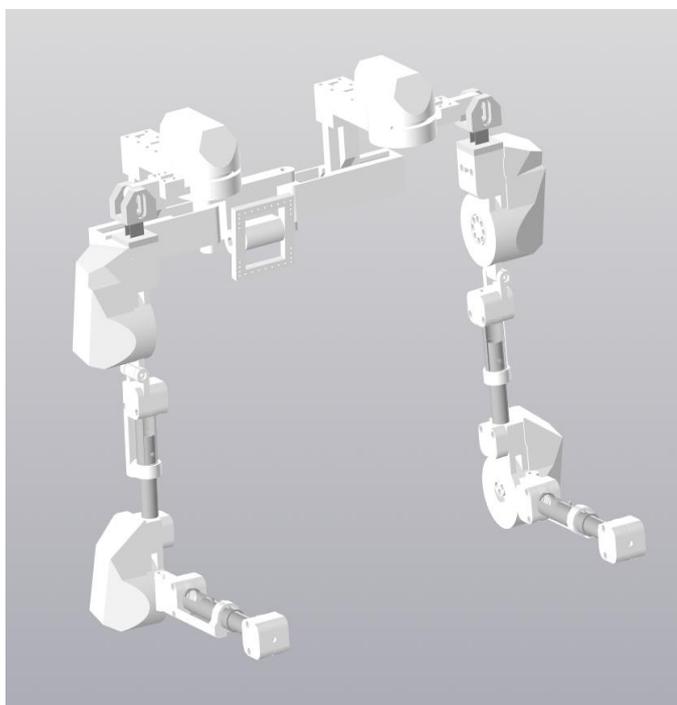


**Пояснительная записка к творческому проекту по
технологии**

**«Создание экзоскелета пояса верхних конечностей для
автоматизации лечебной физической культуры»**



Выполнил:

Огнев Никита Антонович

Ученик 11 класса МОУ гимназии №16 «Интерес»

Руководитель:

Воронов Алексей Алексеевич

Учитель технологии МОУ гимназии №16 «Интерес»

г. Люберцы

Оглавление

1	ВВЕДЕНИЕ	3
1.1	Проблема и актуальность её решения	4
1.1.1	Маркетинговое исследование	4
1.2	Выбор темы проекта.....	7
1.3	Цель и задачи проекта.....	7
2	ПОИСКОВО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭТАП	8
2.1	Исследование по теме реабилитации после инсульта	8
2.2	Исследование по теме экзоскелет	9
3	ОРГАНИЗАЦИОННО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП	14
3.1	Описание экзоскелета	14
3.2	Выбор технологии изготовления	17
3.3	Выбор материалов	18
3.4	Оборудование.....	21
3.5	Начало моделирования	23
3.6	Изучение анатомических особенностей для подбора серводвигателей.....	27
3.6.1	Вес плеча, предплечья и кисти руки человека	27
3.6.2	Биомеханика экзоскелета	28
3.7	Подбор основных компонентов	29
4	КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП	30
4.1	Чертежи деталей, спецификация, инструкционно-операционная карта.....	30
4.2	Ход выполнения работы	38
4.3	Программирование	42
4.4	Описание готового продукта	43
4.5	Применение экзоскелета	44
4.6	Программа реабилитации	45
4.7	Рецензия.....	47
5	ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	49
6	ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	52
7	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53

1 ВВЕДЕНИЕ

Ещё с детства меня окружала медицина, так как я родился в семье медиков. Уже в ранние школьные годы я с интересом читал мамины книги по анатомии и оказанию первой помощи. Сейчас, будучи учеником медицинского класса я наполнен энтузиазмом привносить в этот мир совершенные идеи и помогать людям. Свой проект по технологии я решил связать с медициной и начал искать то, с чем люди сталкиваются часто и что лечить проблематично. Тогда я наткнулся на следующие статистики:

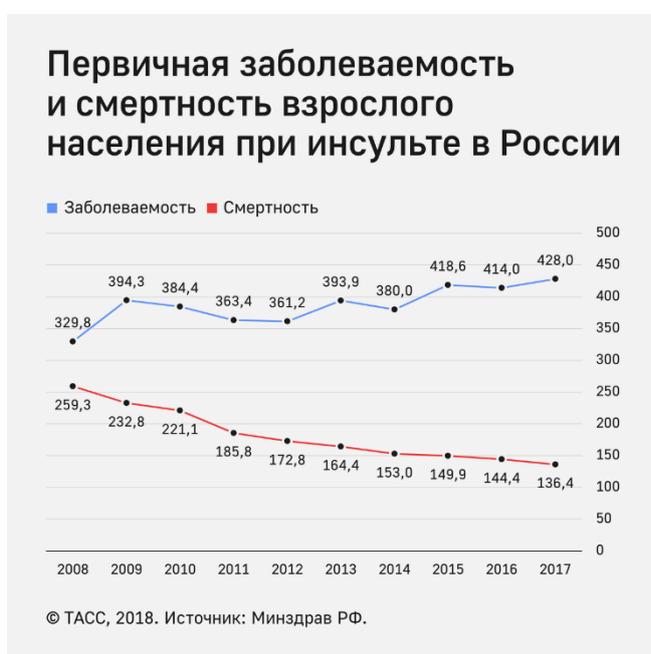


Рис. 1. Статистика заболеваемости по России

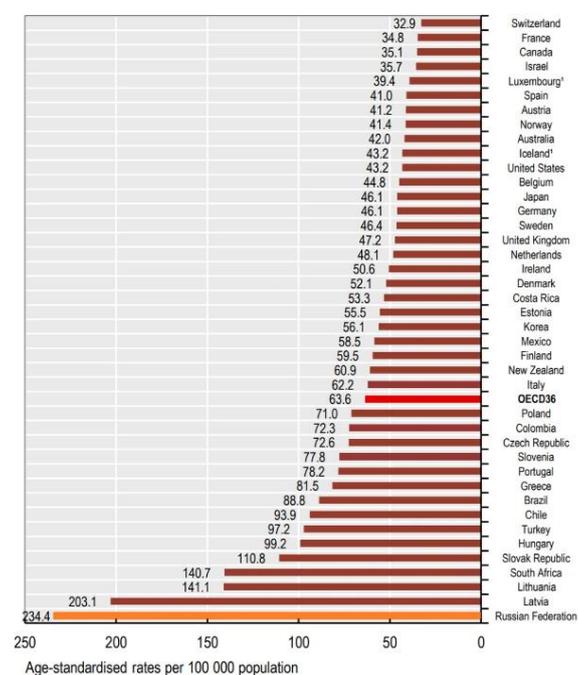


Рис. 2. Статистика заболеваемости по миру

На данный момент больше 500 тысяч человек ежегодно в России переносят инсульт, а статистика по миру ещё более устрашающая – больше 15 миллионов, и Россия занимает в этом рейтинге первое место. Самым серьезным последствием инсульта, если не наступает клиническая смерть, является парез или полный отказ одной из частей тела. В таком случае каждый пациент нуждается в качественном лечении.

1.1 Проблема и актуальность её решения

1.1.1 Маркетинговое исследование

В случае наступления инсульта родственники пациента непременно обращаются к специалисту по ЛФК-реабилитации после инсульта, либо в реабилитационный центр. Стоимость услуг представлена ниже.



Программа «Восстановление двигательных функций»

- ✓ Первичный осмотр невролога (или реабилитолога) и повторный осмотр в конце курса лечения
2 раза/месяц
- ✓ Выезд инструктора ЛФК
3 раза/неделя – 12 занятий в месяц, – 45 мин.
- ✓ Продолжительность
1 месяц

Стоимость: 52 000 руб.

Рис. 3. Стоимость реабилитации с выездом специалиста на дом

Стоимость реабилитации после инсульта в центре

Комплексные программы включают: проживание, питание, лечение, уход.



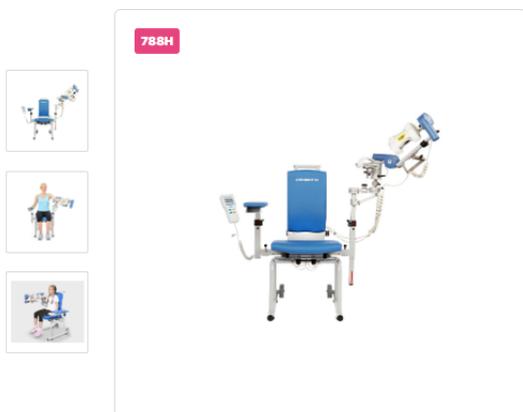
Двухместный

10000 руб.

Рис. 4. Стоимость размещения в реабилитационном центре

Стоимость выезда инструктора ЛФК составляет 52000 рублей за месячные занятия, а стоимость размещения в стационаре – 10000 рублей за 1 день. А для полного восстановления пациента может понадобиться несколько месяцев. Из этого следует проблема **дороговизны** такого лечения. Еще один современный метод реабилитации – **механотерапия**. Если проанализировать рынок аппаратов механотерапии для восстановления локомоторных функций можно увидеть следующие цифры

Аппарат для механотерапии локтевого сустава «ARTROMOT E2»

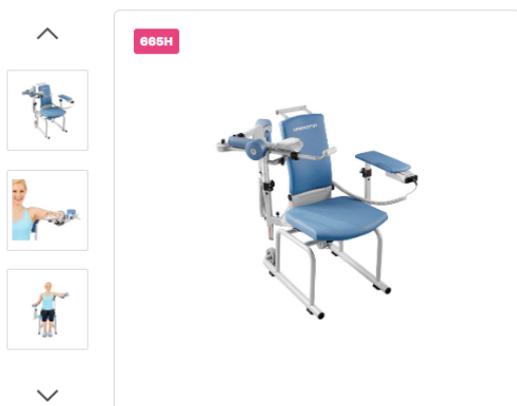


от 723 900 руб

Травмы локтевого сустава могут повлечь за собой массу осложнений. Во избежание этого в ходе реабилитации следует использовать механотерапию. Она осуществляется при помощи специальных тренажеров, среди которых одним из наиболее эффективных является аппарат «ARTROMOT E2».

- Данный тренажер представляет собой надежный механизм, позволяющий избавить пациента от мучений в ходе реабилитации.
- Уникальные конструктивные особенности. Тренажер позволяет не только восстанавливать суставы после травмы, но и проводить профилактику тугоподвижности.

Аппарат для механотерапии плечевого сустава «ARTROMOT S3»



от 707 100 руб

Аппарат для механотерапии плечевого сустава «Artromot S3» используется для реабилитации и раннего восстановления подвижности плечевого сустава, а также для профилактики осложнений, связанных с длительной неподвижностью.

- Максимально возможный объем движений.
- Анатомически правильная настройка.
- Программный пульт для точной настройки всех специфических значений терапии.
- Карты памяти для хранения запрограммированных значений.
- Простая транспортировка.
- Подходит для детей ростом от 110см.

Аппарат для механотерапии лучезапястного сустава «ARTROMOT H»



от 445 800 руб

«ARTROMOT®-H» – двигательный прибор, используемый для пассивной мобилизации сустава запястья. Он применяется для безболезненного восстановления подвижности лучезапястного сустава, предотвращения обездвиживающего состояния, а также в послеоперационный период.

- Полный объем движений для сгибания/разгибания, локтевой/лучевой девиации или в комбинации.
- Долговечен, компактен и полностью портативен.
- Малый вес и удобные ремни обеспечивают комфортное ношение в течение длительного времени.

Рис. 5. Аппараты механотерапии компании ARTROMOT

Как видно, цены за такие аппараты доходят до **миллиона** рублей, не каждый реабилитационный центр имеет возможность приобрести такое оборудование.

