

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка экзоскелета нижних конечностей

УДК 004.3'12:616.728-089.843

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Копылов Степан Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин Александр Васильевич	К.Т.Н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Концепция стартап-проекта»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Громова Татьяна Викторовна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем
P3	Применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P7	Применять глубокие естественнонаучные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.
Универсальные компетенции	
P8	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) - 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Уровень образования бакалавр
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехника
 Период выполнения - осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.06.2019	Основная часть	75
21.05.2019	Концепция стартап-проекта	15
16.05.2019	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин Александр Васильевич	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Копылов Степан Андреевич

Тема работы:

Разработка экзоскелета нижних конечностей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1096/с от 12.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Предметом проектирования является экзоскелет нижних конечностей для ребенка, который болеет спинальной мышечной атрофией. Материал изделия: сталь и пластик. Требования к изделию: минимизация масса-габаритных показателей, угловая скорость каждого узла не должна превышать 7об/мин, конструкция не должна навредить человеку, минимизация стоимости конструкции.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Провести обзор литературы и аналогов 2. Рассчитать необходимые характеристики для выбора аппаратной части устройства 3. Выбрать необходимые компоненты 4. Спроектировать экзоскелет нижних конечностей 5. Оформить конструкторскую документацию
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Альбом чертежей

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Концепция стартап-проекта</p>	<p>Громова Татьяна Викторовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Немцова Ольга Александровна, Ассистент</p>
<p>Нормконтроль</p>	<p>Суханов Алексей Викторович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>нет</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>22.04.2019</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОАР ИШИТР</p>	<p>Тырышкин Александр Васильевич</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>8Е51</p>	<p>Копылов Степан Андреевич</p>		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Копылов Степан Андреевич

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06. Мехатроника и робототехника

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)</i>	Устройство, позволяющее ребенку, который болеет спинальной мышечной атрофией, тренировать ноги для частичного восполнения функций опорно-двигательного аппарата. Устройство также предназначено для реабилитации и терапии больных с нарушением работы опорно-двигательного аппарата.
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Патентное право
<i>Объем и емкость рынка</i>	Суммарный объем мирового рынка реабилитационных и абилитационных товаров по состоянию на 2016 год оценивается в 108,5 миллиардов долларов. Из них вспомогательные средства для инвалидов и лиц с нарушениями мобильности составляет 40,87 миллиардов долларов. Общий объем российского рынка вспомогательных средств реабилитации и абилитации составляет от 29,4 до 35 миллиардов рублей (0,5-1 % от мирового рынка). Прогнозируемый рост мирового рынка реабилитационных и абилитационных товаров в среднем по сегментам составляет 3,12 % в год. Таким образом, к 2020 году объем мирового рынка таких товаров можно оценить в 126,5 миллиардов долларов.
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	Разработка устройств двунаправленного взаимодействия человека с роботизированными устройствами (управление с помощью биоэлектрических сигналов, в частности) является одним из перспективных направлений восстановительной медицины.
<i>Себестоимость продукта</i>	Себестоимость одной единицы продукта при реализации 12 устройств в год составит 166 тысяч рублей.

<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	Конкурентоспособность системы определяется подходом к решению задачи (использования мышечных сигналов). Большинство существующих на рынке экзоскелетов используют либо другие технологии управления движением, либо имеют другие области применения.
<i>Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами</i>	Обеспечена более низкая цена по сравнению с аналогами. Данный фактор можно считать как преимуществом, так и недостатком - снижение цены достигается за счет снижения функционала. Недостаток функционала может быть нивелирован методикой управления устройством.
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Целевым сегментом потребителей являются частные лица, государственные и частные медицинские учреждения, поставщики медицинской техники.
<i>Бизнес-модель проекта</i>	Матрица Остервальдера
<i>Производственный план</i>	На данный момент для выхода проекта на рынок необходимо завершение следующих этапов: Доработка разработанных решений Сборка прототипа Испытание прототипа Организация производства для выпуска устройства
<i>План продаж</i>	В ближайший период после выхода проекта на рынок (около 1 года) планируется реализация устройства в количестве 1 экземпляра в месяц. Данное ограничение связано с ограниченностью рабочей силы и финансов на начальном этапе. По мере развития проекта данный показатель планируется постепенно увеличивать
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы(например, бизнес-модель)</i>	Матрица Остервальдера

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику				
Задание выдал консультант по разделу «Концепция стартап-проекта» (со-руководитель ВКР):				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Громова Татьяна Викторовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Копылов Степан Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Копылов Степан Андреевич

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Разработка экзоскелета нижних конечностей	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является устройство для тренировки нижних конечностей детей, болеющих спинально мышечной атрофией. Применение устройство возможно в домашних условиях или в специализированных клиниках.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> <p>- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>- ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>- ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</p> <p>- ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.</p> <p>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</p> <p>- ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p>	<p>- Отклонение показателей микроклимата</p>

2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> - Превышение уровня шум - Недостаточная освещенность - Физические и нервно-психические перегрузки - Возможность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> - Воздействия на гидросферу не происходит - Воздействие на литосферу происходит вследствие утилизации расходных материалов и отработанного оборудования
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - обрушение зданий; - пожар; - землетрясение; - ураган. <p>Наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Копылов Степан Андреевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 65 с., содержит 26 рис., 16 табл., 25 источников.

Ключевые слова: экзоскелет, проектирование, коленный сустав, тазобедренный сустав, расчет, механическая нога

Цель работы – разработка аппаратной части экзоскелета-тренажера, который позволяет обеспечивать движение нижних конечностей пациента в лежачем состоянии.

В данной работе проводились следующие виды деятельности: снятие замеров, расчет необходимых параметров для двигателя, подбор двигателя, подбор материалов, выполнение эскизных работ, проектирование экзоскелета и оформление чертежей

В результате исследования спроектирован экзоскелет по размерам пациента.

Область применения: реабилитационная медицина.

Разработанный экзоскелет в перспективе может обеспечить снижение цены разрабатываемых экзоскелетных комплексов и повысить их доступность для населения.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

экзоскелет: Устройство, предназначенное для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений за счет внешнего каркаса и приводящих частей;

спинальная мышечная атрофия(СМА): Разнородная группа наследственных заболеваний, протекающих с поражением / потерей двигательных нейронов передних рогов спинного мозга;

тазобедренный сустав: Шаровидный, многоосный сустав, образованный полукруглой поверхностью вертлужной впадины тазовой кости и суставной поверхностью головки бедренной кости;

коленный сустав: Сустав, соединяющий бедренную кость, большеберцовую кость и надколенник;

АБС-пластик: Ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом;

сталь: Сплав железа с углеродом, содержащий не менее 45% железа и в котором содержание углерода от 0,02 до 2,14%;

сварка: Процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или совместном действии того и другого;

бандаж(медицина): Медицинский эластичный пояс со стяжками, пелотами и застежками;

НАЛ-терапия: Метод реабилитации пациентов с патологией моторных функций нижних конечностей из-за нарушений центральной нервной системы или как следствие нейромышечных заболеваний.

В работе были использованы следующие обозначения и сокращения:

ДПТ – двигатель постоянного тока;

ШД – шаговый двигатель;

ВД – вентиляный двигатель.

Содержание

Введение	15
1 Разработка экзоскелета нижних конечностей	17
1.1 Обзор аналогов устройства	17
1.1.1 ExoAtlet	17
1.1.2 ExoLite	18
1.1.3 REX.....	19
1.1.4 ATLAS-2030	21
1.1.5 RT-300 SUPINE	22
1.2 Постановка задачи	23
1.3 Расчетная часть	24
1.4 Подбор двигателя	31
1.5 Разработка конструкции.....	34
1.5.1 Выбор материала	34
1.5.2 Проектная часть	36
2 Концепция стартап-проекта.....	42
2.1 Продукт.....	42
2.2 Анализ конкурентных преимуществ	43
2.3 Целевые аудитории	46
2.3.1 Медицинские учреждения.....	47
2.3.2 Фирмы-поставщики медицинской техники	47
2.3.3 Частные лица	48
2.4 Бизнес-модель проекта.....	48
2.5 Заключение по разделу «Концепция стартап-проекта»	50
3 Социальная ответственность	51
3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	51
3.2 Производственная безопасность	52
3.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	53
3.2.2 Превышение уровня шума	54
3.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	54

3.2.4 Психические и физические нагрузки.....	56
3.2.5 Электробезопасность.....	57
3.3 Экологическая безопасность	58
3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	59
3.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	60
Заключение	62
Список использованных источников	63

Введение

В настоящее время в рамках восстановительной медицины одним из наиболее перспективных направлений является разработка устройств двунаправленного взаимодействия человека с роботизированными устройствами, использующими принцип биометрического управления, основанный на использовании электрофизиологических сигналов человеческого тела. Особенно остро стоит проблема разработки экзоскелетных устройств, направленных на терапию заболеваний опорно-двигательного аппарата и/или реабилитацию пациентов, имеющих данные заболевания по тем или иным причинам.

Особое место в списке заболеваний опорно-двигательного аппарата занимает спинальная мышечная атрофия. Спинальная мышечная атрофия (СМА) – аутосомно-рецессивное заболевание, характеризующееся дегенерацией а-мотонейронов в передних рогах спинного мозга, ведущей к прогрессирующей мышечной слабости, атрофии мышц, развитию деформаций позвоночника и суставов. Распространенность заболевания составляет 1 человек на 10 тысяч человек, среди новорожденных данная цифра отличается – 1 человек на 6 тысяч человек. Как показывает статистика, каждый 50 человек является носителем гена, вызывающего данное заболевание.

СМА является одной из наиболее частых причин детской смертности. При наиболее острых формах СМА у пациента затруднены некоторые рефлекторные действия, такие как глотание, кашель и дыхание, а также возможность самостоятельно сидеть и переворачиваться. Другие формы СМА протекают более благоприятно, для них наиболее характерным фактором является мышечная слабость у пациента, причем в большей степени страдают нижние конечности. При этом по мере прогрессирования болезни атрофия мышц усиливается, может наблюдаться развитие мышечных и скелетных деформаций, контрактуры и сколиоз, пролежни.

В 2016 году в США было зарегистрировано первое поддерживающее лекарство от СМА, что позволяет в ближайшее время ожидать улучшения

здоровья и качества жизни пациентов с СМА. Поэтому на первый план встают вопросы профилактики осложнений, которые ухудшают состояние больного и ведут к вторичным нарушениям работы всех органов и систем организма. Одной из основных профилактик является движение суставов и работа мышц с определенной амплитудой и постепенным увеличением объема нагрузок.

