было отстреляно более 3000 патронов и 100 гранат. Восемь таких роботов заказала итальянская армия, но ввиду задержки с обучением операторов, было поставлено только два. А в связи с тем, что итальянский контингент уже собирался покинуть Афганистан, вероятность его боевой работы ничтожно мала.



Гусеничный робот TRP-2 RISTA (Италия)

Еще один робот от OTO Melara – **TRP-2 RISTA** (Reconnaissance, Intelligence, Surveillance and Target Acquisition) массой 90 кг, также известный как **TRP-2 Cavalry**, имеет измененное гусеничное шасси. Он отличается гусеницей в форме перевернутой

трапеции, которая гарантирует хорошую мобильность при перемещении по лестницам. Так как TRP-2 RISTA предназначен для выполнения особых разведывательных задач, то он может быть разобран на носимые за спиной модули массой менее 20 кг каждый, что при необходимости позволяет отказаться от перевозки его на машине.

Скорость передвижения – до 15 км/ч. В состав бортовой аппаратуры входит оптико-электронная станция MiniColibri от Selex ES на поднимающейся на штанге платформе, включающая тепловизионную камеру с полем зрения 4,6°, дневную ПЗС-камеру с повышенной чувствительностью, лазерный дальномер с дальностью 4 км. Платформа может поворачиваться на ± 180 град. по горизонтали, а приборный комплекс имеет углы наклона ± 40 град.

Робот TRP-2 RISTA призван расширить разведывательные возможности на ближних дистанциях итальянских разведывательных подразделений на боевых машинах FrecciaExplorer 8×8, в то время как дальняя разведка поручена БПЛА Horus.

Также компания ОТО Melara также разрабатывает робототехнический комплекс **TRP-2 HD** (HeavyDuty) массой около 300 кг и полезной грузоподъемностью 100 кг. Им планируется заменить существующие системы



Гусеничный робот-сапер TRP-1В (Италия)

обезвреживания взрывоопасных предметов, используемые итальянскими вооруженными силами. Вооруженный вариант TRP-2 HD может оснащаться 12,7-мм или 7,62-мм пулеметом или другим оружием.

Для работы с взрывоопасными предметами компанией ОТО Melara производится робот-сапер на гусеничном шасси **TRP-1B** массой 300 кг. Машина имеет габариты 1,25 x 0,6 м, электропривод, скорость передвижения до 10 км/ч, время непрерывной работы 1,5 часа. В состав оборудования входит комплект дневных и ночных камер, а также до 100 кг модулей различного назначения. В базовом варианте робот оснащен манипулятором с несколькими степенями свободы с захватом и видеокамерой. Дополнительно могут устанавливаться различные камеры и датчики. Управление осуществляется с дальности в несколько сот метров по радиоканалу или кабелю.

2.7 Китай

Китай как всегда внимательно следит за всеми передовыми мировыми разработками, это же касается и робототехники.

Стремясь не отставать от западных стран, китайские



Гусеничный боевой робот SharpClaw 1 (Китай)

инженеры разработали за последние годы несколько типов робототехнических комплексов различного назначения. Так, на прошедшей в Чжухае выставке вооружений в 2014 году был продемонстрирован робот огневой поддержки пехотных подразделений **SharpClaw 1** массой 120 кг, созданный компанией NORINCO. По своей конструкции он близок к американской машине MAARS – имеет сходные габариты, гусеничный движитель с электроприводом, боевой модуль кругового вращения с вооружением. SharpClaw 1 может выполнять различные боевые задачи, связанные с разведкой, наблюдением, уничтожением живой силы или незащищенной техники противника.

Боевой модуль на корпусе робота оснащен 7,62-мм пулеметом, системой наблюдения кругового обзора и прицеливания, приводами горизонтального и вертикального наведение оружия. По-видимому, кроме пулемета возможна установка и другого вооружения.

Также

компания

NORINCO

представила на

выставке в Чжухае

легкий гусеничный

боевой робот под

условным

названием **UGV-**

RB (Unmanned

Ground Vehicle,

Battle Robot). Он предназначен для решения разведывательных и огневых задач в городских условиях и на открытой местности в интересах армейских или специальных полицейских подразделений. Робот имеет довольно распространенную в мире конструкцию с гусеничным шасси и двумя гусеницами-флипперами. Сверху установлено вооружение — самозарядный дробовик QBS 09 (Туре 09) калибра 18,5 мм с прицельной камерой. Сообщалось, что помимо дробовика на робота можно



Гусеничный боевой робот UGV-RB
(Китай)

установить пистолет-пулемет. В состав оборудования входит камера высокого разрешения с подсветкой, датчики движения. Модульная конструкция позволяет легко переоборудовать UGV-RV под любую конкретную задачу путем установки, например, манипулятора для обезвреживания взрывных устройств, или снабдить его дополнительными датчиками РХБ разведки, дополнительными средствами наблюдения. Управление осуществляется с портативного пульта с дисплеем, а также передатчика и аккумулятора, переносимых оператором в заплечном рюкзаке.

В

дополнение к этому
на вооружении
подразделений

Народно-
освободительной
армии Китая, а
также

спецподразделений
полиции состоят
другие модели

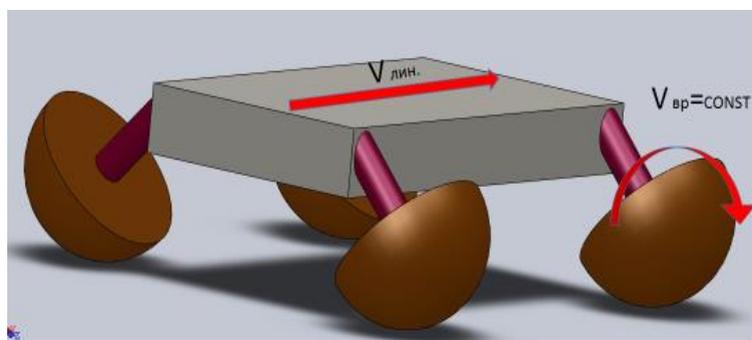
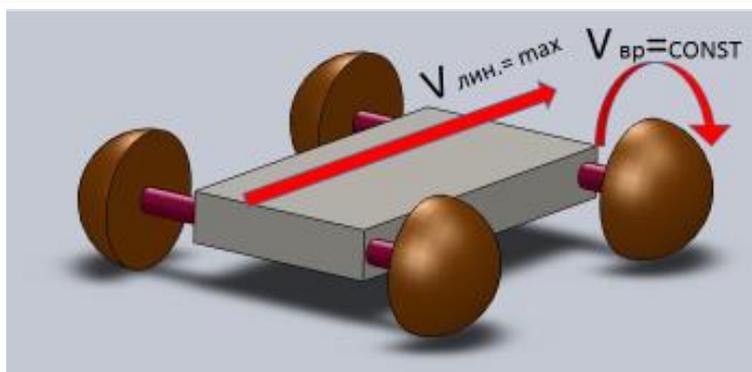


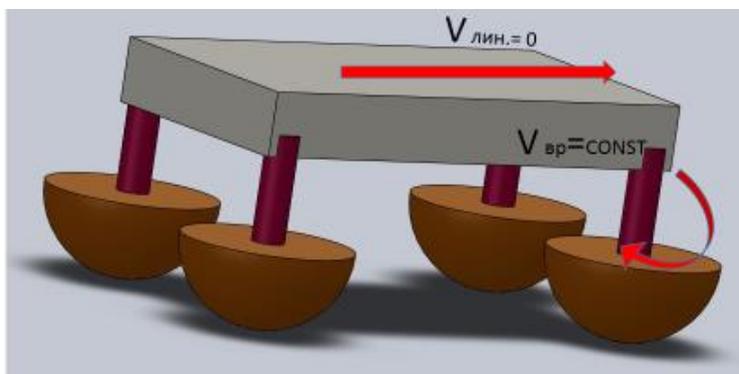
Китайский гусеничный многоцелевой
робот

робототехнических комплексов, предназначенных в основном для обезвреживания взрывоопасных предметов, либо для работ в условиях РХБ заражения. По своей конструкции эти роботы

близки к серии ANDROS компании Remotec, имеют аналогичное гусеничное шасси с гусеницами-флипперами и электроприводом, манипулятор с несколькими степенями свободы, набор видеокамер и датчиков, а также систему дистанционного управления. Сообщалось, что разработка этих роботов велась Научно-исследовательским институтом инженерных войск НОАК по заказу Главного департамента вооружений. Были опубликованы некоторые характеристики: робот способен преодолевать лестничные ступени, стенку высотой 30 см, брод глубиной 25 см, имеет скорость 3,6 км/ч, манипулятор имеет грузоподъемность 5 кг и может оснащаться несколькими типами захватов.

3. Самоходное транспортное средство на полусферических колёсах.





В работе рассматривается полусферический движитель для транспортного робототехнического комплекса. Изменения линейной скорости транспортного средства обеспечивается углом наклона оси вращения полусферы к поверхности качения, а поворачиваемость за счёт разного угла наклона осей по бортам.

Диапазон изменения угла наклона оси вращения полусферического колеса составляет 180° , что для транспортного робототехнического комплекса позволяет сохранить подвижность, в случае «переворота».

**Экспериментальное исследование работы дозвукового
интерцептора**

Макаревич Артем Дмитриевич

г. Подольск, МОУ «Лицей №1, 11 класс

Научный руководитель:

Голубев Алексей Геннадьевич,

ст. преподаватель кафедры СМ-3,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

Современные самолеты имеют разнообразные устройства для управления аэродинамическими характеристиками несущего крыла. Набор таких устройств называется механизацией крыла и состоит из следующих основных элементов:

- закрылки и щитки (рисунок 1);
- элероны и элевоны (рисунок 2);
- предкрылки (рисунок 3);
- интерцепторы (рисунок 4).

Целью моей работы является исследование такого органа управления летательным аппаратом, как дозвуковой интерцептор.

Интерцепторы в авиации и ракетной технике

Интерцептор — аэродинамический орган управления летательным аппаратом, выполненный в виде пластины, в рабочем положении выступающей над его поверхностью под углом к

набегающему потоку [1]. Обычно интерцептор устанавливается на верхней поверхности крыла и в рабочем положении уменьшает его подъемную силу; используется при отклонении на правой или левой половине крыла в качестве органа поперечного управления, а при одновременном отклонении на правой и левой половинах как гаситель подъемной силы. По конструктивному выполнению различают два основных типа интерцепторов: поворотный (рисунок 4, а) — часть подкреплённой обшивки несущей поверхности, поворачиваемая по отношению к потоку на углы до 90° , и выдвижной — в виде пластины, выдвигаемой из поверхности летательного аппарата в поток под углом, близким к 90° (рисунок 4, б). Разновидностью поворотного интерцептора является интерцептор с протоком и дефлектором.

В полетном (крейсерском) положении интерцептор обычно не выступает за обводы поверхности летательного аппарата. Известны неуправляемые (неподвижные) интерцепторы, предназначенные для создания постоянных (при данном режиме полёта) сил, а также струйные интерцепторы, в которых роль пластины выполняет струя газа, выдуваемая из поверхности летательного аппарата. Интерцептор может быть установлен и на фюзеляже или другой омываемой потоком части летательного аппарата, хотя его эффективность в этом случае обычно ниже, чем при установке на крыле.

Преимущество интерцептора перед другими органами управления (например, элеронами) состоит в том, что они могут

устанавливаться в той части крыла, в которой задняя кромка использована для размещения механизации крыла (рисунки 5 и 6).

Управляющая сила при использовании интерцептора создаётся главным образом за счёт повышения давления перед ним (рисунок 7). Разрежение за интерцептором обычно уменьшает эту силу. Для создания управляющих усилий различных направлений (к нижней или к верхней части крыла) интерцептор может выдвигаться как вверх (рисунок 7, а), так и вниз, относительно несущей поверхности (рисунок 7, б).

Интерцептор обычно состоит из лонжерона, нервюр, стрингеров и наружный обшивки, иногда может быть выполнен монолитным. Выдвижной интерцептор требует сравнительно небольших усилий для выдвижения, но для его размещения в убранном положении необходимы большие строительные высоты крыла. К недостаткам интерцептора следует отнести сравнительно большое лобовое сопротивление, малую эффективность при малых углах отклонения и быстрое падение эффективности при больших углах атаки. При отклонении предкрылков интерцептор сохраняет эффективность до больших углов атаки.

До 40-х гг. интерцепторы применялись на экспериментальных самолётах в СССР (Р-Б, ОПБ-41 и др.) и за рубежом. Первый серийный самолёт с интерцепторным управлением (Нортроп Р-61 «Блэкуидоу», США) был создан во время Второй мировой войны. На самолётах Ту-134А, Ил-62, Ту-154, Ил-86, Воинг-737 (рисунок 6, б) и др.

интерцепторы используются для увеличения поперечной управляемости в дополнение к элеронам и как воздушные тормоза при посадке. На истребителе МиГ-23 поперечное управление осуществляется интерцепторами и элеронами.

Интерцепторы нашли применение при управлении ракетным оружием сразу после его появления. Так в немецком ПТУР X-7, созданном в 1944 году использовалось сразу два интерцептора (рисунок 8). Первый (неподвижный) располагался на левом крыле и обеспечивал вращение аппарата в полете с постоянной скоростью около 2-х оборотов в минуту. Второй (выдвигающийся) располагался симметрично на выносном оперении и позволял оператору управлять ракетой и по тангажу и по рысканью. Это обеспечивалось синхронизацией управляющих воздействий с вращением аппарата. Когда несимметрично-выдвинутое оперение располагалось в плоскости тангажа, интерцептор управлял углом атаки. На фазе поворота в плоскость рысканья управление велось по второму каналу. После войны данная идея была использована во многих зарубежных и отечественных ПТУРах (например, ЗМБ «Шмель», рисунок 9). На «Шмеле» использовались «колеблющиеся» интерцепторы, которые располагались на всех четырех крыльях аппарата и могли выдвигаться на обе стороны крыла. «Задерживаясь» дольше на одной или другой стороне несущей поверхности, они создавала соответствующее управляющее усилие.

В настоящее время в мире проводятся исследования по использованию интерцепторов для улучшения характеристик вертолетных лопастей: увеличения подъемной силы, снижения шума и вибрации (рисунок 10).

Интерцепторы в других областях техники

Интерцепторы используются не только в самолётах и ракетах, но также на катерах и яхтах, вертолётах [3], автомобилях и даже в конструкции дымовых труб. Также есть и ракетные двигатели с вдувом газа, впрыском жидкости в закритическую часть сопла, в сверхзвуковую часть сопла, или с щитками (интерцепторами), выдвигающимися в струю истекающих газов.

За внедрение интерцепторов на быстроходном патрульном катере «Мираж» (проект 14310, рисунок 11, а) разработчики (ЦМКБ «Алмаз») были удостоены премии Правительства РФ. Выдвижение интерцепторов на днище судна в районах транца (на корме, рисунок 12, б) и миделя (рисунок 12, в) приводит к возникновению перед ними зон повышенного давления, которые уменьшают осадку и, соответственно, смоченную поверхность судна. Возникающая за миделевыми интерцепторами воздушная каверна, заполняемая атмосферным воздухом, также ведет к уменьшению смоченной поверхности днища (рисунок 11, г). В итоге же обеспечивается снижение общего сопротивления судна. Кроме того, секционируя интерцепторы в диаметральной плоскости судна, их побортным выдвигением и убиранием (в противофазе), можно управлять креном и дифферентом

судна во времени, что позволяет использовать интерцепторы в том числе и как успокоители качки.

Если говорить о движителях для судов [6], то интерцептор способствует увеличению способности гребного винта (рисунок 12) к «захвату» воды, особенно на лодках с высоко установленным мотором и большими углами ходового дифферента. Как показали исследования, применение интерцепторов делает кавитационную каверну на поверхности лопастей более тонкой, что оказывает положительное влияние на ресурс гребного винта.

Перейдём к дымовым трубам. Их заводы-изготовители начали широко применять интерцепторы в своем производстве (рисунок 13). Любой уважающий себя производитель имеет в ассортиментном ряде дымовые трубы с интерцепторами [7]. Установка интерцепторов не предотвращает самого явления ветрового резонанса, однако позволяет значительно снизить его отрицательное воздействие, **уменьшить деформации конструкции.**

В настоящее время интерцепторы очень востребованы, так как активно используются в различных областях. Именно поэтому их исследование продолжается и сегодня [2]. Например, в 2015 году была опубликована статья И.Б. Ковтонюка «Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик прямоугольного крыла с интерцептором на нижней поверхности» [5].

Основные теоретические соотношения

Как известно, силы и моменты, действующие на летательный аппарат (ЛА) или его модель, могут быть получены интегрирование распределенных сил от давления и трения по поверхности ЛА. Трением в данной работе будем пренебрегать, допуская максимальную погрешность по продольной силе 5-7%.

В соответствии со схемой на рисунке 14 [**] на элемент поверхности профиля шириной dz и длиной dl по нормали действует сила от избыточного давления $(p - p_\infty)dldz$. Проекция этой силы на ось OX связанной системы координат равна $dX = (p - p_\infty)dldz \sin \beta$. С учетом того, что $dl \sin \beta = dy$ и $(p - p_\infty) = \bar{p}q_\infty$ формулу для элементарной продольной силы можно переписать в виде $dX = \bar{p}q_\infty dydz$. Интегрируя по контуру профиля получим продольную силу, обусловленную нормальным давлением

$$X_p = \oint \bar{p}q_\infty dydz .$$

При расчете аэродинамических коэффициентов для крылатых ЛА за характерную площадь обычно принимают площадь крыла в плане, т.е. площадь проекции крыла на плоскость XOZ связанной системы координат. Для элемента условно бесконечного крыла (профиля) шириной dz площадь проекции составит $S_{\text{хар}} = b dz$. Тогда коэффициент продольной силы, обусловленный нормальным давлением, будет определяться по формуле

$$c_{xp} = \frac{X_p}{q_\infty S_{\text{хар}}} = \int \bar{p} d\bar{y},$$

где $\bar{y} = y/b$ – относительная координата по оси OY .

Аналогичные рассуждения позволяют получить формулы для коэффициентов нормальной силы и момента тангажа

$$c_y = \frac{Y_p}{q_\infty S_{\text{хар}}} = \int \bar{p} d\bar{x},$$

$$m_z = \frac{M_p}{q_\infty S_{\text{хар}} b} = 0,5 \int \bar{p} d\bar{y}^2 - 0,5 \int \bar{p} d\bar{x}^2.$$

Эти интегралы вычисляются по замкнутому контуру профиля. Переходя к интегралам отдельно верхней (обозначим ее L_B) и нижней (L_H) сторонам профиля, получим следующие выражения для коэффициентов нормальной силы, продольной силы от давления и момента тангажа:

$$c_y = \int_{L_H} \bar{p}_H d\bar{x} - \int_{L_B} \bar{p}_B d\bar{x}, \quad c_{xp} = - \int_{L_H} \bar{p}_H d\bar{y}_H + \int_{L_B} \bar{p}_B d\bar{y}_B,$$

$$m_z = - \int_{L_H} \bar{p}_H \bar{x} d\bar{x} + \int_{L_B} \bar{p}_B \bar{x} d\bar{x} - \int_{L_H} \bar{p}_H \bar{y}_H d\bar{y}_H + \int_{L_B} \bar{p}_B \bar{y}_B d\bar{y}_B,$$

где индексами «н» и «в» обозначены коэффициенты давления \bar{p} и относительная координата \bar{y} соответственно для нижнего и верхнего контуров.

При проведении вычислений по результатам экспериментов непрерывные интегралы заменяются формулами суммирования по конечному числу точек. Численное интегрирование ведется методом трапеций. Конечные формулы имеют вид

$$c_y = \sum_{i=1}^{N-1} 0,5(\bar{p}_{ni} + \bar{p}_{n(i+1)})(\bar{x}_{n(i+1)} - \bar{x}_{ni}) - \sum_{i=1}^{M-1} 0,5(\bar{p}_{bi} + \bar{p}_{b(i+1)})(\bar{x}_{b(i+1)} - \bar{x}_{bi}),$$
$$c_{xp} = \sum_{i=1}^{N-1} -0,5(\bar{p}_{ni} + \bar{p}_{n(i+1)})(\bar{y}_{n(i+1)} - \bar{y}_{ni}) + \sum_{i=1}^{M-1} 0,5(\bar{p}_{bi} + \bar{p}_{b(i+1)})(\bar{y}_{b(i+1)} - \bar{y}_{bi})$$
$$m_z = \sum_{i=1}^{N-1} -0,25(\bar{p}_{ni} + \bar{p}_{n(i+1)})(x_{n(i+1)}^2 - x_{ni}^2) + \sum_{i=1}^{M-1} 0,25(\bar{p}_{bi} + \bar{p}_{b(i+1)})(x_{b(i+1)}^2 - x_{bi}^2)$$

где N - число расчетных точек, начиная с носовой т.А и заканчивая кормовой т.В, на нижней стороне профиля, M - на верхней. Расчет реализован в табличном процессоре Excel 2007.

По аналогичным соотношениям вычисляются составляющие коэффициенты сил и моментов, обусловленные интерцептором. Затем суммированием определяются общие АДХ комбинации «профиль – интерцептор».

Экспериментальная часть

Влияние интерцептора на аэродинамические характеристики крыла было исследовано в ходе эксперимента в аэродинамической трубе МГТУ им. Н.Э. Баумана (рисунок 15). В работе использовалась модель прямоугольного крыла с удлинением $\lambda=l/b=3,9$ ($l = 780\text{мм}$, $b = 200\text{мм}$). При таком удлинении крыла его профиль, находящийся в

центральном сечении, не испытывает влияния боковых кромок и может рассматриваться как принадлежащий крылу бесконечного размаха. Контур профиля построен по координатам профиля ЦАГИ «В симм. 12%», имеет относительную толщину $\bar{c}=c/b=0,12$ и одинаков по всему размаху крыла. В центральном сечении модели выполнены дренажные отверстия диаметром порядка 0,5 мм воспринимающие давления, которые измеряются манометром, такие же отверстия выполнены и на интерцепторе. Воздействие воздушного потока приводит к возникновению на профиле определенного характера распределения давлений. Эти давления, воспринимаемые дренажными отверстиями, изменяют положение уровней жидкости в отсчетных коленах батарейного манометра (рисунок 15, в). Разность уровней манометрической жидкости в резервуаре и в отсчетном колене соответствует избыточному давлению $(p_i - p_\infty)$, равному разности давлений в соответствующем i -м дренажном отверстии и в рабочей части трубы. [4] При этом в открытой рабочей части мало скоростной дозвуковой аэродинамической трубы статическое давление равно атмосферному $p_\infty = p_{\text{атм}}$. Подсчитывается оно по формуле

$$p_i - p_\infty = k_T \Delta h_i \rho g \sin \beta$$

где k_T – тарировочный коэффициент манометра; Δh_i – изменение уровня жидкости в отсчете колена; ρg – удельный вес манометрической жидкости; β – угол наклона плоскости манометрических трубок. Обычно распределение давления по поверхности ЛА характеризуется с помощью коэффициента давления

\bar{p} , представляющего собой отношение избыточного давления ($p-p_\infty$) к скоростному напору q_∞ невозмущенного набегающего потока:

$$\bar{p} = (p - p_\infty) / q_\infty$$

Для расчета коэффициентов давления нужно измерить скоростной напор q_∞ потока в рабочей части трубы. Для этого в поток вводится трубка Пито – трубка полного напора, соединенная с одним из колен манометра. Тогда в соответствии с уравнением Бернулли с учетом показания $\Delta h'$ этого колена манометра:

$$q_\infty = \rho_\infty V_\infty^2 / 2 = p_o - p_\infty = k_T \Delta h' \rho g \sin \beta$$

По формуле (1) находим коэффициент давления в некоторой дренажной точке профиля или интерцептора:

$$\bar{p}_i = (p_i - p_\infty) / q_\infty = \Delta h_i / \Delta h' \quad (1)$$

Модель интерцептора была выполнена из двух металлических полос толщиной 1,2 мм и шириной 50 мм.