Если проанализировать распространённость данной проблемы, используя статистику из отечественного поискового сервиса Яндекс, можно наблюдать следующие цифры:

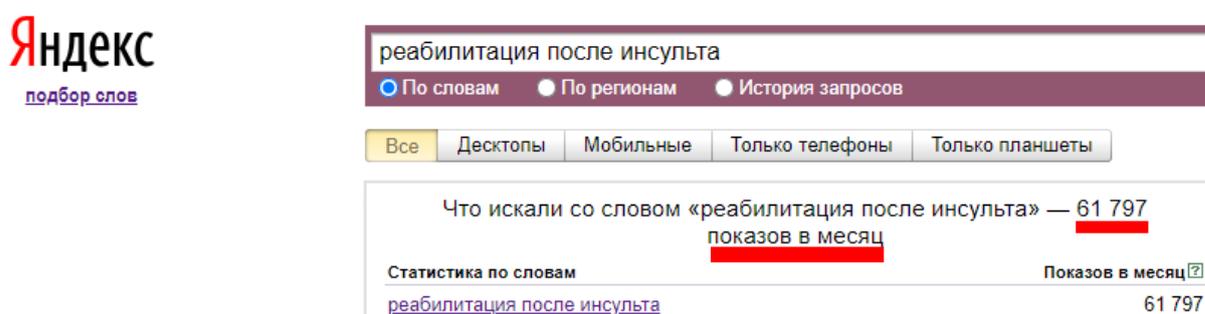


Рис. 6. Статистика по поисковому запросу

Больше **60 тысяч** людей ежемесячно ищут информацию о реабилитации после инсульта.

Обобщая вышесказанное можно сделать вывод – на данный момент стоит острая проблема **дороговизны реабилитации и реабилитационного оборудования.**

1.2 Выбор темы проекта

Мой проект нацелен на решение проблемы дороговизны реабилитации и реабилитационного оборудования, соответственно, результатом моей работы должен стать аппарат, серийное производство и массовое распространение которого решит эти проблемы.

1.3 Цель и задачи проекта.

Цель проекта: сделать реабилитацию после инсульта доступной

Задачи проекта:

- Изучить способы реабилитации после инсульта
- Выбрать оптимальный вариант, который можно повторить в рамках мастерской
- Изучить строение верхнего пояса конечностей человека;
- Создать 3D модель аппарата;
- Изготовить рабочую модель аппарата;
- Разработать план реабилитации;

2 ПОИСКОВО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭТАП

В своей работе я собираюсь использовать методы исследования, такие как теоретический (анализ и синтез), математический (приведение статистических данных) и эмпирический (сравнение).

2.1 Исследование по теме реабилитации после инсульта

Проанализировав источники информации, были выделены следующие методы реабилитации после инсульта:

- Лечебная физическая культура (ЛФК)
- Иглорефлексотерапия (введение тонких игл)
- Гипербарическая оксигенация (насыщения пациента кислородом под высоким давлением)
- БОС-терапия (комплекс исследовательских, немедицинских, физиологических, профилактических и лечебных процедур)
- Массаж

В рамках мастерской школы доступные способы обработки материалов позволят изготовить аппарат для лечебной физической культуры, который так же совмещает в себе массаж. Ещё одним важным пунктом является мобильность моего будущего аппарата. Идеальным вариантом будет **создание экзоскелета пояса верхних конечностей.**

2.2 Исследование по теме экзоскелет

Экзоскелет (от греч. ἔξω – внешний и σκελετος – скелет) – устройство, предназначенное для увеличения силы человека за счет внешнего каркаса. Обычно принято считать, что первый экзоскелет был разработан General Electric в 60-х и назывался Hardiman (рис. 4).



Рис. 7. Экзоскелет «Hardiman»

Он мог поднимать 110 кг при усилии, применяемом при подъеме 4,5 кг. Это был огромный гидравлический погрузчик. Однако он был непрактичным из-за его значительные массы в 700 кг. Проект был закрыт из-за очевидного провала. Далее были многие попытки улучшить технологию, но все было неудачно, пока не были достаточно развита электроника и вычислительная техника. Сейчас, с развитием технологий экзоскелеты многократно усовершенствовались –



Рис. 8. Экзоскелет «HULC» (США)

стали легче и мобильнее. Например, военный экзоскелет HULC (США) (рис. 5) – устройство с весом 25 кг позволяет солдату перемещаться с грузом по пересеченной местности, при этом отмечается высокая скорость перемещения.

Такой экзоскелет направлен на увеличение выносливости, силы как верхних, так и нижних конечностей, у здоровых людей, а именно военных. В ряде стран, где приоритетными являются социальные проекты, разработаны активные экзоскелеты, позволяющие восполнять утраченные функции и осуществлять физическую и социальную реабилитацию пациентов. Примером могут служить экзоскелеты ReWalk, HAL, eLEGS.

Экзоскелет ReWalk (Израиль) (рис. 6) позволяет людям с параличом нижней половины тела (нижний парапарез) вставать на ноги и ходить, опираясь на палки. Работа конструкции ReWalk основана на датчиках, улавливающих наклон тела вперед и передающих сигнал к поддерживающим ноги приборам. Цена аппарата составляет 100 тыс. долларов. Питание осуществляется от аккумулятора, размещенного в специальном рюкзаке за спиной. Применение конструкции возможно только у лиц с сохраненными функциями верхних конечностей



Рис. 9. Экзоскелет «ReWalk» (Израиль)



Рис. 10. Экзоскелет «HAL» (Япония)

Экзоскелет HAL (Япония) (рис. 7) предназначен для пожилых людей и инвалидов, испытывающих затруднения в передвижении. Общий вес конструкции равен 23 кг, высота – 160 см. Кроме того, аккумуляторная батарея весит 10 кг, а время автономной работы (в условиях максимальной нагрузки) составляет 2,5 ч. Стоимость изделия составляет 4 200 долларов.

eLEGS (США) (рис. 8) – это специальный гидравлический экзоскелет, предназначенный для пациентов с частично парализованными нижними конечностями. Конструкция позволяет им передвигаться с использованием костылей или специальных ходунков.

ShoulderX (США) (рис. 9) – промышленный экзоскелет, позволяющий выполнять задачи на уровне груди или потолка в течение более длительного времени или с



Рис. 11. Экзоскелет «eLEGS» (США)

меньшими усилиями. Устройство поддерживает плечевой сустав пользователя. Вес такого экзоскелета всего 3 кг.



Рис. 12. Экзоскелет «ShoulderX» (США)

В России ООО «Транспортные шагающие системы» создали пассивный экзоскелет «К-2» (рис. 10), предназначенный для нужд военных и МЧС. Данное устройство поможет человеку переносить тяжести (рюкзак, бронежилет, защиту сапера, снаряжение пожарного) массой до 50 кг в течение длительного времени без больших усилий и нагрузки на собственный опорно-двигательный аппарат. Минимальные размеры и вес устройства (от 2 кг), эргономичность, неприхотливость в обслуживании сделают его незаменимым помощником в длительных экспедициях, военных марш-бросках, в районах с чрезвычайной ситуацией.



Рис. 13. Экзоскелет «К-2» (Россия)

Ещё одной отечественной разработкой является экзоскелет EхоAtlet (*рис. 11*). Компания совместно с заслуженным врачом России, академиком РАН Константином Лядовым разработали экзоскелет для медицинской и социальной реабилитации. Экзоскелет позволяет ускорить процесс реабилитации и повысить качество жизни пациентов с локомоторными нарушениями.



Рис. 14. Экзоскелет «EхоAtlet» (Россия)

Я считаю, что российские врачи, ученые и конструкторы экзоскелетов вносят огромный вклад в мировую культуру.

3 ОРГАНИЗАЦИОННО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

3.1 Описание экзоскелета

Экзоскелет является системой, состоящей из эргономичного телу каркаса с разнообразными приводами, системы управления и источника энергии. Соответственно, моя разработка должна включать в себя:

1. Анатомические крепления предплечья и плеча
2. Механизм, приводящий в движение предплечье и плечо
3. Надежное закрепление на теле пациента
4. Низкий вес экзоскелета

Исходя из этих критериев я сделал первые наброски моего будущего экзоскелета

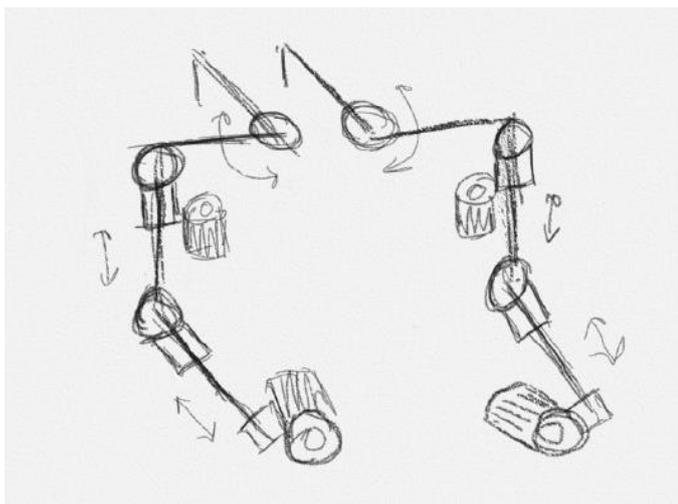


Рис. 15. Эскиз экзоскелета

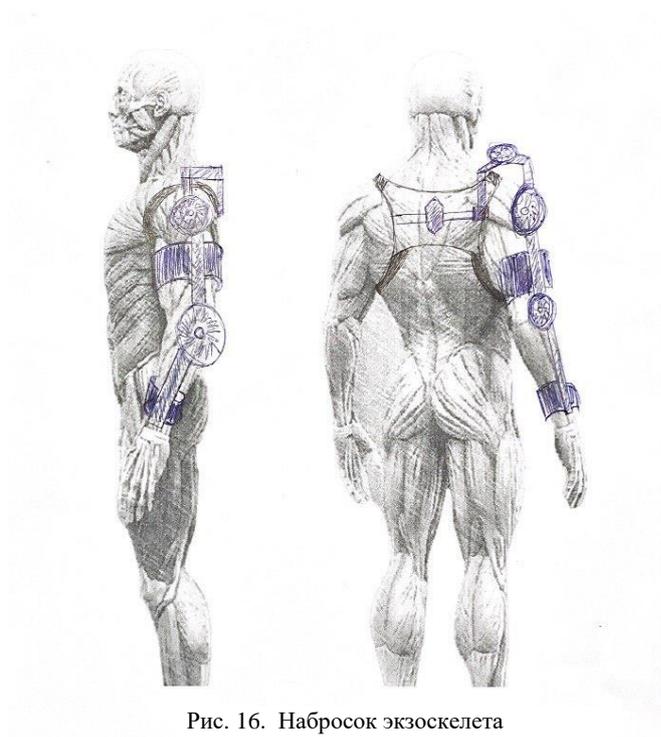


Рис. 16. Набросок экзоскелета

После чего приступил к непосредственному проектированию части предплечья-плечо. Склеил 4 листа А4, обвёл собственную руку и поверх неё начал проектировать экзоскелет. Такой метод позволил мне с наибольшей точностью определить необходимые размеры и особенности расположения деталей в соответствии с анатомией человека.

