

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

Павлов Никита Владленович

Проектирование и разработка экзоскелета для усиления кистевого хвата

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к дипломному проекту

Специальность 5В071600 – Приборостроение

Алматы 2020



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат техн. наук



К.А. Ожикенов  
«24» мая 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К дипломному проекту

На тему: «Проектирование и разработка экзоскелета для усиления кистевого  
хвата»

по специальности 5В071600 – Приборостроение

Выполнил

Павлов Никита

Научный руководитель  
Лектор, Магистр  
технических наук



Баянбай Н.А.  
«24» мая 2020 г.



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

5B071600 – Приборостроение

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат техн. наук



К.А. Ожикенов  
«27» января 2020 г.

ЗАДАНИЕ  
на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Павлову Никите Владленовичу

Тема: Проектирование и разработка экзоскелета для усиления кистевого хвата

Утверждена приказом Ректора Университета №726-б от «27» января 2020 г.

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2020 г.

Исходные данные к дипломному проекту: ESP32

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) Изучение принципа работы активного экзоскелета;
- б) Анализ и сравнение характеристик аналогов на рынке;
- г) Изучение возможности создания усовершенствованного устройства на базе ESP32.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):


*представлены слайдов 15 презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: из 20 наименований 20

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

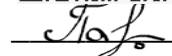
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая часть	22.01 - 15.02.2020 г.	Выполнено
Программная часть	15.03 - 20.04.2020 г.	Выполнено

**Подписи**  
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием  
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ж.С.Бигалиева, магистр технических наук, лектор	24.05.2020 г.	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению обучающийся  
Дата



Баянбай Н.А.

Павлов Н.В.  
«23» января 2020 г.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада белсенді экзоскелеттің, оның буындары мен атқарушы аппаратының әрекет ету принципіне толық талдау жасалды.

Жобаның негізгі мақсаты - адам қылқаламының қысылу Күшін күшейтуге бағытталған экзоскелеттің жетілдірілген моделін жасау, сол арқылы одан жүктемені алып тастау.

Жұмыстың міндеті белсенді экзоскелеттің жекелеген бөліктерінің бар аналогтарын жетілдіру тәсілдерін зерттеу болып табылады.

Теориялық бөлімде осы дипломдық жобаны түсіну үшін қажетті негізгі мәліметтер, сондай-ақ жақсарту тәсілдерін егжей-тегжейлі талдау келтірілген.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте был выполнен подробный анализ принципа действия активного экзоскелета, его звеньев и исполнительного аппарата.

Основная цель проекта - создание усовершенствованной модели экзоскелета, направленного на усиление силы сжатия человеческой кисти, тем самым снимая с нее нагрузку.

Задачей работы является изучение способов усовершенствования существующих аналогов отдельных частей активного экзоскелета.

В теоретической части приведены основные сведения, необходимые для понимания данного дипломного проекта, а также подробный анализ способов улучшения.

## ANNOTATION

In this thesis project, a detailed analysis of the principle of action of the active exoskeleton, its links and the Executive apparatus was performed.

The main goal of the project is to create an improved model of an exoskeleton aimed at increasing the compression force of the human hand, thereby removing the load from it.

The aim of this work is to study ways to improve existing analogues of individual parts of the active exoskeleton.

The theoretical part provides the basic information necessary to understand this diploma project, as well as a detailed analysis of ways to improve it.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
1 Основные понятия и концепции	10
1.1 Анализ рынка	10
1.2 Виды экзоскелетов и области применения	10
1.3 Особенности рынка и степень развитости направления	12
2 Составные части и компоненты сборки	15
2.1 Каркас, его исполнение и особенности	15
2.2 Система тросов	15
2.2.1 Материал троса и его характеристики	15
2.2.2 Работа системы	18
2.3 Исполнительный аппарат	18
2.3.1 Виды приводов	18
2.3.2 Особенности правильного выбора электропривода	19
2.3.3 Мотор-редуктор	21
3 Управление экзоскелетом	24
3.1 Обзор микроконтроллера ESP32	24
3.2 Принцип управления экзоскелетом	25
3.3 Питание	28
Список использованной литературы	
Приложение А	
Приложение Б	



## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где технический прогресс не стоит на месте, а движется семимильными шагами, перед крупными предприятиями и концернами стоит острый вопрос, касающийся обслуживающего персонала и рабочих, выполняющих основную часть технических работ. Для полной автоматизации производства руководство ставит перед собой задачу полного перевода всего цикла изготовления и сборки из человеческих рук роботам. Видите ли, чем крупнее концерн, тем большие обороты он имеет. Одно дело, когда это маленький цех, совсем другое – тяжелая промышленность, станко- и машиностроение, опасные виды промышленности, где большая часть работ непосильна обычному человеку. Частные и государственные компании в настоящее время больше склоняются к тотальной автоматизации, обуславливая это тем, что данное решение не только увеличит их обороты, повысит скорость производства и качество, но и снизит количество задач, возложенных на рабочего, тем самым упрощая ему жизнь. Однако, данное решение заметно уменьшит количество рабочих мест, оставив только места операторов и инженеров, дабы они следили за процессом и решали проблемы, связанные с устранением неполадок, возникающих в процессе работы машин.

Исследование аналитической компании Oxford Economics прогнозируют последствия, к которым мировое общество совсем не готово. Согласно их исследованиям, к 2030 году применение машинного труда в индустриях может достигнуть таких масштабов, что сотни миллионов людей останутся без работы, что приведет к резкому росту безработицы и нищеты.

Автоматизация в сфере промышленности давно стала нормой, а именно автоматизация особо тяжелых процессов, а также процессов, подразумевающих под собой однообразную механическую работу в предсказуемых условиях. Прошу отметить, именно в предсказуемых условиях. Потому что робот – это машина, работающая согласно определенному алгоритму. Человек же способен анализировать происходящее и реагировать согласно обстановке. В этом его преимущество, то что нельзя заменить.

## 1 Основные понятия и концепции

### 1.1 Анализ рынка

Существует такой термин как экзоскелет. Экзоскелетом называется устройство, восполняющее утраченные функции, увеличивая силу человека и амплитуду движений за счёт внешнего каркаса и приводящих частей. Экзоскелет копирует биомеханику человека для соответственного увеличения его сил при движении согласно анатомической параметризации. Как раз и с помощью активного применения экзоскелетов можно и увеличить потенциал предприятий, и сохранить количество рабочих мест. Человек, используя экзоскелет или его отдельные части, такие как усилитель спины, усилитель верхнего или нижнего поясов конечностей, сможет выполнять ранее непосильные работы, такие как поднятие и транспортировка тяжестей в сфере строительства, ремонт и вывод на режим крупных станков и машин, что повысит его эффективность и снизит уровень перенапряжения. Тема регулярно освещается в различных СМИ. Наиболее перспективными на сегодня являются медицинские военные экзоскелеты, промышленные остаются более редкими, но не менее эффективными вариантами использования технологии.

На данный момент прототипы разрабатываются вот уже несколько десятилетий в таких странах как Россия, США, Япония и Израиль. Первый рабочий прототип был разработан компанией General Electric совместно ВС США в 60-х, и назывался Hardiman. Он мог поднимать 110 кг при усилии в 4,5 кг. Однако был непрактичным в связи с его значительной массой в 680 кг. Любая попытка использования полного экзоскелета заканчивалась интенсивным неконтролируемым движением, в результате чего он никогда не проверялся с человеком внутри[1]. Дальнейшие исследования были сосредоточены на одной руке. Хотя она и способствовала поднятию среднестатистическим человеком 340 кг, её вес составлял 750 кг, что в два раза превышало подъемную мощность. Поэтому разработка экзоскелета намного сложнее конструирования робота, так как нужно учесть не только нагрузку на его звенья, но и нагрузку на человека внутри, так как, если руку робота – манипулятор, можно использовать отдельно от его тела, то отдельно руку экзоскелета можно использовать с ограничениями или только в составе костюма, в связи с нагрузками на другие части тела человека.