Схема установки модели интерцептора на модели прямоугольного крыла показана на рисунке 16. Устройство крепления интерцептора на крыле позволяло изменять следующие параметры:

- место установки условной поворотной оси интерцептора ($\bar{x}_и$ и $\bar{y}_и$), при этом интерцептор мог устанавливаться как на поверхность крыла без зазора, так и на некотором расстоянии от него;
- угол поворота интерцептора $\delta_и$.

Для измерения распределения статического давления по поверхности интерцептора и последующего определения его вклада в АДХ механизированного крыла (профиля) использовался метод

дренажных отверстий. Схема дренажа интерцептора приведена на рисунке 17. При этом на наветренной стороне интерцептора было выполнено 7, а на подветренной – 4 дренажных отверстия. Для прокладки и вывода дренажа на поверхность использовались трубки их отожженной (мягкой) нержавеющей стали внешним диаметром 1,2 мм и внутренним диаметром 0,8 мм. Таким образом, толщина стенок составляла всего 0,2 мм. Трубки такого малого внешнего диаметра позволили установить наветренную и подветренную стороны модели органа управления на минимальном расстоянии друг от друга (приблизительно, 1,5 мм), таким образом, суммарная толщина интерцептора составила приблизительно 4мм.

Некоторые технологические операции по выполнению дренажа на стальной пластине, выполняющей роль наветренной поверхности интерцептора, показаны на рисунке 18:

- а) вырезка полос нужного размера, сверление отверстий под крепеж и дренаж;
- б) вставка дренажных трубок и пропайка их с лицевой стороны;
- в) загибка и пропайка трубок с обратной стороны;
- г) окончательная пропайка трубок с лицевой стороны;
- д) удаление выступающих частей трубок (кусачки, напильник), прочистка отверстий;
- е) финишная шлифовка поверхности (шкурка) и продувка.

Исследование влияния интерцептора на аэродинамические характеристики профиля проводилось при четырёх различных углах

атаки: $\alpha=5^\circ$, $\alpha=0^\circ$, $\alpha=5^\circ$, $\alpha=10^\circ$ и пяти вариантах положения интерцептора: без интерцептора, под углами: $\delta_m=30^\circ$, $\delta_n=45^\circ$, $\delta_n=60^\circ$, $\delta_n=90^\circ$ по отношению к хорде.

Первичные результаты экспериментальных исследований пересчитывались в коэффициент давления и строились диаграммы его распределения по поверхности модели (профиля и интерцептора). Некоторые характерные картины распределения коэффициента давления представлены на рисунках 19 и 20.

По полученному распределению коэффициента давления рассчитывались интегральные АДХ профиля с интерцептором.

Результаты представлены на рисунках 21...23.

Выводы

1. Интерцепторы являются эффективными и широко применяемыми в настоящее время органами управления АДХ летательных аппаратов различных назначений. Они также широко применяются в других областях техники (кораблестроение, автомобилестроение, строительство зданий и сооружений) для влияния на процессы обтекания.

2. Исследование физических закономерностей, определяющих работу интерцепторов продолжается по настоящее время.

3. Создана экспериментальная модель для исследования влияния интерцептора на обтекание симметричного профиля, позволяющая получать как интегральные, так и распределенные АДХ.

Конструкция модели позволяет в широких пределах изменять его положение относительно поверхности модели крыла.

4. Получены распределенные и интегральные АДХ дозвукового профиля крыла с интерцептором. Проведено сравнение с имеющимися экспериментальными данными.

5. Созданная модель может быть в дальнейшем использована в учебном процессе кафедры СМЗ МГТУ им. Н.Э.Баумана для постановки новых лабораторных работ, курсового и дипломного проектирования.

Список использованных источников

1. Энциклопедия «Авиация». - М.: Большая Российская Энциклопедия. Свищёв Г. Г. 1998г.
 2. Исследование аэродинамики тандема тел с интерцептором А.Ю. Чулюнин, 2016г.
 3. Анализ расчетно-экспериментальных исследований по системам индивидуального управления лопастями винта вертолета Анимица В.А., Борисов Е.А., Крицкий Б.С., Миргазов Р.М.
 4. Симметричный профиль крыла в дозвуковом несжимаемом потоке (методические указания к лабораторным работам) Москва: МГТУ им Н.Э. Баумана, 2012г.
 5. И.Б. Ковтонюк Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик прямоугольного крыла с интерцептором на нижней поверхности, 2015г.
 6. Журнал «Катера и Яхты» №170.
 7. Что такое интерцепторы и зачем они нужны на дымовых трубах?
http://bis-ooo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=129:2012-08-27-00-00-00&catid=42:2011-09-02-12-36-22&Itemid=73
- *. Аэродинамика: учеб. пособие. Под ред. Калугина В.Т. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 687с.
- ** Симметричный профиль крыла в дозвуковом несжимаемом потоке. Методические указания к лабораторным работам. Голубев А.Г.

и др. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 38с.

Приложение

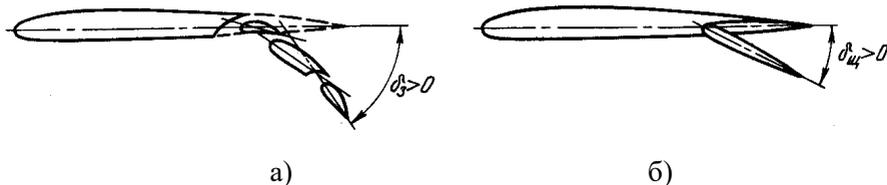


Рисунок 1 – Выдвижные закрылки (а) и щитки (б)

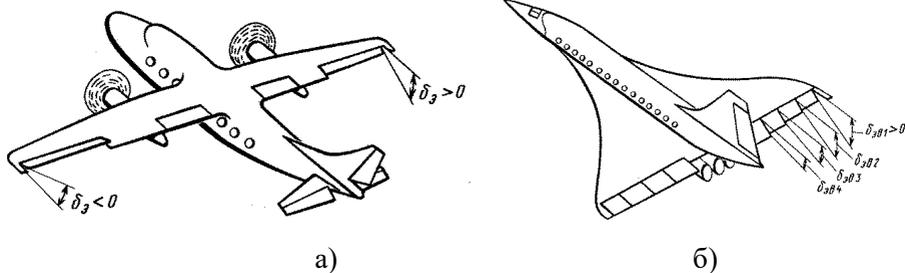


Рисунок 2 – Элероны (а) и элевоны (б)

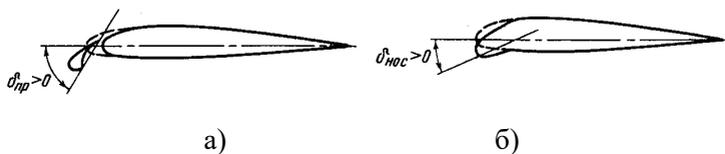


Рисунок 3 – Предкрылок (а) и поворотный носок (б)

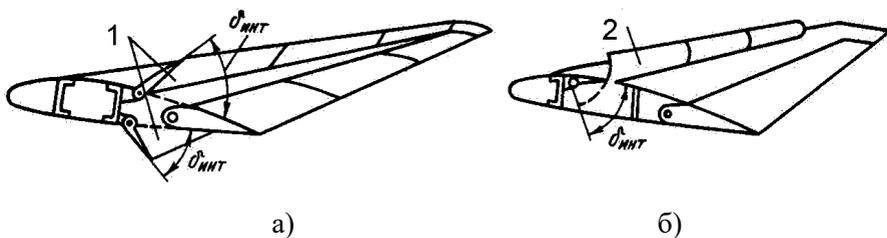


Рисунок 4 – Поворотный (а) и выдвижной (б) интерцепторы

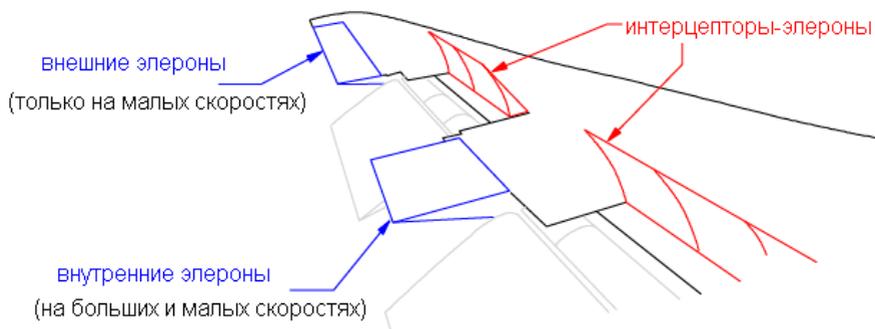


Рисунок 5 – Схема комплексной механизации крыла современного самолета



а)



б)

Рисунок 6 – Примеры использования интерцепторов на современных лайнерах

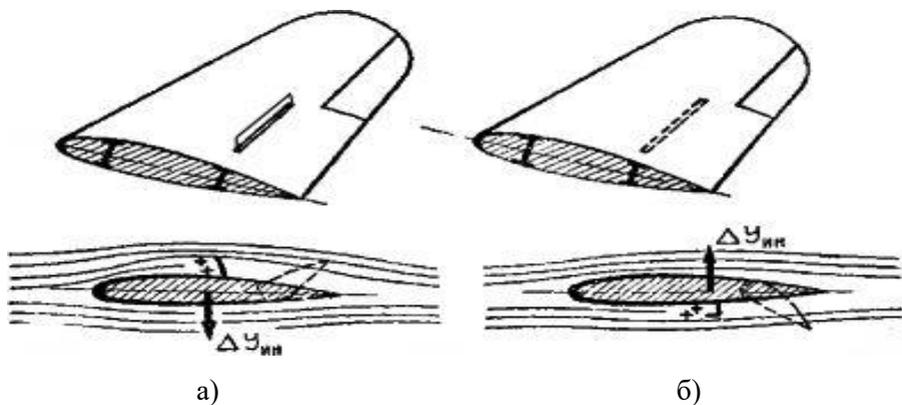


Рисунок 7 – Принцип работы колеблющихся интерцепторов

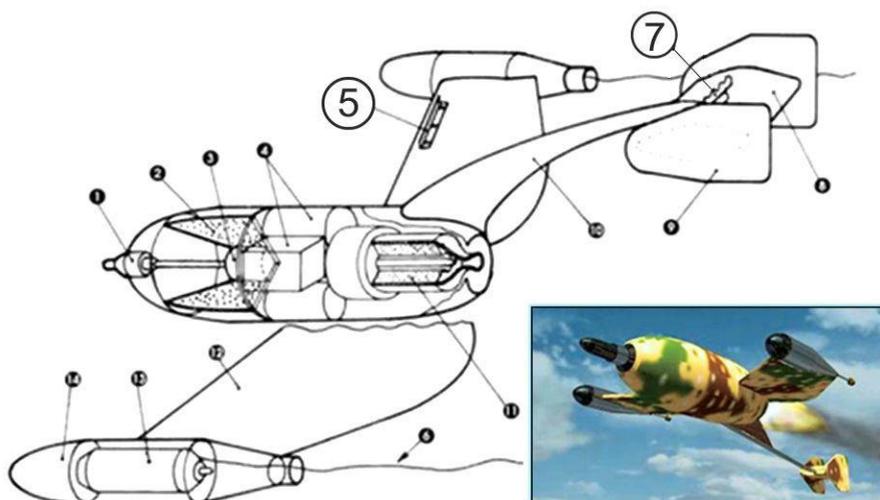


Рисунок 8 – ПТУР Ruhrstahl X-7 с интерцепторами на левом крыле (5) и хвостовом руле (7)

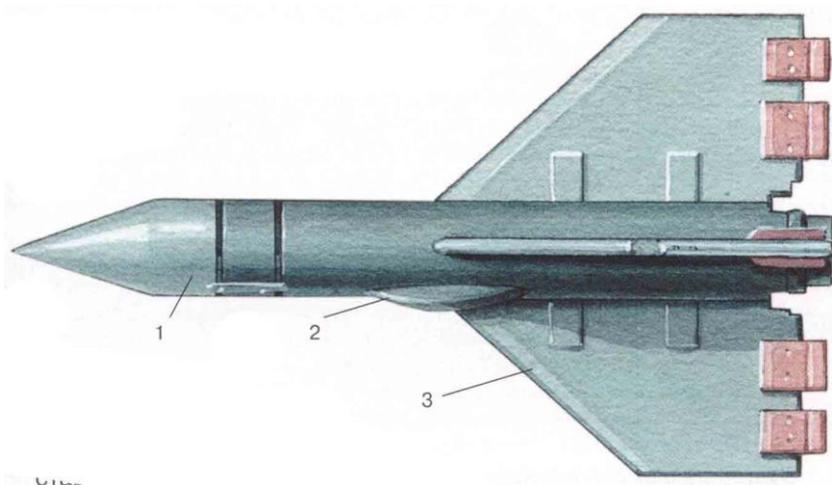


Рисунок 9 – Колеблющиеся пластины-интерцепторы на ПТУР «Шмель»

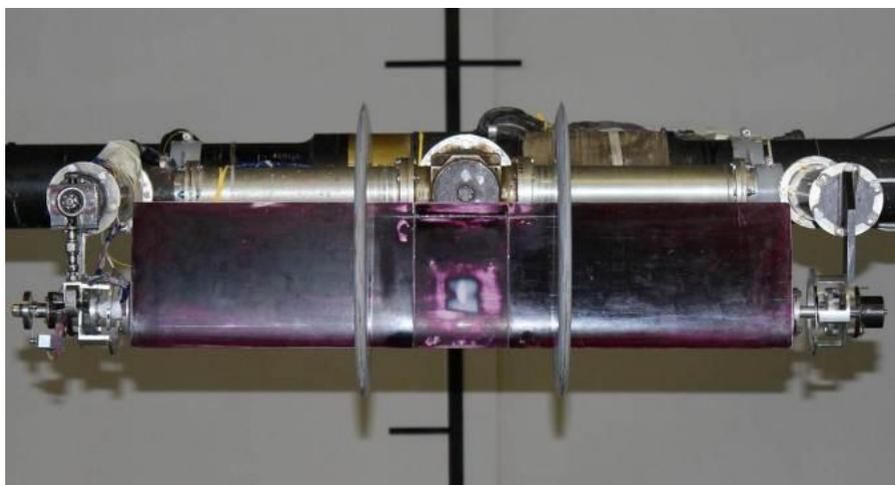
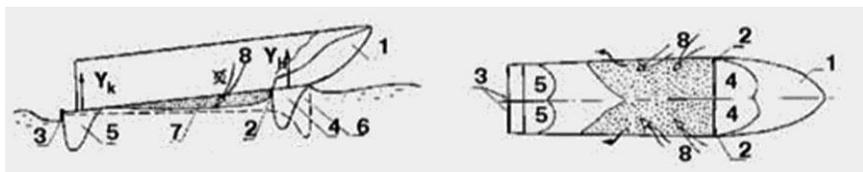


Рисунок 10 – Экспериментальное исследование вертолетной лопасти с интерцептором (ЦАГИ)



1 – корпус; 2 и 3 – носовой и кормовой интерцепторы; 4 и 5 – эпюры повышенного давления перед интерцепторами; 6 – эпюра давления от корпуса; 7 – кавитационная каверна за носовым интерцептором; 8 – подсос воздуха в каверну

Рисунок 11 – Установка управляемых интерцепторов под днищем скоростного катера



Рисунок 12 – Гребные винты с интерцепторами



Рисунок 13 – Интерцепторы на корпусе дымовой трубы

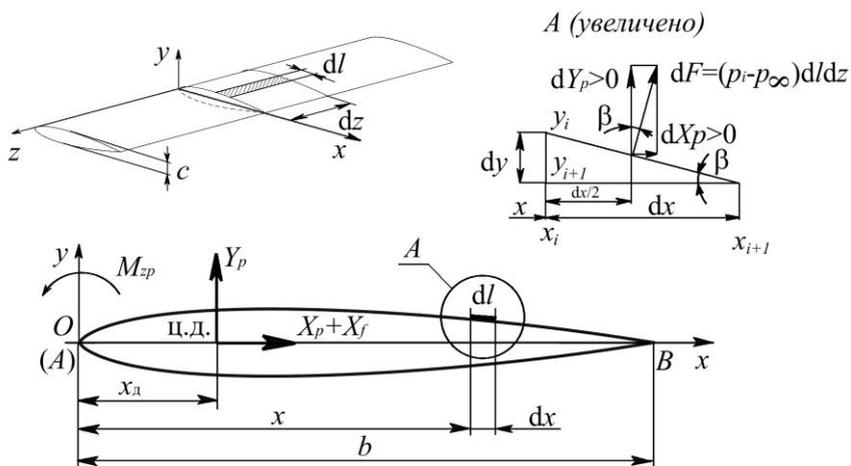
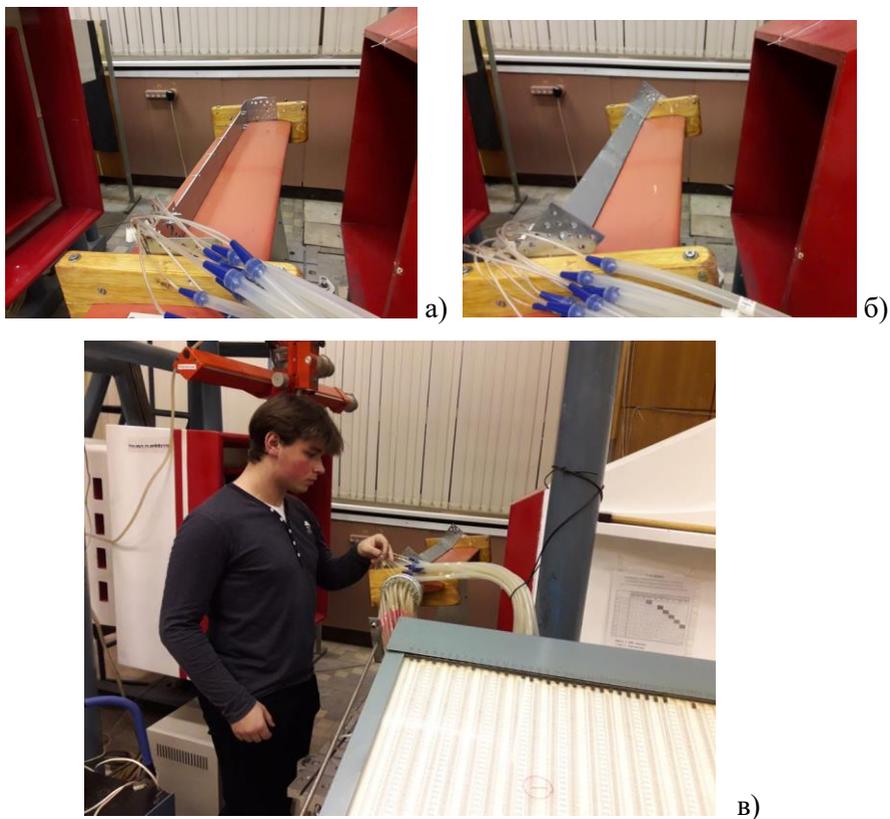
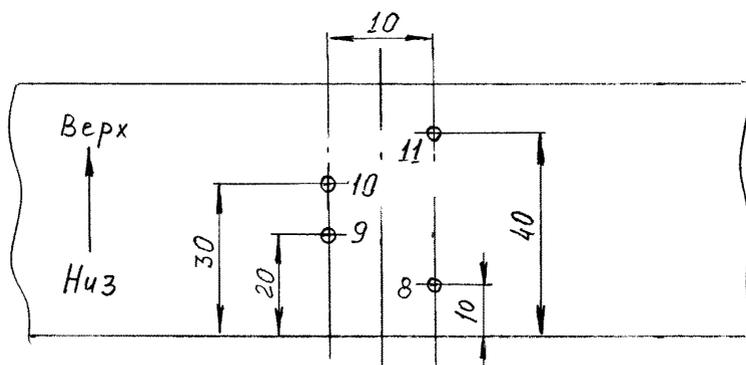


Рисунок 14 – Схема интегрирования для определения АДХ профиля по распределению давления по его поверхности



а) – угол установки интерцептора 90° ; б) – угол установки 45° ;
в) – проверка дренажных трубок, идущих к манометру от модели
интерцептора

Рисунок 15 – Экспериментальная установка и модель
интерцептора



б)

Рисунок 17 – Схема дренажа наветренной (а) и подветренной (б) сторон интерцептора



а)



б)



в)



г)

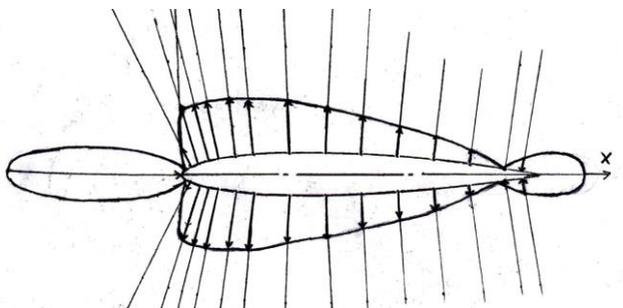


д)

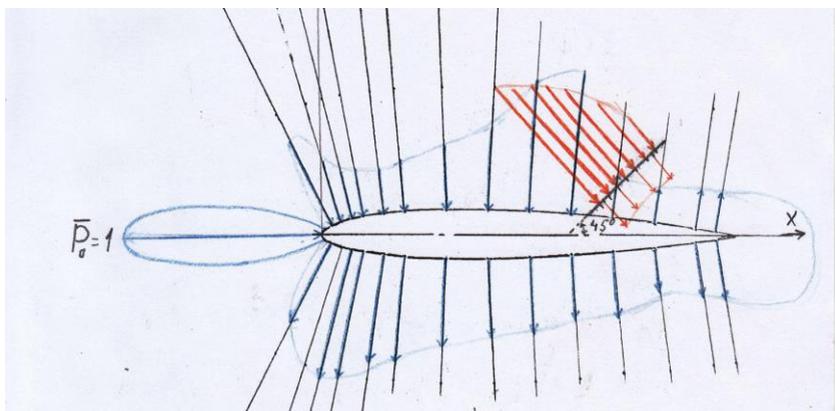


е)

Рисунок 18 – Некоторые технологические операции
изготовления дренажных отверстий



а)

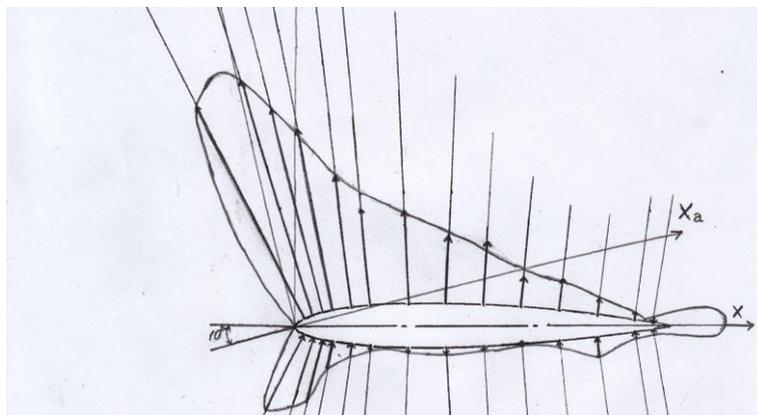


б)

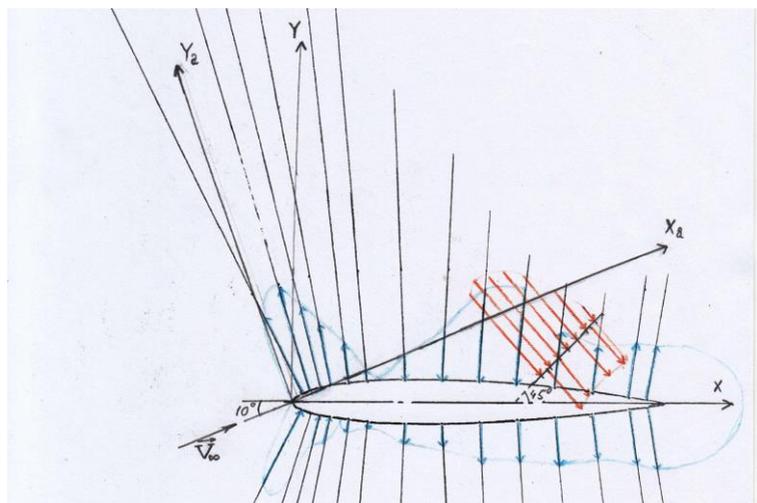
а – профиль без интерцептора (условный угол поворота $\delta_n=0^\circ$);

б) угол поворота интерцептора $\delta_n=45^\circ$.