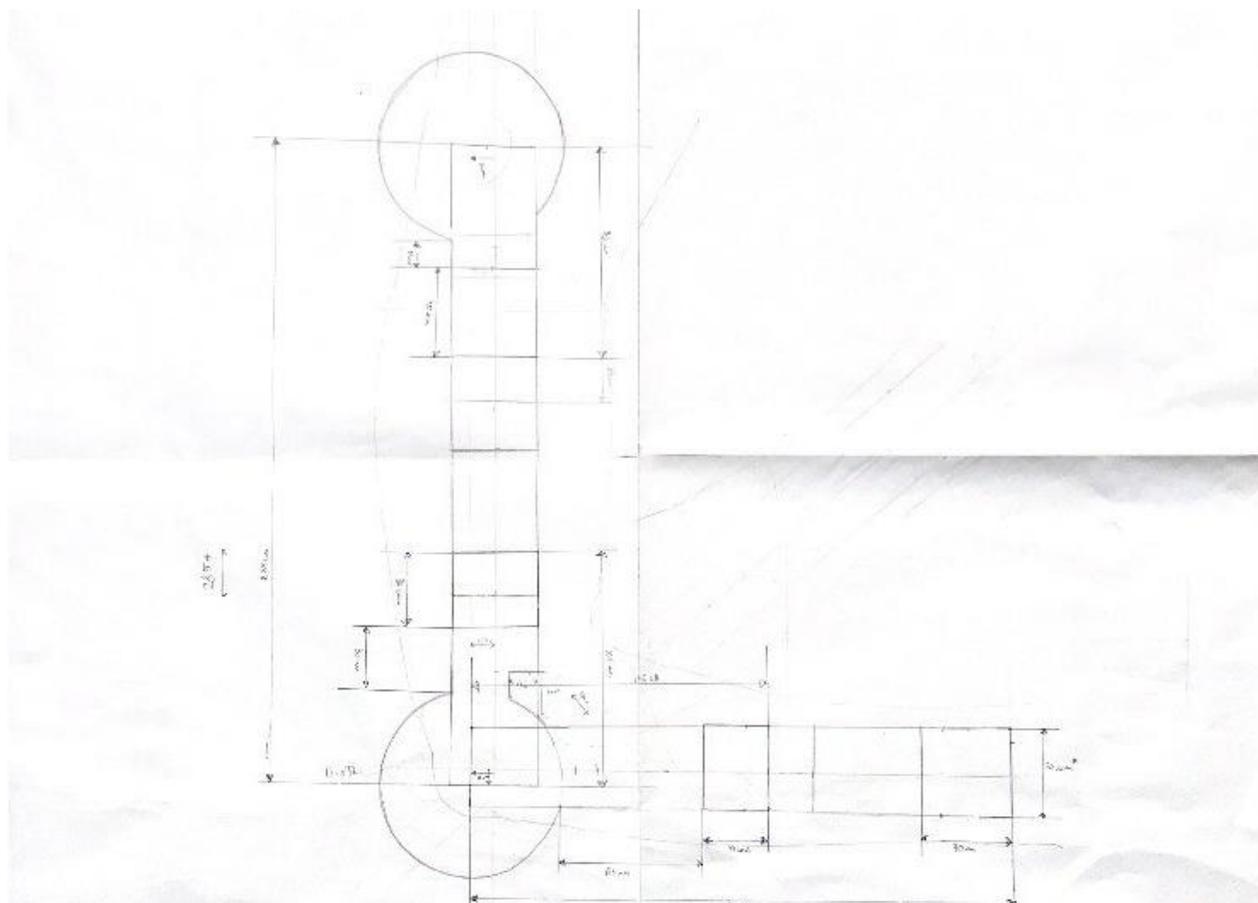


Рис. 17. Чертеж экзоскелета

3.2 Выбор технологии изготовления

Для выбора метода изготовления был проведён **морфологический анализ** возможных вариантов обработки материалов. В рамках школьной мастерской мне доступны следующие способы обработки материалов:

- Обработка на токарном станке по металлу
- Обработка на токарном станку по дереву
- Обработка на ЧПУ фрезере
- Лазерная резка
- Печать на 3D принтере

Полученные ранее 3D модели компонентов имеют сложное строение, поэтому варианты с ручной обработкой на токарном станке в данном случае не подходят. Лазерная резка так же не даст нужного результата. Остаются два варианта – обработка на ЧПУ фрезере и печать на 3D принтере. При обработке на ЧПУ фрезере процентное соотношение отходов доходит до 50%, к тому же детали из алюминия будут значительно тяжелее, нежели детали из пластмассы, напечатанные на 3D принтере. Именно поэтому окончательным вариантом был печать на 3D принтере.

3.3 Выбор материалов

Мой экзоскелет должен быть легким, прочным и мобильным. За основу было решено использовать профили круглого сечения. Варианты, доступные в розничной продаже и их сравнительная характеристика представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Материал	Достоинства	Недостатки
ПВХ труба	Дешевизна, низкий вес	Может не выдержать требуемых нагрузок, невозможно подобрать оптимальный размер из доступных
Стальной профиль	Дешевизна, прочность	Высокий вес
Алюминиевый профиль	Низкий вес, прочность, устойчивость к коррозии	Дороговизна

При проведении сравнительного анализа представленных вариантов было решено использовать алюминиевый профиль, т.к. его характеристики подходят для использования в экзоскелете, а цена незначительно выше относительно других вариантов.

Сложные соединения будут напечатаны на 3д принтере с использованием филамента. Варианты, доступные в розничной продаже и их сравнительная характеристика представлена в таблице 2.

Таблица 2

Материал	Достоинства	Недостатки
PLA	Низкий уровень деформации при охлаждении	Хрупкость изделий, дороговизна
ABS	Износостойкость	Высокая усадка и деформация моделей при охлаждении, дороговизна
PETG	Отсутствие усадки, прочное склеивание слоев, низкий уровень деформации при охлаждении, износостойкость, эластичность, дешевизна	
HIPS	Износостойкость	Деформация моделей при охлаждении

При проведении сравнительного анализа представленных вариантов было решено использовать PETG филамент для печати, т.к. представленный образец обладает всеми необходимыми характеристиками. Сравнительная характеристика материалов для манжет представлена в таблице 3.

Таблица 3

Материал	Достоинства	Недостатки
Нейлон	Термостойкий, эластичный	Не пропускает воздух и не защищает от перегрева, тянется в мокром состоянии
Латекс	Тянется и прогибается, легко возвращается к прежней форме.	Со временем пересыхает, теряет прочность и начинает рваться
Неопрен	Высокая пористость, мягкость, водонепроницаемость	-

Наручи на предплечья будут включать себя пластину из ПЭТ листового. Такая конструкция исключит возможность провисания и перекручивания частей тела.

Итоговый список материалов выглядит следующим образом

Таблица 4

Материал	Применение	Особенности	Фото
Алюминий	Основной корпус	Прочность, легкость, устойчивость к коррозии	
PETG пластик	Сложные соединения	Прочность, легкость, умеренная упругость	
Неопрен	Ремешки/наручи	Эластичность, легкость, пористость, мягкость	
ПЭТ Листовой	Наручи	Прочность, эластичность	
Лента контактная	Ремешки/наручи	Износостойкость	

3.4 Оборудование

В процессе работы мне понадобится различные инструменты

В мастерской установлено несколько принтеров, сравнительная характеристика которых представлена в таблице 5:

Таблица 5

Наименование	Область печати, мм
 ANYCUBIC i3Mega X	300x300x300
 PICASO DESIGNER PRO 250	200x200x200

Область печати ANYCUBIC i3Mega X превышает область печати PICASO DESIGNER PRO 250, поэтому для печати будет задействован именно этот 3D принтер.

Полный список инструментов представлен в таблице 6

Таблица 6

Инструмент	Назначение	Фото
Карандаш	Оформление чертежей	
Чертилка	Нанесение линий на металлических заготовках	
Угольник	Построение прямых линий и углов	
Ножовка по металлу	Обработка металлических заготовок	
Наждачная бумага	Чистовая обработка заготовок	
Паяльник	Пайка электроники	
Компьютер	3д моделирование компонентов	
3д принтер	Печать 3д моделей	
Швейная машинка	Соединение материалов	

3.5 Начало моделирования

Перед моделированием я **использовал несколько методов решения изобретательских задач**, а именно:

- **Метод фокальных объектов** – усовершенствование существующих экземпляров используя креативное мышление. За основу был взят самый примитивный экзоскелет – медицинский гипс. Требовалось добавить подвижные части и улучшить эргономику
- **Морфологический анализ** – подбор возможных решений для отдельных частей. Нужно было понять, каким образом внедрить эти самые подвижные части
- **Метод мозгового штурма** – метод решения задач, в котором несколько человек генерируют максимально количество идей решений задач. Совместно со своим научным руководителем было сгенерировано множество решений, каким образом обычная накладная будет преобразована в подвижный экзоскелет.

Исходя из всех вышеперечисленных пунктов я сделал набросок для общего представления вида экзоскелета. На протяжении всей работы я использовал **метод нисходящего проектирования** – разработка объекта последовательно от общих черт к детальным.

Мне довольно быстро удалось разобраться в программе, поэтому через пару часов был готов черновой вариант экзоскелета, который даёт мне представление о принципах работы и ходе дальнейшего проектирования

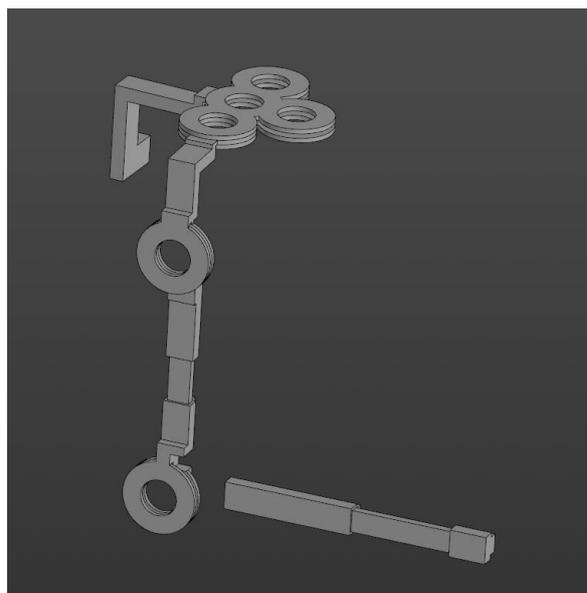
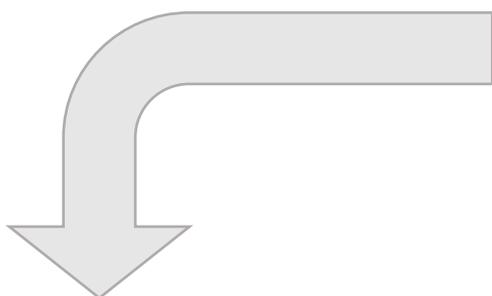


Рис. 21. Первая модель экзоскелета

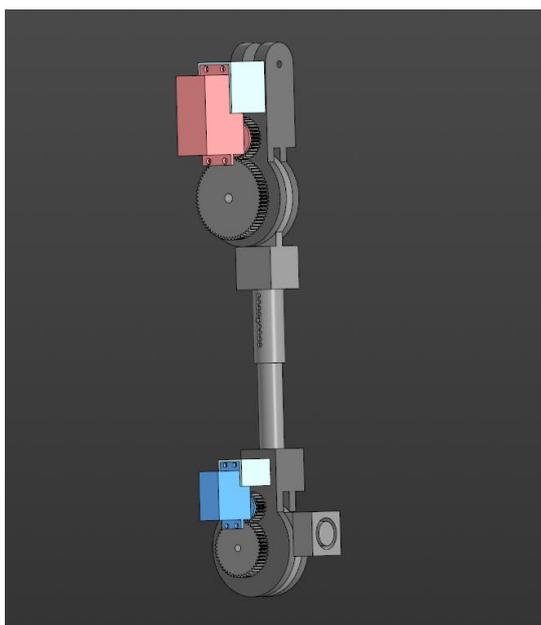


Рис. 22. Фрагмент руки с зубчатой передачей

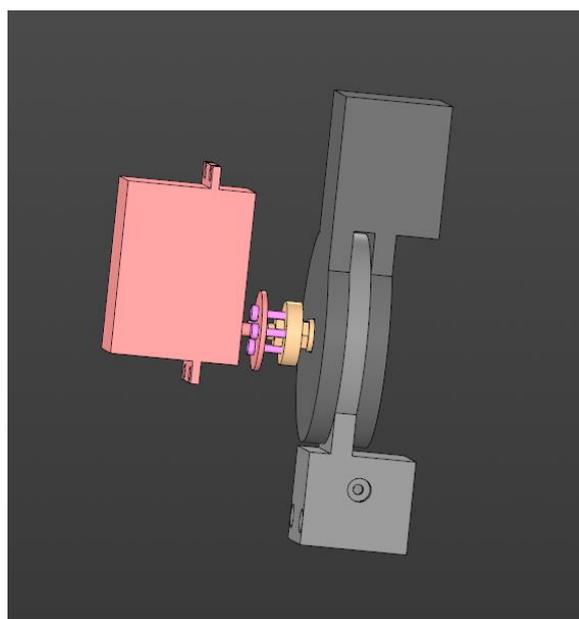
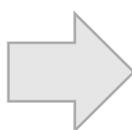


Рис. 23. Сборка механизма плеча

Изначально крутящий момент сервопривода планировалось передавать через зубчатый механизм, но такая конструкция выходила громоздкой и дорогой.