### 1.2 Виды экзоскелетов и области применения

Сами экзоскелеты бывают пассивными и активными. Первые являются *рычажно-шарнирными механическими устройствами, которые не увеличивают силу и не забирают на себя физическую нагрузку, они распределяют её по телу.* Они используются при переноске больших грузов в течение длительного

времени, так как их цель состоит именно в уменьшении нагрузки на опорно-двигательный аппарат человека. Суть работы данного типа экзоскелета состоит в следующем: груз, необходимый для транспортировки, одевается на спину, давит на плечевые пластины блока верхних конечностей, через него нагрузка передается на узел спинного кардана и далее распределяется на поясничный отдел. В пояснице нагрузка распределяется на ноги в пропорции, которая зависит от угла наклона корпуса человека и стороны, к которой идет этот наклон. Через нижние конечности данная нагрузка переходит на опорные площадки, интегрированные в подошву обуви. Пассивная поддержка обеспечивает дополнительную защиту ног и позвоночника от механических повреждений. С помощью нее возможно перемещение человека на пересеченной местности, перемещение с травмами вплоть до перелома конечности, при этом достаточно лишь дополнительное фиксирование поврежденной конечности к каркасу выше этого самого перелома.

Действие же активного типа направлено непосредственно на увеличение физических возможностей. Это подъем тяжестей, передвижение на местности, скорость реакции. В отличие от пассивного, он уводит всю нагрузку через себя в поверхность на которой стоит пользователь, т.е. нет распределения ее по телу, что приводит к отсутствию ее на человеке вообще. Устройство точно повторяет человеческую биомеханику, принимая во внимание его анатомические особенности. В настоящее время активные экзоскелеты используются в медицине при реабилитации после тяжелых операций. Однако стоит заметить, что существенными минусами активных экзоскелетов являются громоздкость и приличный вес конструкции, который может достигать 50 килограмм, его стоимость, доходящая до сотен тысяч долларов и энергообеспечение, наиболее значимый недостаток всех активных прототипов. Потому что в отличие от пассивного типа, активный работает за счет приводов и двигателей, без которых он не может функционировать и дальнейшее его использование невозможно. В связи с этим, основной задачей государственных конструкторских бюро и частных компаний на данный момент является поиск способов увеличения ёмкости аккумулятора и решения проблемы высокого энергопотребления узлами конструкции.

Сейчас в основном все силы по их разработке и улучшению ведутся с целью военного применения по повышению мобильности тактических групп, увеличения скорости и силы бойцов. Министерства обороны и военно-исследовательские институты разных стран ещё с прошлого века пытаются разработать лёгкую и прочную систему для солдат. К примеру, в США этим занимается агентство перспективных разработок DARPA в Пентагоне, а в России – институты и инженерные бюро, по заказу Минобороны. На все эти исследования и разработки выделяются большие средства из государственного бюджета. Это обусловлено тем, что здесь заинтересовано само правительство той или иной страны, так как это непосредственно затрагивает защиту государственных интересов. Но несмотря на это даже в Вооруженных силах они не получают широкого распространения в связи с отсутствием в этом

необходимости, так как повседневная служба, к примеру, не несет в себе острой надобности такого функционального оборудования, и будет использоваться исключительно группами особо назначения и то не постоянно.

Модификации и отдельные их вариации, могут помогать спасателям в экстренных ситуациях. Экзоскелет при этом сможет уберечь пользователя от воздействия происшествия, облегчить работу в труднодоступных или опасных местах. Также исследования ведутся дабы помочь людям с инвалидностью и травмированным находящимся на стадии реабилитации, а также пожилым, испытывающим проблемы с опорно-двигательным аппаратом, вследствие своего возраста. Большая часть развитых стран сегодня сталкиваются с ростом доли пожилого населения, а также числа людей, которые нуждаются в помощи, и к тому же страдающие различными заболеваниями, Последствия двух самых распространенных болезней, приходящих с возрастом, а именно инсультов и остеопорозов, можно минимизировать благодаря программам реабилитации, с использованием экзоскелетов. Инсульт является самым перспективным использованием данной технологии, так как можно проводить физиотерапию с использованием экзоскелетов. Для предупреждения же травм, связанных с остеопорозом, а также, вовремя стадии восстановления, необходимо постоянное ношение экзоскелета. Это делается уже сегодня, однако, следует отметить, что данные устройства, их разработка и обслуживание являются весьма дорогостоящими, и не каждый желающий может себе его позволить. Не так давно стартовали продажи экзоскелета, поддерживающего спину, плечи и ноги от SuitX, выпускающегося в трех модулях: для повышения силы ног, для помощи людям в подъеме тяжелых предметов и уменьшении усталости рук от работы над чем-то выше головы. Что касается ценовой политики, то для полноценного функционирования устройства необходимо наличие всех трех моделей, а начальная стоимость базовой и самой простой версии колеблется в районе 4000 долларов.