Рисунок 19 – Эпюры распределения коэффициента давления при нулевом угле атаки



а)



б)

а – профиль без интерцептора (условный угол поворота $\delta_{и}=0^\circ$);

б) угол поворота интерцептора $\delta_{и}=45^\circ$.

Рисунок 20 - Эпюры распределения коэффициента давления при угле атаки $\alpha=10^\circ$

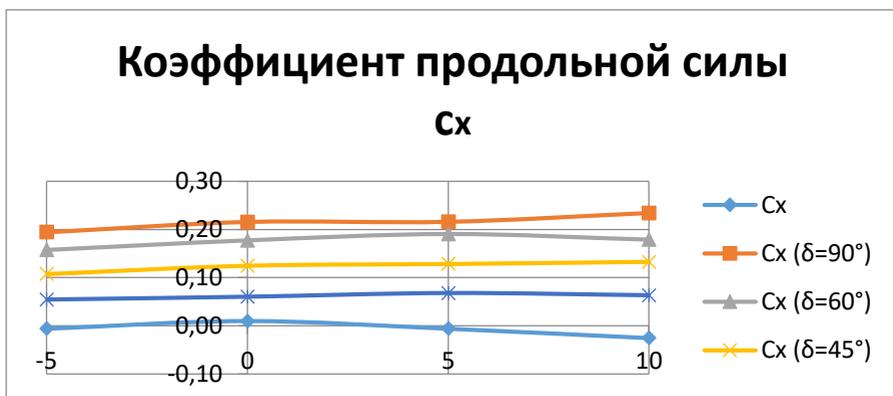


Рисунок 21 – Изменение коэффициента продольной силы от угла атаки профиля при различных углах отклонения интерцептора

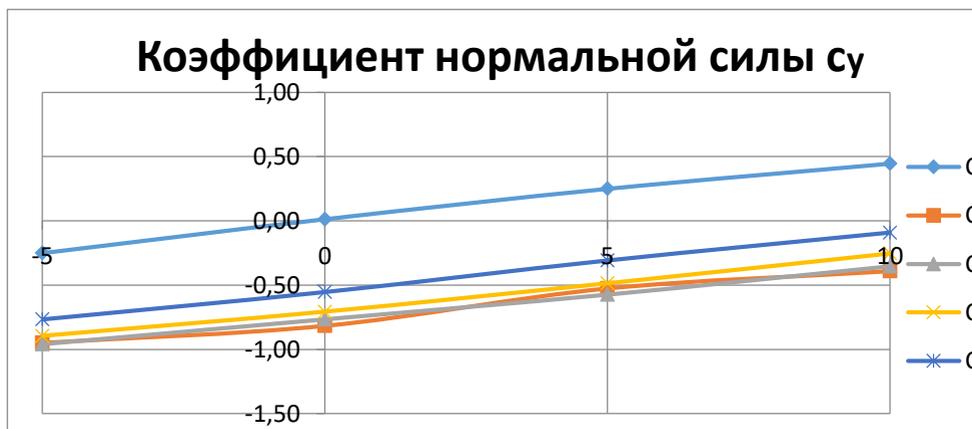
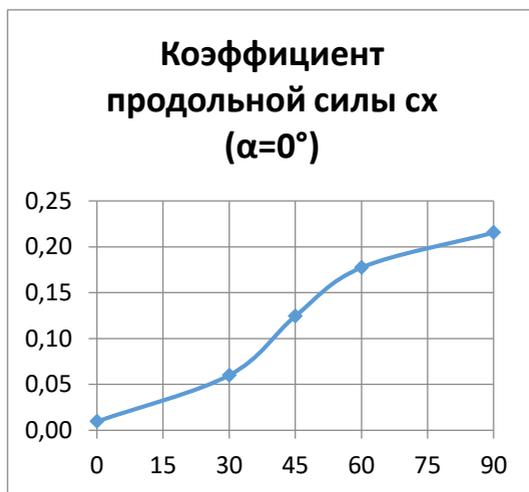
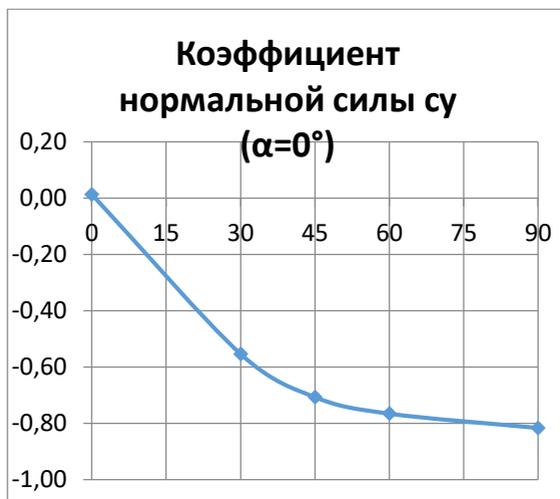


Рисунок 22 – Изменение коэффициента нормальной силы от угла атаки профиля при различных углах отклонения интерцептора



а)



б)

Рисунок 23 – Зависимости АДХ профиля от угла поворота интерцептора

Экспериментальное изучение метания пластин плоским индуктором для систем электромагнитной защиты

Тувев Константин Вячеславович

г. Москва, ГБОУ «Лицей №1550», 11 класс

Научный руководитель:

Федоров С.В.,

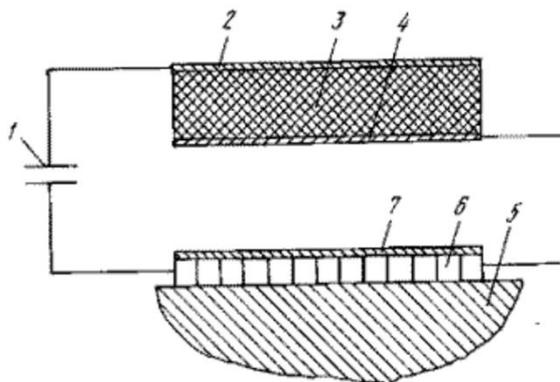
ст. преподаватель кафедры СМ-4,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Постановка задачи.

Для защиты различных объектов от средств поражения кинетического и кумулятивного действия может использоваться так называемая

электромагнитная защита. Как показано в работе (4), существует несколько подходов к созданию электромагнитной защиты. Непосредственная электризация, электромагнитный пуск метательных пластин и другие подходы. Они делятся по принципу активации на самоактивирующиеся (непосредственная электризация, электротермическая защита) и не самоактивирующиеся, которые



воздействуют на атакующий боеприпас предварительно обнаружив его при помощи радара или матрицы (Метательные пластины, «умная броня»). Существуют способы защиты, объединяющие несколько принципов. На рисунке показан один из вариантов такой комбинируемой самоактивирующейся защиты, состоящей из конденсаторной батареи (1), двух проводников (2 и 4), разделенных диэлектриком (3), метаемой пластины (7), индуктора (8). Защищаемая броня – (5).

Эта схема работает следующим образом. Проникающая через пластины 2 и 4 элемента электродинамической защиты кумулятивная струя замыкает цепь и посредством разрядки конденсаторной батареи 1 нарастающий ток течет через куммулятивную струю и "сбивает" её часть. Одновременно, при протекании тока в плоском индукторе возникает магнитное поле, обеспечивающее метание пластины 7 навстречу кумулятивной струи. Таким образом, решается проблема ликвидации оставшихся элементов кумулятивной струи.

На рисунке 4 показана схема, рассмотренная в работе (1).

В отличие от первого типа, такая защита не является самосрабатывающей (пассивной), а требует обнаружения подлетающего средства поражения на небольшом расстоянии от его цели. Поэтому такую ЭМЗ называют активной. Приемная система индикации (обнаружения) 1 цели связана с управляющей ЭВМ 2, замыкающей в нужный момент выключатель 4. В результате из конденсаторной батареи 3 посылается импульс мощного тока в

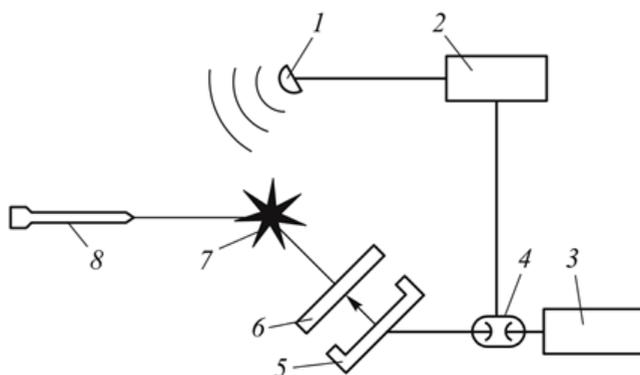


Рис. 4. Схема действия активной электромагнитной защиты:

1 — приемная система индикации (обнаружения); 2 — управляющая ЭВМ; 3 — конденсаторная батарея; 4 — выключатель; 5 — метательное устройство; 6 — метаемая пластина; 7 — точка встречи метаемой пластины и средства поражения; 8 — средство поражения

плоский индуктор. Он выбрасывает пластину 6 на траекторию подлетающего кумулятивного средства поражения 8 для столкновения с ним в точке встречи 7 и его разрушения, искривления или отклонения от оси движения.

В большинстве схем для создания магнитного поля, разгоняющего пластину до высокой скорости, используется плоский индуктор, соединенный с источником электрической энергии (как правило, конденсаторной батареей).

Одной из основных проблем при практической реализации подобных электромагнитных защит являются большие габариты емкостного накопителя энергии, обеспечивающего разгон пластин до

высоких скоростей. Поэтому очень важно увеличить КПД преобразования электрической энергии емкостного накопителя в кинетическую энергию метания пластины.

Задачами данной работы является:

1. Разработка и изготовление модельной установки по метанию металлических пластин магнитным полем плоского индуктора при разряде на него импульсного конденсатора.

2. Проведение модельных экспериментов по исследованию влияния на КПД электромагнитного метания конструктивных параметров плоских индукторов, материала и размеров метаемых пластин, емкости конденсатора, параметров установки, а также зазора между индуктором и пластиной.

Цель работы:

Предложить возможные пути повышения КПД электромагнитного метания на основе анализа проведенных экспериментов.

Описание модельной установки.

Электрическая схема установки представлена на рис. 1.

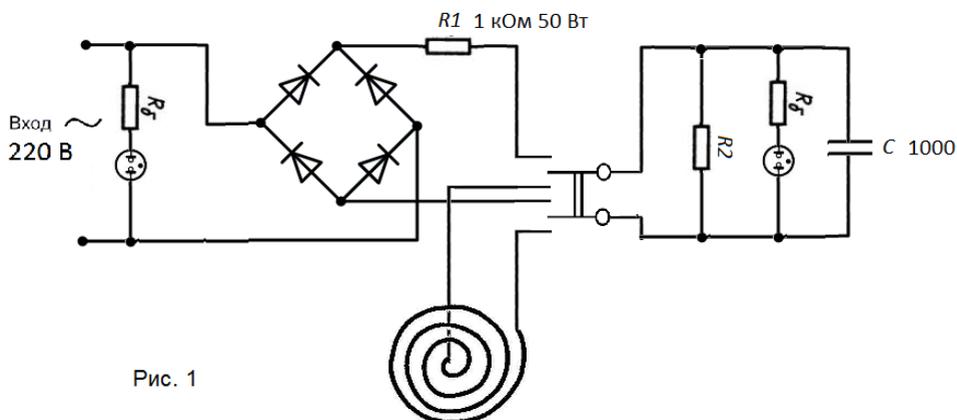


Рис. 1

Основой модельной установки является емкостной накопитель электрической энергии, в качестве которого выбран конденсатор пусковой CD60 1000 мкФ 300В. Такие конденсаторы используются для запуска больших двигателей переменного тока. В ряде экспериментов этот конденсатор был заменен на CD60 250 мкФ 300В с целью исследования влияния емкости конденсатора на работу индуктора.

Для зарядки конденсатора от сети переменного тока 220В используется диодный мост и токоограничивающий резистор $R1 = 1 \text{ кОм}$, мощностью 50 ватт.

Для индикации наличия питания и напряжения на конденсаторе используются индикаторные газоразрядные лампы 220В, внутри которых присутствуют токоограничивающие сопротивления $Rб$.

Параллельно конденсатору включен разрядный резистор $R2$ номиналом 40 кОм, предназначен для того, чтобы снять с конденсатора остаточный заряд на выключенном приборе.

Коммутирующий тумблер ON-OFF-ON используется для отключения конденсатора от цепи зарядки и подключения его к индуктору для метания пластины. Паспортное значение коммутируемого тока тумблера 15А, что на пару порядков меньше токов в моей установке, однако во время проведения серий экспериментов тумблер не разрушился. Это следствие очень короткого времени протекания тока через тумблер.

Для соединения элементов между собой использовалась пайка проводов, а также обжимка клеммами и скручивание клемм болтами.

Фото установки приведено в приложении 2.

Обзор проведенных экспериментов.

В качестве метаемой пластины выбрана алюминиевая пластинка размером 4 x 4 x 0.3 см. Расчетной массой 12.5 гр., рассчитанной исходя из плотности алюминия 2600 кг/м³.

Эксперименты с пластинами из стали показали ожидаемое уменьшение высоты полета пластины в десятки раз. Это вызвано более высоким электрическим сопротивлением стали по сравнению с алюминием, более высокими потерями на тепловой разогрев пластины и более глубоким проникновением магнитного поля в материал пластины. Поэтому в качестве основной пластиной для проведения всех экспериментов была выбранная указанная выше алюминиевая пластина.

Получаемая от индуктора кинетическая энергия пластины $mv^2/2$ оценивалась по высоте полета пластины, так как в верхней точке полета

вся кинетическая энергия переходила в потенциальную энергию mgh . $mv^2/2 = mgh$. Сопротивление воздуха не учитывалось. Из этих же формул была получена начальная скорость полета, которая при высоте полета 40 см равна 2.8 м/с.

Высота полета пластины сильно зависит от точного расположения пластины на индукторе. В случае смещения пластины в одну из сторон, высота полета пластины уменьшается, меняется направление полета пластины, а также пластина начинает вращаться в полете. Чтобы получить более точные результаты, каждый эксперимент был заменен на серию испытаний с выбором максимального значения высоты полета.

После проведения первых пробных экспериментов выяснилось, что КПД метания алюминиевой пластины оказался очень низким (около 0.001). Все эксперименты были направлены на то, чтобы выяснить причину столь низкого КПД.

Схему электрической цепи, по которой течет ток разрядки конденсатора,

условно можно представить так, как показано на рис. 2. Здесь показаны все сопротивления, емкости и

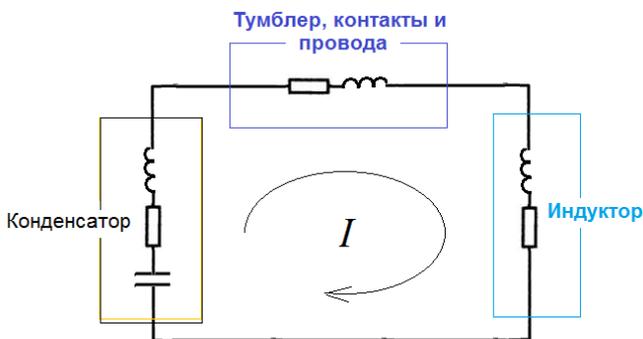


Рис. 2

индуктивности, которые влияют на процессы происходящие в момент метания и ограничивают КПД.

Более подробно описанные ниже эксперименты проводились с целью выяснения влияния этих сопротивлений и индуктивностей на процесс метания. Так, для того чтобы выяснить влияние емкости конденсатора, он заменялся на конденсатор другой емкости. Для выяснения влияния внутреннего сопротивления конденсатора, параллельно ему выключался другой конденсатор. Для выяснения влияния сопротивления индуктора были проведены эксперименты с индукторами из проволоки другого диаметра, а также эксперименты по включению в схему дополнительных сопротивлений.

Кроме этого были проведены эксперименты по увеличению жесткости крепления индукторов к опоре с помощью эпоксидного клея и эксперименты по увеличению зазора между индуктором и метаемой пластиной.

Плохой контакт привел к микровзрыву.

В одном из опытов с толстой проволокой был плохой контакт. Не была обеспечена достаточная площадь контакта проволоки индуктора и клеммы, которой обжата. В результате в этом месте произошел микровзрыв. Часть проволоки индуктора испарилась. Это произошло из-за недостаточного пятна контакта. В результате протекания пикового тока в месте плохого контакта образовалось более высокое чем обычно переходное контактное сопротивление, на котором за

очень малое время выделилась вся энергия заряженного конденсатора (около 40 Дж).

Оценка амплитуды импульса тока, времени разряда конденсатора и опыт добавления сопротивлений в цепь индуктора.

С верхней стороны значение тока ограничено сопротивлением индуктора. Расчет сопротивления индуктора приведен в приложении 1 и дал значение 0.25 Ом. Он произведен с использованием справочного значения удельного электрического сопротивления меди и формулы расчета $R = \rho \cdot l / S$. Учитывая такое значение сопротивления индуктора, ток в цепи не может быть больше чем $I_{\max} = U / R$; $I_{\max} = 300 / 0.25 = 1200$ А.

Были проведены опыты подключения (добавления) в цепь индуктора других индукторов и сопротивлений. Результаты приведены в таблице 1.

№	Подключенный элемент	Средняя высота полета пластины (см)
1.	Без дополнительного элемента	40
2.	Индуктор из 10 витков с сопротивлением 0.12 Ом + сопротивление клеммы	13
3.	Индуктор из 20 витков с сопротивлением 0.25 Ом + сопротивление клеммы	7
4.	Проволока длиной 1.8 м с сопротивлением 0.25 Ом + сопротивление клеммы	7
5.	Резистор 2 Ом	0.3

Выводы:

Индуктивность индуктора не влияет на высоту полета в данной установке. Это заключение получается из сравнения опытов 3 и 4, где в опыте 3 мы включаем в цепь дополнительный индуктор, а в опыте 4 такое же сопротивление без индуктивности. Результат одинаковый. Очевидно, что процесс метания в данной установке протекает достаточно медленно, чтобы такие маленькие значения индуктивности могли на него повлиять.

Сопротивления индуктора, контактов и тумблера играет значительную роль. Именно они ограничивают ток в установке.

Амплитуда импульса тока в цепи находится в пределах [500...1200] ампер.

Исходя из оценки величины токов в цепи разряда можно сделать оценку времени разряды конденсатора по формуле. $t = q / I$; где $q = CU$; $t = CU/I$; $t = 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 300 / 1200 = 0.00025$ с. После расчета такого же времени для тока 600А получаем 0.0005 с. В итоге время разряда конденсатора можно оценить, как в диапазоне от [0. 5.... 0.25] микросекунд. При начальной скорости полета пластины равной 2.8 м/с, можно получить путь, который пройдет пластина за время разряда конденсатора, равноускоренно разгоняясь до этой скорости. $S = v \cdot t / 2 = 2.8 * 0.0005 / 2 = 0.7$ мм.

С другой стороны, в опыте с зазорами (п.10) было получено, что магнитное поле индуктора эффективно действует на пластину на расстояниях до 5 мм. Следовательно, конденсатор 1000 мкФ

однозначно успевает полностью разрядиться пока пластина находится в зоне действия магнитного поля. Это подтверждается опытом с заменой конденсатора на менее емкий (на 250 мкФ), что привело к сильному уменьшению высоты полета пластины.

Зависимость КПД индуктора от жесткости крепления индуктора к опоре.

Прижать индукторы к опоре и сделать их максимально плоскими и жесткими удалось путем приклеивания их к опоре (к доске) на эпоксидный клей. Сверху на индукторы был помещен груз. После 24 часов выдержки индукторы оказались жестко приклеены к опоре. После проведения экспериментов было выяснено, что такое приклеивание индукторов увеличило высоту полета пластины и КПД в 1.4 раза.

Вывод: Жесткое крепление (приклеивание) индуктора к опоре увеличивает КПД в 1.4 раза.

Зависимость КПД от толщины проволоки.

Была проведена серия опытов с индукторами, намотанными проволокой 1.5 мм. с количеством витков 5 и 3. Для сравнения были изготовлены индукторы из проволоки 0.4 мм с таким же количеством витков. Намотать индуктор из толстой проволоки с большим числом витков невозможно из-за габаритов индуктора и диаметра проволоки. Витки проволоки физически не помещаются в габариты индуктора.

Выяснилось, что индукторы из разной проволоки, но с одинаковым количеством витков, показали одинаковую высоту полета пластины.

Вывод: Для индукторов с малым числом витков толщина проволоки не имеет значения. Очевидно, что в случае малого числа витков токи в установке ограничены другими сопротивлениями из схемы рис. 2., а именно, сопротивлениями тумблера, проводов, контактов и конденсатора. Если бы удалось намотать из толстой проволоки много витков, то КПД бы повысился. При этом пришлось бы увеличить размер индуктора, чтобы поместились витки, и увеличить размер пластины.

Опыт замены конденсатора 1000 мкФ на конденсатор 250 мкФ.

Замена конденсатора 1000 мкФ на конденсатор 250 мкФ привела к уменьшению высоты полета пластины в 4 раза. Значит, энергия в конденсаторе успевает использоваться в полном объеме до того, как пластина улетает от индуктора на расстояние действия магнитного поля.

Вывод:

Из-за небольшой начальной скоростью пластины процесс метания оказался достаточно медленно текущим процессом. Из высоты полета в 40 см. получается, что начальная скорость полета пластины равна 2.8 м /с. Пластина улетает относительно медленно. Она находится в зоне действия магнитного поля достаточно долгое время,

за которое происходит полный разряд конденсатора и преобразование энергии конденсатора в кинетическую энергию пластины.

Здесь также можно сделать вывод, что в моих опытах индуктивности установки и индуктора не влияют на процесс метания пластины, а определяющими факторами будут сопротивления контактов, сопротивление проводов и тумблера.

Такой же вывод можно сделать из опыта с изменением количества витков. Оказалось, что индуктивность не мешает процессу метания, так как высота полета прямо пропорциональна количеству витков индуктора.

В реальных установках, где начальные скорости пластин должны быть порядка 5 – 10 км./с, время нахождения пластины в зоне действия магнитного поля будет очень малым. Значит процесс разряда конденсатора должен быть очень быстрым и индуктивности токоведущих шин и индуктора должны быть как можно меньше, так как могут помешать превращению энергии конденсатора в кинетическую энергию пластины. В процессе метания возникает отталкивающая сила взаимодействия двух встречных токов (сила Ампера). Она пропорциональна произведению величин двух токов, основного тока в индукторе и наведенного тока Фуко в пластине. Возможно, что при подключении конденсатора меньшей емкости ток Фуко будет выше за счет более быстрого изменения основного тока, но при этом основной ток будет меньше, и время действия силы Ампера

будет также меньше. Поэтому при уменьшении емкости конденсатора мы получили уменьшение высоты полета. Кпд при этом не изменился.

Влияние внутреннего сопротивления и индуктивности конденсатора на КПД установки.

Для того чтобы выяснить как влияет внутреннее сопротивление конденсатора и его собственная индуктивность на КПД установки был проведен опыт по подключению двух конденсаторов параллельно вместо одного. $C1 = 1000$ мкФ и $C2 = 250$ мкФ. При параллельном соединении конденсаторов суммарное сопротивление и индуктивность батареи уменьшались в два раза. Однако опыт не выявил никакого увеличения высоты полета пластины. Это означает, что для данной установки внутренние сопротивления и индуктивности конденсаторов не являются существенными. Кроме того, из данного опыта можно сделать вывод, что дальнейшее увеличение емкости конденсатора в данной установке не приводит к увеличению высоты полета пластины. Это происходит, например, потому, что величина наведенных в пластине токов Фуко зависит не от тока в индукторе, а от его изменения (от его первой производной).

Выводы:

В данной установке внутреннее сопротивление и индуктивность конденсатора являются достаточно малыми величинами, не имеющими существенного влияния на процесс метания.