Дальше пришла идея передавать крутящий момент напрямую через переходник.

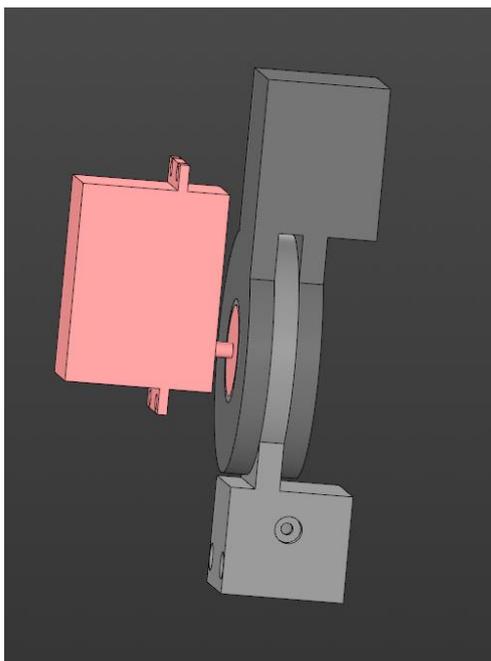


Рис. 24. Сборка механизма плеча

И почти сразу же пришла идея передавать крутящий момент напрямую, присоединяя сервопривод к подвижной детали через алюминиевый фланец.

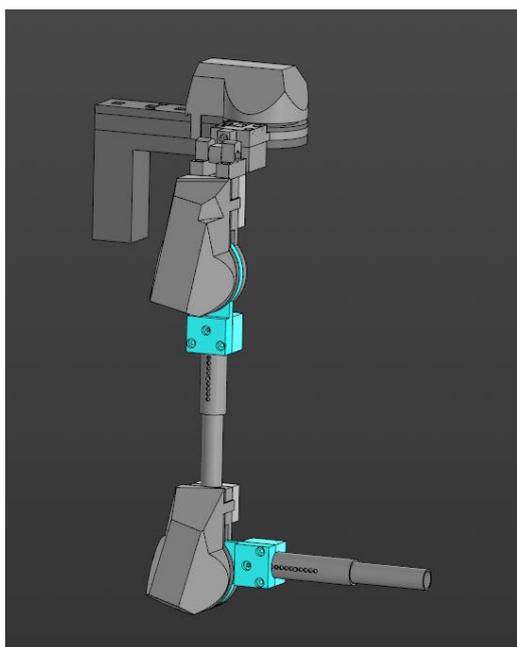
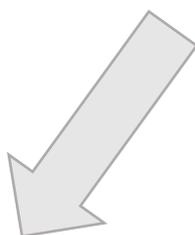


Рис. 26. Сборка с крышками.

Появились крышки на сервоприводы.

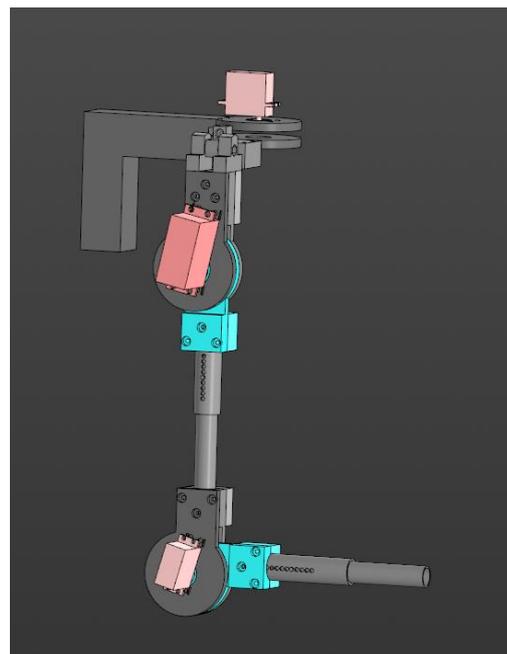


Рис. 25. Усовершенствованная сборка

Дальше экзоскелет стал обрывать всё большим количеством деталей.

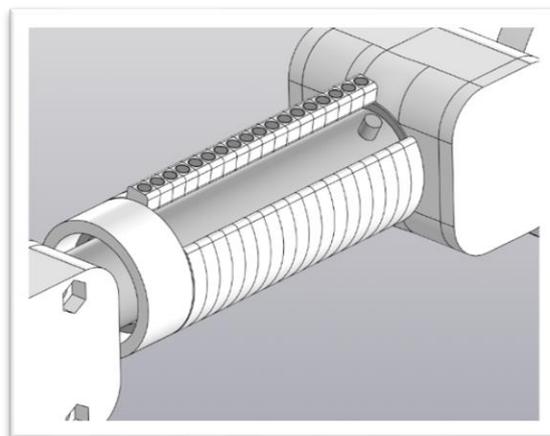


Рис. 27. Полукружный механизм

Дальше я разработал **авторский механизм крепления**, позволяющий фиксировать руку с шагом в 4мм и вращать её вокруг своей оси.

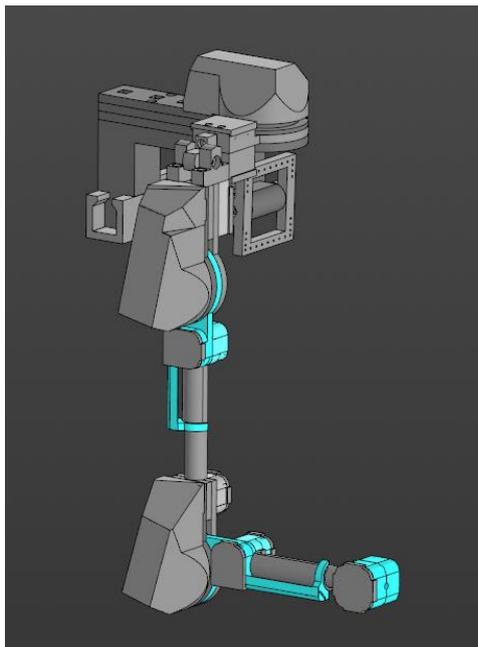


Рис. 28. Усовершенствованная сборка

Но после пробной печати было принято решение отказаться от данного механизма, т.к. он не позволял двигать рукой по нужной траектории.

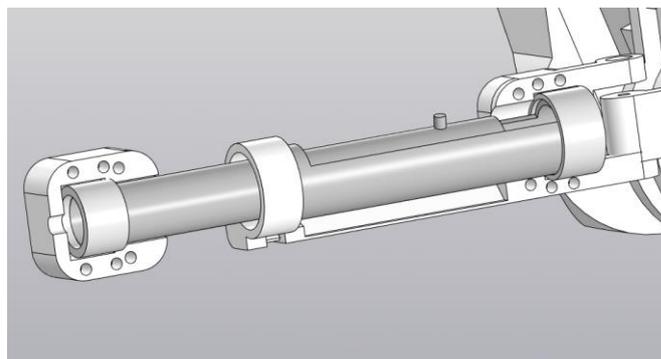
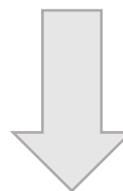


Рис. 29. Строение экзоскелета

Вместо этого был изобретен ещё один механизм. Теперь вращающаяся часть находилась непосредственно в пластмассовых деталях. Такой принцип напоминает подшипник

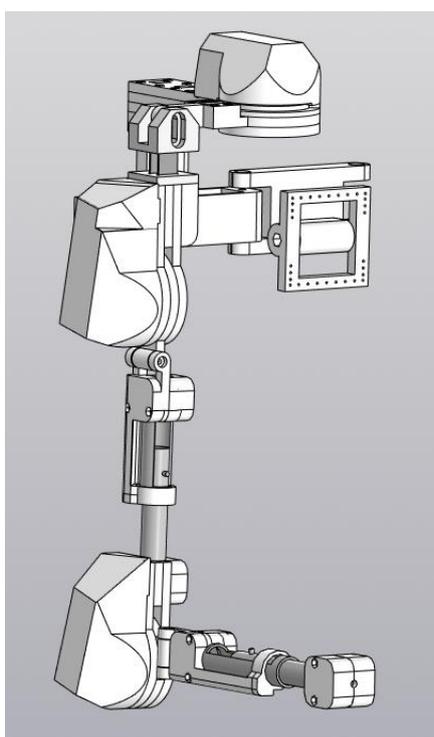
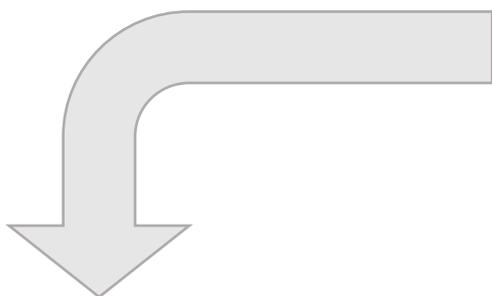


Рис. 30. Актуальная сборка

На данный момент экзоскелет выглядит следующим образом. Все детали крепятся на магнитах, а на плече добавился ещё один механизм регулировки размера

3.6 Изучение анатомических особенностей для подбора серводвигателей

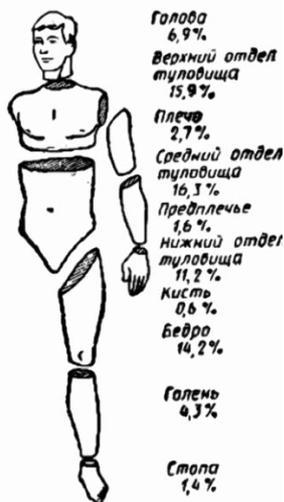
Тело человека можно представить в виде биомеханической системы, состоящей из отдельных сегментов: кисть, предплечье, плечо, голова, туловище, бедро, голень, стопа. Для определения динамических характеристик, определяющих биодинамическую структуру упражнений, необходимо знать масс-инерционные характеристики биомеханической системы: вес звеньев тела, положение их центра тяжести, моменты инерции отдельных звеньев.

Основной литературой, на которую я опирался стал «Практикум по биомеханике физических упражнений»

Тема лабораторной работы: Вес сегментов тела человека и положение их центра тяжести по среднестатистическим данным.