### 1.3 Особенности рынка и степень развитости направления

Вопреки различиям возможностей устройств и вариациям их применения, стоимость компаний, занимающихся проектированием и построением в данной области, показывает, что финансирующие компании относятся ко всем одинаково. Рыночная стоимость ReWalk и Ekso похожи, вопреки тому факту, что ReWalk сфокусирована на медицине, в то время как в Ekso направила все усилия на разработку экзоскелетов для персонального использования в разного рода ситуациях, не связанных с медициной. Сразу видно, что инвесторы видят этот рынок гомогенным. И дабы исправить нынешнюю ситуацию, поставщикам необходимо проводить с инвесторами объяснительную работу, дабы сделать понятной отличие между самими продуктами и их применением. Также возможно работа компаний зависит от того, где они располагаются. Например,

сфера деятельности японской Cyberdyne и новозеландской Raх Bionics различается с деятельностью американцев. Непрерывающееся снижение цен этих компаний может отрицательно сказываться на последующих инвестициях в данный сегмент рынка вообще.

В комплексе затягивающиеся циклы возврата денег и падающий уровень доверия вкладчиков в успешность этого дела означают, что компании разработчики находятся сейчас в трудной и весьма рискованной ситуации. Данные предприятия уже несколько лет показывают убытки, что может привести к разорению прежде всего из-за проблем с именно с потоком денег, нежели из-за проблем качества продукта. Это означает, что победят на этом рынке не те компании, которые имеют лучшие технологически продукты, а те, что располагают денежными средствами достаточными просто оставаться на плаву, проводить исследования и выпускать свою продукцию.

Функционирование на данном рынке требует большой исследовательской работы. Производители должны располагать личным научно-исследовательским составом или вступать в партнерство с уже действующими, или основываться на базе университетов, имеющих такие подразделения. Данное положение дел не изменится в ближайшие годы: рост прибыли для любых новых участников рынка будет достаточно затянутым, а первоначальные вложения, необходимые для ведения работы будут огромными. Компании, занимающиеся только выпуском экзоскелетов могут быть вытеснены с рынка компаниями, имеющими долю в различных секторах, что дает им возможность поддерживать свои проекты в других областях в то время, пока в сегменте экзоскелетов они сталкиваются с потерями. Так что компании, специализирующиеся только на экзоскелетах, ввиду отсутствия других доходов, не смогут полноценно функционировать, не смотря на высокий уровень технического оснащения компетентность научно-исследовательского состава и несмотря на качество их продукции.

Экзоскелеты для применения в промышленной сфере государственными компаниями рассматриваются слабо. Имеют место быть они в частных предприятиях, которые в большей своей степени направлены не на облегчение работы сотрудников, а на повышение эффективности их работы. Большинство компаний считает, что человеческих усилий вполне достаточно для выполнения тяжелых работ и при их недостатке либо просто увеличивают штат сотрудников, либо сокращают не справляющиеся кадры, заменяя их новыми. Это является неправильным рассуждением, так как для эффективного функционирования предприятия руководящему составу в первую очередь необходимо рационально подходить к решению проблем своих подчиненных, избавляясь от причин проблемы, а не от последствий. Основными последствиями тяжелой работы являются усталость и перенапряжение. Перенапряжением является функциональное нарушение физиологических систем, являющееся чрезмерным длительным напряжением. В большинстве случаев к перенапряжению на предприятии приводит часто повторяющиеся, продолжительные статические нагрузки на определенную группу мышц, например, удержание чего-либо на

весу, транспортировка грузов или тот же жим на рукоять инструмента при его использовании, так как рост напряжения связочного аппарата напрямую связан с положением того или иного исполнительного звена опорно-двигательного аппарата человека. Нахождение в неблагоприятных условиях труда, таких как работа в шахте при малом количестве кислорода в связи со слабой вентиляцией, работа в литейном цехе с высокой температурой в помещении, на шумном производстве лишь усиливает скорость накопления усталости и перенапряжения.