Дальнейшее увеличение емкости конденсатора выше 1000 мкФ бесполезно, так как не приводит к увеличению высоты полета.

Влияние зазора между индуктором и пластиной на КПД метания.

При использовании 8 пленок общей толщиной 0.5 мм. высота полета пластины уменьшилась с 40 см до 20 см. (КПД уменьшился в два раза). Результаты опытов с разными зазорами приведены в таблице 2:

№	Величина зазора (мм.)	Средняя высота полета пластины (см)
1.	0.0	40
2.	0.5	20
3.	1.0	15
4.	2.0	10
5.	4.0	4
6.	6.0	2

Вывод: Чем больше начальный зазор между пластиной и индуктором, тем меньше КПД. На расстояниях более 6 мм. от индуктора магнитное поле практически перестает действовать на пластину. Полученное предельное расстояние действия магнитного поля используется в оценке времени разгона пластины (см. п 3)

Комбинирование двух индукторов.

Значительно увеличить высоту полета пластины удалось посредством применения двух индукторов, положенных друг на друга и включенных последовательно встречно. Включенные встречно – означает, что токи в верхнем и нижнем индукторе будут течь в противоположном направлении, то есть встречно (рис. 5). При протекании тока индукторы отталкиваются друг от друга и отталкивают пластину. При этом токи в индукторах являются не просто наведенными магнитном полем токами Фуко, как в пластине, а токами разряда конденсатора, поэтому их сила отталкивания выше и действует дольше.

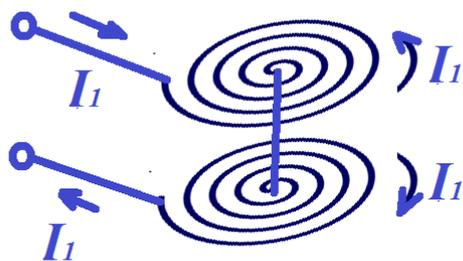


Рис. 5 Схема встречного включения двух индукторов.

Величина токов Фуко определяется скоростью изменения основного тока, от которого они наводятся. Так как в данной установке из-за сопротивлений контактов, сопротивления тумблера и индуктора не удалось получить сверх быстрого разряда конденсатора, то токи Фуко оказались небольшими и КПД – низким. В случае с комбинированием индукторов эти проблемы отпадают.

При дальнейшем увеличении количество индукторов получится стопка индукторов, которая при протекании импульсного тока будет

действовать как сжатая пружина. Распрямляясь, эта «пружина» будет более эффективно выталкивать пластину.

Недостатком такого подхода является то, что верхние индукторы в данном случае являются подвижными элементами.

Заключительные выводы.

При выполнении работы и проведении опытов удалось более глубоко понять процессы разряда конденсатора, возникновения наведенных токов Фуко и появление силы Ампера, которая толкает пластину.

Удалось оценить время разряда конденсатора, амплитуду импульсного тока, дистанцию эффективного действия магнитного поля индуктора.

Стало понятным, что для эффективного метания нужно обеспечить не только большие значения тока в индукторе, но также большие скорости их изменения, так как токи Фуко в пластине определяются скоростью изменения основного тока. А результат метания зависит от произведения этих двух токов.

Удалось показать эффективность комбинирования индукторов для увеличения КПД установки.

Удалось выявить факторы влияющие на столь низкий КПД установки. Это сопротивления индуктора, тумблера, контактов, соединительных проводов.

Дальнейшее уменьшение этих сопротивлений должно увеличить КПД установки, но это также может привести к взрыву конденсатора.

Процесс метания похож на удар. На короткое время (0.3 миллисекунд) появляется большая сила порядка 100 Н. При этом в конденсаторе при его заряде возникает гораздо большая сила притягивания его пластин. При быстром разряде эта сила исчезает за очень короткое время. Это похоже на удар и может привести к поломке или взрыву конденсатора.

Предложения по увеличению КПД установки:

Уменьшение сопротивлений токоведущих и коммутирующих элементов, а также индуктора.

Использование более высокого напряжения в установке, что приведет к большим скоростям изменения тока, в следствии чего увеличатся токи Фуко и сила Ампера. Кроме этого запасенная потенциальная энергия в конденсаторе пропорциональна второй степени напряжения и первой степени емкости. Следовательно, повышая напряжение, можно более эффективно увеличить энергию конденсатора, чем повышая его емкость. Плотность энергии также будет более высокой.

Комбинирования двух и более индукторов со встречными токами как показано в п.11

Список использованной литературы:

1. УДК 623.4.082.6, Электрическая противокумулятивная защита объектов. А.В. Бабкин, С.В. Ладов, С.В. Федоров. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия
2. УДК 532.52:533.95, Технологии разрушения и разделения материалов на основе электродинамических воздействий.

А.В. Бабкин, С.В. Ладов, С.В. Федоров. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

3. УДК 623.4.082.6: 533.95, Электродинамическая защита от кумулятивных средств поражения: Перспективы практической реализации. С.В. Федоров, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия.

4. Броня танка будущего – перспективы развития бронезащиты http://btvt.narod.ru/1/armor_future/edz.htm

Приложение 1.

Расчет электрического сопротивления индуктора из медной проволоки.

Исходные данные:

материал проволоки	медь
диаметр проволоки	0.4 мм
кол-во витков	21
средний диаметр витка	2.75 см
удельное сопротивление меди	$1.720 \cdot 10^{-8}$ Ом. метр

Длина проволоки: $0.0275 \cdot 3.14 \cdot 20 = 1,81$ м.

Площадь сечения проволоки: $S = \pi d^2/4$;

Сопротивление индуктора: $R = \rho \cdot l / S$; $\Rightarrow R = \rho \cdot l / (\pi d^2/4)$;

Переводим исходные данные в систему СИ и подставляем в формулу:

$$R = 1.720 \cdot 10^{-8} \cdot 1.81 / (3.14 \cdot (0.4 \cdot 10^{-3})^2 / 4) = 0.25 \text{ Ом}$$

Ответ: сопротивление индуктора равно 0.25 Ом

Приложение 2.

Фото установки:



**Робот-разведчик. Исследователь труднодоступной
местности**

Шевченко Артём Николаевич

г. Москва, ГБОУ «Школа №1315», 11 класс

Введение

Робототехника с каждым годом все сильнее развивается и вместе с тем старается сделать нашу жизнь проще. Поэтому, вдохновившись идеей облегчить дальнейшие исследования ученым и военным разведчикам, появилась идея в создании робота, который, благодаря своей уникальной проходимой базе и точными и многочисленными модулями, может выполнять одну и ту же миссию с точки зрения метода исполнения. Робот способен действовать как скрытно и выполнять функции разведчика, так и проводить открытые исследования в роли геолога. В настоящее время роботы стали набирать всё большую популярность как в сфере DIY электроники, так и научно-исследовательских работах. Поэтому неудивителен интерес к современным технологиям, разобраться в которых, людям изучающим информатику и физику, не составит труда.



ЦЕЛИ ПОДОБНЫХ РОБОТОВ

Подобные робототехнические системы, как и все подобные смарт-системы предназначены на замену и помощь человеку в сложных условиях проведения действий. Роботы-разведчик, как и в научно-исследовательской, так и в военной отраслях всегда были актуальны для дальнейших доработок и всегда были востребованы индустрией.

Подобные прототипы постоянно принимают участие в научно-исследовательских геологических миссиях в помощи исследования труднодоступной местности или в качестве передвижного способа дистанционного наблюдения. Подобные задачи стоят и перед военными роботами-разведчиками. Единственное отличие заключается в скрытности роботов. Военные роботы действуют скрытно и тихо, а значит имеют более скрытное оборудование! Роботы для дистанционного исследования условий местности оснащены большим кол-вом модулей и имеют сравнительно большие возможности для составления технической топографической карты.

На данный момент подобный тип роботов только начинает своё развитие.

Учёные и частные корпорации заинтересованы в подобных разработках. Поэтому многие инженеры начали заниматься подобными проблемами и уже несколько подобных машин были представлены на многочисленных выставках.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы заключается в том, чтобы собрать в будущем оригинального робота для более серьезных задач по исследованию! На данный момент собран первый прототип оригинала, максимально приближенный к размерам и способностям оригинала. Непосредственная цель робота заключается во взаимопомощи человеку в труднодоступной местности не только с точки зрения военно-разведывательных нужд, но и для изучения рельефа местности, погодных условий и поисков разных объектов. Как уже стало понятно, непосредственная задача на данный момент - дорабатывать данный прототип для дальнейших.

ПЛАТФОРМА И СПОСОБ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ



Платформа состоит из алюминиевой шестиколёсной(6x6) платформы. На каждом колесе стоит свой независимый коллекторный двигатель. Помимо этого, платформа снабжена независимой пружинной

подвеской. На каждом приводе стоит большая резина для грунтовых поверхностей с хорошим грунтозацепом.

Благодаря алюминиевой основе, грузоподъёмность платформы позволяет устанавливать грузы и модули весом до 15 кг.

МОДУЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕРЕОЗРЕНИЯ

Для возможности более точной возможности исследования условий местности на работе стоят многочисленные модули и датчики. Модули для исследования. Робот оборудован термометром, ультразвуковыми датчиками, датчиком влажности, люксметром, датчиком звука. Помимо модулей на работе так же стоит мощная светодиодная люстра на 50В. Для определения местоположения и технического зрения следующие модули:

На работе установлены модули:

1. Датчик на 10 степеней свободы. Датчик позволяет роботу определить свое местоположение относительно определенно заданных параметров декартовой системы координат.
2. Акселерометр. Модуль, позволяющий по координатно определить местоположение материальной точки (робота) относительно центра земли.
3. Гироскоп. Модуль, позволяющий определить угловую скорость и «крен» машины относительно поверхности передвижения.
4. Ультразвуковые дальномеры HC-SR04 . На рынке электронике данный тип ультразвуковых дальномеров является одним

из самых качественных и точных. Благодаря этим датчикам можно не просто определять расстояние от точки А до Б, но и делать обрисованный цифровой эскиз местности исследования. Ультразвуковой дальномер во время измерения формирует ультразвуковой импульс (обычно 40 кГц), звук отражается от препятствия на пути и принимается микрофоном (Рис. 10). Электронное устройство дальмера регистрирует время Δt между моментом формирования сигнала динамиком и его приема микрофоном (по некоторому пороговому уровню). Для формирования ультразвукового сигнала обычно используется пьезоэлектрический микрофон и динамик, т.к. обычные электромагнитные микрофоны и динамики не предназначены для данного звукового диапазона. Также в ультразвуковом дальномере имеется полосовой фильтр на данную звуковую частоту, чтобы отфильтровать чужеродные звуки. Важной особенностью ультразвуковых дальномеров является наличие относительно широкого угла сканирования, обычно от 20 до 60 градусов. Дальномер формирует отметку дальности, если в зоне сканирования оказывается любое, даже небольшое препятствие. Другой особенностью является ориентация поверхности препятствия относительно дальмера. Препятствие не регистрируется, если угол между осью дальмера и нормалью к поверхности более 70-80 градусов (в зависимости от гладкости поверхности), т.к. отраженная звуковая волна уходит в пустоту. При установке дальмера на работа следует понимать, что сигнал может отражаться от пола, если он

попадает в конус сканирования дальномера. Следует отметить, что конструктивно и микрофон и динамик устроены одинаково. Практически любой динамик может использоваться в качестве микрофона. Поэтому в некоторых дальномерах (например, в автомобильных парктрониках) микрофон и динамик совмещены в одно устройство: в момент излучения устройство работает в режиме динамика, а затем переключается в режим микрофона.

5. GPS датчик, сделанный на основе радиопередатчика-модема Xbee module 2. Пришлось попотеть, чтобы сделать программируемый модем nano размеров датчиком. Почти всё время работы робота модем определяет точное местоположения робота. Но в случае волновых вихрей или прочих неординарных ситуаций сбоя модуля, на помощь придут датчики вышеперечисленные...

При установке системы стереозрения на мобильного робота следует обратить внимание на место ее установки. Естественное желание пользователя установить её на место человеческих глаз – неоправданно. Дело в том, что чем выше будут установлены камеры, тем меньше в них будет попадать пол в ближней зоне перед роботом. Данная ближняя зона представляет больший интерес, чем дальняя.

Поэтому система технического зрения должна быть установлена невысоко.

Для расширения поля обзора камер можно устанавливать камеры на поворотную платформу. В этом случае перед началом поворота на месте робот может просканировать пространство в направлении

поворота и оценить необходимость такого поворота. Но для использования данного механизма разработчику следует вносить дополнительные алгоритмы в систему управления поведением робота.

Камера будет дорабатываться для возможности не просто хорошего изображения в качестве HD, но и возможность распознавать объекты и определять принадлежность объектов по их внешним параметрам (распознавание цвета, отражение и определение размеров). Размеры объекта возможно определить за счёт разбития матрицы,

как декартову систему координат. И по мере отображения на матрице возможно по «горячим» точкам определить размеры тела, как определение длин векторов граней тела. На роботе установлены 2 камеры Go Pro Hero 3+.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Эксплуатация робота позволяет работать ему в 2х режимах:

- ручное пилотирование
- автономное управление

РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ:

В данном режиме робот управляется оператором при помощи смартфона или ПК. По сколько робот оборудован не только множеством модулей, но и камерой, пилот может дистанционно наблюдать за местностью и передвижением робота, записывать видеозапись своего передвижения и в то же время получать данные с модулей. ДАННЫЙ ПРОТОТИП способен управляться при помощи

приложения на смартфоне, сделанное на основе приложения для Android-устройств «BluetoothRC car», доработанное для большого спектра возможности управления элементами движения и хватки, а также отображения данных с камеры. Подобным способом управляется робот и с ПК. Софт для управления сделан на языке C++ в компиляторе Xcode, но на данный момент дорабатывается для простоты управления и дизайна интерфейса в Visual Studio 2017. Однако за основу интерфейса взял интерфейс в Dyn-Soft RobSim 5.

АВТОНОМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ:

Этот режим описывается более сложными процессами траектории движения (логика поворотов...) и способами получения информации. С помощью выше перечисленных датчиков локации, машина имеет хорошее техническое зрение (возможность самостоятельного распознавания местоположения). При запуске машины можно заранее задать определённую логику в соответствии с которой будет выполняться задача. Робот самостоятельно не только запишет все полученные данные о местности и её особенностях, но и самостоятельно сможет вернуться в исходную точку на «базу», благодаря способности не просто на уровне простейших способностей обходить преграды и рассчитывать координаты, но и запоминать пройденный маршрут. Так что же может сделать робот самостоятельно?

Представим такую задачу: исследовать ночные показания лесной чащи...

Или может даже исследовать пещеру? Сути не меняет! Робот будет на протяжении всего времени эксплуатации самостоятельно кататься по заранее заданным координатным рамкам в пределах которых он может самостоятельно передвигаться и записывать показания. Он сам определит время, кол-во света, включит освещение, если потребуется, остановится в наиболее интересных для показаний датчиков местах, определит рельеф местности, влажность воздуха, температуру... Однако, работа можно заставить присылать уведомления о больших разностях показаний или находке «интересного». К сожалению, на данный момент рук-манипулятор нельзя использовать в автономном режиме из-за проблем с синхронизацией логики передвижения. Дело в том, что условия и рельеф непредсказуемы или трудны, и поэтому машина не способна самостоятельно определить нужную степень сжатия или нужный угол каждого сервопривода. Но в ручном пилотировании проблем никаких нет, и оператор самостоятельно сможет схватить объект и переместить в корзину.

Стереозрение или бинокулярное зрение – это двухкамерная система технического зрения, обеспечивающая возможность определения дальности до объектов в поле зрения двух камер. Эффект стереозрения обеспечивается за счет параллакса.

Параллакс – расстояние в пикселях между одной и той же точкой объекта, зафиксированной на двух изображениях, снятых в разных точках пространства в один и тот же момент времени. Для обеспечения

функциональности алгоритмов стереозрения необходимо чтобы изображение с двух камер было снято в один и тот же момент времени, или за время между кадрами, снятыми с одной и другой камерами, сцена не сдвинулась ни на пиксель (в проекции на камеры). В противном случае параллаксы становятся зависимыми в большей степени от скорости движения объектов (или скорости движения камер относительно объектов), чем от расстояния до них.

Для обеспечения работоспособности алгоритмов стереозрения во время движения, используются механизмы синхронизации камер. Если это сделать невозможно, то роботу приходится всякий раз останавливаться, чтобы осмотреться. Точность: Длина параллакса измеряется в целых пикселях, причем зависимость гиперболическая. Поэтому чем больше диапазон значений фиксируемых параллаксов, тем точнее можно определить расстояние до объекта. Так, например, если параллакс дальнего объекта 1 пиксель, а ближнего – 3 пикселя, то между этими объектами всего 3 дискреты расстояния причем с неравномерным шагом.

Повысить точность алгоритмов стереозрения можно путем увеличения диапазон значений параллаксов. Это можно сделать двумя способами:

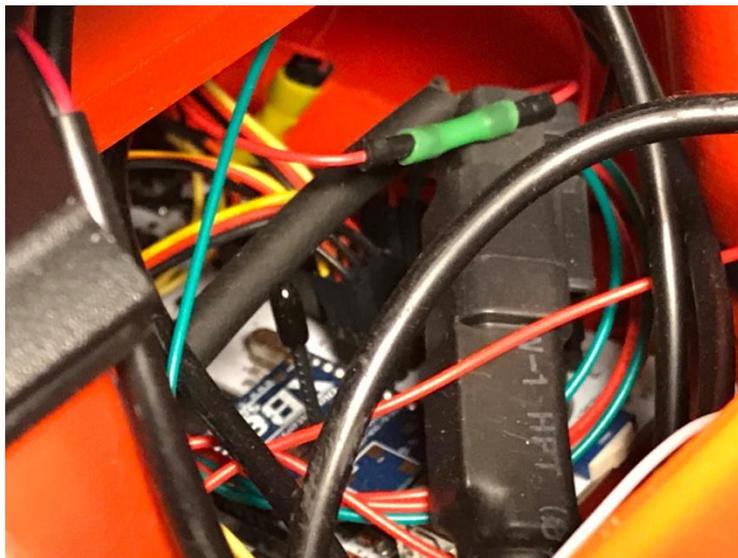
1. Увеличить расстояние между камерами (увеличить базу).
2. Увеличить разрешение камер.

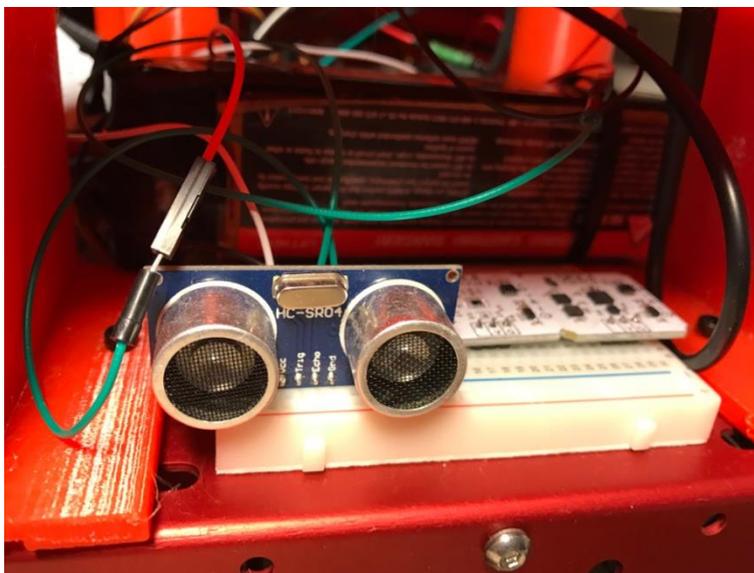
При увеличении расстояния между камерами существенно

увеличиваются параллаксы. Однако бесконечно увеличивать базу нельзя, т.к. в этом случае, во-первых, близкие объекты перестанут попадать в поле зрения обеих камер, а, во-вторых, на изображениях с двух камер будут иметься настолько большие различия, что автоматически определить одну и ту же точку объекта на этих двух изображениях будет невозможно.

Поэтому нормальное расстояние между камерами для определения расстояний до объектов, среднее удаление которых составляет 50-100 см, составляет 3-7 см.

При увеличении разрешения камер параллаксы увеличиваются из-за того, что одним и тем же угловым размерам соответствует большее число пикселей. Однако при повышении разрешения существенно возрастает вычислительная нагрузка на процессор.





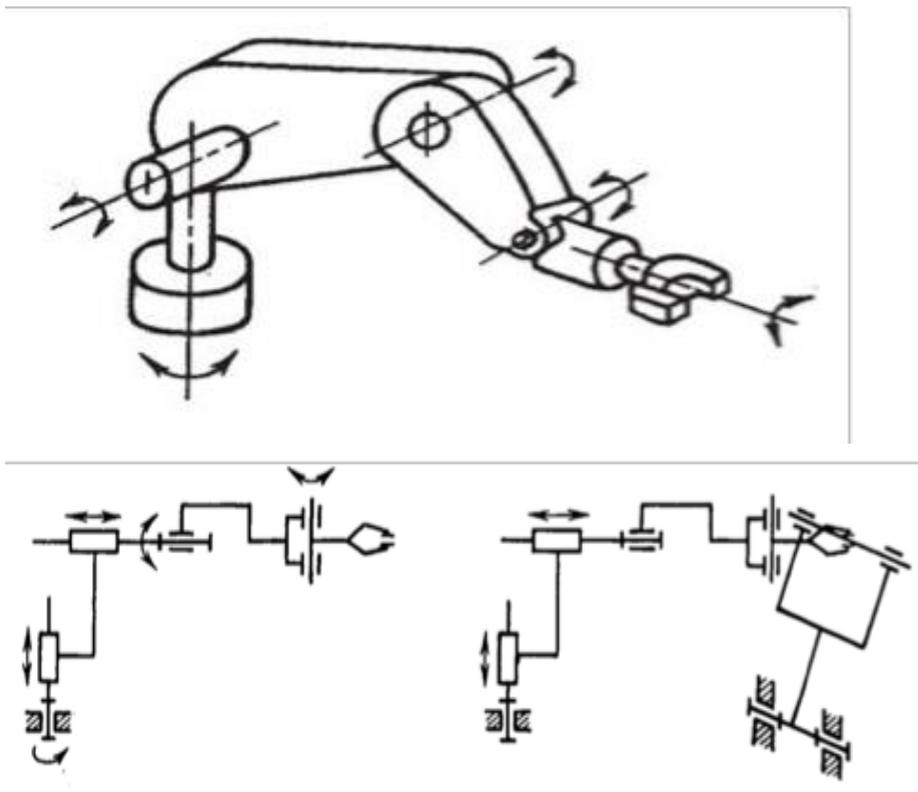
МАНИПУЛЯТОР

Помимо этого, робот оснащен рукой-манипулятором. Манипулятор – механизм, обладающий несколькими степенями подвижности, который предназначен для перемещения и ориентации объектов в рабочем пространстве. Многозвенная конструкция манипулятора заканчивается сменным схватом – инструментом, предназначенным для захвата объектов определенной формы. Вместо схвата на конце этой конструкции может быть закреплен сменный инструмент (гайковёрт, фреза, сверло, метчик и т. п.).

Манипуляционный механизм (манипулятор) представляет собой систему тел, которые предназначены для перемещения тела,

удерживаемого в хвате манипулятора (инструмента, детали). Тела, образующие манипулятор, называют его звеньями.

Звенья, образующие попарные соединения и допускающие относительные перемещения, называют кинематическими парами. Каждое звено, рассматриваемое как твердое тело, имеет от $3x$ до $6x$ степеней свободы.