3.6.1 Вес плеча, предплечья и кисти руки человека

Согласно исследованию Загrevсого В.И. и Лавшука Д.А. была выведена формула, по которой можно вычислить вес отдельных сегментов:



$$P_i = \frac{P \cdot K_i}{100},$$

P_i – вес определяемого сегмента;

P – вес тела испытуемого;

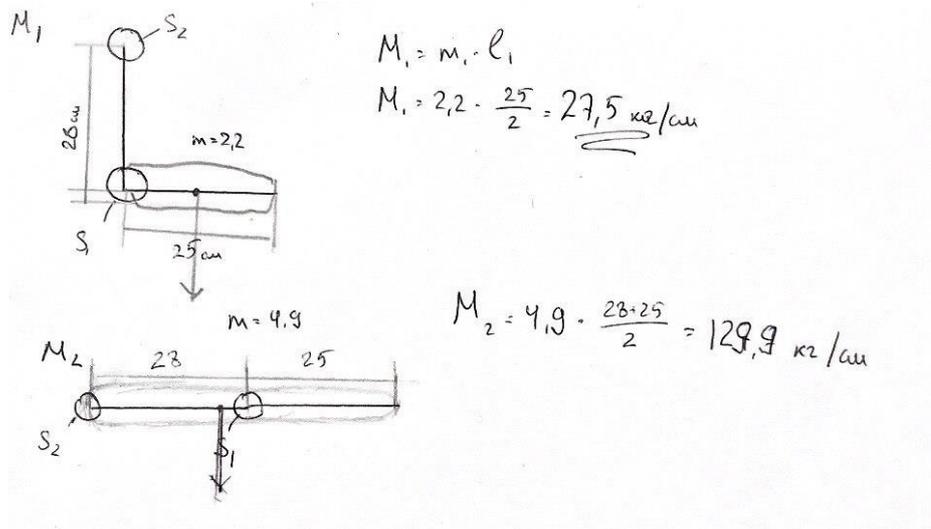
K_i – весовой коэффициент сегмента.

Получаем, что вес предплечья и кисти человека примерно равен $1,6\% + 0,6\% = 2,2\%$

Рис. 31. Распределение веса по сегментам

а вес плеча, предплечья и кисти примерно равен $2,7\% + 1,6\% + 0,6\% = 4,9\%$

3.6.2 Биомеханика экзоскелета



S_1 – сервопривод локтя, S_2 – сервопривод плеча

Рассматриваем для предплечья:

M_1 - требуемый крутящий момент силы сервопривода;

m_1 – масса предплечья и кисти;

l_1 – расстояние до центра массы сегмента ($\frac{\text{длина сегмента}}{2}$).

По формуле получаем, что крутящий момент сервопривода должен составлять 27,5 кг/см для человека массой 100кг.

Рассматриваем для плеча:

M_2 - требуемый крутящий момент силы сервопривода;

m_2 – масса предплечья и кисти;

l_2 – расстояние до центра массы сегмента ($\frac{\text{длина сегмента}}{2}$).

По формуле получаем, что крутящий момент сервопривода должен составлять 129,9 кг/см для человека массой 100кг.

3.7 Подбор основных компонентов

Так как экзоскелету придется поднимать два различных по своей массе сегмента, нам потребуется два разных сервопривода, которые будут управляться платой Arduino UNO. Для осуществления массажа потребуется компрессор с двумя выходами, подключение которой к Arduino будет осуществляться через твердотельное реле.

Таблица 7

Компонент	Характеристики
Dsservo DS3240 Водонепроницаемый цифровой сервопривод из нержавеющей стали	Максимальный крутящий момент – 40 кг*см;
Dsservo DS51150 Водонепроницаемый цифровой сервопривод из нержавеющей стали	Максимальный крутящий момент – 150 кг*см;
Аккумулятор LiitoKala NCT18650B	Номинальная емкость-3400 мАч
Микроконтроллер Arduino UNO	Наличие модуля Wi-Fi
Компрессор	Производительность: 2*4л/мин
Твердотельное реле	Коммутируемое напряжение 100-220В

4 КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП

4.1 Чертежи деталей, сборочный чертеж, спецификация, инструкционно-операционная карта

В моем учебном заведении установлены компьютеры с лицензированной копией КОМПАС-3D v21, поэтому вся технологическая документация была выполнена в данной программе.

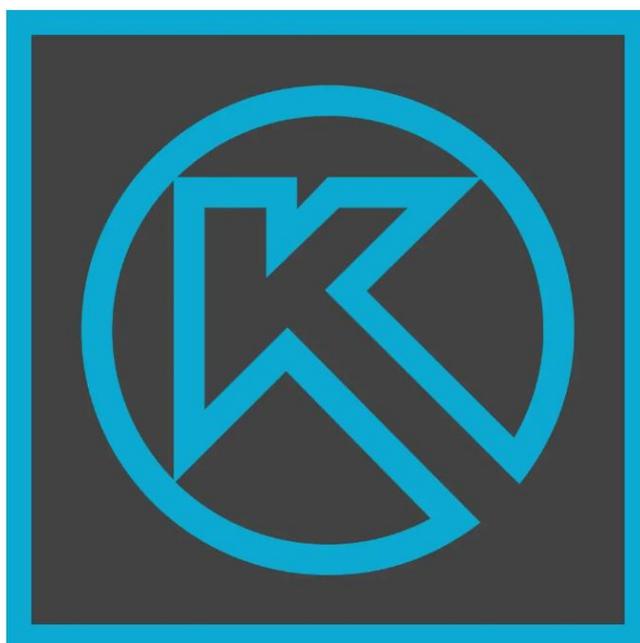
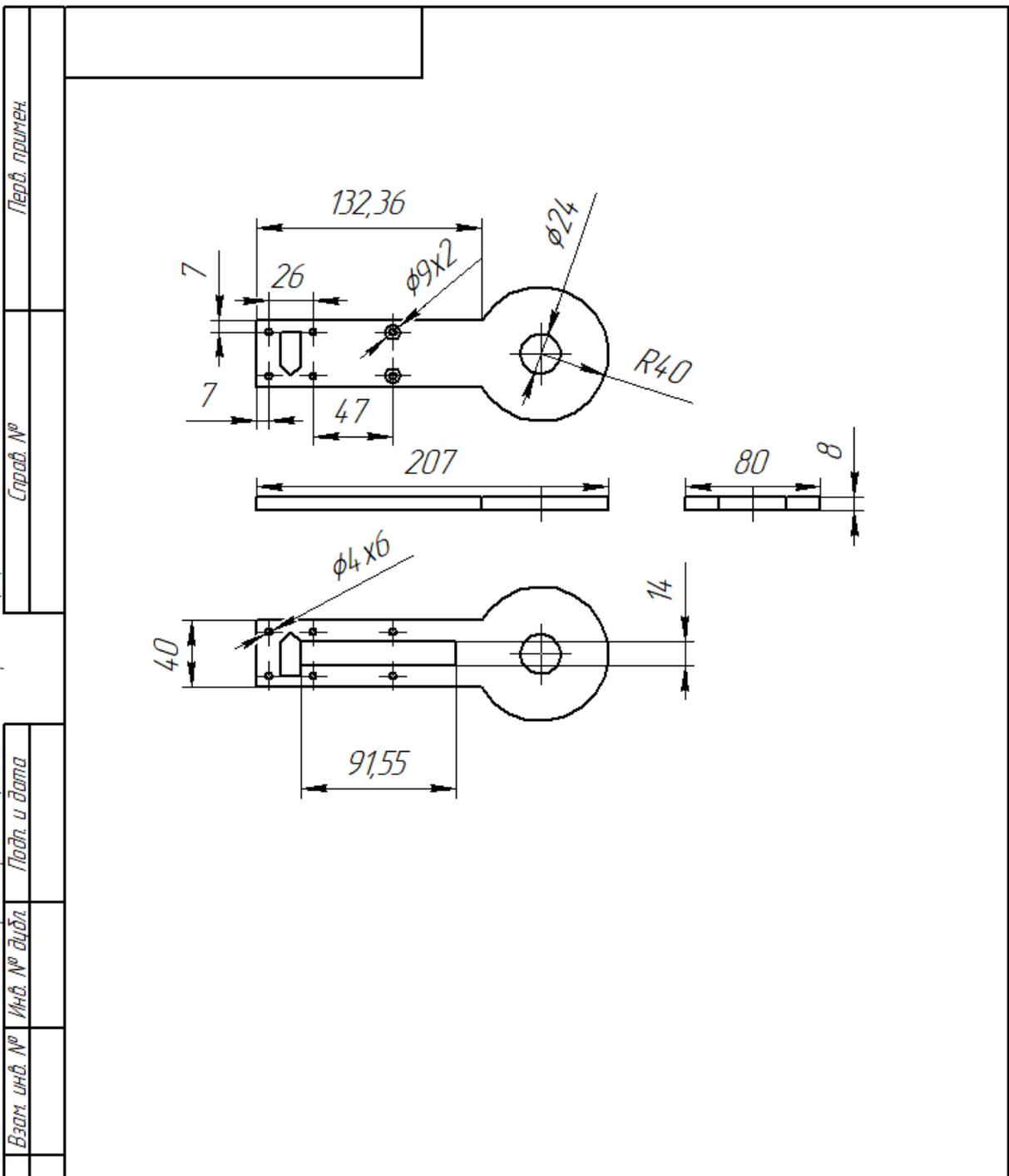


Рис. 32. Логотип КОМПАС-3D v21

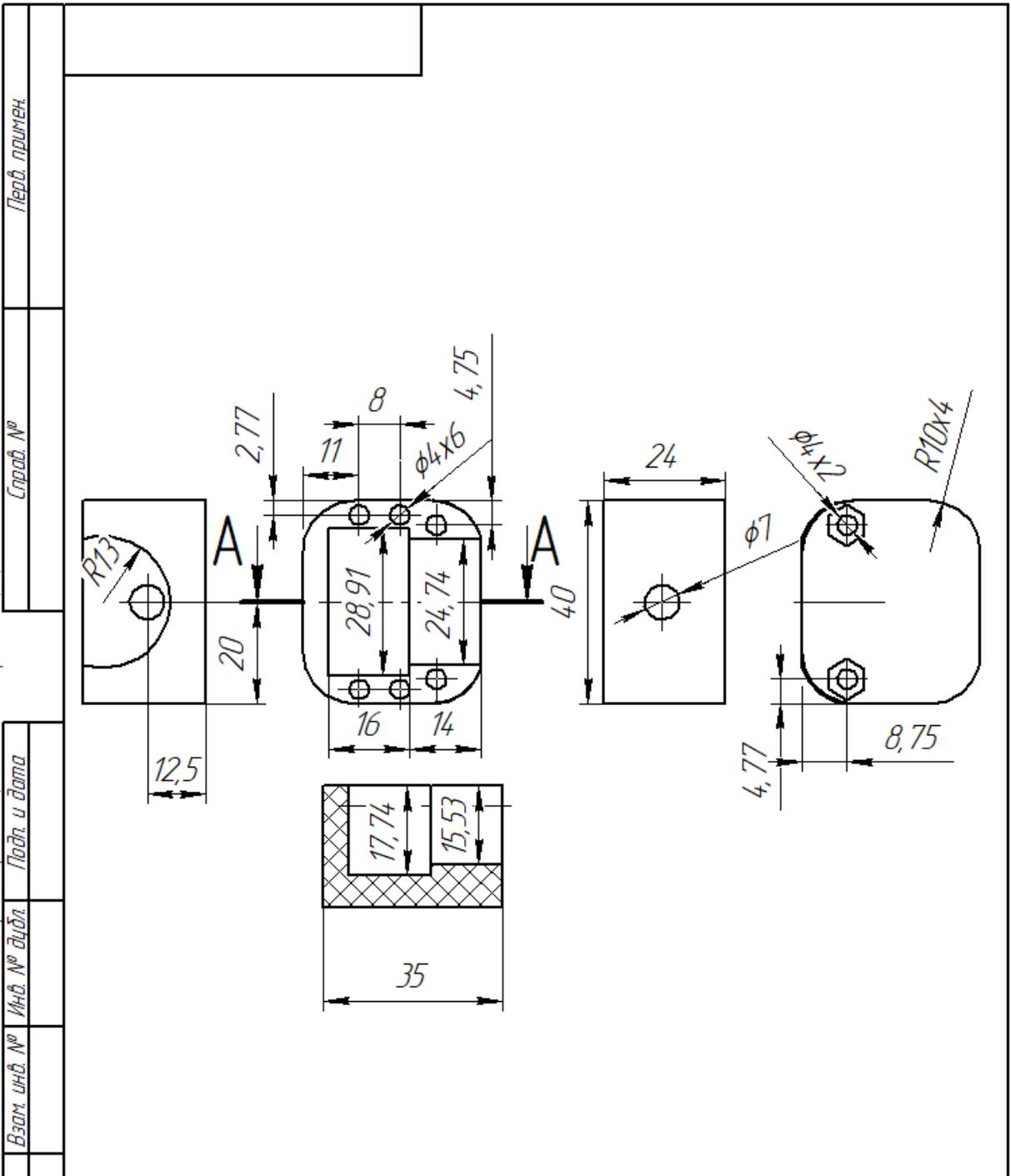
КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.