Данные факторы обуславливают необходимость создания комплексов механотерапии, действие которых было бы направлено непосредственно на терапию и предотвращение развития СМА у пациентов. Предпочтение стоит отдать устройствам, в которых управление движением основано на использовании естественных физиологических процессов человеческого тела, а именно электрических потенциалов мышц. Человек при этом делает осознанные действия, а также образуется обратная связь между мозгом и нижними конечностями. Методика, сочетая в себе использование мышечных сокращений и механической конструкции, воспроизводит естественный механизм движения нижних конечностей человека, что позволяет косвенно усилить эффект от терапии. Такой подход получил название HAL-терапии в честь экзоскелетного устройства HAL, на основе которого он базируется.

К сожалению, в настоящее время устройств, описанных выше очень мало, а имеющиеся образцы либо имеют очень высокую стоимость, что делает их недоступными для целевой аудитории, либо управляются при помощи внешних сигналов (манипуляторы, смартфон) или же вовсе не несут в себе возможности управления (движение происходит по заранее заданной траектории).

Целью работы является разработка экзоскелета нижних конечностей для ребенка, болеющего спинальной мышечной атрофией.

1 Разработка экзоскелета нижних конечностей

1.1 Обзор аналогов устройства

В рамках данной исследовательской работы рассмотрим некоторое количество российских и зарубежных аналогов. Так как преследуемая цель это улучшение жизненных показателей больных спинальной мышечной атрофией, то и аналоги необходимо рассматривать из медицинской области. Наиболее яркие представители российского рынка являются ExoAtlet и ExoLite. Представителями зарубежных аналогов являются новозеландский REX и испанский ATLAS. Так же в качестве аналога присутствует тренажер RT300-SUPINE, так как целевая функция активизировать мускульную систему посредством моторной функции тренажера и электростимуляции.

1.1.1 ExoAtlet

ExoAtlet – российский проект по созданию медицинского экзоскелета для реабилитации и социальной адаптации людей с нижней параплегией. Параплегия – паралич одних из конечностей (верхних или нижних). Разработка медицинского экзоскелета для реабилитации началась в декабре 2013 года в рамках проекта «ЭкзоАтлет».

В настоящее время уже собрано несколько версий действующих прототипов экзоскелетов. Команда ЭкзоАтлета активно участвует в различных мероприятиях и выставках, как робототехнической, так и медицинской направленности.



Рисунок 1 – ExoAtlet

В настоящее время данный экзоскелет доступен и используется в 10 городах России в медицинских учреждениях в качестве реабилитации больных. Суть управления заключается в заранее установленной программе, которая работает при запуске экзоскелета. Основными недостатками является его стоимость 1,5 млн. рублей и ограничение по росту (человек ростом от 1,5 до 1,9 м. может использовать данный экзоскелет) [1,2].

Таблица 1 – Характеристики ExoAtlet

	ExoAtlet
Характер движения	Позволяет: Ходить, вставать/садиться, стоять на одной ноге, двигаться по наклонным поверхностям. Равновесие поддерживается с помощью костылей.
Масса	20 кг
Габаритные размеры	Рост пользователя: (1,6 - 1,9) м. Высота: 1,35 м; Ширина: 0,64 м.
Цена	1,5 млн. рублей
Материалы	-
Количество двигателей	-
Метод управления	Заранее заданный алгоритм движения. Система обратной связи на силомоментных и ЭМГ-датчиках

1.1.2 ExoLite

ExoLite – активный экзоскелет для нижних конечностей, призванный облегчить ходьбу людям с ограниченными возможностями. Оснащен электроприводами в бедренном и коленном суставах. Предназначен для ассистирования людям с нарушенными функциями опорно-двигательной системы. Аппарат позволяет двигаться в вертикальном положении тому, кто не может этого делать самостоятельно, при этом у человека руки остаются свободными. Так же данный экзоскелет не требует применения опорных костылей [3].

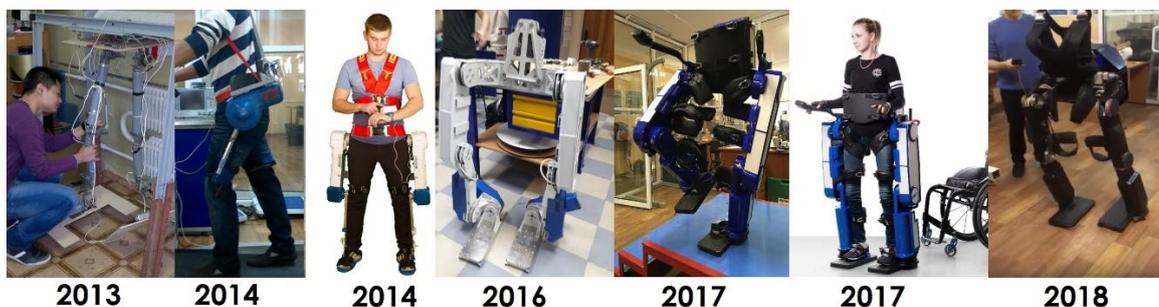


Рисунок 2 – ExoLite

Таблица 2 - Характеристики ExoLite

	ExoLite
Характер движения	Позволяет: Ходить, вставать/садиться, стоять на одной ноге, двигаться по наклонным поверхностям. Действия не требуют использования костылей
Масса	46 кг
Габаритные размеры	В/Ш/Д:1350x830x580 мм
Цена	3,5 млн. рублей
Материалы	-
Количество двигателей	4
Метод управления	Управление при помощи джойстика

1.1.3 REX

REX – моторизированный экзоскелетный костюм, обеспечивающий прямохождение людям, страдающим параличом нижних конечностей. Теперь такой костюм доступен для индивидуального пользования дома, на работе или для других ежедневных задач.

Используемый в современной медицине экзоскелет предназначен для реабилитации людей с ограниченными физическими возможностями в результате перенесенных травм спинного мозга и неудачных операций на позвоночнике.



Рисунок 3 – REX

Возможности при использовании REX:

- Самостоятельная ходьба. Не требует костылей или иных средств для стабилизации, оставляя при этом руки свободными.
- Позволяет использовать устройство даже людям с полным повреждением спинного мозга до уровня.
- Освобождает от использования инвалидного кресла [4].

Таблица 3 - Характеристики REX

	REX
Характер движения	Позволяет: Ходить, вставать/сидеться, стоять на одной ноге, двигаться по наклонным поверхностям. Двигаться по наклонным поверхностям. Действия не требуют использования костылей или иных средств стабилизации
Масса	38 кг
Габаритные размеры	Высота: 1350 мм; Ширина: 640 мм; Тазобедренная ширина: до 380 мм.
Цена	9,5 млн. рублей
Материалы	Композиты и различные сплавы металлов, пластмасса высшего класса
Количество двигателей	10 высокоскоростных моторов с высоким крутящим моментом
Метод управления	Управление при помощи джойстика или планшета

Как мы можем заметить у данного экзоскелета много достоинств, но так же есть и минусы. Одним самых главных минусов это его стоимость 7.9 млн. рублей. Так же он не может использовать людьми ростом ниже 1.42м, что в нашем случае является проблемой.

1.1.4 ATLAS 2030

Экзоскелет ATLAS 2030, представляющий собой конструкцию из ортезов для ног и туловища, был создан учеными из Marsi Bionics в сотрудничестве с инженерной компанией Escribano. На данный момент они заняты разработкой нового экзоскелета, который будет предназначен для детей, страдающих мышечной дистрофией Дюшенна.



Рисунок 4 – ATLAS 2030

Данный экзоскелет предназначен для детей от 3 до 14 лет. Так же экзоскелет имеет ограничение по росту от 1 до 1.5 м. Про данный аналог существует мало информации, поэтому его стоимость не известна. Известно, что данный экзоскелет открыто не продается [5].

Таблица 4 - Характеристики ATLAS-2030

	ATLAS-2030
Характер движения	Позволяет: Ходить. Устойчивость конструкции сохраняется благодаря каркасу вокруг экзоскелета.
Масса	14кг
Габаритные размеры	Бедренная кость: (240 - 330) мм; голень: (230 - 320) мм; ширина: (240 - 350) мм
Цена	неизвестно
Материалы	Композиты и различные сплавы металлов, пластмасса высшего класса
Количество двигателей	-
Метод управления	Управление при помощи джойстика. Управление на основе остаточного движения

1.1.5 RT300-SUPINE

Профессиональный тренажер для тренировки и разработки нижних конечностей с ФЭС (функциональной электростимуляцией) ног у детей.



Рисунок 5 – RT300-SUPINE

Преимущества:

- Снижение последствий дефицита двигательной активности
- Активизирует мускульную систему посредством моторной функции тренажера и электростимуляции. Увеличивает объем движений, минимизирует атрофия мышц, улучшает циркуляцию крови [6].

Данный аналог находится только в специализированных клиниках.

Таблица 5 - Характеристики RT3000-SUPINE

	RT3000-SUPINE
Характер движения	Производит базовые движения нижних конечностей одновременно проводя функциональную электростимуляцию мускульной системы.
Масса	48 кг
Габаритные размеры	Длина: 80 см; Ширина: 49 см; Высота: (92 - 103) см
Цена	неизвестно
Материалы	Алюминий, сталь, полистирол и полиуретан
Количество двигателей	-
Метод управления	Управление пальцами или стилусом

1.2 Постановка задачи

Представленные аналоги обладают большим функционалом, однако, стоимость приобретения данных устройств достаточно высока и не все они могут использоваться детьми. Дети, болеющие спинальной мышечной атрофией, нуждаются в тренировке нижних конечностей для поддержания тонуса мышц, поддержания массы костей и избавления пролежней. Однако, как правило, люди с инвалидностью подобного характера не работают и живут на пособие по инвалидности. Поэтому становится затруднительно приобрести данные экзоскелеты. Государственные программы существуют, но число пациентов слишком велико.

Целью моей выпускной квалификационной работы является разработка экзоскелета нижних конечностей.

Передо мною возникли следующие задачи, которые я должен выполнить в процессе разработки:

1. Рассчитать необходимые характеристики для выбора аппаратной части устройства

2. Выбрать необходимые компоненты и материалы

3. Спроектировать экзоскелет нижних конечностей

4. Оформить конструкторскую документацию

1.3 Расчетная часть

Сняв необходимые размеры с ребенка получили исходные данные.