Схемы разомкнутой и замкнутой кинематических цепей

Если в кинематической паре на относительное движение звеньев наложено S условий связи (число S определяет класс кинематической пары), то число степеней свободы кинематической пары равно

$$h=6-S.$$

Число степеней свободы кинематической цепи, называемое также ее числом степеней подвижности, равно

$$v=6n-\sum ip_i$$

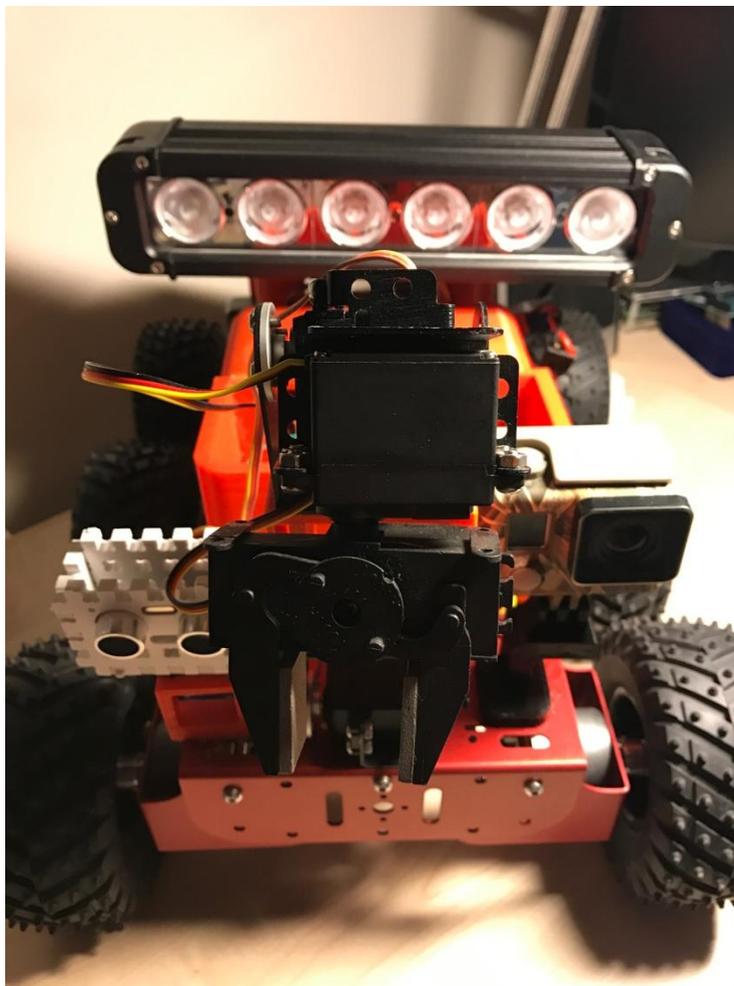
где n – число подвижных звеньев; p_i – число кинематических пар i -го класса. Например, для манипулятора, изображенного на рисунке.

Кинематическая цепь

имеет $v = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 5 = 5$ степеней подвижности.

Схват в качестве степени подвижности манипулятора также необходимо учитывать при подсчете суммарного числа степеней подвижности. Так, для манипулятора, обеспечивающего произвольную ориентацию и перемещение объекта в рабочей зоне с учетом схвата, минимальное число степеней подвижности равно семи.

Данный манипулятор является одной из моих научно-исследовательских работ. На данный момент приблизительный макет установлен на мою нынешнюю работу. Вторая работа, посвященная



манипулятору будет дорабатываться в соответствие с концепцией работы «робот-разведчик».

На данный момент робот находится в стадии непрерывной разработки! Он уже был представлен на соревнованиях в МГТУ им. Баумана («Клуб юных инженеров»), и получил высшие баллы.

Перспектива подобных типов машин велика так же, как и робот для производства. Надеюсь довести свою задумку до реальной воплощенной идеи. Данная модель является прототипом оригинальной машины в будущем. (все вычисления и образцы интерфейсов представлены наглядно и в виде презентации).

Список литературы

1. «ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ РОБОТАМИ» С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко.
2. Isaac Asimov. Robot: Fiction Core Collection, 2010.
Rodney Brooks. Flesh and Machines, How robots will change us: Pantheon Books.

СЕКЦИЯ VIII. Энергетика и экология

Рассмотрение формы и исследование зависимости площади горения от толщины выгоревшего свода, в заряде ТТ находящегося в головном разгонном блоке

Борисов Алексей Михайлович

г. Москва, ГБОУ «СОШ №1360», 11 класс

Научный руководитель:

Бобров Александр Николаевич,

к.т.н., доцент кафедры Э1,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

1. Транспортно-пусковой контейнер (ТПК) и размещение в нем ракеты

Современные боевые ракетные комплексы различного назначения хранят и перевозят ракеты в специальных транспортно-пусковых контейнерах. Из них и производится запуск ракеты. ТПК, обычно, представляет собой цилиндрический контейнер, закрытый жёсткими крышками или полужёсткими диафрагмами, как правило, имеющий систему термостатирования, в котором ракета находится с момента снаряжения и до самого старта.

ТПК предохраняет ракету от воздействия внешней среды, упрощает транспортировку и обслуживание ракеты.

Применение ТПК обуславливается по ряду показателей:

1. Для уменьшения массы ракеты:

- Экономия на массе стартового двигателя при использовании пускового газогенератора на ТПК (В ряде случаев ТПК используется как компонент системы минометного старта).
 - Термостатирование заряда твёрдого топлива (ТТ) в РДТТ при применении ТПК позволяет эксплуатировать ракету в широком диапазоне температур окружающей среды без перенастройки РДТТ.
 - Позволяет снизить массу корпуса ракеты.
 - Использование при предстартовой подготовке энергосистемы ТПК.
2. Для повышения её надёжности и боеготовности.
 3. Для упрощения операции по транспортировке ракеты и подготовки к старту.

Все пневмогидравлические и электрические магистрали, связывающие ракету с наземным оборудованием, проведены через контейнер. Их разъемы выведены на его верхний торец или боковую стенку. На внешней стороне стенок ТПК может размещаться часть наземной аппаратуры. Транспортировка ракеты любым видом транспорта также происходит в контейнере, вместе с контейнером ракета составляет шахтный или мобильный стартовый комплекс.

На рис. 1 показан внешний вид ТПК совмещенный с ПУ современного российского мобильного ракетного комплекса

стратегического назначения «Тополь-М». На рис. 2 изображён запуск ракеты из ТПК.

2. Постановка задачи

На рис. 3 показан ТПК характерной формы с размещенной в нем ракетой, имеющей заострённый головной обтекатель.

По рис. 3 можно заключить, что в головной части ТПК может находиться свободный объём. Для практического использования объёма ТПК предлагается в свободном объеме поместить головной разгонный блок, состоящий из 2-х одинаковых частей (для удобства сброса и симметрии векторов тяги двигателей). Пример такого ускорителя приведён на рис. 4.

Таким образом, мы можем сформулировать цель и задачи нашего исследования.

Целью работы является проработка конструктивной схемы РДТТ носового разгонного блока.

I. Первой задачей настоящей работы является рассмотрение формы заряда твердого топлива, который можно использовать в данном разгонном блоке.

II. Второй задачей является исследование изменения площади горения заряда от толщины выгоревшего свода.

Заниматься решением второй задачи мы будем двумя способами:

1. Первый способ заключается в составлении систем уравнений в программно-расчётном комплексе MathCAD [1].

2. Второй способ заключается в создании 3D модели шашки ТТ и дальнейшем ее исследовании в программном комплексе САПР SolidWorks [2].

3. Методика проведения исследования и форма стартового заряда.

Для исследования, был предложен одношашечный заряд ТТ канально-торцевого горения, прочно-скреплённого со стенками блока. Его продольное геометрическое сечение представлено серым цветом на рис. 5.

Предполагается, что форма заряда имеет длину **b**, ширину у переднего днища **a**, торец **d**, длину **c** канальной стороны заряда, угол **α** под которым заряд находится относительно оси симметрии и внутреннего угла **β** , смежного с **α** . Бронировка на открытых участках заряда отсутствует. Радиус камеры сгорания **R**, а длина **3R**.

Первоначальная поверхность горения заряда состоит из двух составляющих:

- кольцевой поверхности открытого торца толщиной **d**;
- боковой поверхности усеченного конуса длиной **c**.

Методика проведения исследования предполагает построение математической модели описывающей динамику развития поверхностей горения выбранного заряда от толщины сгоревшего свода и ее расчетное исследование.

Для упрощения вычислений, площадь поверхности горения такого заряда разделим на две составляющие S_1 и S_2 , для каждой поверхности в отдельности рис. 6.

4. Исследование площади горения

I. Способ

При исследовании формы заряда, по условию мы предполагаем известными следующие параметры: радиус камеры сгорания R , ширина заряда a , длина заряда b , торец заряда d .

Ниже приведена система уравнений, позволяющая рассчитывать площадь горения заряда как функцию от толщины выгоревшего свода e .

Система уравнений записывается в форме, применительно к программно-расчётному комплексу MathCAD [1], в котором предполагается проводить расчетное исследование.

Для нахождения части площади поверхности соответствующей боковой поверхности усеченного конуса, нам надо найти геометрические связи между основными параметрами:

1. Величиной угла α .
2. Величиной угла β .
3. Образующей боковой поверхности усеченного конуса c .

Для начала расчётов потребуется найти угол α , под которым заряд находится относительно оси симметрии. Расположение этого угла показано на рис. 7. Угол α можно найти, как \arctg от $\tg(\alpha)$ в

прямоугольном треугольнике с гипотенузой **c**, катетом по синусу длиной **a-d** и катетом по косинусу длиной **b**.

При нахождении длины **c**, используем теорему Пифагора.

Обратим внимание на рис. 8.

По рис. 8 видно, что при выгорании свода заряда **e**, величина **m** – на которую уменьшилась ширина заряда и величиной **n** – уменьшением длины образующей **c** (из-за смещения поверхности горения со стороны закрытого торца) образуется прямоугольный треугольник с гипотенузой **m**, катетами **e** и **n**. Для расчёта функции площади горения от толщины выгоревшего свода **e**, нам потребуются значения сторон **m** и **n** этого треугольника.

Для нахождения стороны **m** выведем функцию **m(e)**:

$$m(e) = \frac{e}{\sin(\beta)} \quad (1)$$

Аналогично выведем функцию **n(e)** для стороны **n**:

$$n(e) = \frac{e}{\tan(\beta)} \quad (2)$$

Тогда функция площади горения от толщины выгоревшего свода **e** для **S1**, будет иметь в основе формулу [1] и выглядеть так:

$$S1(e) = \pi[(R - a + m) + (R - d + m - n)] \cdot (c - m) \quad (3)$$

Подобным образом составляем функцию для **S2**, в основе которой формула [2]:

$$S2(e) = \pi[(R)^2 - (R - d - n + m)^2] \quad (4)$$

На этом шаге мы должны определить толщину выгоревшего свода, на котором торец заряда \mathbf{d} – исчезнет. А также определить максимальную толщину выгоревшего свода, при котором горение заряда прекратится.

1. Для выведения функции, задача которой будет высчитывать максимальный выгоревший свод, нам нужно представить прямоугольный треугольник, с гипотенузой \mathbf{a} и углом β . Тогда максимальный выгоревший свод \mathbf{e}_{\max} (\mathbf{e}_2) будет противолежащим катетом.

2. В процессе горения заряда торец \mathbf{d} будет уменьшаться до нуля. Когда торец \mathbf{d} заряда дойдет до нуля, то останется только одна формула

площади для одной поверхности, так как вторая исчезнет. Формула для вычисления толщины выгоревшего свода в момент исчезновения второй поверхности, зависит от угла α , и выглядит так:

$$\mathbf{e}_1 := \mathbf{d} \cdot \left[\frac{1}{\cos \left[\frac{\left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right)}{2} \right]} \right] \quad (5)$$

Теперь, когда мы получили все недостающие данные, можем создавать функцию зависимости площади горения от толщины выгоревшего свода. Поскольку, при \mathbf{e}_1 одна из двух поверхностей горения исчезнет, вместо двух функций площади останется одна,

поэтому общая функция $S(e)$ будет цикличная с параметрами условия. Параметров условия будет два. Первый отвечает за функцию площади горения до толщины выгоревшего слоя e_1 (включительно). А второй отвечает за функцию площади при выгоревшем своде от e_1 (невключительно) до e_2 (включительно). Цикл построен в программно-расчётном компоненте MathCAD. Функция $S(e)$ выглядит так:

$$S(e) := \left\{ \begin{array}{l}
 e1 \leftarrow d \cdot \left[\frac{1}{\cos \left[\frac{\left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right)}{2} \right]} \right] \\
 m \leftarrow \frac{e}{\sin(\beta)} \\
 n \leftarrow \frac{e}{\tan(\beta)} \\
 \text{if } e \leq e1 \\
 \quad \left\{ \begin{array}{l}
 S1 \leftarrow \pi[(R - a + m) + (R - d + m - n)] \cdot (R - d + m - n) \\
 S2 \leftarrow \pi[(R)^2 - (R - d - n + m)^2] \\
 S \leftarrow S1 + S2
 \end{array} \right. \\
 e2 \leftarrow a \cdot \sin(\beta) \\
 \text{if } e1 < e \leq e2 \\
 \quad \left\{ \begin{array}{l}
 S1 \leftarrow \pi[(R - a + m) + R] \cdot (R - a + m) \\
 S \leftarrow S1
 \end{array} \right. \\
 S
 \end{array} \right.$$

(6)

И при таких начальных параметрах:

$$\mathbf{R} := 1$$

$$\mathbf{a} := 0.77735026918$$

$$\mathbf{b} := 1$$

$$\mathbf{d} := 0.2$$

$$\mathbf{e} := 0, 0.05 \dots 1$$

График будет иметь такой вид граф.1.

II. Способ

Второй способ подразумевает создание 3D модели заряда ГТ, то есть мы будем исследовать ту же поверхность горения, но только при помощи 3D моделирования. Этот способ намного удобнее первого из-за легкого способа расчета величин. В нем программа будет сама высчитывать площадь горения без нашего участия (создания уравнений и вывода формул зависимых величин), что нельзя сказать о первом способе. Итак:

1. Для начала нам необходимо создать 2D эскиз. На рис.9 я создал эскиз с параметрами: радиус камеры сгорания $\mathbf{R}=1$; угол $\beta=60^\circ$; максимальный выгоревший свод $\mathbf{e}=0.67$; длина камеры сгорания равной 0.995, этот и другие размеры, указанные в эскизе, в отличие от первых трех, выбираются автоматически для полного определения эскиза.

2. Вторым пунктом мы создаем повернутую бобышку рис.10. И создаем датчик канально-торцевой площади, для этого переходим во

вкладку «Анализировать» и выбираем инструмент «Измерить», далее выбираем площадь как показано на рис.11 и нажимаем создать датчик.

3. Третьим действием мы переходим во вкладку «Анализировать» и выбираем «Исследование проектирования». Задаем параметры проектирования, в параметр заносим размер максимально выгоревшего свода, как показано на рис.12. После добавления параметра задаем начальное значение для него равное 0.325 (это значение максимально выгоревшего свода, при котором торец исчезнет, и созданный нами ранее датчик будет не действителен) и задаем максимальное значение равное 0.67, так же задаем шаг (чем меньше шаг, тем точнее исследование). В «Цели» добавляем созданный нами ранее датчик и нажимаем «Выполнить». По завершению исследования программа предоставит результаты исследования в виде таблицы рис.13. Также можно создать график зависимости площади горения от толщины выгоревшего свода в самой программе, как на рис.14, но график получится перевернутым (программа не позволяет уменьшать выгоревший свод, его можно только увеличивать) и недоделанным, так как нам надо еще проанализировать оставшуюся часть заряда при выгоревшем своде $e < 0.325$.

4. Создаем эскиз для оставшейся части, как на рис.15. Также создаем бобышку. Добавляем датчик, но на этот раз выбираем только одну (внутреннюю поверхность). Задаем параметры для исследования (максимально выгоревший свод), ставим для него начальное значение наименьшие (т.к. ноль вводить в данное поле нельзя) и максимальное

значение указываем 0.325, шаг как и до этого чем меньше, тем лучше. Нажимаем «Выполнить». В конце исследования программа также выдает таблицу с результатами рис.16.

Первая и вторая бобышки показаны на рис. 17 и 18 соответственно.

Создание графика. Создать график можно в Microsoft Office Excel [6], занеся туда две полученные таблицы (которые копируются прямо из программы).

6. Вывод

Проведя исследование зависимости площади горения от толщины выгоревшего свода двумя способами, я пришел к выводу, что самым простым и экономным по времени, из двух способов - является способ с 3D моделированием. В результате 3D моделирования и занесения полученных таблиц в программу Microsoft Office Excel получился график граф.2, который свидетельствует о том, что при данных начальных параметрах горение заряда будет сопровождаться плавным уменьшением площади горения.

7. Список литературы

1. Применение MathCAD в инженерных расчётах; под общей редакцией А. И. Панферов, А. В. Лопарев, В. К. Пономарев; 2004г.
2. Руководство для учащихся по изучению программного обеспечения SolidWorks на официальном сайте: (https://www.solidworks.com/sw/docs/Student_WB_2011_RUS.pdf)
3. Конструкция и отработка РДТТ; А. М. Веницкий и др.; 1980г.
4. Уокенбах Джон. Microsoft Office Excel 2007. Библия пользователя.
5. Геометрия 10-11 класс; серия МГУ – школе; авторы: Л. С. Атанасян, В. Ф. Бутузов, Л. С. Киселева, С. Б. Кадомцев; издательство «Просвещение» 2014г.
6. Сайт: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

Формулы:

1. Площадь боковой поверхности усечённого конуса.
2. Площадь кольцевой поверхности открытого торца.

Приложение:



Рис. 1 Ракетный комплекс «Тополь М»



Рис. 2 Старт ракеты



Рис. 3 Схема размещения ракеты в ТПК.

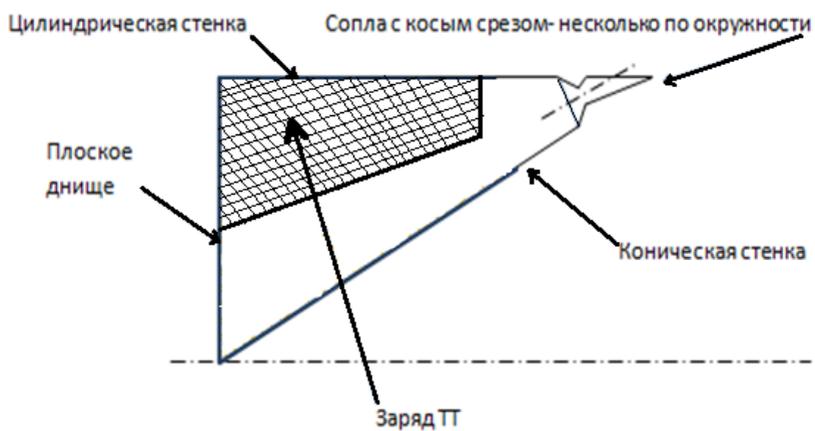


Рис. 4 Схема носового ускорителя

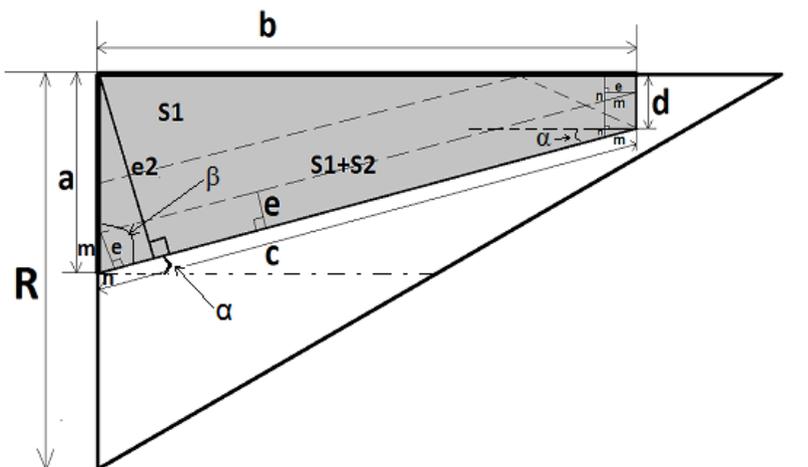


Рис. 5 Схема-пример

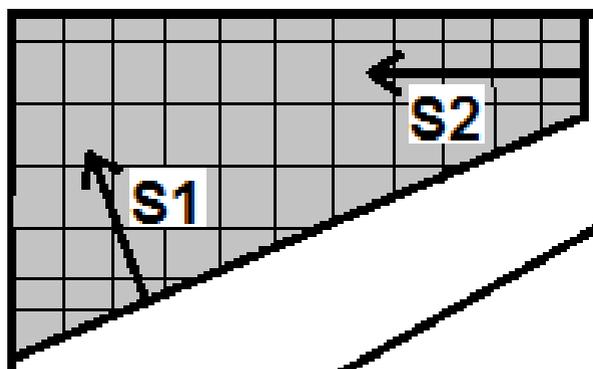


Рис. 6 Направление векторов изменения площади

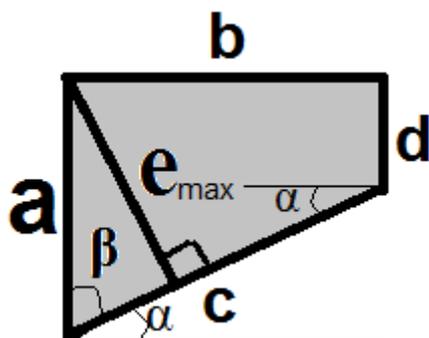
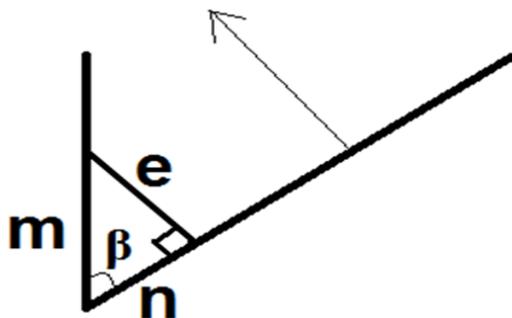