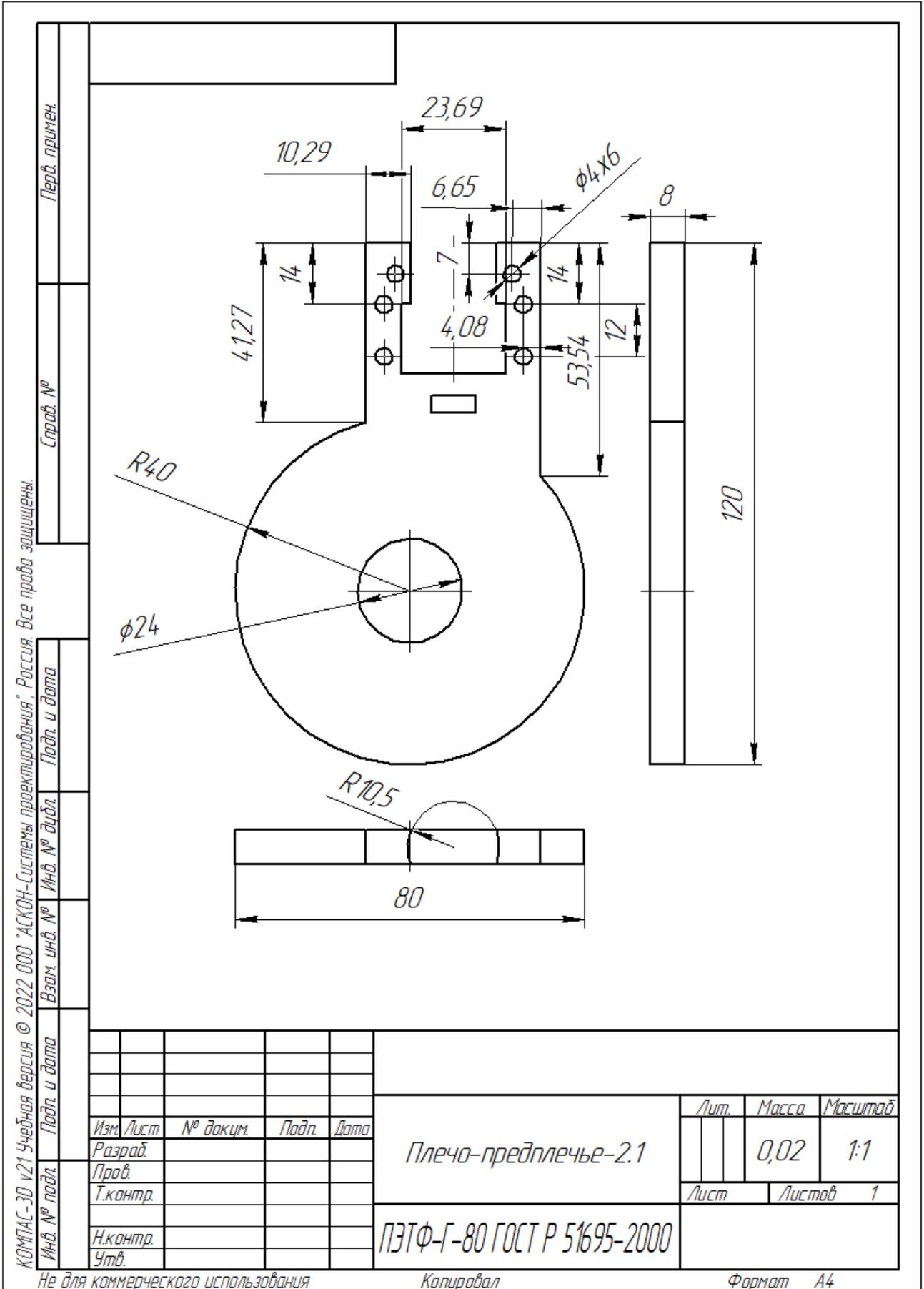
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Спина-2.1	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.							0,1	1:3	
Проб.						Лист	Листов	1	
Т.контр.									
Н.контр.									
Утв.									
					ПЭТФ-Г-80 ГОСТ Р 51695-2000				

Справ. № Перв. примен.

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Предплечье-плечо-2 ПЭТФ-Г-80 ГОСТ Р 51695-2000	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.							0,1	1:1
Проб.						Лист	Листов	1
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								



КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
 Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дробл. Подп. и дата
 Взам. инв. № Инв. № дробл. Подп. и дата
 Инв. № подл. Подп. и дата

Стр. №
 Перв. примен.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Плечо-предплечье-2.1
 ПЭТФ-Г-80 ГОСТ Р 51695-2000

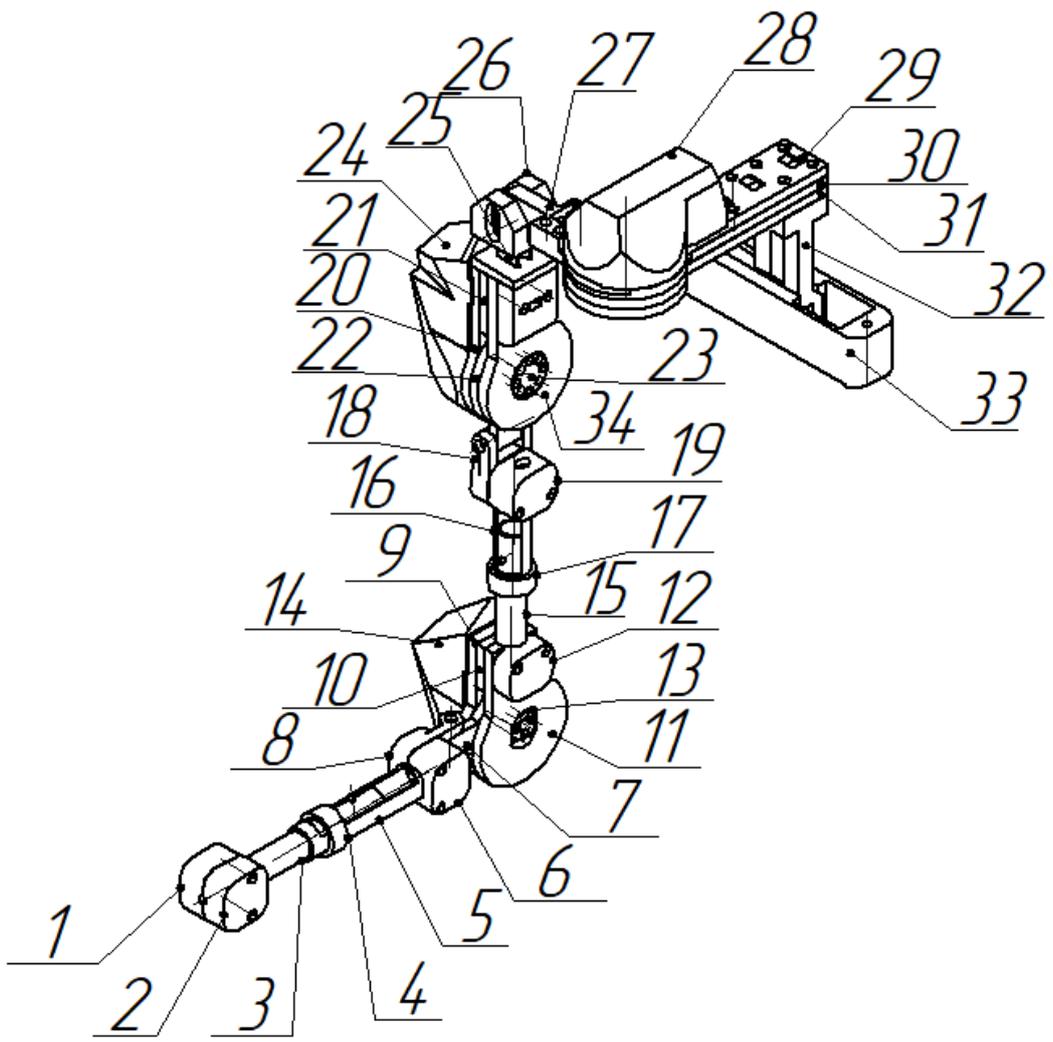
Лист	Масса	Масштаб
	0,02	1:1
Лист	Листов	1

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
 Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дробл. Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Стр. №
 Перв. примен.