Исходные данные:

l_1 (Длина бедра) = 0.31 м.

l_2 (Длина голени) = 0.28 м.

l_3 (Длина ступни) = 0.17 м.

l_4 (Обхват бедра) = 0.22 м.

l_5 (Обхват колена) = 0.22 м.

l_6 (Обхват голени) = 0.16 м.

l_7 (Обхват голеностопного сустава) = 0.15 м.

m_1 (Масса ноги) = 5 кг.

Решение задачи:

Предположим, что вес механической ноги с учетом двигателей и каких-либо укрепительных конструкция будет составлять m_2 (масса механической ноги) равно 5 кг. Для решения данной задачи необходимо установить, что экзоскелет будет находится в совокупности с ребенком в лежачем состоянии. Так как экзоскелет должен имитировать основные движения ног, то достаточно будет расположить по два двигателя в каждой механической ноге. Для реализации движения механических ног экзоскелета необходимо начать с расчетов моментов для вычисления мощностей, которые необходимы при подборе двигателей в тазобедренном и коленном суставе.

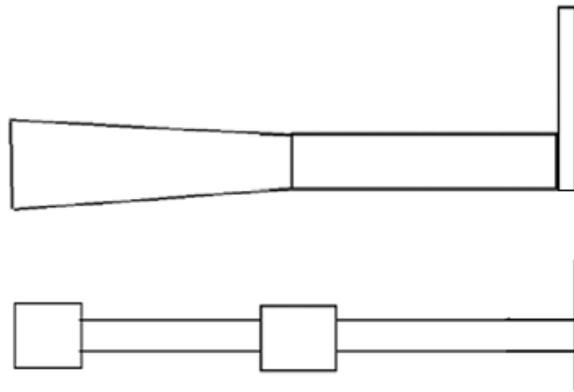


Рисунок 6 – Упрощенная схема ноги человека и механической ноги

Для подбора двигателя необходимо знать мощность необходимую для реализации движения механической ноги. Для нахождения мощностей найдем моменты возникающие в тазобедренном сочленении и в коленном сочленении механической ноги.

При расчете моментов возникающих в сочленениях механической ноги необходимо учитывать не только вес конструкции, но и вес ноги человека.

Рассчитаем моменты возникающие в ноге ребенка. Для нахождения момента возникающего в тазобедренном суставе необходимо найти центр тяжести всей ноги, а для нахождения момента возникающего в коленном суставе необходимо найти центр тяжести голени и ступни. Расставим все снятые размеры на упрощенную схему ноги (рисунок 7).

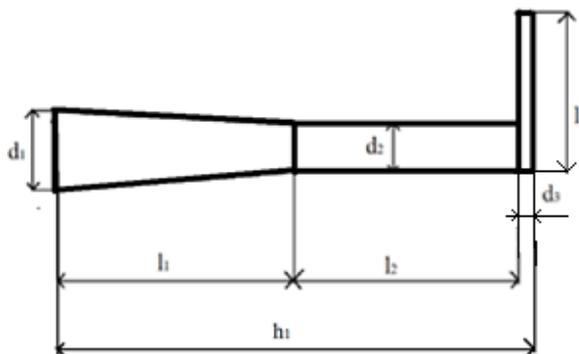


Рисунок 7 - Упрощенная схема ноги с размерами

Для нахождения центра тяжести в тазобедренном суставе необходимо найти центр тяжести отдельных частей тела, таких как бедро, голень и стопа.

Бедро мы представим в виде усеченного конуса, а голень и стопу в виде цилиндров.

Найдем центр тяжести конуса.

Для нахождения d_1 необходимо воспользоваться формулой длины окружности (1):

$$l = \pi \cdot d, \quad (1)$$

где l – длина окружности, м;

π – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к ее диаметру;

d – диаметр круга, м.

Так как нам известен обхват бедра предположительно равный длине окружности, то находим диаметр круга:

$$d_1 = \frac{l_4}{\pi} = \frac{0,22 \text{ м}}{3,1415} = 0,07 \text{ м}. \quad (2)$$

Для того чтобы найти длину всей ноги (h_1) необходимо сложить длину бедра, длину голени и высоту стопы.

Высота стопы определяется по формуле(1). Так как нам известен обхват стопы равный 0,15 м, то находим диаметр стопы.

$$d_3 = \frac{l_7}{\pi} = \frac{0,15 \text{ м}}{3,1415} = 0,05 \text{ м}. \quad (3)$$

В данном случае диаметр стопы равна диаметру круга.

Теперь зная все размеры мы можем посчитать длину ноги:

$$h_1 = l_1 + l_2 + d_3 = 0,31 \text{ м} + 0,28 \text{ м} + 0,05 \text{ м} = 0,64 \text{ м} \quad (4)$$

Для того, чтобы узнать центр масс всей ноги по формуле 5[7]:

$$L = \frac{\sum_i V_i \cdot x_i}{V}, \quad (5)$$

где L – расстояние от начала отсчета до центра масс тела;

V_i – объем каждой части;

x_i – расстояние до центра масс отдельно взятого тела;

V – объем всего тела.

Для того, чтобы найти центр масс усеченного конуса необходимо знать диаметр усеченной стороны по формуле (1).

Диаметр голени равен диаметру усеченной стороны конуса. Так как нам известен обхват голени равный 0,16 м, то находим диаметр круга:

$$d_2 = \frac{l_6}{\pi} = \frac{0,16 \text{ м}}{3,1415} = 0,05 \text{ м.} \quad (6)$$

Теперь определим центр масс усеченного конуса по формуле 7 [7]:

$$l = \frac{x(R^2 + 2Rr + 3r^2)}{4(R^2 + Rr + r^2)}, \quad (7)$$

где x – расстояние от начала отсчета до центра масс тела, м;

l_1 – высота усеченного конуса, м;

R – радиус основания усеченного конуса, м;

r – радиус усеченной стороны конуса, м.

Подставим наши значения в формулу 7:

$$l_8 = \frac{0,31 \text{ м} \cdot ((0,07 \text{ м})^2 + 2 \cdot 0,07 \text{ м} \cdot 0,05 \text{ м} + 3 \cdot (0,05 \text{ м})^2)}{4((0,07 \text{ м})^2 + 0,07 \text{ м} \cdot 0,05 \text{ м} + (0,05 \text{ м})^2)} = 0,14 \text{ м.} \quad (8)$$

Теперь необходимо найти центр масс голени и стопы. Так как мы считаем, что это однородные составляющие, то центр масс голени будет находится на половине длины голени, а центр масс стопы на половине высоты стопы, так как расчеты ведутся в оси Ох.

Найдем центр тяжести ноги по формуле(5):

$$l_9 = \frac{\sum_i V_i \cdot x_i}{V} = \frac{\left(\frac{1}{3} \pi \cdot l_1 \cdot \left(\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_1}{2}\right) \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right) + \left(\frac{d_2}{2}\right)^2\right) \cdot l_8\right) + \left(\pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \cdot l_2 \cdot \left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right)\right) + \left(\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 \cdot l_3 \cdot \left(l_1 + l_2 + \frac{d_3}{2}\right)\right)}{\frac{1}{3} \pi \cdot l_1 \cdot \left(\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_1}{2}\right) \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right) + \left(\frac{d_2}{2}\right)^2\right) + \pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \cdot l_2 + \pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 \cdot l_3} =$$

$$\frac{\left(\frac{1}{3} \pi \cdot 0,31 \cdot (0,035^2 + 0,035 \cdot 0,025 + 0,025^2) \cdot 0,14\right) + (\pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,28 \cdot 0,45) + (\pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,17 \cdot 0,615)}{\frac{1}{3} \pi \cdot 0,31 \cdot (0,035^2 + 0,035 \cdot 0,025 + 0,025^2) + \pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,28 + (\pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,17)} =$$

$$= 0,33 \text{ м.} \quad (9)$$

Так как момент на валу двигателя создается не только весом ноги, но и весом конструкции, то так же необходимо рассчитать центр масс конструкции.

На рисунке 8 изображен упрощенный вид экзоскелета, состоящий из трех блоков, соединенных трубками.

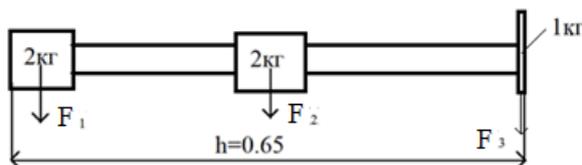


Рисунок 8 - Упрощенный вид экзоскелета сбоку

Сделаем допущение, что экзоскелет однородный. Отсюда следует, что блоки одинаковы по массе, но так как в тазобедренном суставе и коленном суставе будет расположен двигатель, то предположительно увеличиваем вес данных блоков на 1 кг.

Для определения центра тяжести необходимо знать моменты каждого блока.

Момент вычисляется по формуле 10 [8]:

$$M = F \cdot l \cdot \sin a = m \cdot g \cdot l \cdot \sin a \quad (10)$$

где M – момент силы, Н·м;

m – масса тела, кг;

g – ускорение свободного падения, $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$;

l – длина перпендикуляра, опущенного из центра вращения на линию действия силы, м;

a – угол, между вектором силы F и вектором положения.

Центр первого блока с весом 2 кг находится на расстоянии 0.05 метров от точки отсчета, центр второго блока на расстоянии 0.35 метров от точки отсчета, а центр третьего блока весом 1 кг находится на расстоянии 0.64 метров от точки отсчета, отсюда следует, что момент создаваемый первым блоком по формуле 10 равен $M = m \cdot g \cdot l \Rightarrow M_1 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $M_2 = 7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и $M_3 = 6 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Чтобы найти центр тяжести необходимо сумму моментов разделить на вес конструкции:

$$l_{10} = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{mg} = \frac{14 \text{ Н} \cdot \text{м}}{50 \text{ Н}} = 0,28 \text{ м}. \quad (11)$$

Так как вес ноги и вес конструкции примерно равен, то центр масс ноги экзоскелета и ноги человека равна:

$$l_{11} = \frac{l_{10} + l_9}{2} = \frac{0,33 \text{ м} + 0,28 \text{ м}}{2} = 0,30 \text{ м}. \quad (12)$$

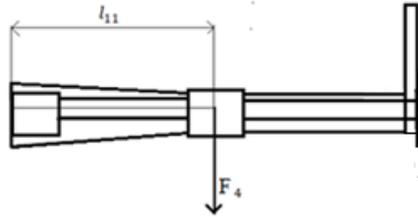


Рисунок 9 - Упрощенный вид экзоскелета сбоку

Подставим полученное значение плеча в формулу момента(10):

$$M_4 = (m_1 + m_2) \cdot g \cdot l_{11} = 10 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \cdot 0,30 \text{ м} = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (13)$$

Теперь зная момент, возникающий на валу двигателя, который находится на бедренном суставе, необходимо найти момент на валу двигателя, который находится на коленном суставе. Для этого представим голень и стопу в упрощенном виде (рисунок 10).