Рис.7 Показательный

Рис. 8 Изменение m и n

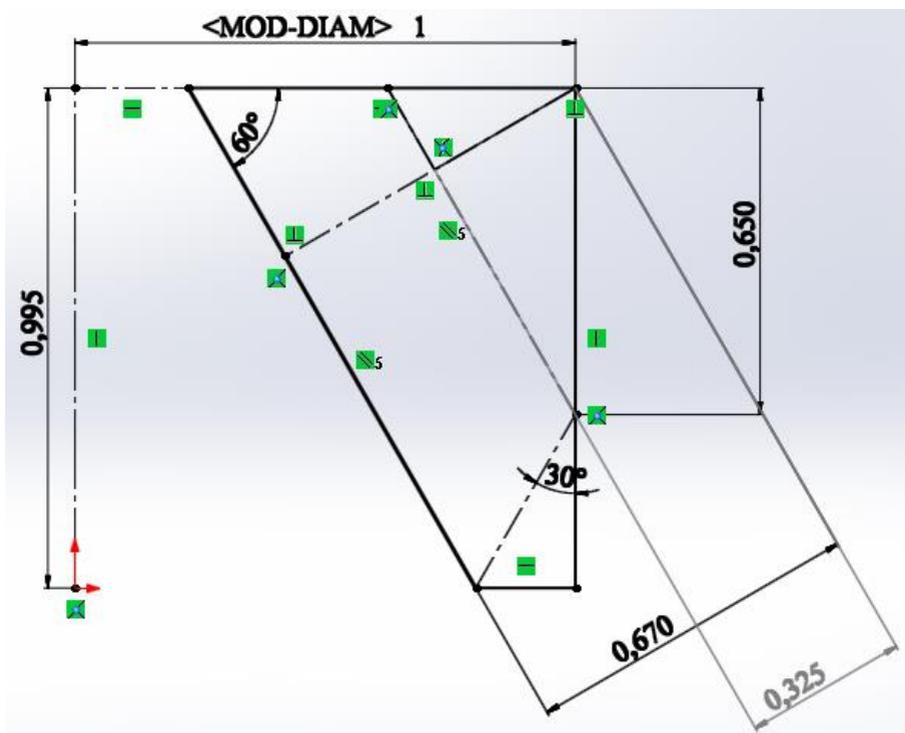


Рис.9 Эскиз 1

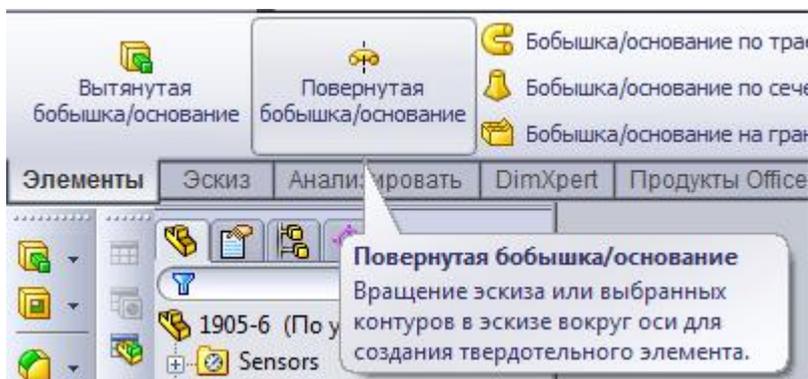


Рис.10 Местоположение инструмента

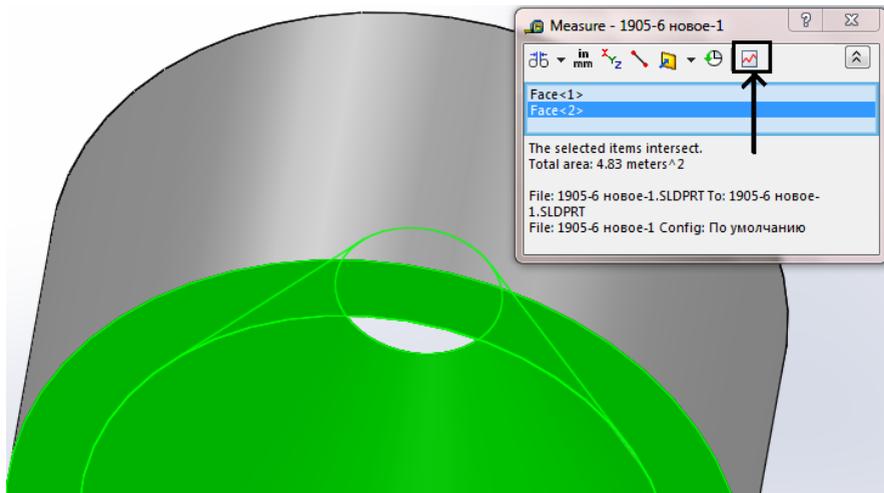


Рис.11 Добавление датчика

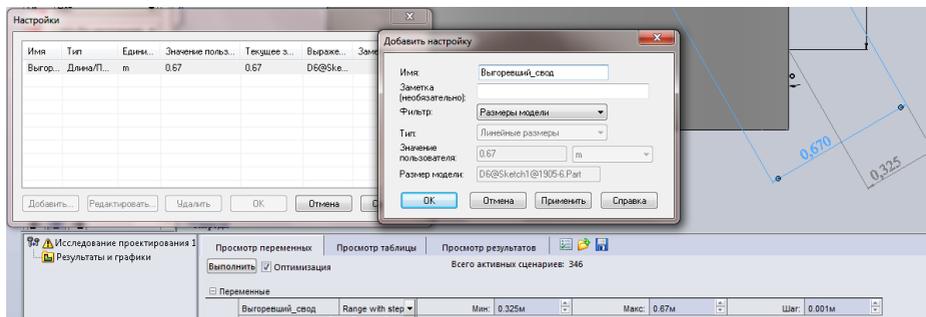


Рис.12 Настройка параметров

Variable View | Table View | Results View

348 of 348 scenarios ran successfully. Design Study Quality: High

	Current	Initial	Optimal (346)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
слой большой	0.325m	0.325m	0.67m	0.325m	0.326m	0.327m	0.328m	0.329m	0.33m	0.331m	0.332m
Измерение1	Is exactly 4.83439	4.231799	4.231799	4.834390	3.836426	3.841842	3.847243	3.852629	3.858000	3.863357	3.868699

Рис.13 Получившиеся результаты

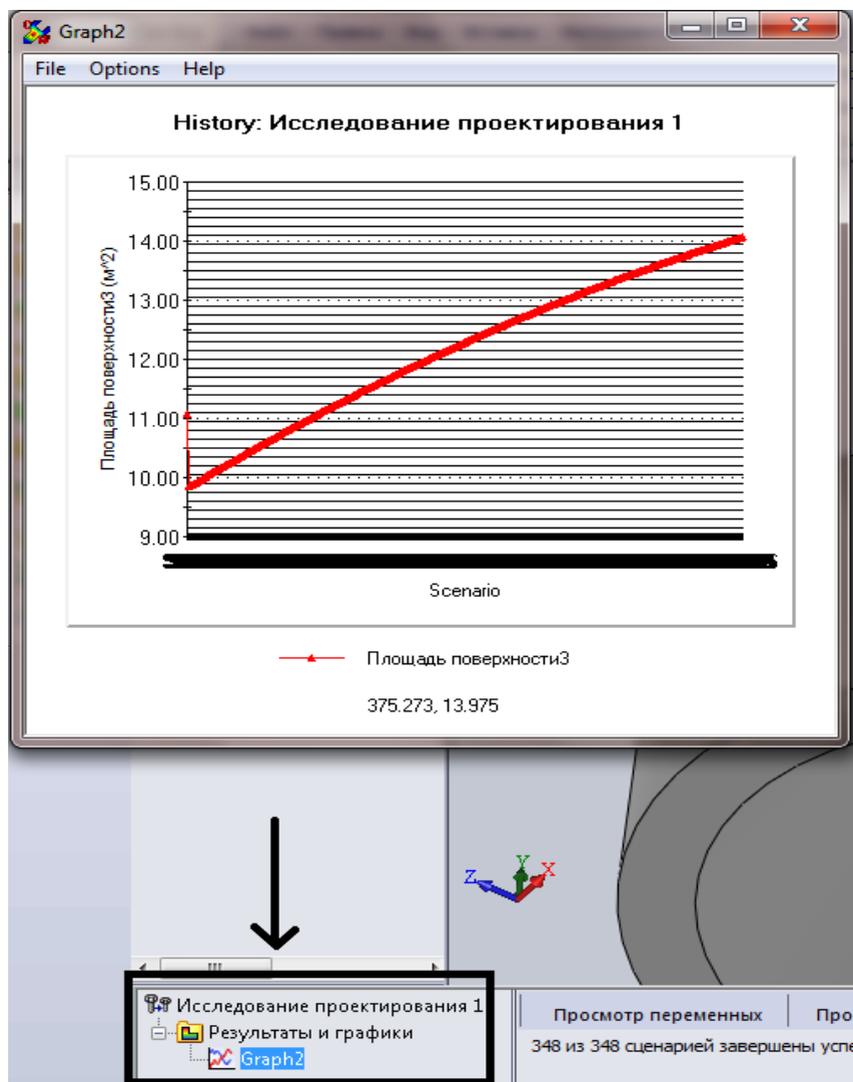


Рис.14 Составленный график

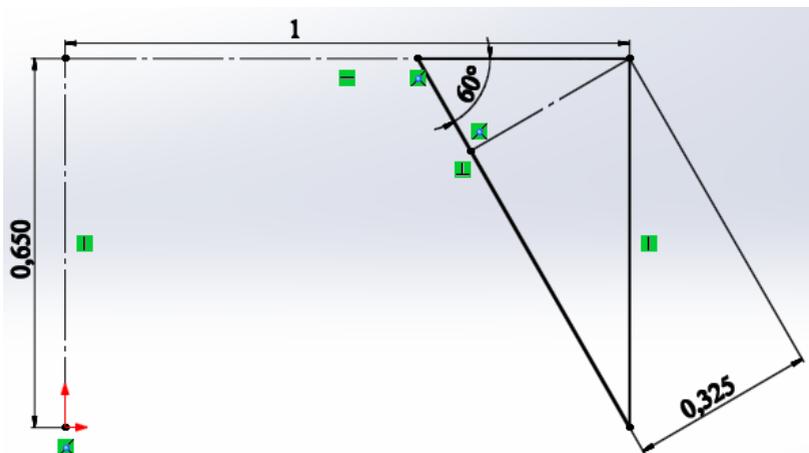


Рис.15 Эскиз 2

Variable View Table View Results View

328 of 328 scenarios ran successfully. Design Study Quality: High

		Current	Initial	Optimal (0)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
е продолжение		0.325m	0.325m	0.325m	0m	0.001m	0.002m	0.003m	0.004m	0.005m	0.006m	0.007m
Измерение1	из exactly 3.831	3.830997	3.830997	3.830997		0.014502	0.028887	0.043456	0.057908	0.072343	0.086761	0.101162

Рис.16 Полученные результаты

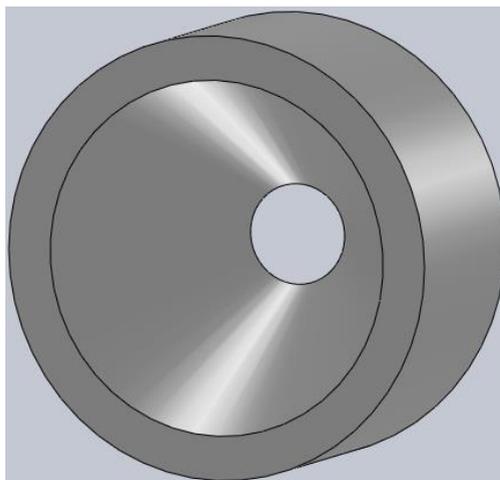


Рис.17 Бобышка 1(от 0.325 до 0.67)

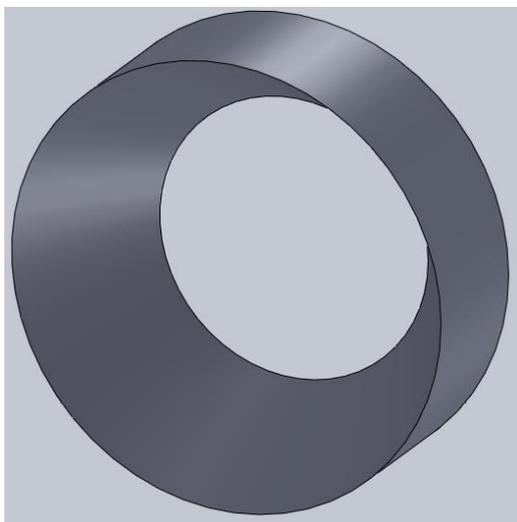


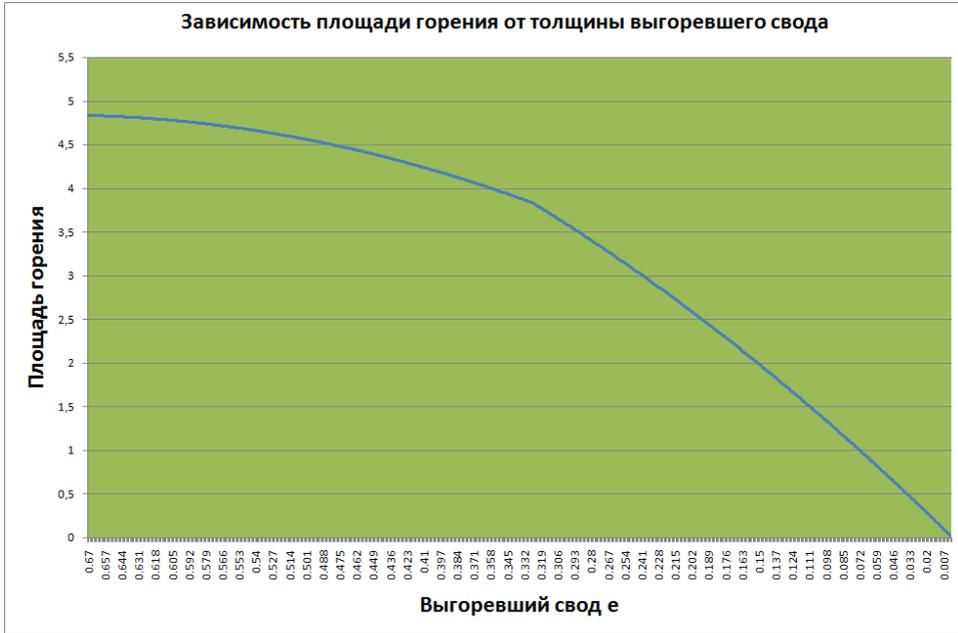
Рис.18 Бабышка 2(от 0 до 0.325)

Графики:

Граф.1 Полученный первым способом



Граф.2 Полученный вторым способом



Исследование теплообмена с целью определения граничных условий и скорости охлаждения для проведения процесса криоконсервации биотканей

Юматов Вячеслав Константинович

г. Подольск, МОУ «Гимназия №7», 11 класс

Научный руководитель:

Шакуров Алексей Валерьевич,

к.т.н., доцент кафедры Э4,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Цель

В данном исследовании была поставлена цель определить среднюю по объему скорость охлаждения образца в процессе криоконсервации.

Постановка задачи

Для проведения такого исследования необходимы экспериментальные данные, поэтому были поставлены задачи:

1) Провести измерение температур в случае охлаждения пробирки с аналогом биологической ткани в низкотемпературной морозильной камере (для образцов с низким (свиное сало) и высоким (желатин) содержанием влаги). В результате должны получиться графики изменения температуры.

2) На основе проведенных экспериментов рассчитать, как отводилась теплота и рассчитать скорость охлаждения.

3) Проанализировать режимы процесса криоконсервации, определить подходят эти условия для криоконсервации или нет (скорость изменения температуры объекта необходимо учитывать для обеспечения безопасной криоконсервации и отогревания).

Введение

В настоящее время все более актуальным становится расширение возможностей криоконсервации. При этом уделяется недостаточно внимания скорости изменения температуры объекта криоконсервации в процессе замораживания.

Холодильные и криогенные технологии широко используются для обеспечения длительного хранения медико-биологических материалов. Первым биоматериалом, в хранении которого возникла потребность, была кровь. В настоящий момент в перечень замораживаемых биоматериалов входят донорские органы и ткани для пересадки, сперма, отдельные клетки различных органов, стволовые клетки и т.д. С середины 1950-х годов проводятся целенаправленные исследования оптимальных температурных уровней хранения, скоростей охлаждения, допустимых колебаний температуры и других параметров охлаждения и хранения. Для каждого биологического материала существует своя оптимальная температура хранения, зависящая от необходимого срока хранения, определяемая экспериментально. Опыты (продолжительностью до 4 лет) показывают, что с понижением уровня температур срок хранения биоматериалов продлевается, однако начиная уже с температуры минус

40 °С срок достаточен для большинства существующих видов биологических материалов. В общем, температурный уровень для краткосрочного хранения (до 4-10 лет) лежит в диапазоне минус 40 ... - 90 °С, для долгосрочного хранения (10 лет и более) – в диапазоне минус 130 ... - 196 °С. Необходимость охлаждения биоматериалов ниже минус 40 °С связана с тем, что при данной температуре значительно возрастает продолжительность сохранности клеток. В то же время при температуре ниже ~ минус 132 °С происходит рекристаллизация молекул воды, в связи с чем температура минус 150 °С, лежащая ниже с достаточным запасом, считается приемлемой для практически бессрочного хранения биоматериалов.

Необходимая скорость охлаждения клеточных культур 0.1...10 градусов в секунду, в зависимости от размера клеток и проницаемости мембраны. Этап предварительного охлаждения длится 4...5 часов, затем контейнеры с биоматериалом помещают в устройство длительного хранения.

Оптимальной может быть как очень низкая скорость замораживания (1...5 °С в минуту), при которой не происходит резкого изменения концентрации веществ в клетках, например, при замораживании растений, так и очень высокая скорость замораживания. Например, для заморозки эритроцитов человека необходимо сверхбыстрое охлаждение (около 100 °С в секунду). При такой скорости происходит безкристаллическое затвердевание крови, и зона кристаллообразования (диапазон температур минус 3...минус 40

°С) не успевает оказать своё вредное влияние на клетки. На практике охлаждение с такой скоростью можно обеспечить только для образцов очень маленького размера.

Основные проблемы криоконсервации.

Главная проблема криоконсервации: деструкция биологических тканей, возникающая из-за образования и роста кристаллов льда при замораживании, рекристаллизации при оттаивании, изменении концентрации растворенных веществ в клетке и во внеклеточном пространстве, возникновение механических напряжений. Можно выделить три этапа деструкции ткани. Во-первых, это разрушение клеток при замораживании вследствие образования кристаллов льда и механического воздействия на мембрану, увеличения их размера вследствие рекристаллизации при оттаивании или из-за роста концентрации электролитов в клетке. Во-вторых, нарушение микроциркуляции крови, проявляющейся через несколько часов/дней после операции. В-третьих, вызванный охлаждением апоптоз.

Актуальность и области применения

Знания скорости изменения температуры будут полезны:

- 1) В хирургии (при ликвидации патологической ткани, а так же при подавлении биохимических процессов в клетках, в том числе стволовых);
- 2) При транспортировке (в настоящий момент в перечень замораживаемых биоматериалов входят донорские органы и ткани для

пересадки, сперма, отдельные клетки различных органов, стволовые клетки и т.д.);

- 3) При испытании лекарственных препаратов;
- 4) Для сохранения генетических ресурсов.

Методы решения, описание эксперимента:

Состав оборудования:

Морозильная камера - замкнутая система с циркулирующим хладогентом. Основными составляющими экспериментального стенда являются: теплоизолированный корпус низкотемпературной камеры, парокompрессионная холодильная машина, комплекс контрольно-измерительной аппаратуры.

Температурные измерения проводились с помощью термометров сопротивления. Термометры сопротивления с кабельными выводами расположены в камере имитации и магистрали подачи газа согласно. В экспериментальной установке используются специально смонтированные датчики температуры с кабельным выводом на базе термометров сопротивления Pt100 Honeywell класса точности А, ГОСТ 6651-2009. Подключение производится по трехпроводной схеме. Данные датчики позволяют держать форму наконечника кабельного вывода, не имеют внешнего корпуса, который вызывает дополнительную погрешность и повышает их инерционность, а также покрыты электроизоляционным лаком для защиты от вредного воздействия и возможной погрешности ввиду электропроводности модельной среды. Диапазон измерений таких датчиков от минус 100 до

450 °С. Габаритные размеры чувствительного элемента в керамическом корпусе не превышают трех миллиметров. Класс допуска А допускает погрешность $\pm (0,15 + 0,002 | t |)$. Клеммами кабельные вводы подсоединены к вторичным преобразователям.

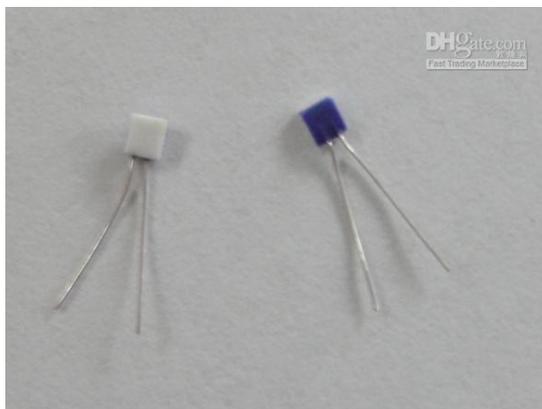


Рис.1 Термометры сопротивления Pt100 Honeywell

Данные от датчиков сопротивления передаются на вторичные преобразователи Овен ТРМ200 , Овен МВ110 , которые преобразуют их в сигнал по сети Modbus RS-485. Преобразователь интерфейсов Овен АС4 передает сигнал на порт USB ноутбука Lenovo G580. Далее данные обрабатываются на OPC-сервере MasterOPC и поступают в SCADA-программу MasterSCADA, где происходит сбор данных и перевод их в формат csv. Данный формат позволяет сохранять табличные данные и автоматически строить графики по всем каналам измерения.

RS-485 – стандарт связи (между вторичными преобразователями и преобразователем интерфейса), на котором в данном случае

используется протокол обмена данными (между вторичными преобразователями и персональным компьютером) Modbus RTU. Параметры подключения по RS-485: 9600 бит в секунду, длина слова 8, четность отсутствует, 1 стоп бит, длина адреса 8, ответ 45 мс, таймаут 600 мс.

Автоматический преобразователь интерфейсов USB/RS-485 ОВЕН АС4 предназначен для взаимного преобразования сигналов интерфейсов USB и RS-485. Он позволяет подключать к промышленной информационной сети RS-485 персональный компьютер, имеющий USB-порт. Таким образом, преобразователь интерфейсов Овен АС4 передает сигнал на порт USB ноутбука Lenovo G580. Электрические соединения между основными системами выполнены разъемными для мобильности и удобства эксплуатации экспериментального стенда.

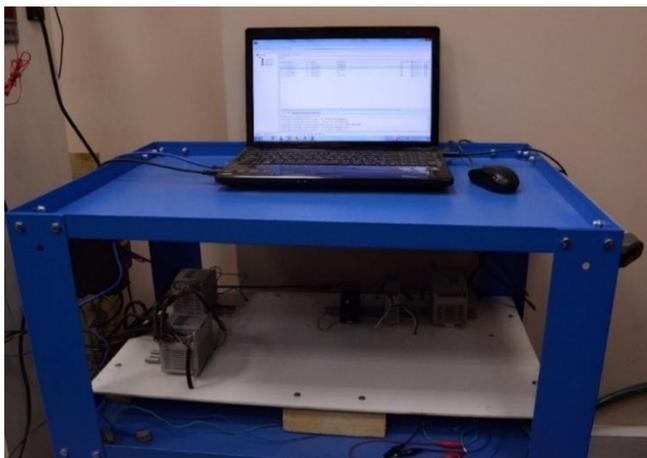


Рис.2 Общий вид блока сбора данных (ноутбук Lenovo G580,

ОВЕН АС4, ОВЕН МВ110-8А)

Для преобразования данных в ПК используется Master OPC server 32 – бесплатный OPC-сервер Modbus RTU/ASCII/TCP на одно рабочее место на 32 тега. OPC сервер – это программный шлюз, который реализует связь между протоколом обмена нижнего уровня (контроллер, приборы) и верхним уровнем - SCADA. Почти все известные SCADA-продукты являются OPC-клиентами.

SCADA-программы предназначены для автоматизации рабочего места оператора. Интерфейс пользователя сформирован в SCADA программе MasterSCADA. Используется бесплатная исполнительная система на 32 точки без ограничений по времени. С его помощью можно эффективно управлять ходом эксперимента, изменять параметры опыта, обрабатывать в ходе эксперимента получаемую информацию на ЭВМ. Данная программа позволяет сохранять данные о значениях температуры во времени с точностью до 1 секунды в цифровом виде. После эксперимента данные сохраняются в удобный для обработки табличный формат csv. Далее их возможно обрабатывать в программах типа MS Excel.

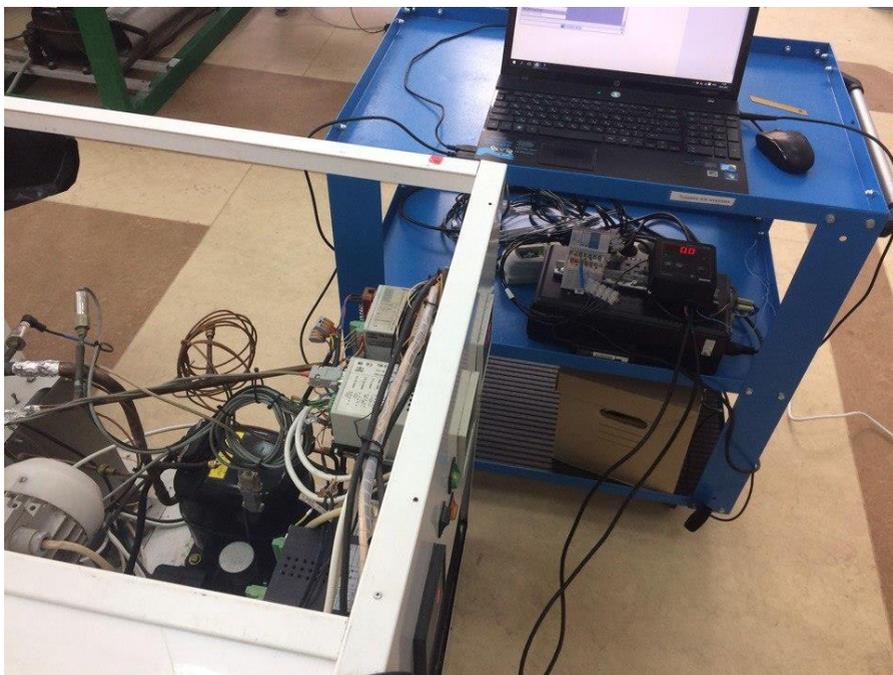


Рис.2 Блок сбора данных (ноутбук Lenovo G580, ОВЕН АС4, ОВЕН МВ110-8А, ТРМ 200)

Эксперимент:

Для двух образцов (желатин 95%, жир) были проведены измерения температуры. Для этого один датчик был установлен на внешней поверхности пробирки, а второй - внутри по центру. С помощью ТРМ200 и программы MasterScada были получены графики изменения температуры в зависимости от времени (Excel).