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Сборка

Лист	Масса	Масштаб
	2	1:4
Лист	Листов	1

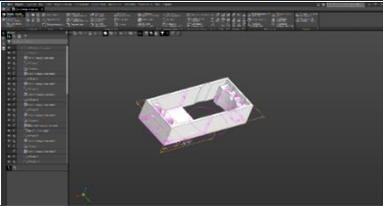
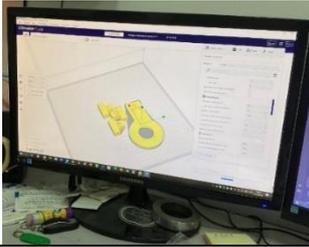
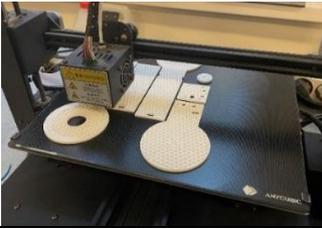
Инструкционно-операционная карта

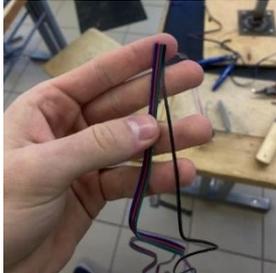
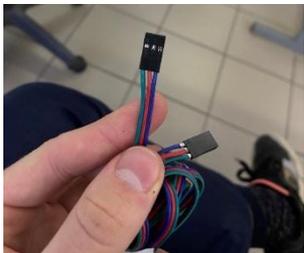
Таблица 8

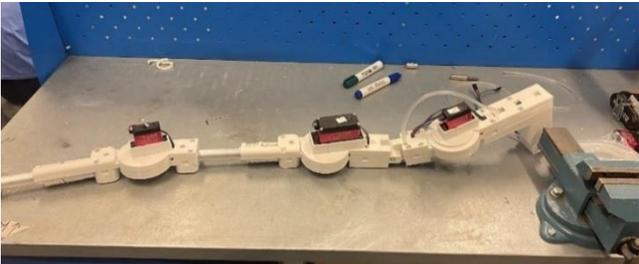
№ п\п	Операция, указания к выполнению	Материал	Оборудование, инструменты и приспособления
1	Подготовка 3D моделей. Создание 3D моделей для 3D-печати	Нет	Компьютер с установленным ПО (Компас -3Д)
2	Обработка 3D моделей для 3D-печати в программе для предпроектирования обработки модели	Нет	Компьютер с установленным ПО (Ultimaker Cura)
3	3D-печать. Заправить филамент, выполнить калибровку стола, выполнить 3D-печать	Филамент (PETG пластик)	3D-принтер Anycubic i3 MEGA/3D-принтер Picaso Designer PRO 250
4	Подготовка алюминиевого профиля. Разметка	Профиль алюминиевый	Столярный верстак; штангенциркуль
5	Пиление	Профиль алюминиевый	Столярный верстак; ножовка с полотном по металлу
6	Шлифование	Профиль алюминиевый	Столярный верстак; наждачная бумага
7	Пайка. Припаять к серводвигателям провода нужной длины	Припой оловянный (97%)	Слесарный верстак, паяльная станция
8	Программирование	Нет	Компьютер с установленным ПО (Arduino - IDE)
9	Сборка	Нет	Столярный верстак

4.2 Ход выполнения работы

Таблица 9

Действие	Фото
Проектирование 3D моделей	
Слайсинг в программе Ultimaker Cura	
Печать деталей на 3D принтере	
Сборка готовых компонентов	
Подготовка фланцев Сверление резьбы	
Нарезка резьбы	

Разметка заготовки	 A digital caliper is used to measure the diameter of a metal rod. The display shows 10.0 mm.
Пиление заготовки	 A metal rod is being cut with a hand saw while held in a blue vise on a workbench.
Разметка заготовки	 Four cylindrical metal rods of varying lengths are standing upright on a white surface.
Пиление заготовки	 A close-up view of a hand saw cutting through a metal rod held in a vise.
Шлифование	 A metal rod is being ground on a lathe. The rod is held in a chuck, and a grinding wheel is in contact with its surface.
Подготовка электроники Подбор проводов нужной длины	 A hand is holding a bundle of several thin, multi-colored wires.
Обжим проводов	 A hand is holding a bundle of wires with a black connector attached to one end.

<p>Разбор сервопривода</p>	
<p>Замена старых проводов на новые</p>	
<p>Готовый сервопривод в сборе</p>	
<p>Установка сервоприводов</p>	
<p>Сборка всех компонентов</p>	
<p>Изготовление манжет</p>	

Изготовление проставок пластмассовых		
Сборка манжет		
Объединение двух рук в единую систему		

Фото продукта



Рис. 33. Экзоскелет в сборе.

4.3 Программирование

Программный код был выполнен в программе Arduino IDE. В приложение загружается программа, подобранная для пациента, после чего врач активирует её и экзоскелет выполняет заданные функции. Часть программного кода представлена ниже

```

1 myservo.write(pos);           // Устанавливаем серво в ... градусов
2   delay(25);                 // ждет 25 мс, пока сервопривод достигнет нужного положения
3 }
4 delay(t);
5 for (pos = Mug1; pos >= 0; pos -= a) { // Теперь движение в обратную сторону
6   Serial.println(pos, DEC);
7   myservo.write(pos);       // Устанавливаем серво в ... градусов
8   delay(25);                // ждет 25 мс, пока сервопривод достигнет нужного положения
9 }
10 delay(t);                    // ждет t сек,
11 }void SerMan(void) {
12   unsigned char buf[2]; // было 3
13   if (Serial.available())
14
15   {
16     Serial.readBytes(buf, 3); // было 3
17     if (buf[0] == 'c') {
18       Serial.println("Command");
19
20       buf[1] = convert(buf[1]);
21       buf[2] = convert(buf[2]);
22       switch (buf[1]) {
23
24         case 1 : {
25           Serial.println("Программа №1");
26           Serial.print("Repeat ");
27           Serial.println(buf[2], DEC);
28           ugl = 100;
29           Accel = 2;
30           for (char a = 0; a <= buf[2]; a++) {
31             dvig(ugl, Accel, 3000);
32           }
33           break;
34         }
35
36         case 2 : {
37           Serial.println("Программа №2");
38           Serial.print("Repeat ");
39           Serial.println(buf[2], DEC);
40           ugl = 70;
41           Accel = 1;
42           for (char a = 0; a <= buf[2]; a++) {
43             dvig(ugl, Accel, 3000);
44           }
45           break;

```

Рис. 34. Программный код

4.4 Описание готового продукта

Экзоскелет состоит из множества деталей, напечатанных на 3D принтере, к которым присоединены манжеты, внутри которых находятся воздушные подушки. Такое строение позволяет осуществлять компресс над мышцами пациента, улучшая кровоток и сокращая время восстановления. Экзоскелет имеет форму, повторяющую контур тела, обладает гибкой системой регулировки размера, поворачивается в любом направлении, не сковывая движение пациента. Такой функционал обеспечен наличием множества подвижных элементов и осей вращения. Вся электроника и воздушные трубки размещены внутри рук экзоскелета. В конструкции элементов экзоскелета установлены магниты, такое решение упрощает сборку и сокращает время, затраченное на нее. Управление экзоскелетом осуществляется с телефона – лечащий врач запускает программы, ранее записанные в память устройства.

Использование экзоскелетов в медицинской практике позволит сократить время реабилитации и снизить нагрузку на врачей реабилитологов, так как для реабилитации не требуется высококвалифицированный специалист, установить экзоскелет сможет любая медсестра, а количество пациентов, одновременно обслуживаемых экзоскелетами не ограничено.

4.5 Применение экзоскелета

Концепция моего проекта направлена на расширение рынка экзоскелетов для лечебной медицины, причем при налаживании массового производства удастся обеспечить большое количество спецклиник качественными и достаточно недорогими аппаратами, способными помогать в осуществлении курса реабилитации пациента.

Плюсы:

1. Использование специальных приспособлений в клиниках приведет к облегчению обязанностей врачей физиотерапевтов, так как часть работы может быть выполнена автоматически.
2. Время восстановления будет меньше, так как проводить процедуру сможет специалист со средним образованием в различных условиях, так как инструкция запуска очень проста.
3. Полный курс восстановления будет дешевле, ведь любые индивидуальные занятия с тренером не могут стоить мало.

Минусы:

1. Нужен другой человек, который будет помогать устанавливать механизм на пострадавшую часть тела.

4.6 Программа реабилитации

Одной из первостепенных задач восстановительного периода после инсульта является возобновление двигательной функции конечностей. Начинать восстановление движений нужно практически с первых суток после возникновения инсульта.

Общие особенности упражнений характеризуются такими моментами:

1. Понижение мышечного тонуса и напряжения. Любой инсульт вызывает паралич, характеризующийся гипертонусом мышц и повышенную возбудимость;
2. Улучшение микроциркуляции. Инсульт нарушает иннервацию всех тканей. Как следствие – нарушение их кровоснабжения;
3. Профилактика контрактуры. На фоне длительного неврологического дефицита и спастического паралича дополнительно возникает застывание мышц, находящихся в состоянии постоянного напряжения;

Упражнения в условиях постельного режима

Конечно же, в таком случае крайне тяжело что-то сделать в большом объеме, поскольку функциональные способности больных очень ограничены. Данный комплекс упражнений должен выполняться всеми лицами в остром периоде после любого инсульта, а также тем, у кого имеется тяжелый спастический паралич конечностей с выраженным повышением тонуса мышц. Такие больные не способны разогнуть конечности, так как они стойко фиксируются в согнутом положении. Упражнения должны быть направлены на уменьшение тонуса и постепенное увеличение амплитуды движений.

Типичная гимнастика выглядит так:

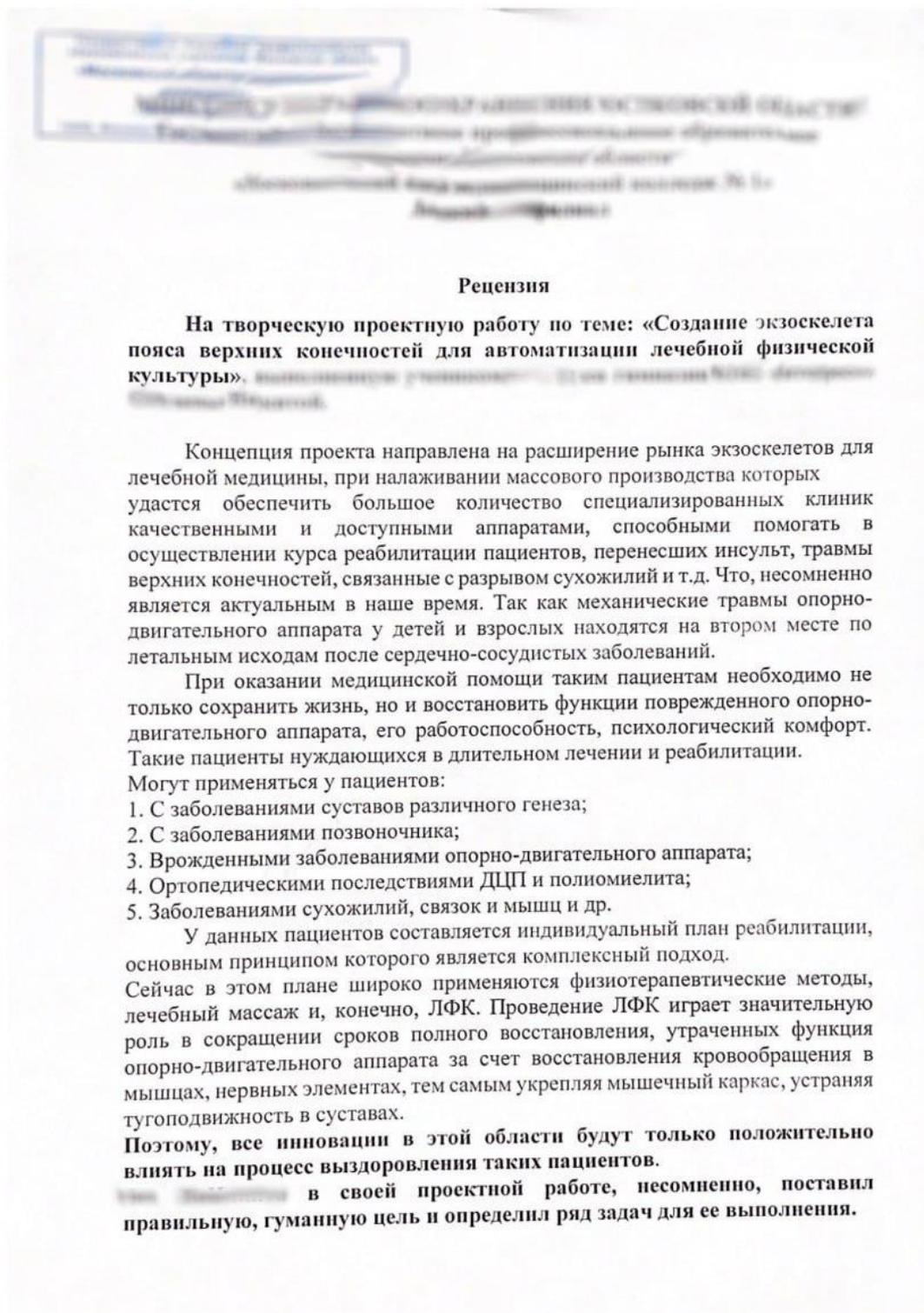
1. Простое разгибание и сгибание предплечий и локтей, движения конечностей в плечевых суставах;
2. Вращательные движения указанными сегментами. Они должны имитировать те движения, которые способен выполнять здоровый человек;
3. Растягивание спазмированных конечностей. Показано при стойком параличе. Для этого согнутая конечность постепенно разгибается от пальцев и фиксируется. Поэтапно производятся такие же действия с вышележащими участками руки.