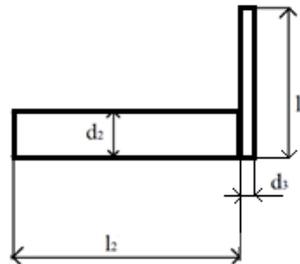


Рисунок 10 - Упрощенная схема голени и стопы

Предположим, что тело однородное, то голень имеет центр масс в середине ($\frac{l_2}{2}$). Центр масс стопы равен $l_2 + \frac{d_3}{2}$.

Найдем центр тяжести голени и ступни по формуле(5):

$$l_{12} = \frac{\sum_i V_i \cdot x_i}{V} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \cdot l_2 \cdot \frac{l_2}{2} + \pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 \cdot l_3 \cdot \left(l_2 + \frac{d_3}{2}\right)}{\pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \cdot l_2 + \pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 \cdot l_3} =$$

$$\frac{3.1415 \cdot (0.02546 \text{ м})^2 \cdot 0.28 \text{ м} \cdot \frac{0.28 \text{ м}}{2} + 3.1415 \cdot (0.025 \text{ м})^2 \cdot 0.17 \text{ м} \cdot (0.28 \text{ м} + 0.025 \text{ м})}{3.1415 \cdot (0.02546 \text{ м})^2 \cdot 0.28 \text{ м} + 3.1415 \cdot (0.025 \text{ м})^2 \cdot 0.17 \text{ м}} = 0,2 \text{ м}. \quad (14)$$

После расчета центра тяжести голени и ступни необходимо рассчитать центр тяжести механической части ноги, охватывающей голень. Длина голени и стопы равна 0,33 м, так как высота голени 0,28 м, а стопы 0,05 м.

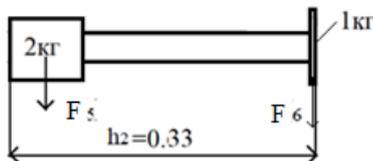


Рисунок 11 - Упрощенная схема части экзоскелета, охватывающей голень
Для определения центра тяжести необходимо знать моменты каждого блока. Центр первого блока с весом 2 кг находится на расстоянии 0,05 метров от точки отсчета, центр второго блока на расстоянии 0,28 метров от точки отсчета, отсюда следует, что момент создаваемый первым блоком по формуле 10 равен $M = mgl \Rightarrow M_5 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $M_6 = 2,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Чтобы найти центр тяжести необходимо сумму моментов разделить на вес конструкции:

$$l_{13} = \frac{M_5 + M_6}{mg} = \frac{3,8 \text{ Н} \cdot \text{м}}{30 \text{ Н}} = 0,13 \text{ м.} \quad (15)$$

Так как вес ноги и вес конструкции примерно равен, то центр масс ноги экзоскелета и ноги человека равна:

$$l_{14} = \frac{l_{13} + l_{12}}{2} = \frac{0,2 \text{ м} + 0,13 \text{ м}}{2} = 0,16 \text{ м.} \quad (16)$$

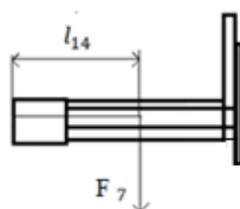


Рисунок 12 - Упрощенная схема части экзоскелета, охватывающей голень
Подставим полученное значение плеча в формулу 10:

$$M_7 = 5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \cdot 0,16 \text{ м} = 8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (17)$$

Расчет необходимой мощности для двигателя осуществляется по формуле(18) [8]:

$$P = M \cdot \omega \quad (18)$$

где P – мощность, Вт;

M – момент на валу двигателя, Н·м;

ω – угловая скорость, рад/с.

Для того, чтобы узнать мощность необходимо знать частоту вращения вала. Так как экзоскелет предназначен для тренировки, то высокая скорость не нужна. Предположим, что 90 градусов часть экзоскелета должна преодолевать в среднем за 4 секунд, отсюда следует, что угловая скорость должна быть 0,4 рад/с.

Зная угловую скорость рассчитаем мощность двигателя на тазобедренном суставе и на коленном суставе:

$$P_1 = M_4 \cdot \omega = 30 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 0,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 12 \text{ Вт.} \quad (19)$$

$$P_2 = M_7 \cdot \omega = 8 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 0,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 3,2 \text{ Вт.} \quad (20)$$

1.4 Подбор двигателя

Следующим шагом стал выбор двигателя. Электродвигатель – основа узла. Серводвигатель может быть исполнен на различных электродвигателях. На выбор были предоставлены следующие известные двигатели:

1. Двигатель постоянного тока (ДПТ). ДПТ самый популярный двигатель, используемый в разных устройствах, начиная с игрушек и заканчивая исполнительными устройствами на производстве. Он обладает жесткой механической характеристикой: обороты идеального холостого хода зависят от потока и от напряжения, а если поток постоянный (используется в качестве статора постоянный магнит), то только от напряжения. Одним из главных плюсов двигателя является то, что зависимость момента на валу прямо зависит от тока, то есть, при неизменном потоке возбуждения замеряя ток можно легко определить величину момента. Описанные выше положительные стороны ДПТ могут привести к выводу, что он прост в управлении, в отличие от двигателей переменного тока. Однако, данный вид двигателя имеет и минусы: влияние на питающую сеть вынуждает устанавливать дополнительные преобразователи; наличие графитовых щеток снижает срок службы двигателя; требуется дополнительное устройство для торможения и фиксации ротора в заданном

положении, иначе протез будет проворачиваться под внешним моментом, а самый основной для моего проекта – высокая себестоимость [9].

2. Шаговый двигатель (ШД). ШД – это синхронная машина, которая преобразует входной управляющий сигнал в угловое перемещение ротора с фиксацией его заданного положения без дополнительных устройств обратной связи. Положительные стороны использования ШД в моем проекте: для фиксации ротора не требуется дополнительное фиксирующее устройство, простота управления, невысокая стоимость, долгий срок эксплуатации. Но ШД обладает низкой эффективностью (мотор поглощает много энергии независимо от нагрузки), крутящий момент обратно пропорционален скорости вращения, высокий нагрев двигателя в процессе работы, шумный [10].

3. Вентильный двигатель (ВД). ВД – синхронный двигатель, у которого вектор магнитного поля статора управляется в зависимости от положения ротора. ВД также называют бесколлекторными ДПТ. Принцип работы заключается в том, что контроллер коммутирует обмотки статора, чтобы магнитное поле статора было ортогонально магнитному полю ротора. Коммутация обмоток производится посредством транзисторного коммутатора, управляемого контроллером. Механические характеристики в большинстве случаев, совпадают с характеристиками ДПТ. Достоинствами ВД можно отметить высокое быстродействие и динамика, бесколлекторность, высокие энергетические показатели (КПД более 90 %), низкий перегрев. Недостатки - сложная система управления двигателем, необходимо дополнительное полупроводниковое устройство, пульсации моментов[11].

Проведя анализ данных двигателей, мой выбор остановился на ДПТ, так как это самый простой по управлению двигатель. Шаговый двигатель хоть и имеет низкую стоимость, но фиксация ротора происходит при постоянной коммутации обмоток статора, что быстро будет разряжать батарею, тем более ШД нагревается, что не приветствуется. ВД не подходит из-за сложного управления, для которого нужно дополнительное полупроводниковое устройство.

Исходя из результата расчета был выбран мотор-редуктор модели CNMAWAY-ZGY370 (рисунок 13). Данный мотор-редуктор будет крепиться в коленное сочленение механической ноги.

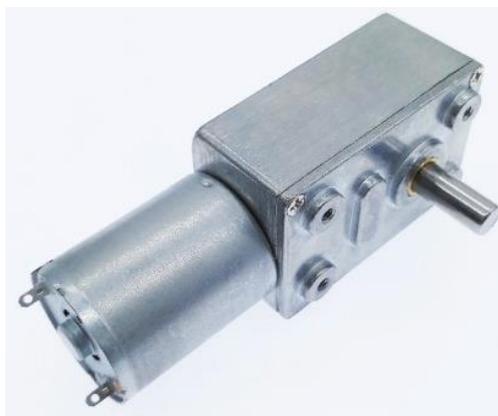


Рисунок 13 – Мотор-редуктор CNMAWAY-ZGY370

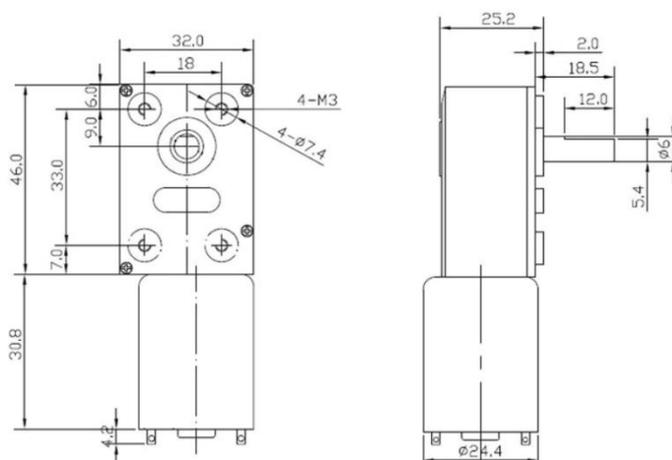


Рисунок 14 – Размеры мотор-редуктора CNMAWAY-ZGY370

Доступны модификации с частотой вращения вала редуктора 1, 2, 3, 5, 6, 10, 20, 30, 50, 62, 100 и 200 об/мин [12]. Для данного проекта решено выбрать частоту вращения в 5 об/мин соответствующую расчетному значению в 5 об/мин. Рабочее напряжение – 12 В. Масса мотор-редуктора составляет 0,2 кг.