Рис.3 Измеритель двухканальный TRM 200

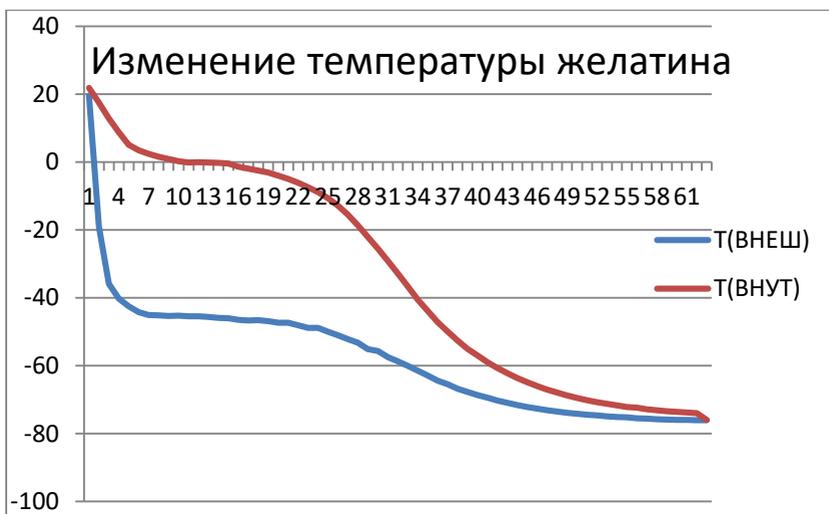


Рис.4 График изменения температуры желатина

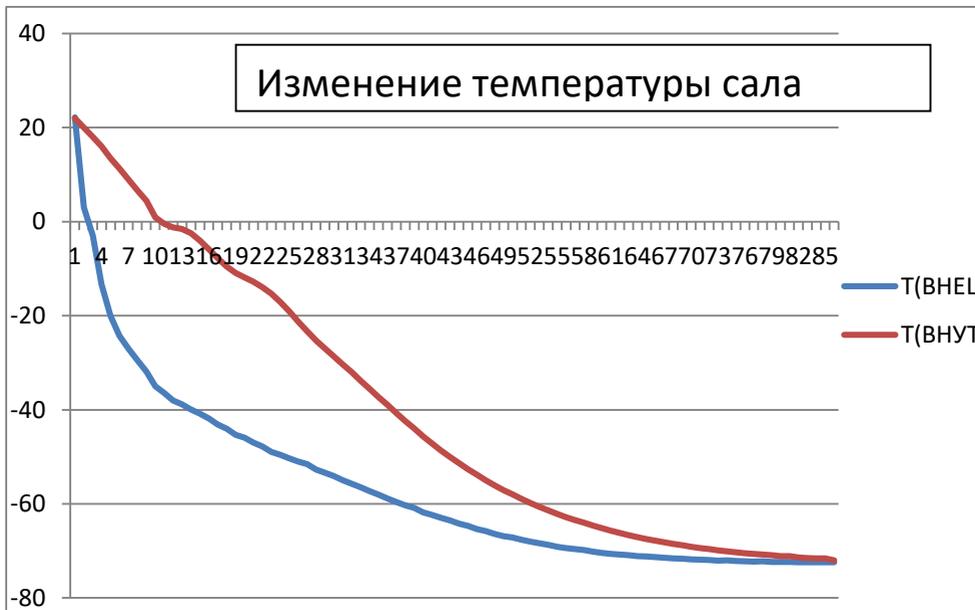


Рис.5 График изменения температуры сала

Расчет

Начальные данные:

$$V_{ж}=50 \text{ мл} = 50 * 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$V_{с}=50 \text{ мл} = 50 * 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$(T_2-T_1)=97 \text{ К}$$

$$\rho_{с}= 0,9 * 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{ж}= 1,3 * 10^3 \text{ кг/м}^3$$

1) Желатин:

$$m= \rho V$$

$$m=1,3 * 10^3 * 50 * 10^{-6} =6,5 * 10^{-2}$$

$$Q=c_{ж}m_{ж}(T_1-T_2)$$

	Температура	Вода Теплоемкость (средняя), кДж/кг*К
Пар	170	1,977
	160	1,980
	150	1,986
	140	1,993
	130	2,004
	120	2,019
	110	2,040
	100	2,074
Вода	90	4,205
	80	4,196
	70	4,188
	60	4,183
	50	4,180
	40	4,179

	30	4,180
	20	4,185
	10	4,195
	0	4,219
Лёд	0	2,110
	-10	2,030
	-20	1,960
	-30	1,880
	-40	1,800
	-50	1,720
	-60	1,650
	-80	1,500
	-100	1,360

Я разбил весь процесс охлаждения на более малые участки и согласно значениям, из таблицы рассчитал кол-во теплоты, поглощаемое на каждом участке. В итоге при охлаждении, желатин выделил 14,86 кДж

2) Сало:

$$m = 4,5 * 10^{-2}$$

$$Q = c_m c (T_1 - T_2)$$

Температура	Жир Теплоемкость (средняя), кДж/кг*К
-120,04	1,180
-110,04	1,205
-100,04	1,306

-90,04	1,393
-80,04	1,512
-70,04	1,593
-60,04	1,650
-50,04	1,696
-40,04	1,698
-30,04	1,805
-20,04	2,140
-15,04	2,524
-10,04	3,221
-7,54	3,722
-5,04	4,417
-2,54	5,722
-0,04	8,512
2,46	9,185
4,96	7,547
7,46	4,729
9,96	3,626
12,46	3,334
14,96	3,163
19,96	3,132
23,46	3,017

Аналогично расчету с желатином я рассчитал и кол-во теплоты, которое выделило сало: 13,15 кДж.

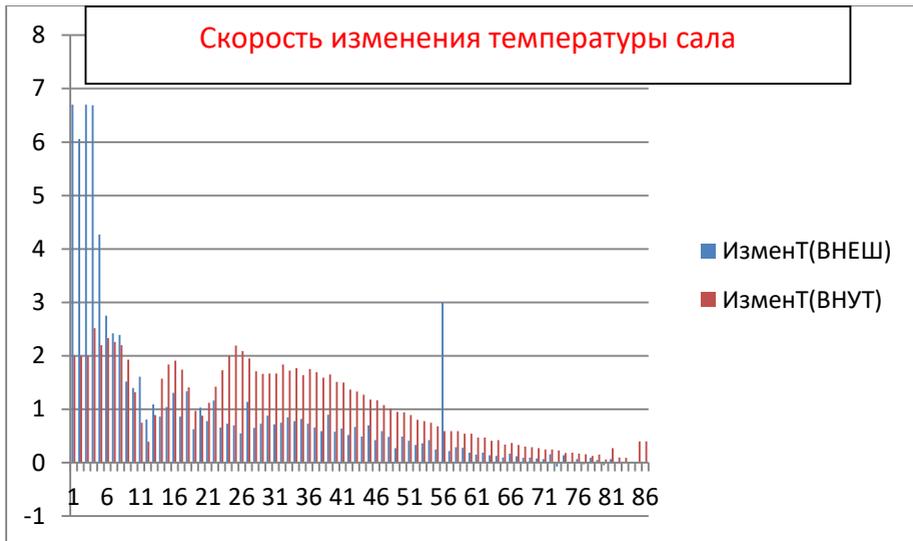


Рис.6 Графики скорости изменения температуры объектов исследования

Скорость изменения температуры:

1) Желатин :	Максимальная (ВНЕШНЯЯ)	38,62
	Средняя ВНЕШНЯЯ)	0,61
	Минимальная (ВНЕШНЯЯ)	0,007
	Максимальная (ВНУТРЕННЯЯ)	4,36
	Средняя (ВНУТРЕННЯЯ)	0,07
	Минимальная (ВНУТРЕННЯЯ)	0,08
2) Сало	Максимальная (ВНЕШНЯЯ)	19,2
	Средняя (ВНЕШНЯЯ)	0,29
	Минимальная (ВНЕШНЯЯ)	0,01
	Максимальная (ВНУТРЕННЯЯ)	2,52
	Средняя (ВНУТРЕННЯЯ)	0,04
	Минимальная (ВНУТРЕННЯЯ)	0,009

Вывод:

В данном исследовании проведено измерение температур в случае охлаждения пробирки с аналогом биологической ткани в низкотемпературной морозильной камере (для образцов с низким и высоким содержанием влаги). Определена средняя скорость охлаждения образцов в процессе криоконсервации (внутри средняя скорость охлаждения составила 0,04 °C\сек, высоким 0,07 °C\сек). Анализ процесса показал, что для образца с низким влагосодержанием эксперимент был проведен при режиме охлаждения при постоянной температуре окружающей среды, в данном случае скорость охлаждения в среднем близка к минимально разрешенной.

Эксперимент с образцом с высоким влагосодержанием был проведен в условиях с переменной температурой окружающей среды (процесс захлаживания морозильника), этим обусловлено искривление графика изменения температуры от времени и снижение интенсивности охлаждения, на практике таких ситуаций следует избегать. Средняя скорость в данном случае выше, чем в первом. Это обусловлено разницей теплофизических свойств образцов.

Список литературы:

1. Будрик В.В. Физические основы криометодов в медицине. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 130 с.
2. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. Москва: САЙНС-ПРЕСС, 2011. 304 с.
3. Zhmakin A.I. Physical aspects of cryobiology // Physics-Uspekhi, Vol. 51, No. 3, 2008. pp. 231-252.
4. Холод и жизнь Научно-популярная литература. Худ. Е. Шабельник. Филиппович Э.Г. М. Агропромиздат

СЕКЦИЯ IX. Автоматизация, робототехника и механика

Робот-тестер для тестирования светодиодной продукции

Дмитриев Олег Ильич

г. Москва, ГБОУ «Лицей №1581», 11 класс

Научный руководитель:

Гаврюшин Сергей Сергеевич,

д.т.н., профессор кафедры РК9,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Постановка проблемы

Производство светодиодов – сложный процесс, состоящий из нескольких этапов, самым важным из которых является тестирование светодиодного кристалла. В отечественном производстве светодиодов наблюдается огромный дефицит оборудования для автоматизированного тестирования светодиодных компонентов, и тестирование светодиодных кристаллов производится вручную большим количеством высококвалифицированных работников. Тестирование светодиодов посредством ручного труда занимает много времени, тормозит производство и создает постоянные дополнительные расходы, связанные с работой коллектива и влияющие на себестоимость кристалла. Необходимо создать макет робота-тестера для автоматизации процесса тестирования светодиодных кристаллов, светодиодов и светодиодных матриц.

Актуальность решаемой проблемы

Светодиодные источники света – это самые эффективные источники преобразования электромагнитной энергии в световую. На сегодняшний день КПД светодиодов может составлять 65% (КПД лампы накаливания 7%), срок службы светодиодных источников составляет 70-100 тыс. часов непрерывного свечения. Светодиодные источники света экологически безопасны и при равных световых потоках потребляют в 10-15 раз меньше электроэнергии, чем традиционные источники освещения (лампы накаливания, люминесцентные лампы). Светодиоды превосходят традиционные источники света по всем светотехническим и оптическим параметрам, но, вместе с этим, затраты на производство светодиодов значительно больше затрат на изготовление традиционных источников света. Так как сегодня на мировом рынке полупроводниковой продукции растет спрос на светодиодные источники света, то уменьшение себестоимости становится актуальной проблемой полупроводниковой промышленности.

Поскольку за рубежом фирмы – производители светодиодов изготавливают подобные тестеры самостоятельно и не распространяют документацию на производство данных роботов, то возникла идея создать отечественный макет робота-тестера. Несомненным достоинством предлагаемой конструкции тестера является компактность и стоимость на порядок дешевле зарубежных аналогов, к

примеру стоимость подобного тестера фирмы OSRAM составляет 350-400 тыс.евро.

Процесс производства светодиода

Все этапы производства светодиода выполняются последовательно соответствующими роботами, находящимися на одном конвейерном потоке.

Создание светодиода состоит из нескольких этапов:

(Строение светодиода представлено на рис.2, процесс производства светодиода иллюстрирован на рис.18)

- ***Изготовление полупроводниковой пластины методом газовой эпитаксии.***

Напыление тонких пленок индия(In) и нитрид галлия (GaN) на карбид-кремниевую (SiC) подложку (рис.1.1/1.2). Пропорция и состав веществ, напыляемых на карбид-кремниевую подложку, влияют на характеристики будущего светодиода (энергия светового потока, цвет, доминантная длина волны излучения). Напыление происходит в специальном реакторе при высоком вакууме и мощном электрическом поле. В результате напыления на 8-12 дюймовой пластине получается 10 – 30 тыс. однотипных кристаллов, размерами не более 1 мм. Кристалл имеет две контактные площадки размером 30-80 мкр каждая.

- ***Скрайбирование*** (разделения полупроводниковых пластины на отдельные кристаллы).

Нанесение на оборотную сторону пластины ленты и надрезание в пластине канавок, глубиной равной $\frac{3}{4}$ толщины пластины. В этом процессе применяется дисковая пила, работающая в струе дистиллированной воды.

Далее, пластина вставляется в специальные пальцы и растягивается до тех пор, пока целостность полупроводниковой пластины не нарушится и кристаллы не разделятся на отдельные элементы (кристаллы остаются на липкой пленке).

- ***Первичный осмотр пластины в лаборатории.***

После изготовления светодиодных кристаллов, лаборатория проводит выборочные испытания на высокоточном метрологическом оборудовании и приклеивает на оборотную сторону пластины ее персональный штрих-код. При сканировании роботом-тестером штрих-кода, в таблицу, созданную для партии исследуемых кристаллов, заносятся эталонные значения тестируемых параметров. Эти значения поступают от заказчика. Сравнивая значения, полученные в ходе тестирования с эталонными значениями, дается оценка качества светодиодного кристалла.

- ***Тестирование.***

Особенностью светодиодных источников света является разброс светотехнических параметров (рис.14.1/14.2). На этом этапе при помощи робота-тестера происходит испытание каждого полученного кристалла. Сначала, сканер штрих-кодов, установленный на робот-тестер (рис.8), анализирует штрих-код, прикрепленный к задней

поверхности пластины, и заносит эталонные значения в Excel таблицу данной партии кристаллов. После этого робот-тестер подводит электроды к контактным площадкам и подает на них контрольный ток. При этом кристалл начинает светиться, происходит измерение следующих параметров: **энергии светового потока, доминантной длины волны излучения, координат цветности, прямого падения напряжения на кристалле** при заданном токе. Далее, происходит сравнение полученных результатов измерений с эталонными и оценка качества кристалла как: “**годен**” / “**условно годен**” / “**не годен**” (в случае, если кристалл не удовлетворяет всем требованиям заказчика, но и не является бракованным, ему присваивается статус “**условно годен**”, и он отправляется на дальнейшие этапы производства и продается по более низкой цене). После этого в память компьютера заносятся результаты измерений кристаллов.

- ***Сортировка.***

Робот-сортировщик с помощью вакуумной присоски отделяет кристаллы от липкой основы и сортирует их согласно степени годности кристалла.

- ***Корпусирование и заливка иммерсионной среды и люминофора.***

Если кристалл годен или условно годен, то он отправляется на данный этап производства, на котором специальный робот монтирует кристалл в прозрачный корпус (рис.3), и пространство между кристаллом и корпусом заливается иммерсионной средой для того,

чтобы исключить влияние воздушной среды, находящейся между кристаллом и оптикой корпуса, на проходящий луч (абсолютный показатель преломления среды близок к абсолютному показателю преломления корпуса светодиода). Если нам необходимо создать белый светодиод, то мы покрываем синий кристалл люминофором. (т.к. белых светоизлучающих кристаллов не существует). Далее, заготовка отправляется в вакуумную печь для полимеризации иммерсионного компаунда. После этого процесса мы получаем готовый светодиод.

- **Стенд термо-токовой тренировки.**

Проверка работоспособности светодиодов при экстремальных условиях (температура порядка 50-60 градусов и при максимальном токе) на протяжении 24 часов. Стоит отметить, что данный этап в производстве светодиодов применим только к ответственным изделиям, к которым предъявляются высокие требования.

- **Склад.**

Годные и условно годные светодиоды отправляются на склад.

Процесс тестирования

На этом этапе, как ранее упоминалось, происходит измерение следующих параметров: **энергии светового потока, доминантной длины волны излучения, координат цветности, прямого падения напряжения на кристалле** при заданном токе. После этого полученные результаты измерений сравниваются с эталонными и кристаллу присваивается статус: **“годен” / “условно годен” / “не**

годен”. Так как измерение светотехнических параметров кристалла очень ответственная процедура, требующая высокой точности измерительных приборов и малой погрешности, вызванной воздействием окружающей среды, то оценку качества кристалла необходимо проводить в “темной” комнате при максимальной степени очистки воздуха.

Чтобы удешевить конструкцию робота-тестера и сделать процесс тестирования быстрее и проще, было принято решение заменить методику количественного измерения светотехнических параметров (в конкретных единицах измерения) на методику качественного измерения с использованием эталонов (сравнение текущих показаний с эталонными). Суть замены одной методики на другую заключается в том, что нам не обязательно устанавливать на робот-тестер дорогое высокоточное метрологическое оборудование, так как нам не важен результат в каких – либо определенных единицах измерения, единственный важный параметр для нашего оборудования - это линейность во всех диапазонах измерений. Для оценки годности светотехнических параметров кристалла нам достаточно сравнить энергетические потоки, излучаемые эталонным и исследуемым кристаллом и по их разности дать оценку качества исследуемого светодиодного кристалла. Более того, так как измерения оптических параметров эталонного и исследуемого кристалла будут проходить в равных условиях (одинаковая загрязненность среды, одинаковая влажность и температура окружающего воздуха), то погрешность,

вносимая действием окружающей среды, не окажет никакого влияния на качество измерений.

Если же нам необходимо провести количественные измерения (получить результат в определенных физических единицах измерения), то мы можем сравнить результат, полученный в ходе тестирования роботом – тестером, с результатом, полученным в лаборатории на специальном метрологическом оборудовании (при сопоставимости спектров излучения кристаллов). Сравнивая результаты, необходимо вычислить коэффициент погрешности, вносимый средой, в которой функционирует робот, и при дальнейших измерениях умножать полученные результаты на вычисленный коэффициент. Этот коэффициент будет постоянным, потому что условия в которых робот-тестер исследует светодиодные кристаллы остаются неизменными. Данная система значительно удешевляет стоимость тестера и ускоряет процедуру тестирования.

После того как пластина со светодиодными кристаллами прошла этап скрайбирования, она поступает на рабочий стол робота - тестера. Последовательность обработки робота-тестера такова:

(Для наглядности последовательность обработки робота-тестера представлена на рис. 16)

1) Создание и заполнение WordExcel таблицы.

На компьютере, синхронизированном с роботом-тестером, в WordExcel создается таблица количеством строк, равным количеству кристаллов и количеством столбцов, равным количеству измеряемых

параметров (энергии светового потока, доминантной длины волны излучения, координат цветности, прямого падения напряжения на кристалле) и столбец оценки годности кристалла. В эту таблицу вносятся все данные, полученные в результате тестирования светодиодной пластины с кристаллами. Каждая строка соответствует порядковому номеру светодиодного кристалла, и все данные, полученные в результате испытаний *n*-ого кристалла полупроводниковой пластины заносятся в *n*-ую строку в соответствующие столбцы.

Эта таблица является отчетом о качестве изготовленной партии кристаллов.

2) Определение расстояния между контактными площадками с помощью программы Cuga (рис.4.1/4.2/4.3).

На этом этапе, камера, установленная в робот-тестер, делает снимок пластины с кристаллами и отправляет изображение на компьютер в программу Cuga. Cuga строит модель светодиодной пластины с кристаллами и производит процесс распознавания геометрических примитивов модели пластины и анализ цветового контраста, полученного изображения. Так как контактные площадки имеют золотистый цвет и характерную форму (рис.5), присущую каждому типу кристалла (на пластине все кристаллы однотипные), то Cuga может определить местоположение каждой контактной площадки и расстояние между двумя соседними контактными площадками, относящимися к одному кристаллу, к которым в дальнейшем будут

подведены щупы – электроды для подачи тока на полупроводник. Таким образом, Сига исследует светодиодную пластину с кристаллами и возвращает в компьютер информацию о местоположении каждого кристалла на исследуемой пластине.

3) Подведение щупов-электродов к контактным площадкам кристалла.

На подвижной части робота-тестера установлен модуль щупов-электродов (рис.6). Так как расстояние между контактными площадками может меняться в зависимости от типов кристаллов, то целесообразно сделать этот модуль сменным и под разные типы светодиодных кристаллов устанавливать разные типы щупов-электродов. Сами электроды подпружинены, поэтому, в случае неверного вычисления расстояния от подвижной части робота-тестера до контактных площадок кристалла, разрушение исследуемого образца не произойдет.

4) Подача тока на контактные площадки кристалла и исследование кристалла.

Так как щупы-электроды подключены к прецизионному блоку питания, то через них к кристаллу подводится контрольный ток. На блоке питания отображается величина прямого падения напряжения на светодиодном кристалле, и это значение заносится в Excel таблицу. Как говорилось ранее, значение поступает в определенную строку, равную порядковому номеру кристалла, в соответствующий столбец, отвечающий за измеряемый параметр. После занесения величины

падения напряжения в таблицу, сенсор спектрофотометра, установленный на подвижной части робота-тестера, регистрирует **энергию светового потока и другие светотехнические параметры**, излучаемые светящимся кристаллом(рис.7). После измерения светотехнических параметров, программа, связывающая спектрофотометр с компьютером, отправляет данные об измерении в таблицу Excel. Когда все светотехнические и электрические параметры исследованы и занесены в таблицу, программа Excel производит сравнение полученных результатов с эталонными и, согласно допустимому разбросу значений исследуемых параметров, заполняет колонку годности кристалла как: “**годен**” / “**условно годен**” / “**не годен**”.

После этого щупы-электроды робота-тестера позиционируются относительно контактных площадок следующего кристалла, WordExcel переводит курсор на следующую строку и цикл исследования полупроводникового кристалла повторяется.

Устройство макета робота-тестера

Уникальность данного макета заключается в том, что он не создавался с нуля. Для отработки процесса позиционирования щупов-электродов относительно контактных площадок кристалла не пришлось изобретать агрегат, который мог бы перемещаться в трех направлениях (x, y, z-координаты). Чтобы выполнить эту задачу был взят готовый 3D-принтер дельтовидной конструкции (рис.9), в котором

каретка с нагревательным элементом и соплом для подачи пластика была заменена на самодельную каретку с модулем щупов-электродов, подключенных к блоку питания (рис.6/рис.10).

Поскольку демонстрация реальных функциональных возможностей робота-тестера в реальном масштабе требует полноценного машинного зрения, то была принята концепция увеличения масштаба исследуемой полупроводниковой пластины в 10 раз (рис.7/рис.13). Тем не менее, механические возможности робота позволяют исследовать реальные светодиодные кристаллы.

Таким образом, макет робота-тестера состоит из следующих узлов:

1) Дельта-манипулятор, с установленными на него нижеперечисленными сенсорами (рис.9).

2) Подвижная каретка, с закрепленными на ней щупами электродами и сенсором спектрофотометра (рис.6).

3) Спектрофотометр, состоящий из двух частей: светочувствительного сенсора (установленного на подвижную каретку) и блока обработки аналого-цифрового значения энергии светового потока и других светотехнических параметров (смонтирован на стойку манипулятора) (рис.11/рис.6).

4) Видеокамера как элемент машинного зрения(рис.12).