Локтевой и плечевой сустав- важная часть руки, с помощью которой происходит ее работа: сгибание, разгибание и вращение. Эти суставы часто подвергается травмированию и операционным вмешательствам. С помощью упражнений по разработке суставов после травмы можно избежать опасного осложнения: полного обездвиживания руки. К восстановительным упражнениям приступать нужно как можно раньше. Связаны такие «экстренные» меры с тем, что при обездвиживании конечности нарушается питание ее тканей, сосудов и мышц. Плохое кровообращение в области сустава локтя приведет к частичной или полной атрофии мышц и связок, потере их эластичности. Сухожилия укорачиваются, истончаются. Уменьшенный размер связок и сухожилий отрицательно влияет на работу сустава: они не могут «защитить» его от растяжений. Все это становится причиной частичного или полного обездвиживания руки.

Упражнения с помощью экзоскелета можно будет выполнять на более ранних стадиях после операции под контролем специалиста по реабилитации. Работа направлена на раннее безболезненное восстановление подвижности и укрепление мышц-стабилизаторов. Оказывает положительное влияние на координацию движений.

4.7 Рецензия

Экзоскелет был направлен в местное государственное учреждение с целью получения объективной оценки



Работа вызывает интерес прежде всего:

1. Эрудицией молодого автора в области 3D принтеров и аддитивных технологий;
2. Способностью ставить перспективные цели и решать поставленные задачи;
3. Умением выбора не только перспективной, но и гуманной, востребованной в медицине проблемы.

Подобная работа, доведенная до логического завершения, будет востребована в травматологии и ортопедии, неврологии.

Работы этого плана имеют большое значение, особенно в реалиях нашего времени, как один из элементов **импортозамещения**.

С медицинской точки зрения, что также существенно, отвечают такому направлению в медицине, как **«Стационар замещающие технологии»**, что выгодно и с экономической точки зрения, сокращая сроки пребывания больного в стационаре.

Заключение:

Работа ученика **«Создание экзоскелета пояса верхних конечностей для автоматизации лечебной физической культуры»** актуальна.

Молодой автор поставил перед собой не только перспективную в техническом отношении цель, но и гуманную медицинскую цель.

Целесообразно заниматься этой проблемой и дальше, доведя учебную работу до логического завершения в перспективе.

08.03.2023



5 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Себестоимость компонентов

Таблица 7

Материал	Стоимость за единицу	Количество	Общая стоимость
Сервопривод Dsservo DS51150, 80кг/см	2500 руб.	2	5000 руб.
Сервопривод Dsservo DS3235, 35кг/см	1000 руб.	4	4000руб.
Плата Arduino UNO с модулем Wi-Fi	500 руб.	1	500 руб.
Электромагнитные клапаны	500 руб.	2	1000 руб.
Твердотельное реле	500 руб.	1	500 руб.
Аккумулятор NCR18650B Protected	200 руб.	6	1200 руб.
Катушка PETG пластика 2,5 кг	2500 руб.	1	2500 руб.
Катушка PETG пластика 1 кг	1000 руб.	1	1000 руб.
Алюминиевый профиль круглый 22x1,5x1000	800 руб.	1	800 руб.
Алюминиевый профиль круглый 20x1,5x1000	600 руб.	1	600 руб.
Неопрен	400 руб.	1	400 руб.

Манжеты	500 руб.	4	2000 руб.
Липучка	300 руб.	2	600 руб.
ПЭТ листовой 0,5мм	300 руб.	1	300 руб.
Трубки для воздуха	200 руб.	4	800 руб.
Молнии	50 руб.	1	50 руб.
Магниты 4x8 набор	1000 руб.	1	1000 руб.
Магниты 8x4 набор	1000 руб.	1	1000 руб.

Также дополнительные расходные материалы обойдутся в **1000** рублей. (это припой, соединительные провода, винты, наждачная бумага, нитки).

ИТОГО:

Общая стоимость закупочных материалов \approx 23750 рублей

При оптовой закупке можно достичь снижение цены на \sim 30%, соответственно себестоимость материалов составляет **\approx 17000** рублей

Расчет коммунальных услуг

Расходы за коммунальные услуги с учетом времени выполнения работы будут примерно равны:

(Общее время работы* Потребление ламп * количество ламп +
+ Время работы 3д принтера* Потребление 3д принтера + Время работы за компьютером* потребления компьютера)

Время работы над проектом составило \approx 1200 часов.

Потребление принтера и компьютера составляет 180-250 ватт/час, будем считать, что за 5 часов работы расходуется 1КВт, 200 Ватт/час.

Таблица 8

Устройство	Время работы (ч)	Потребление (ватт/час)	Итого (кВт)
Лампы	1200	9*10=90	108
Компьютер	1200	~200	240
3D принтер	150	~200	30

Рассчитаем по актуальному тарифу – 6,17 р/кВтч

Итого: 2 332,26 руб.

Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления считаем по формуле: $\left(\frac{N \text{ рублей} * T \text{ часов работы}}{365 \text{ дней} * n \text{ лет} * 24 \text{ часа}} \right)$.

Таблица 9

Оборудование	Стоимость амортизационных отчислений, рублей
3D-принтер Anycubic i3MEGA X	159,8

Стоимость на рынке

Итоговая стоимость затрат для воспроизведения экзоскелета составляет ≈ 20000 рублей. С учетом затрат на оборудование, аренду помещения, собственной наценки, логистики, рекламы и размещение в розничной сети стоимость экзоскелета увеличится примерно на 200%.

Итого стоимость моего экзоскелета после выхода на рынок будет составлять примерно **60000 рублей**, что в **12 раз ниже**, чем стоимость аппаратов, представленных на рынке.

6 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Таблица 10

Материал	Способ переработки
Микроконтроллер	Механическая переработка. Процесс дробления деталей, перемалывания до состояния мелкого порошка, из которого методами воздушной, магнитной или химической сепарации выделяют металлические фракции, которые отправляют на переплавку.
Серводвигатель	Механическая переработка. Процесс дробления деталей, перемалывания до состояния мелкого порошка, из которого методами воздушной, магнитной или химической сепарации выделяют металлические фракции, которые отправляют на переплавку.
Аккумуляторы	Механическая переработка. Для переработки батареи свинец в виде пластин сначала отделяют от пластика, а электролит обезвреживают. Материалы используются как вторичное сырье.
Алюминий	Механическая переработка. Процесс дробления деталей, перемалывания до состояния мелкого порошка, из которого методами воздушной, магнитной или химической сепарации выделяют металлические фракции, которые отправляют на переплавку.
Неопрен	Механическая переработка. Неопрен измельчается и смешивается с другими типами синтетического каучука, после чего используется как вторичное сырье.
Провода	Механическая переработка. дробление проводов с последующей сепарацией по плотности материалов. Полученные продукты используются как вторичное сырье.
Пластик PETG для 3D-печати	Механическая переработка. Процесс дробления деталей, перемалывания до состояния мелкого порошка, который переплавляют в аналогичный филамент и повторно используется.

7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мне удалось изготовить рабочий прототип экзоскелета, который выполняет все требуемые функции. Готовый аппарат получил рецензию от местного государственного учреждения.

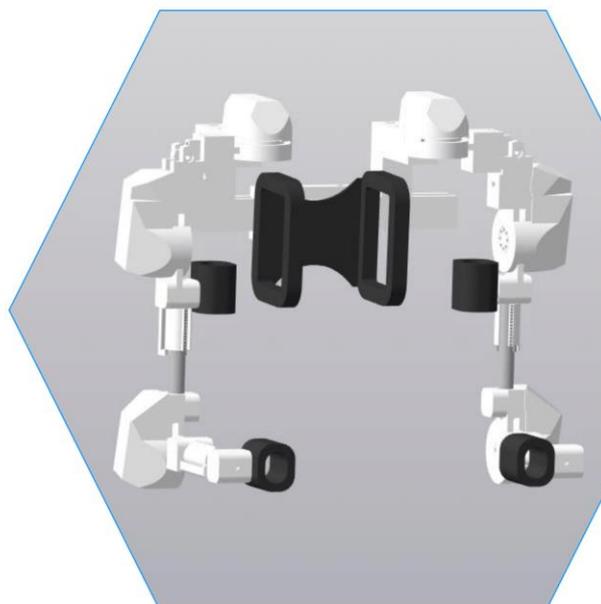
Контрольный список поставленных задач

- ✓ Изучил принцип работы экзоскелета
- ✓ Изучил анатомическое строение пояса верхних конечностей человека
- ✓ Создал 3D модель экзоскелета
- ✓ Изготовил прототип экзоскелета
- ✓ Изготовил рабочий экзоскелет
- ✓ Разработал план реабилитации



Мы создаем будущее!

**Телефон для связи
+7 977 281 45 32**



Список используемых источников

1. Бедняк С.Г., Еремина О.С. Роботизированные экзо-скелеты HAL (почувствуй себя HAL'ком). В кн.: Сборник научных трудов Sworld. Вып. 2. Т. 1. 2014; с. 49–51.
2. Загревский В.И. Лавшукин Д.А.. Практикум по биомеханике физических упражнений (расчетно-графические работы) : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 49.03.01 - Физическая культура
3. Медицинский экзоскелет для реабилитации. EchoAtlet.
4. Пассивный экзоскелет «К-2». Транспортные шагающие системы.
5. Российские ученые представили первый действующий образец для штурмовых отрядов и спасателей МЧС. Nano News Net. Published: 22 Aug, 2013.
6. Экзоскелет — военное и мирное применение. Главный механик 2011; 11: 50–54.
7. A human exoskeleton. Washington Post 2008 May 6.
8. Avril T. Instant strength from the Titan Arm. The Philadelphia Inquirer 2013 Jun 2.
9. Binkiewicz-Glinska A., Sobierajska-Rek A., Bakula S., Wierzba J., Drewek K., Kowalski I.M., Zaborowska-Sapeta K. Arthrogryposis in infancy, multidisciplinary approach: case report. BMC Pediatr 2013; 13: 184,
10. eLEGS™. Berkeley robotics and human engineering laboratory.
11. HULC. Lockheed Martin.
12. Kazerooni H. Human augmentation and exoskeleton systems in Berkeley. Int J Human Robot 2007; 4(3): 575–605,

13. Moreno J., Turowska E., Pons J.L. Wearable lower limb and full-body robots. In: *Wearable robots: biomechatronic exoskeletons*. Edited by Pons J.L. Wiley; 2008; p. 283–321.
14. Paraplegic support suits. TrendHunter. Published: 4 Apr, 2008.
15. Raytheon XOS 2 exoskeleton, second-generation robotics suit, United States of America.
16. Rewalk' bionic legs get FDA approval. News.com.au. Published: 17 Jan, 2011.
17. Rosen M. Mind to motion: brain-computer interfaces promise new freedom for the paralyzed and immobile. *Science News* 2013; 184(10): 22–24,
18. Zolfagharifard E. The wearable robot that turns anyone into a SUPERHERO: bionic arm lets users lift an extra 40lb effortlessly. Mail Online. Published: 10 Dec, 2013.