Исходя из результата расчета в бедренное сочленение механической ноги был выбран мотор-редуктор модели 100FH Miniature Gear BOX Reducer Motor (рисунок 15).



Рисунок 15 – Мотор-редуктор 100FH

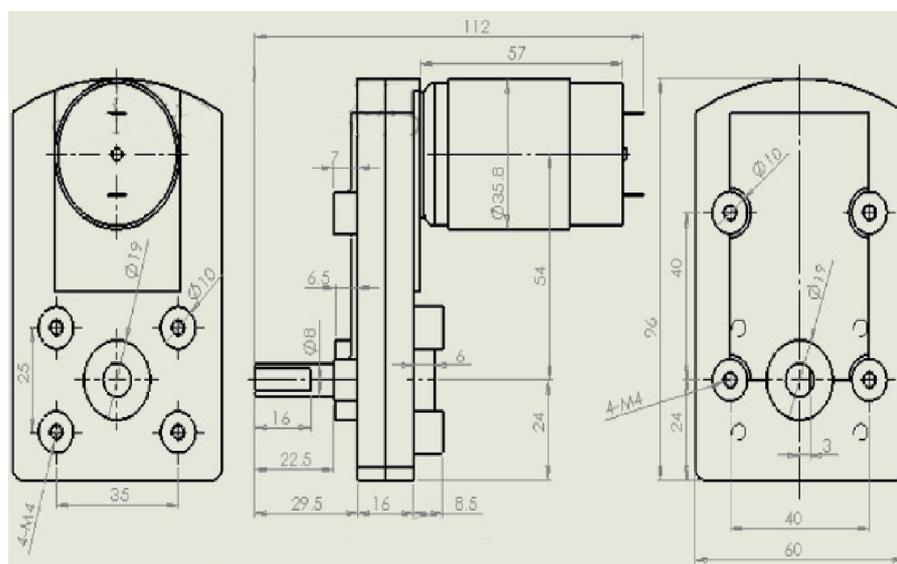


Рисунок 16 – Размеры мотор-редуктора 100FH

Доступны модификации с частотой вращения вала редуктора 2.2, 5, 15, 30, 60 и 90 об/мин. Для данного проекта решено выбрать частоту вращения в 5 об/мин соответствующую расчетному значению в 5 об/мин. Рабочее напряжение – 12 В. Масса мотор-редуктора составляет 0,6 кг.

1.5 Разработка конструкции

1.5.1 Выбор материала

Просмотрев все преимущества и недостатки материалов для печати доступных на данный момент на рынке [13], можно прийти к выводу, что на данный момент самым оптимальным материалом для печати данного изделия является SBS пластик. Его механические свойства в полной мере соответствуют

предполагаемым нагрузкам. Что не маловажно SBS пластик, при всех его преимуществах имеет стоимость примерно эквивалентную стоимости ABS пластика, что так же важно учитывать при выборе материала.

SBS пластик обладает высокими механическими свойствами, такими как механическая прочность, пластичность и устойчивость к относительно высоким температурам. Благодаря свойствам, перечисленным выше, из этого пластика часто изготавливают несущие и движущиеся детали. Напечатанные детали получаются более гибкими, чем при печати ABS пластиком, в виду более низкого модуля упругости. Так же благодаря высокому проценту удлинения при разрыве в 250 %, нить не ломается даже при подаче под углом в 90 градусов. Благодаря этим свойствам он практически не имеет усадки даже на открытом воздухе, хорошо прилипает к столу при температуре 70 °С. Подходит для печати крупногабаритных изделий. Печать производится при температуре около 220 °С [14]. Светопроницаемость материала соответствует 93 %, из-за чего он практически прозрачен. Что примечательно материал легко окрашивается, благодаря чему можно получить эффектный внешний вид. Материал безопасен как во время печати, так и после, не выделяет никаких вредных веществ. То есть его можно успешно применять для печати контейнеров для пищи, медицинских приспособлений, а также игрушек для детей. В то же время материал легко поддается механической обработке и химической обработке лимоненом, что позволяет добиться эффекта имитации стекла [15].

В качестве материала трубок, профильных труб и пластин предпочтение было в пользу стали, так как данный материал прочен и долговечен. Так же данный материал возможно сваривать.

В качестве дополнительной фиксации конечности человека к механической ноге будет использоваться материал по типу бандажа. Смысл будет заключаться в плотной фиксации бедра к трубкам.

1.5.2 Проектная часть

В начале процесса проектирования были произведены эскизы предполагаемой механической ноги. В ходе анализа данных эскизов был определен оптимальный под наши условия. В процессе выполнения эскизных работ были определены конечные варианты сочленений и креплений составляющих элементов механической ноги. После проработки эскиза коленного сочленения, была реализована 3d-модель коленного сочленения в SolidWorks.

На рисунке 17 представлена сборка коленного сочленения.

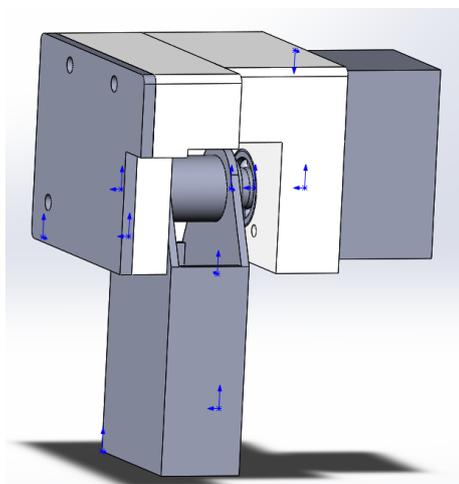


Рисунок 17 – Коленное сочленение механической ноги

Можно заметить, что корпуса ограничивают движение профильной трубки, обеспечивая тем самым безопасность для коленного сустава ребенка. Также к данному корпусу прикручивается пластина для дальнейшего приваривания трубок. Пластина, левый и правый корпус крепятся винтами М4х60 с полусферической головкой.

Так как конструкция должны быть проста в сборке и реализации, было решено разбить на простые компоненты каждое сочленение. На рисунке 18 и 19 представлены составные части основного корпуса коленного сочленения.

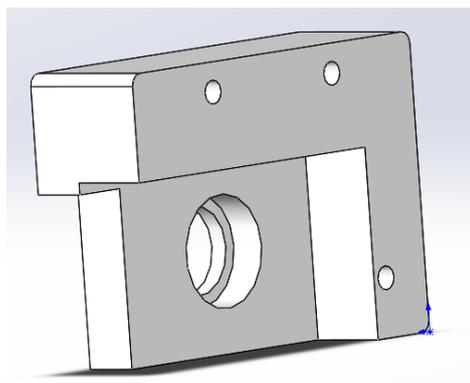


Рисунок 18 – Левая часть корпуса коленного сочленения

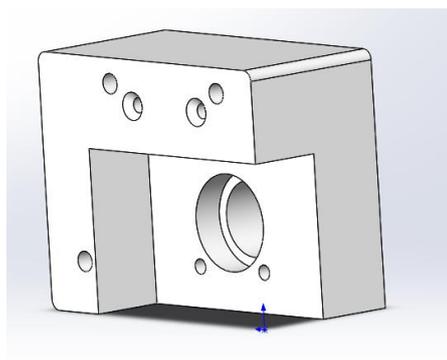


Рисунок 19 – Правая часть корпуса коленного сочленения

Для того чтобы вал совершал вращательные движения с минимальными потерями в корпус нужно добавить подшипники. Был произведен подбор подшипников.

Известно, что диаметр вала двигателя для коленного сочленения равен 6 миллиметрам. Так как наша цель минимизировать габариты конструкции, то подшипник подберем по диаметру вала двигателя. Выбор остановился на шариковом подшипнике 626DD с характеристиками представленными в таблице 6.

Таблица 6 - Подшипник 626DD

Подшипник	Внешний диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Ширина, мм	Вес, г
626DD	19	6	6	9

Данные подшипники будут вставляться в обе части корпуса, как на рисунке 20.

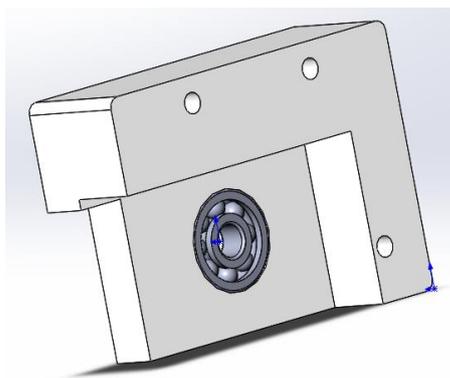


Рисунок 20 – Левая часть корпуса с подшипником

Так же в качестве плеча прикладываемому к валу была выбрана профильная труба размером 40x20x2. В ней необходимо сделать отверстие под вал, который будет опираться на подшипники. Вид данной конструкции представлен на рисунке 21.

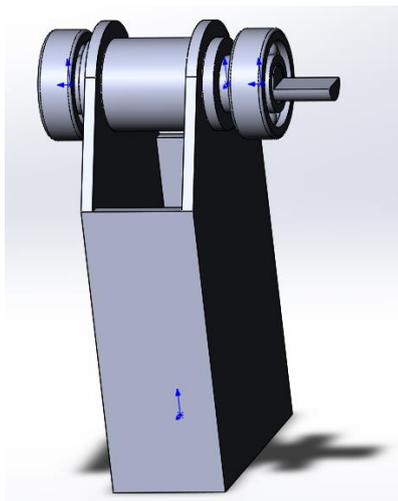


Рисунок 21 – Вал совместно с профильной трубой

На рисунке 22 представлена часть механической ноги, которая будет крепиться к голени ребенка.

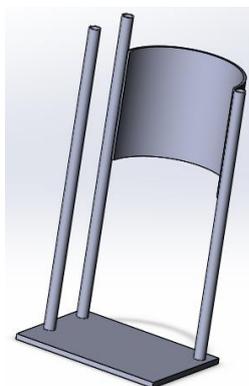


Рисунок 22 – Часть механической ноги, которая сопряжена с голенью

Конструкция устроена таким образом, чтобы ребенок мог класть ногу не чувствуя какой-либо дискомфорт. Под голень и под стопу планируется прикрепить мягкую ткань. Три трубки привариваются к нижней пластине. Две трубки привариваются к изогнутой пластине, тем самым создавая прочность данной конструкции. На рисунке 23 можно увидеть соединение данной части с коленным сочленением.