5) Прецизионный программируемый источник тока-напряжения для исследования прямого падения напряжения на p-n переходе кристалла при контрольном токе (рис.10).

6) Макет исследуемой пластины с кристаллами (рис.13/рис.7).

7) РС (рис.9).

8) USB hub для подключения манипулятора и всех сенсоров к компьютеру (рис.10).

9) Сканер штрих-кодов (рис.8).

10) Набор эталонных светодиодов (рис.17.1-17.4).

Алгоритм работы макета робота – тестера

Стоит отметить, что в моем макете робота – тестера не организовано обнаружение контактных площадок посредством машинного зрения, так как для моего уровня знаний это очень сложная задача. Поэтому позиционирование каретки робота-тестера относительно контактных площадок кристалла происходит согласно заранее изученным координатам каждого кристалла.

Последовательность действий моего макета робота-тестера при исследовании светодиодного кристалла:

1) Подведение щупов-электродов к контактным площадкам светодиодного кристалла.

2) Подведение тока к контактным площадкам кристалла и снятие светотехнических и электрических параметров.

Передача результатов исследования кристалла в компьютер и занесение в Excel посредством MacroMaker.

Сравнение полученных результатов с эталонными и сортировка кристаллов по группам пригодности, выявление брака (в Excel).

Программно-аппаратный комплекс

Программы, задействованные в работе робота-тестера:

Pronterface – программа управления движением каретки 3D-принтера. WordExcel – программа, в которой хранятся координаты кристаллов на полупроводниковой пластине. Также в этой программе происходит оценка годности светодиодных кристаллов.

LABPS305D – программа, организующая обмен данными между цифровым блоком питания и компьютером.

UT382 Ver.2.00 – программа, организующая обмен данными между цифровым спектрофотометром и компьютером.

MacroMaker – программа, связывающая все программные компоненты в единую последовательную цепочку посредством их внутреннего интерфейса.

Последовательность отработки программно-аппаратного комплекса представлена на рис.15.

В работе робота-тестера используется множество программ. Чтобы связать их между собой и организовать определенную последовательность отработки каждой из программ, было принято

решение использовать MacroMaker - программный продукт, имитирующий движение курсора по экрану компьютера.

Фрагмент кода, отвечающего за позиционирование каретки относительно исследуемой пластины:

SET FOREGROUND [Pronterface]	активация окна Pronterface
DELAY 3000 millisecond[s]	задержка
MOVE MOUSE POINTER [AB:8271,25343]	Перемещение указателя мыши (калибровка)
DELAY 1000 millisecond[s]	задержка
LEFT BUTTON DOWN	левая кнопка мыши нажать
LEFT BUTTON UP	левая кнопка мыши отпустить
DELAY 5000 millisecond[s]	задержка
MOVE MOUSE POINTER [AB:57727,80244]	перемещение указателя мыши командная строка
DELAY 1000 millisecond[s]	задержка
LEFT BUTTON DOWN	левая кнопка мыши нажать
LEFT BUTTON UP	левая кнопка мыши отпустить
DELAY 1000 millisecond[s]	задержка
SEND KEYS /g1 x0 y0 z 60/	ввод команды для принтера
DELAY 1000 millisecond[s]	задержка
RETURN [Down]	- ввод нажать
RETURN [Up]	ввод отпустить

DELAY 3000 millisecond[s]	задержка
BACKSPACE [Down]	очистить слева нажать
BACKSPACE [Up]	очистить слева отпустить
SET FOCUS [Microsoft Excel - Formular.xls]	Активация окна Excel
SET FOREGROUND [Microsoft Excel - Formulatl.xls]	Проверка активности окна
DELAY 500 millisecond[s]	задержка
CTRL [Down]	Активация макроса EXCEL qQ
[Down]	для перемещения курсора qQ
[Up]	в ячейку с координатами
CTRL [Up]	первого кристалла
DELAY 500 millisecond[s]	задержка
CTRL [Down]	Копирование команды для сС
[Down]	принтера в буфер обмена
сС [Up]	
CTRL [Up]	

Весь программный код разбит на четыре элементарных модуля:

- Модуль запуска набора программ, участвующих в снятии и анализе показаний.
- Модуль калибровки и вывода щупа манипулятора в стартовую позицию.
- Модуль снятия показаний и внесения в формуляр.

- Модуль парковки щупа в позицию для замены пластины и штатной парковки при выключении.

Инновации

В этой части своей работы я хотел бы еще раз отметить новшества, присутствующие в моей научно-исследовательской работе.

1) Тематика проекта.

Поскольку светодиодные источники освещения получили свое распространение совсем недавно, то все работы, связанные с тестированием светодиода, еще не автоматизированы и проводятся вручную большим количеством

высококвалифицированных специалистов. Следовательно, любая автоматизация этого процесса является инновацией в этой области.

2) Замена методики количественных измерений на методику качественных измерений с использованием эталонов в области светотехнических параметров.

Суть этой инновации описана в разделе “Процесс тестирования”. Благодаря данному новшеству, оценка качества кристаллов может проводиться в разы быстрее и не требовать высокой количественной точности, а, следовательно, и высокой стоимости оборудования, установленного на робот-тестер. Также, благодаря этой методике, измерения могут проводиться не в идеальных условиях, так как при сравнении параметров тестируемого кристалла с параметрами

эталонного кристалла погрешность среды одинакова в обоих случаях и на результат сравнения не влияет.

3) Использование модернизированного 3D-принтера в качестве установки для позиционирования щупов-электродов относительно контактных площадок светодиодного кристалла.

Это решение значительно удешевило тестер-комплекс и сделало его более компактным.

4) Использование программы MacroMaker как связующее звено всех программных компонентов робота-тестера.

Благодаря этой идее, не пришлось писать программное обеспечение для всего робота – тестера с нуля. Также удалось обойтись без вмешательств в авторские права каждого программного компонента, потому что использование MacroMaker аналогично работе человека с интерфейсом каждой программы.

5) Тестирование с помощью сменного модуля щупов-электродов.

Это самый оптимальный вариант для тестирования светоизлучающих кристаллов с разным расстоянием между контактными площадками. Создавать модуль щупов-электродов, который может менять расстояние между щупами-электродами нецелесообразно по причине высокой стоимости и сложности создания подобного модуля.

Недостатки моего макета робота-тестера.

1) В моем макете робота-тестера производится исследование определенной пластины с кристаллами, робот опускает щупы – электроды на заранее заданные ему координаты. Поскольку на производстве типы светодиодных пластин с кристаллами могут меняться, то необходимо создать алгоритм поиска контактных площадок кристалла посредством машинного зрения.

2) Из-за упрощенной конструкции отсутствует возможность встраивания робота-тестера в конвейерный поток.

3) Низкая скорость тестирования из-за необходимости визуальной демонстрации технологии исследования светодиодной пластины.

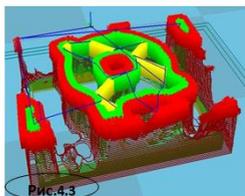
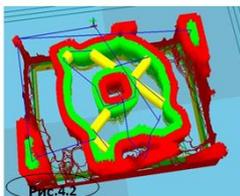
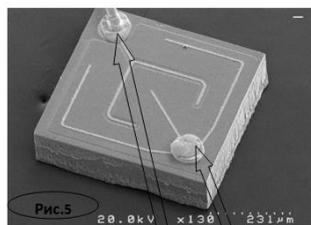
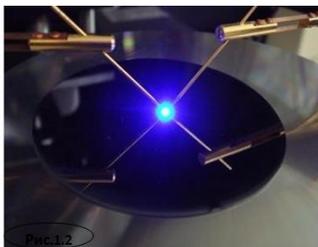
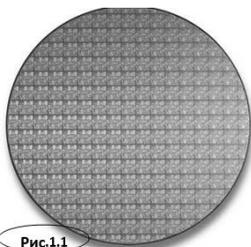
Анализ полученных результатов.

Полученные результаты дают уверенность в том, что используемая технология тестирования полупроводниковых кристаллов выбрана успешно и может быть внедрена в реальное производство светодиодов. В результате использования робота-тестера в производстве полупроводниковой продукции, значительно снизится себестоимость светодиодов, уменьшится риск брака, высвободится коллектив высококвалифицированных инженеров.

Список литературы

- 1) "Светодиоды", Ф.Е. Шуберт, Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2008 год.
- 2) <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B4>
- 3) http://duray.ru/customers/articles/detail.php?ELEMENT_ID=69

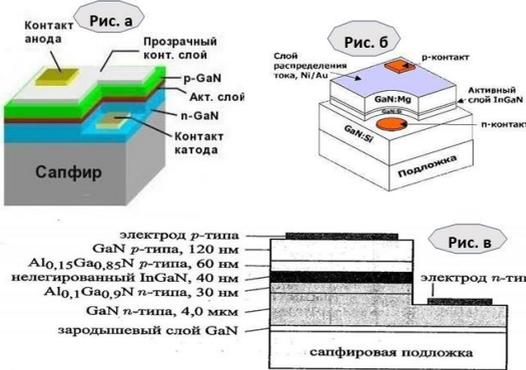
Приложения



Контактные
площадки
светодиодного
кристалла.

Рис.2

Строение двухвыводного полупроводникового кристалла



(Рис. а) Строение двухвыводного полупроводникового кристалла с сапфировой подложкой (подложка прозрачная).

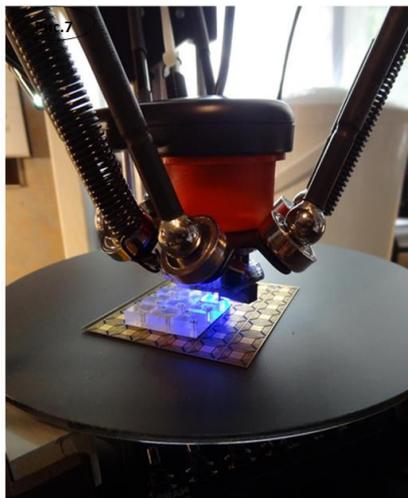
(Рис. б) Строение двухвыводного полупроводникового кристалла с карбид-кремниевой подложкой (подложка непрозрачная).

(Рис. в) Типовые толщины эпитаксиальных слоев.

Рис.3

Типы корпусов светодиодов





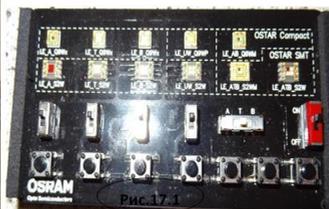


Рис.15

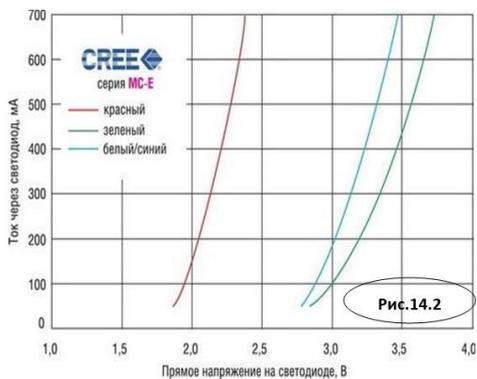
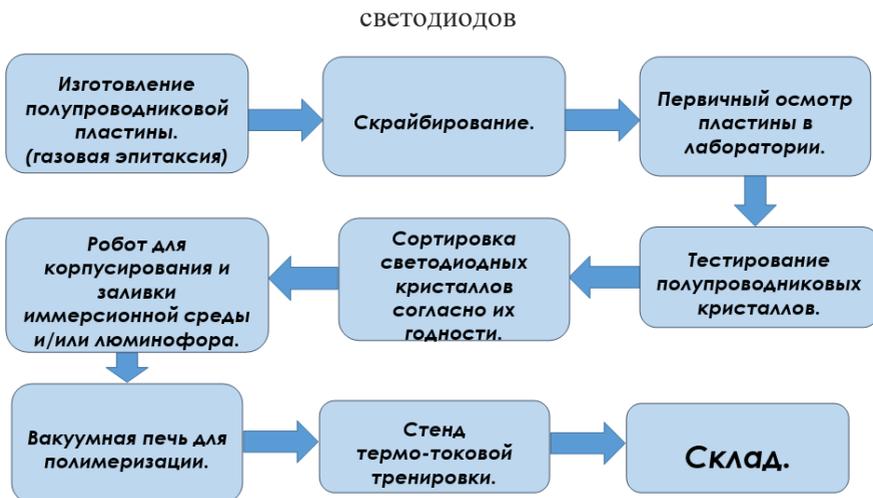




Рис. 18. Технологическая цепочка производственного цикла



СЕКЦИЯ XII. Конструкторская

Исследование основных принципов технологической логистики

Звездин Максим Дмитриевич

г. Москва, ГБОУ «СОШ №2107», 11 класс

Научный руководитель:

Юренкова Любовь Романовна,

к.т.н., доцент кафедры РК1,

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Постановка задачи

В проекте приведено исследование технологической логистики на примере работы на примере предприятия ООКАНПРО РОССИЯ.

Для решения поставленной задачи следовало:

- познакомиться с теорией современной логистики;
- посетить современное предприятие и получить консультацию у специалистов по технологической логистике.

1. Проблемы современной технологической логистики

Технологическая логистика включает в себя вопросы снабжения, основного производства, транспортных и сбытовых операций, от оптимального сочетания которых зависит успешная работа предприятия. Помимо высокого уровня профессионализма в

этой области деятельности, необходимо иметь развитое пространственное мышление, зависящее от геометрической образованности, прежде всего, руководителей любого уровня.

В проекте основное внимание уделено исследованию влияния геометрической составляющей на уровень технологической логистики конкретного предприятия.

Технологическая логистика представляет собой совокупность технических средств, которые обеспечивают движение потока материалов, и расположение производственных участков и складов (накопителей), и обеспечение устойчивых связей, представляет собой форму организации движения материальных потоков.

Логистика изучает сложные динамические производственно-коммерческие комплексы, осуществляющие деятельность в области снабжения, основного производства, транспортных и сбытовых операций.

Логистика как научная дисциплина исследует общие свойства, законы и закономерности создания логистических систем.

Логистическая система представляет собой адаптивную систему с обратной связью, выполняющую те или иные логистические функции. Она, как правило, состоит из нескольких подсистем и имеет развитые связи с внешней средой (схема на рис.1).

Совокупность технических средств, которая создает возможность потока материалов, и расположение производственных участков и складов (накопителей) по отношению к ней, выраженное

системой устойчивых связей, представляет собой форму организации движения материальных потоков:

- Накопительная форма;
- Транспортно-накопительная форма;
- Форма организации нулевого запаса.



Канпро

Производство грузоподъемного
оборудования
20 лет на рынке

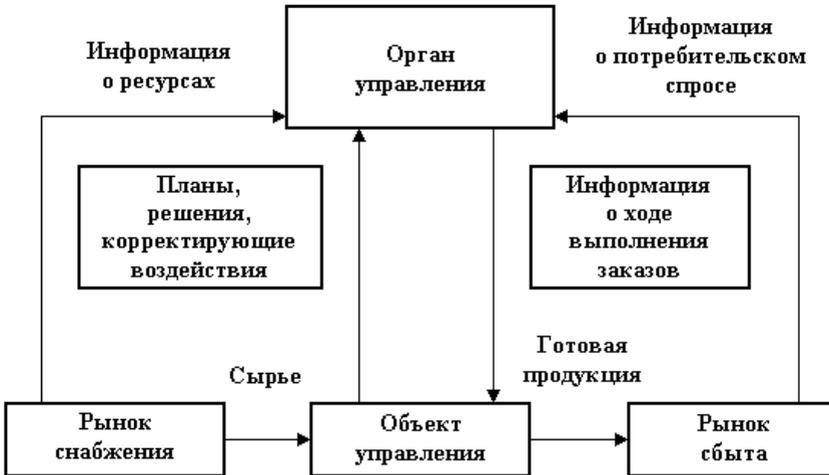
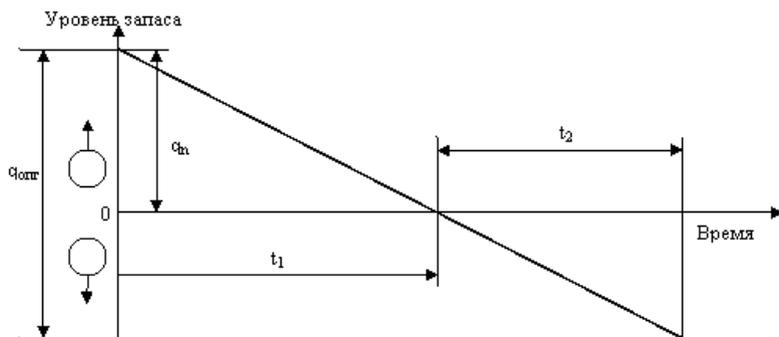
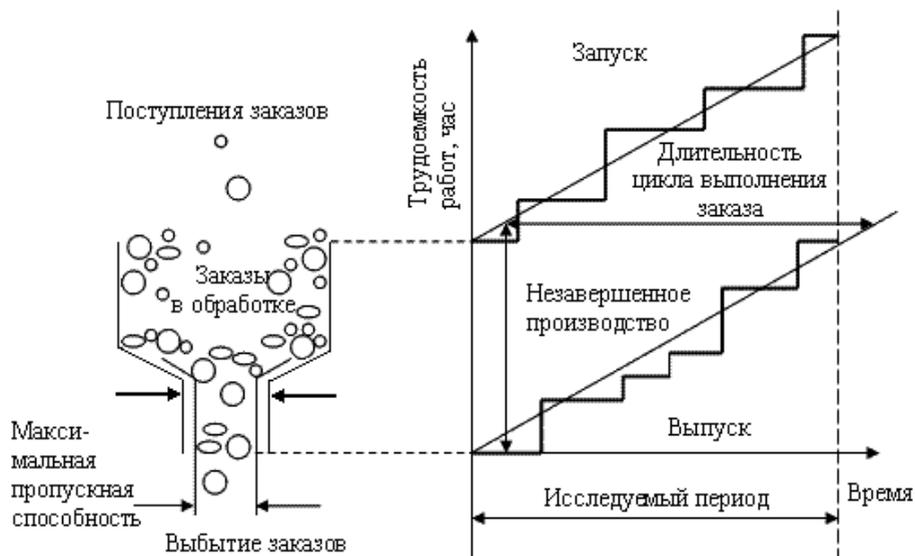


Рис.1. Схема логистического управления предприятием

2. Основные задачи технологической логистики

- обеспечение непрерывности процесса производства;
- выполнение полученных заказов по ассортименту и качеству;
- обеспечение непрерывности процесса производства;
- Выполнение полученных заказов по ассортименту и качеству;
- приспособление производства к меняющемуся спросу;
- минимизация затрат на производство; приспособление производства к меняющемуся спросу;
- снижение уровня запасов готовой продукции.



3. Направление работы по реализации целей логистического процесса

Главная цель логистики – обеспечить своевременное поступление материального потока в необходимом количестве в нужное место с минимальными издержками (схема на рис.2).

Для реализация логистического процесса необходимо следующее:

- организация транспортирования материалов в процессе производства;
- организация доставки материалов к рабочим местам;
- управление материальным потоком в производстве;
- управление запасами материалов в производстве.

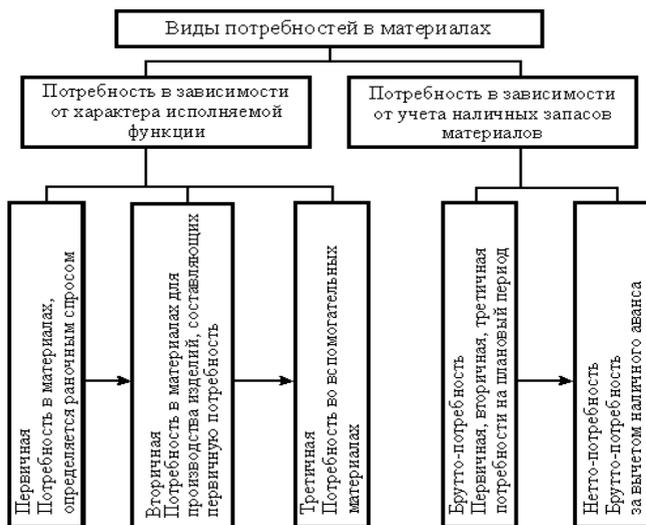


Рис.2. Составляющие логистического процесса

Совокупность технических средств, которая создает возможность потока материалов, и расположение производственных участков и складов (накопителей) по отношению к ней, выраженное системой устойчивых связей, представляет собой форму организации движения материальных потоков:

- Накопительная форма;
- Транспортно-накопительная форма;
- Форма организации нулевого запаса.

Управление запасами



Практическая реализация концепции управления материальными потоками связана с оптимизацией объемов совокупных запасов. Основная часть запасов на предприятии представляет собой предметы производства, входящие в материальный поток на различных стадиях его технологической переработки. Основные виды запасов – производственные (предназначены обеспечить бесперебойность производственного процесса) и товарные (необходимы для бесперебойного обеспечения потребителей материальными ресурсами).

Запасы на предприятии образуются по двум основным причинам: несоответствие объемов поставки объемам разового потребления и разрыв во времени между моментом поступления материала и его потребления. Поставка сырья осуществляется в большинстве случаев периодически, и их потребление происходит, как правило, непрерывно и не совпадает во времени с поступлением. Поэтому для обеспечения бесперебойной работы каждое предприятие создает определенные запасы нужных ему видов сырья, материалов, полуфабрикатов, топлива и других ресурсов.

4. Складское оборудование, выпускаемое на предприятии
ООО КАНПРО (рис.3)

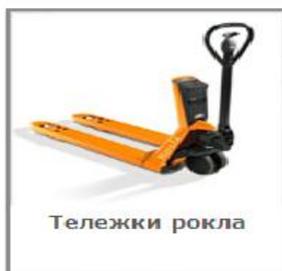
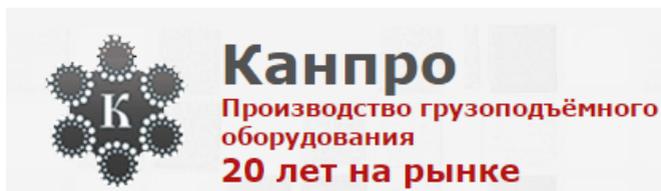


Рис.3. Оборудование, выпускаемое на предприятии ООО
КАНПРО

Устройство гидравлической тележки

Гидравлическая тележка применяется в качестве вспомогательного складского оборудования, обеспечивающего погрузку и транспортировку грузов весом до 2,5-3 тонн. Для этого в ее конструкции предусмотрен гидроузел, позволяющий без особых усилий поднимать груз, рукоять, с помощью которой осуществляется подъем и опускание поддонов, вилы, играющие роль платформы.

Принцип работы гидравлической тележки

Ключевым рабочим механизмом гидравлической тележки является гидроузел. В зависимости от высоты расположения вилок время их поднятия-опускания варьируется. После погрузки благодаря роликам на концах вилок и ведущим колесам увеличенного диаметра груз легко перевозится из одного места в другое (рис.4).

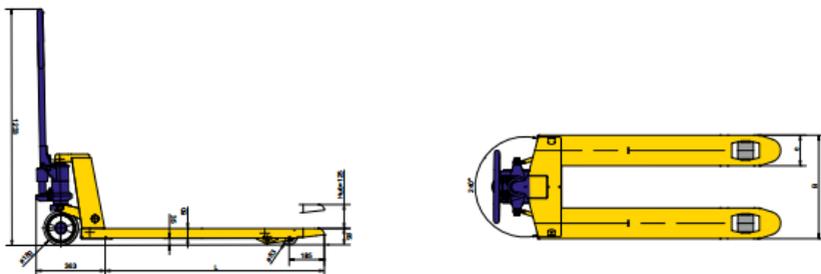




Рис.4. Гидравлическая тележка

Вид на логистический комплекс



Выводы

1. Работа над проектом помогла понять суть производственного процесса.
2. Для успешной работы инженеру необходимы знания математики, физики, экономики и программирования.

Список использованной литературы

1. Аникин Б.А. и др. Основы логистики. М.: Изд. Проспект.2012. 339 с.
2. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок. Учебник. Москва.: ИНФРА-М 2009. 428 с.
3. www.Zavtrasessiya.com.