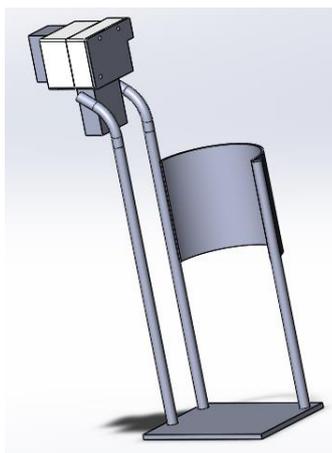


Рисунок 23 – Соединение коленного сочленения

Трубки загибаются в сторону профильной трубы для того, чтобы конструкция прилегала к ноге ребенка и привариваются к профильной трубе.

Конструкция тазобедренного сочленения подобна конструкции коленного сочленения.

Известно, что диаметр вала двигателя для тазобедренного сочленения равен 8 миллиметрам. Так как наша цель минимизировать габариты конструкции, то подшипник подберем по диаметру вала двигателя. Так как ближайший по внутреннему диаметру подшипник равен 9 миллиметрам, то выбор остановился на шариковом подшипнике 626DD с характеристиками представленными в таблице 7.

Таблица 7 - Подшипник 629RS

Подшипник	Внешний диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Ширина, мм	Вес, г
629RS	26	9	8	22

Зная размеры двигателя 100FH была реализована модель для понимания крепления к тазобедренному сочленению. На рисунке 24 можно увидеть тазобедренное сочленение.

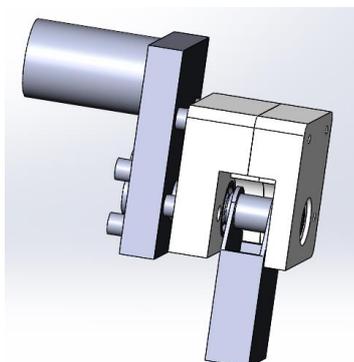


Рисунок 24– Тазобедренное сочленение

На рисунке 25 представлена механическая нога экзоскелета.

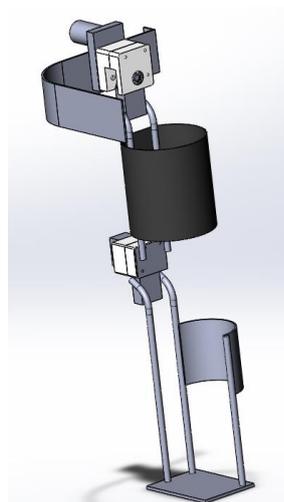


Рисунок 25 – Механическая нога экзоскелета

На рисунке 25 можно видеть бандаж, который должен охватывать бедренную кость и трубки, которые с одной стороны приваренные к коленному сочленению, а с другой к профильной трубе. Двигатель 100FH с одной стороны крепится к тазобедренному сочленению винтами М4х70 с полусферической головкой с полной резьбой, а с другой стороны крепится к раме, которая охватывает пояс ребенка и с другой стороны таким же образом крепится ко второй механической ноге.

Чертежи данной конструкции и ее элементов представлены в приложении А. Приведены чертежи правой механической ноги. Для получения модели левой

механической ноги необходимо воспользоваться встроенной функцией SolidWorks «Зеркальное отражение».

2 Концепция стартап-проекта

В ходе данной работы планируется разработать экзоскелет нижних конечностей для ребенка, болеющего спинальной мышечной атрофией и проживающего в городе Томск. Для реализации прототипной модели данного экзоскелета, необходимо провести замеры антропометрических данных тела пациента, по этим показателям рассчитать необходимые параметры экзоскелета и механических компонентов, провести подбор элементной базы, реализовать систему управления исполнительными устройствами, реализовать модель экзоскелета в SolidWorks.

Применение устройства возможно в домашних условиях, а так же в специализированных клиниках.

Современная медицинская практика и статистические данные наглядно показывают острую потребность в экзоскелетных системах, усиливающих физические возможности людей с постоянными или временными нарушениями работы опорно-двигательного аппарата. На основе предлагаемого в данной работе решения возможно создание экзоскелетных устройств, которые могут применяться как в медучреждениях, так и в домашних условиях в качестве средств:

- терапии заболеваний опорно-двигательного аппарата;
- реабилитации и тренировки мышц после временной потери функций опорно-двигательного аппарата.

Целью раздела является разработка концепции стартап-проекта экзоскелета нижних конечностей EchoRH.

2.1 Продукт

Экзоскелет «EchoRH» – современное устройство на основе ЭМГ-датчиков, микроконтроллеров, двигателей и другого электрического оборудования. Устройство предназначено для тренировки и адаптации к движению нижних конечностей пациента

В устройстве применяется следующий принцип работы: при сокращении мышцы возникают биоэлектрические потенциалы, которые снимаются при помощи датчиков и передаются на микроконтроллер. Микроконтроллер в свою очередь обрабатывает данный сигнал и выдает управляющий сигнал на исполнительные устройства. Исполнительные устройства приводят в движение конструкцию экзоскелета, которая связана механическими связями с ногой, тем самым приводя в движение конечность человека. Движение конечностей позволяет больному адаптировать суставы, мышцы и связки к нагрузкам, тем самым тренируя нижние конечности.

2.2 Анализ конкурентных преимуществ

Товарами конкурентами являются: медицинский экзоскелет «ExoAtlet» компании «ЭкзоАтлет», ассистирующий экзоскелет ExoLite компании «ЭкзоМед», роботизированный реабилитационный экзоскелет «REX» производства «REX BIONICS», экзоскелет «ATLAS 2030» производства «Marsibionics», профессиональный тренажер RT300-SUPINE компании «Cyclone».

В результате анализа конкурентных преимуществ было выявлено, что главным преимуществом разрабатываемого продукта перед аналогами является его цена, более совершенная система управления устройством по сравнению с аналогами. Преимуществом конкурентных устройств является известность и положительный опыт их применения в сегменте реабилитационной медицины, наличие проводимых в данный момент работ и исследований по модернизации уже существующих образцов. Также почти все представленные аналоги обладают большим функционалом, однако данный фактор несет в себе и отрицательные черты, так как неизбежно ведет к значительному увеличению цены устройства. Техничко-экономические характеристики отечественных и зарубежных экзоскелетных устройств представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Техничко-экономические характеристики отечественных и зарубежных экзоскелетных устройств

Аналог	Характер движения	Масса	Габаритные размеры	Цена	Материалы	Метод управления
ЕхоАtлет	Позволяет: Ходить. Садиться/Вставать. Двигаться по наклонным поверхностям. Равновесие поддерживается с помощью костылей.	20 кг	Рост пользователя: 1,6 - 1,9 м Высота: 1,35 м Ширина: 0,64 м	1,5 млн. рублей	Неизвестно	Заранее заданный алгоритм движения Система обратной связи на силомоментных и ЭМГ-датчиках
ЕхоLite	Позволяет: Ходить. Вставать/Садиться. стоять на одной ноге. Двигаться по наклонным поверхностям. Действия не требуют использования костылей.	46 кг	Рост пользователя: 1,55 – 1,85 м Высота: 1,3 м Ширина: 0,74 м	3,5 млн. рублей	Неизвестно	Управление при помощи джойстика

Продолжение таблицы 8 - Техничко-экономические характеристики отечественных и зарубежных экзоскелетных устройств

REX	Позволяет: Ходить. Вставать/Садиться. Передвигаться по наклонным поверхностям. Не требует костылей или иных средств для стабилизации.	38 кг	Рост пользователя: 1,46 – 1,95 м Высота: 1,35 м Ширина: 0,64 м	9,5 млн.рублей	Композиты и различные сплавы металлов, пластмасса высшего класса	Управление при помощи джойстика или планшета
ATLAS 2030	Позволяет ходить пациентам со СМА.	26 кг	Рост пользователя: 1 – 1,5 м Ширина: 0,24 – 0,35 м	Неизвестно	Неизвестно	Управление при помощи джойстика Управление на основе остаточного движения
RT300-SUPINE	Производит базовые движения нижних конечностей, одновременно проводя функциональную электростимуляцию мускульной системы.	48 кг	Рост пользователя: 1,32 – 1,98 м Высота: 1 м Ширина: 0,49 м	Неизвестно	Алюминий, сталь, полистирол, полиуретан	Контроль движений через панель управления.

Более низкий функционал нашего устройства можно считать в некотором роде преимуществом, повышающим его конкурентоспособность, так как благодаря снижению функционала мы способны предложить намного более низкую цену по сравнению с аналогами, что делает наше устройство более доступным для частных лиц. Себестоимость устройства, рассчитанная для условий, когда в месяц будет изготавливаться и реализовываться одно устройство, представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Себестоимость единицы продукта

Наименование	Количество	Цена за единицу, рублей	Стоимость, рублей
Экзоскелет нижних конечностей			
ЭМГ-датчик	8	2500	20000
Двигатель постоянного тока	4	2000	8000
Энкодер	4	1000	4000
ПО 3D-моделирования (SolidWorks)	1	13000	13000
ПО мат. моделирования (MATLAB)	1	1000	1000
Микроконтроллер	4	2500	10000
Работы по производству, сборке и наладке устройства	1	100000	100000
Аренда помещения	1	10000	10000
Итого			166000

2.3 Целевые аудитории

К одним из особенностей рынка медицинских изделий и оборудования можно отнести, что медицинское изделие эксплуатируют квалифицированные специалисты и медицинские сестры, но конечное решение о закупке на рынке принимается третьими лицами – главными врачами ЛПУ и/или руководителями отдела закупок, исходя из запросов заведующего отделением и ведущих специалистов отделения. Конечными потребителями на рынке являются пациенты, получающие услугу.

2.3.1 Медицинские учреждения

Итак, первая целевая аудитория проекта – это врачи-реабилитологи, формирующие заявку на закупку тренажера. К основным мотивам и целям приобретения медицинской техники организациями здравоохранения можно отнести следующие цели:

увеличение производительности. При закупке тренажеров производительность будет измеряться уменьшением сроков пребывания пациентов в медучреждении;

- улучшение качества предоставляемых услуг. Тренажеры должны способствовать снижению количества осложнений и сокращению постоперационного периода;
- расширение спектра оказываемых услуг, т.к. закупка нового оборудования позволяет принимать на реабилитацию пациентов с большим набором показаний. Для коммерческих медицинских структур современная техника важна не только как инструмент повышения качества обслуживания, но и как фактор в конкурентной борьбе. Эта тенденция постепенно начала распространяться и на государственные заведения;
- повышение качества обслуживания посетителей и больных. Для достижения этой цели необходимо увеличить количество успешно реабилитированных больных.

-

2.3.2 Фирмы-поставщики медицинской техники

Фирмы-поставщики медицинской техники выполняют важную функцию на медицинском рынке. Они непосредственно работают с ЛПУ, в том числе и с врачами и главными врачами больниц, соответственно, могут влиять на выбор того или иного изделия специалистом. Таким образом, фирмы-поставщики могут не только работать с существующим спросом, но и, в какой-то степени, сами создавать спрос на то или иное медизделие. Менеджеры и торговые представители фирм-поставщиков могут предлагать врачам продукцию определенных поставщиков, поэтому производителям медицинских изделий

необходимо налаживать контакт с крупными поставщиками медицинских изделий и предлагать выгодные условия работы.

Компании-поставщики – это, как правило, индивидуальные предприниматели или общества с ограниченной ответственностью, поставляющие медицинское оборудование, изделия и фармацевтические и лекарственные препараты. Компании небольшие по размерам, работающие в пределах одного-двух регионов. Расположены в крупных городах или областных центрах. В основном работают с крупными и средними закупщиками. Основной ассортимент предлагаемой продукции принадлежит импортным производителям. Работают с широким перечнем продукции и с разными, иногда даже конкурирующими между собой производителями. В своем штате имеют несколько менеджеров, которые непосредственно работают с ЛПУ и участвуют в организации закупок.

Основной мотив второй целевой аудитории – большое денежное вознаграждение и отсутствие рекламы.

2.3.3 Частные лица

Если люди со средним доходом могут использовать данное устройство в специализированных учреждениях, то люди с доходом выше среднего могут позволить приобрести данное устройство для личного пользования.

2.4 Бизнес-модель проекта

Бизнес-модель проекта было решено представить в форме матрицы Остервальдера. Бизнес-модель Остервальдера - это шаблон из девяти блоков, каждый из которых представляет собой ключевой элемент бизнеса. Действующим компаниям бизнес-модель Остервальдера поможет не только выявить новые возможности роста, но и проанализировать деятельность конкурентов, заимствуя лучшие практики.

Типовой вид матрицы Остервальдера представлен на рисунке 26.

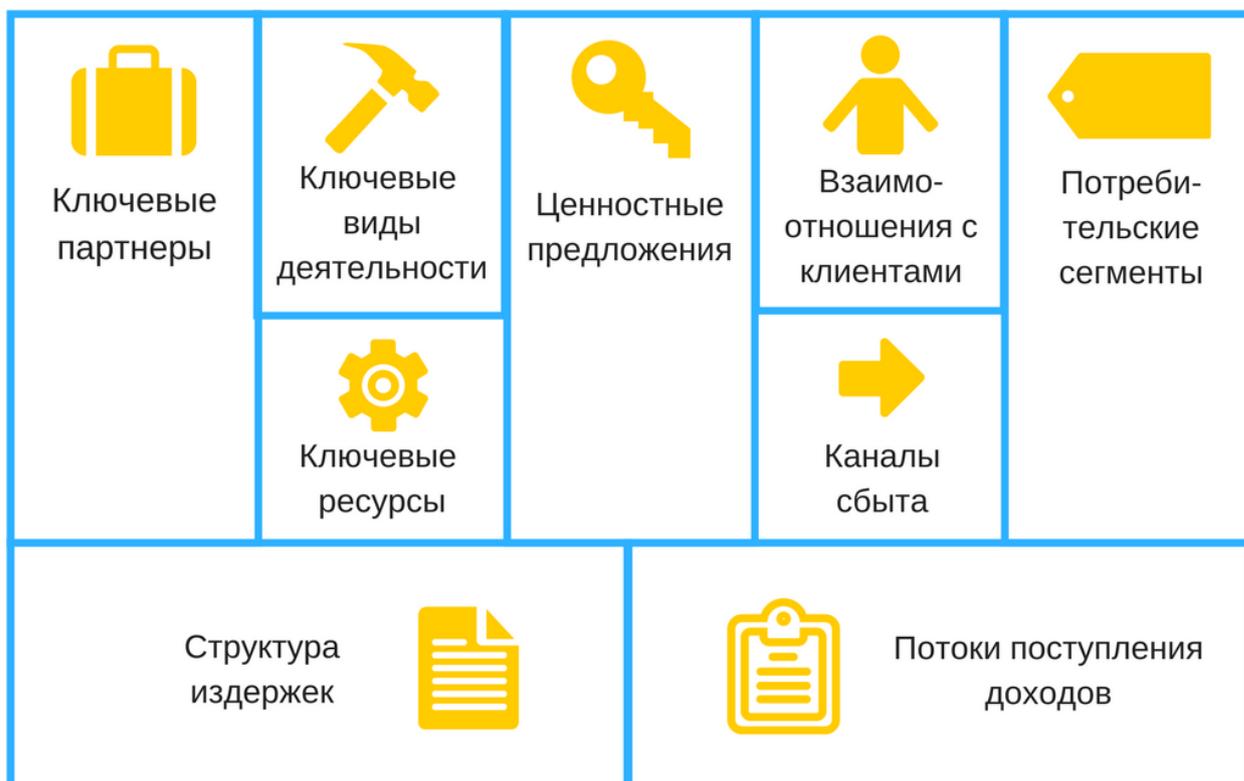


Рисунок 26 – Типовой вид матрицы Остервальдера

Бизнес-модель разрабатываемого проекта представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Бизнес-модель проекта в форме матрицы Остервальдера

<ul style="list-style-type: none"> • Органы социальной защиты • СМИ • Медицинско-исследовательские учреждения • Разработчики комплектующих • Фирмы, обладающие производственными мощностями 	<ul style="list-style-type: none"> • Качественные: <ul style="list-style-type: none"> • Сборка • Математическое и компьютерное моделирование • Программирование • Персональные подготовительные мероприятия для каждого клиента 	<ul style="list-style-type: none"> • Один из немногих комплексов механотерапии для терапии и реабилитации детей инвалидов со СМА • Доступная цена • Перспективная методика работы комплекса • Обучающие мероприятия для клиентов • Гарантийное обслуживание 	<ul style="list-style-type: none"> • Персональная поддержка каждого пользователя • Автоматические средства работы с клиентами 	<ul style="list-style-type: none"> • Медицинские учреждения • Фирмы - поставщики медицинской техники • Частные лица
	<ul style="list-style-type: none"> • ПО • Качественные материалы • Электронные и механические компоненты • Финансы • Недвижимость • Бюджетные средства 3-Д печати 		<ul style="list-style-type: none"> • Органы социального страхования и социальной защиты • Государство • Контактные центры • Интернет 	
<ul style="list-style-type: none"> • Комплектующие • Сборка • Техобслуживание • Содержание материально-технической базы (контактные центры, участки производства) 		<ul style="list-style-type: none"> • Субсидии от государства и социальных служб • Разовая сделка при приобретении устройства • Техобслуживание 		

2.5. Заключение по разделу «Концепция стартап-проекта»

В результате исследования была определена концепция стартап-проекта по разработке экзоскелета нижних конечностей для больных с заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Был проведен анализ конкурентов, рассчитана себестоимость продукта, определена целевая аудитория продукта. Также была составлена бизнес-модель проекта в форме матрицы Остервальдера. Учитывая все конкурентные преимущества устройства, можно предположить, что продукт будет конкурентоспособным на рынке реабилитационных товаров и услуг.

2 Социальная ответственность

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К правовым нормам, регламентирующим эргономические требования к рабочей зоне исследователя можно отнести следующие нормативные документы:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
3. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
4. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
5. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
6. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
7. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
8. ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.
9. ГОСТ Р ИСО 9355-3-2010. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 3. Механизмы управления.

В соответствии с Трудовым кодексом РФ 197-ФЗ предусмотрена рациональная организация труда в течении смены, согласно которой:

- длительность рабочей смены должны быть не более 8 часов;

- должны быть установлены два регламентируемых перерыва – не менее 20 минут после 1-2 часов работы или не менее 30 минут после 2 часов работы;
- обеденный перерыв должен быть не менее 40 минут, может быть скользящим в течение рабочей смены.

2.1 Производственная безопасность

Таблица 11 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+		СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Превышение уровня шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
3.Отсутствие или недостаток естественного света (освещенность)	+	+		СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
4.Физические и нервно-психические перегрузки	+	+		ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
Электробезопасность (возможность поражения электрическим током от источников питания ПК, при соприкосновении с не заизолированными проводниками и при коротком замыкании в электрической цепи);	+	+		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током»;

3.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Под микроклиматом понимают внутренний климат помещения, в котором выполняется работа. Микроклимат рабочего места определяется в основном данными параметрами:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Отклонение показателей микроклимата может быть вызвано конструктивными особенностями производственного помещения, функционированием производственного оборудования, климатическими условиями окружающей среды.

Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата, согласно СанПиН 2.2.3.548-96 приведены в таблице:

Таблица 12 – Оптимальные значения характеристик микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	(22 – 24)	(21 – 25)	(40 – 60)	0,1
Теплый	Ia (до 139)	(23 – 25)	(22 – 26)	(40 – 60)	0,1

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия: введение системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата через изменение

другого, спецодежда и средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентация времени работы, сокращение рабочего дня и т.д.

3.2.2 Превышение уровня шума

Во время разработки описываемой системы основными источником шума является ПК.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 уровень шума в помещениях для работы с ПК не должен превышать 50 дБА. Помимо этого, помещения для работы с ПК не должны граничить с производственными помещениями с высоким уровнем шума. Однако, можно использовать шумоподавляющие материалы, которые могут значительно уменьшить шум из соседних помещений. В качестве индивидуальной защиты от шума можно использовать беруши или специальные наушники.

В СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлены допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого ПЭВМ (таблица 13).

Таблица 13 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в ДБа
31,5Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

3.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны может быть обусловлена особенностями устройства производственных помещений (недостаток источников естественного света), а также недостаточным количеством источников искусственного света.

Плохое освещение негативно воздействует на зрение, протекание биологических ритмов внутри организма, приводит к быстрому утомлению,

снижению работоспособности, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы. Все вышеприведенные факторы могут стать причинами несчастных случаев.

Обычно на производстве пользуются двумя видами освещения — естественным и искусственным. Как естественный, так и искусственный свет способствует усилению деятельности человека.

При хорошем освещении устраняется напряжение глаз, облегчается различение обрабатываемых изделий, ускоряется темп работы. Бодрое, жизнерадостное настроение, повышенная активность находятся в прямой связи с хорошим освещением помещения.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК регламентирует СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК

Освещенность на рабочем столе	(300 – 500) лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блескость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5 %

На рабочее место приходится около 420 лк, что, согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, удовлетворяет нормирующим характеристикам; имеются естественный и искусственный источники света.

В случае недостатка освещения можно предложить к исполнению следующие мероприятия: введение дополнительных источников искусственного

света, помещения для отдыха, регламентация времени работы, сокращение рабочего дня и т.д.

3.2.4 Психические и физические нагрузки

Работа за ПК монотонна, требует высокой концентрации, вызывает напряжение. При работе за ПК разработчик находится в сидячем положении, что негативно сказывается на состоянии здоровья. Также разработчик выполняет умственную работу, что влияет на функции нервной системы, влияет на зрение и слух и на психическое здоровье человека.

В целом к рабочему месту исследователя можно предъявить следующие основные требования:

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы, должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления, должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере ГОИ Р-45-084-01 выделяет несколько категорий работ, для каждой из которой регламентируется время и частота перерывов. В таблице 15 приведено суммарное время перерывов в зависимости от категории работы и нагрузки.

Таблица 15 - Суммарное время перерывов в зависимости от категории работы и нагрузки

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное регламентированное время перерывов при 8-часовой смене, мин.
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, часов	
I	До 20 000	До 15 000	До 2	50
II	До 40 000	До 30 000	До 4	70
III	До 60 000	До 40 000	До 6	90

Согласно этой инструкции, уровень нагрузки относится к категории III, группе В. Это значит, что рекомендуется делать перерыв по 15 минут каждый час.

3.2.5 Электробезопасность

Рабочим оборудованием разработчика является ПК, который работает от сети переменного тока. Процесс разработки описываемой системы связан с риском поражения электрическим током, который возникает в сети запитывания ПК, в случае прикосновения к не заизолированным или поврежденным проводникам электрического тока. Действие электрического тока на организм носит разносторонний характер. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие на различные системы организма и может вызвать нарушения в работе жизненно-важных органов.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов регламентируются ГОСТ 12.1.038-82. Данные показатели представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, c										
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Переменные 50Гц	U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60
	I, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50

В качестве мер защиты от прямого контакта с проводниками тока, согласно ГОСТ 12.1.019-2017, необходимо применять следующие защитные меры:

- Основная изоляция;
- Защитные оболочки;
- Безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями.

Все вышеперечисленные меры защиты соблюдены на рабочем месте

3.3 Экологическая безопасность

Поскольку разработка осуществляется на ПК, то необходимо рассмотреть воздействие ПК на окружающую среду.

ПК является источником электромагнитных излучений, источником тепла и шума. Это может оказывать негативное влияние на окружающую среду. Для минимизации влияния следует делать перерывы, выключать компьютер, если не планируется его использование в ближайшее время.

Негативное влияние происходит при утилизации компьютерной техники. Такая техника состоит из большого количества материалов, которые наносят вред окружающей среде. Большинство из них очень долго разлагаются и выделяют токсины. Поэтому утилизация ПК регулируется на законодательном уровне. При утилизации ПК обязательно извлекаются компоненты, отправляются на сортировку и используются повторно. Утилизацией ПК

занимаются специализированные организации. Такие организации есть по всей России, что упрощает утилизацию ПК.

Загрязнение литосферы может происходить в результате утилизации вышедших из строя сервоприводов, ПК, а также элементов искусственного освещения (лампы накаливания, люминесцентные лампы). Составляющими данных компонентов являются: пластик, алюминий, железо, кремний, золото, серебро, медь, олово, ртуть и т.д. Данные отходы следует передавать утилизирующим компаниям. В результате данные материалы будут без вреда для окружающей среды уничтожены либо переработаны для повторного использования.

3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

С учетом специфики разрабатываемой системы с наибольшей вероятностью чрезвычайной ситуацией при разработке и эксплуатации устройства будет являться пожар. Возникновение пожара может быть связано с неисправностью проводки, либо высоким значением тока в сервоприводах.

В качестве мероприятий профилактики пожаров должны быть осуществлены следующие пункты:

- наличие средств пожаротушения;
- правильный выбор электрооборудования и способов его монтажа с учетом пожароопасности окружающей среды;
- оборудование эффективной вентиляции, исключающей возможность образования в помещении взрывоопасной смеси;
- разъяснительная работа среди работающих по соблюдению правил и норм пожарной безопасности;
- запрещение курения и разведения огня в пожароопасных и взрывоопасных помещениях.

В случае пожара необходимо предпринять следующие действия:

- Вызвать пожарных по телефону «01», «101» или «112». Сообщить информацию об адресе, горящем объекте, а также фамилию и имя звонящего, номер телефона.

- При небольшом возгорании попытаться потушить пожар имеющимися средствами пожаротушения. Запрещается тушить водой электроприборы.
- Предупредить о пожаре остальных людей, не допуская паники.
- При значительном распространении пламени немедленно покинуть помещение. Пользоваться лифтами запрещается.
- При задымлении путей эвакуации дышать через влажную ткань, передвигаться, пригибаясь к полу.
- При невозможности покинуть помещение — оставаться в комнате, закрыв окна и двери, привлекать внимание очевидцев через стекло.
- Встретить пожарных, показать машине удобный путь к очагу возгорания.

Заключение по разделу

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут произойти при разработке модели электромеханической части аппарата для людей с ограниченными возможностями. Изучены основные нормативы и способы уменьшения негативных воздействий на здоровье и окружающую среду.

При изучении помещения, было выявлено, что освещение комфортно для работы, соответствует нормам. В рабочем помещении используются энергосберегающие лампы, распределенные равномерно по всему помещению.

Соблюдены микроклиматические условия. В помещении регулируемое отопление, температура 23°C.

Уровень шума незначительно выше допустимого предела (50дБ) и составляет 55дБ. Источниками шума являются системы охлаждения ПК и работа других людей, находящихся в помещении.

Во время работы делаются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических перегрузок.

ПК закрыт в корпус, имеет системы защиты и системы охлаждения, благодаря чему уменьшается нагрев и риск возникновения статического

электричества. Также уменьшается риск возникновения пожара за счет системы защиты.

Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности (имеются порошковый огнетушитель, датчики дыма, пожарная сигнализация).

В случае выхода из строя используемой электроники или ламп, отходы передаются в соответствующие компании.

Заключение

В результате выполнения ВКР была разработана экзоскелет нижних конечностей. Для получения данного результата в первую очередь были рассмотрены положительные и отрицательные стороны аналогов. Затем были сняты необходимые замеры. Так же были произведены расчеты, необходимые для подбора двигателя. По получившимся расчетам был подобран двигатель. Были выбраны основные материалы для разработки. Так же была спроектирована механическая нога. Составлены необходимые чертежи и спецификация к ним. Был разработан концепт стартап-проекта. В проекте установлены возможные опасные и вредные риски, которые сопряжены с данным видом устройств.

Список использованных источников

1. EхоAtlet [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: <https://www.echoatlet.com> (Дата обращения:02.03.19)
2. Экзоскелеты [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: [http://journals.tsu.ru/uploads/import/1288/files/_2__2015\(1\)_53.pdf](http://journals.tsu.ru/uploads/import/1288/files/_2__2015(1)_53.pdf)(Дата обращения:02.03.19)
3. EхоLite [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: <http://robotronic.ru>(Дата обращения:05.04.19)
4. REX [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: <https://nanojam.ru/products/ekzoskelet-rex/>/(Дата обращения:03.03.19)
5. ATLAS-2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: <https://www.sjdhospitalbarcelona.org/ru/sant-zhuan-deu-pervaya-bolnica-kotoraya-ispolzuet-ekzoskelet-dlya-reabilitacii-detey> (Дата обращения: 03.03.19)
6. RT300-SUPINE[Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL:<https://www.cyclonemobility.com/product/rt300-supine-2/>(Дата обращения: 03.02.19)
- 7.И.В.Савельев. Курс общей физики, том I. Механика, колебания и волны, молекулярная физика.-М.:Наука, 1970.
- 8.А.И. Вольдек, В.В. Попов. Электрические машины.Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы. Изд-во 300 лучших учебников для высшей школы, 2008.
9. Герасимов В. Г., Кузнецов Э. В., Николаева О. В. Электротехника и электроника. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины. — М.: Энергоатомиздат, 1996. — С. 62. — ISBN 5-283-05005-X.
10. Шаговый двигатель // Инженерные решения URL: <http://engineeringsolutions.ru/motorcontrol/stepper/> (дата обращения: 15.03.2019).
11. Нгуен Конг Там, Динь Куок Выонг, Ле Тхай Бинь, Вентильный электродвигатель // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. - 2015.

12. Подбор двигателя [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: <https://tech-privod.com/index.pl?act=PRODUCT&id=1173> (Дата обращения: 16.04.19)
13. Расходные материалы для 3d принтеров. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: свободный. URL: <http://3dtoday.ru/industry/3d-printers/consumables/> свободный. (Дата обращения: 16.04.19)
14. Пластик SBS [Электронный ресурс]: - Режим доступа: свободный. URL: <http://rusabs.ru/collection/sbs> свободный. (Дата обращения: 16.04.19)
15. Ликбез по химикатам или что в чем растворяется [Электронный ресурс]: - Режим доступа: свободный. URL: <http://3dtoday.ru/blogs/3dlab/introduction-to-chemicals-or-that-what-is-dissolved/> (Дата обращения: 16.04.19)
16. ГОСТ 2.770-68. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики. – Введ. 01.01.1971. – М.: Изд-во стандартов, 2005 - 10 с.
17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – Введ. 15.06.2003. – М.: Минздрав России, 2003 - 15 с.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
19. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения».
20. СанПиН 2.2.3.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
21. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – Введ. 31.10.1996 – М.: Минздрав России, 1996. - 11 с.
22. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – Введ. 01.10.1996. – М.: Минздрав России, 1997 - 12 с.

23. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 01.01.2011. – М.: Стандартинформ, 2010 – 27 с.
24. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 30.06.1992. – М.: Стандартинформ, 2006 - 68 с.
25. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – Введ. 01.01.1979. – 2000 12 с.