Данная работа является частью крупного проекта, включающего в себя проектирование и разработку экзоскелета, как устройства, направленного на обеспечение помощи и безопасности работников сфер, имеющих тяжелые условия труда, с повышенным уровнем опасности. Основным предметом исследований данной дипломной работы является экзоскелет кисти человека, который будет одновременно и удлинять конечность, и повышать ее возможности, а именно силу и мобильность. Являющийся частью активного экзоскелета, предназначен для снятия статического напряжения с мышц кисти и связочного аппарата при работе с тяжелым инструментом и работе по транспортировке грузов. Строение механизированной руки максимально приближенно к строению реальной. Оно включает в себя пять пальцев, ладонь и предплечье. Исполнительными механизмами выступают электромоторы, спрятанные в корпусе предплечья, и тросы.

## 2 Составные части и компоненты сборки

### 2.1 Каркас, его исполнение и особенности

Так как конструкция предназначена для работы с большими нагрузками и в агрессивной среде, то материалы корпуса и компонентов должны быть прочными, химически неактивными и достаточно легкими для эксплуатации человеком. Для конструкционных материалов главными являются механические свойства, такие как прочность и пластичность. Сам каркас может быть выполнен из литейных марок алюминия или авиала, в частности 7075. Марки серии 7000 - термически закаленные сплавы, самые прочные, с основными легирующими элементами – цинком и магнием. 7075 имеет предел прочности, т.е. предел выше которого происходит разрушение материала,  $\sigma_B=540$  МПа или 55 кгс/мм<sup>2</sup> и условный предел текучести, предел при котором происходит увеличение деформации при постоянной нагрузке,  $\sigma_{0.2}=490$  МПа или 50 кгс/мм<sup>2</sup>. Алюминиевые сплавы являются наиболее востребованными. Легкий вес и прочность делают этот сплав хорошим выбором для многих производств от самолетов до предметов обихода. Алюминиевые сплавы применяются в судостроении, автомобилестроении, строительстве, производстве ж/д транспорта и т.д.

Каркас экзоскелета будет полностью повторять строение скелета кисти. Из него будут выполнены дистальные, средние и проксимальные фаланги пальцев, пястные кости кисти и каркас предплечья, которое будет нести в себе электроприводы, микроконтроллер и блок питания, кости запястья будут выполнены в виде изогнутой пластины и не буду на данном этапе выполнять вращательные функции, поэтому пястные кости через запястную пластину будут жестко крепиться к предплечью. Фаланги будут соединены между собой петлями, которые могут быть либо частью фаланг, либо крепиться отдельно на внешней стороне пальца. На внутренней и внешней стороне пальцев имеются пазы глубиной 2 мм и шириной 1 мм, идущие вдоль всех фаланг, куда будут укладываться тросы, обеспечивающие сгибание и разгибание конечности. Тросы должны быть углублены в пальцы, а не просто находится на поверхности, так как в последнем случае необходимо прикладывать большие усилия при сгибании-разгибании, а также при таком раскладе защищенность троса меньше перед внешними воздействиями.

### 2.2 Система тросов

#### 2.2.1 Материал троса и его характеристики

В качестве троса можно использовать леску. Она не только прочная и упругая, но и легкодоступная. Материалом ее изготовления может выступить высокомолекулярный термопластичный конструкционный полимер, который

предназначен для эксплуатации в экстремальных условиях. СВМПЭ имеет модуль упругости изгиба порядка 1 ГПа и разрушающее растягивающее напряжение 20—40 МПа (~4 кгс/мм<sup>2</sup>). По разрушающим напряжениям он уступает высокочистым высоколегированным малоуглеродистым сталям, но благодаря своей низкой плотности (8—8,5 раз меньшей, чем у сталей) и высокой усталостной прочности, изделия из этого материала могут конкурировать в плане соотношения прочности к собственному весу с изделиями из конструкционных сталей или даже превосходить их.

Основными свойствами СВМПЭ, обуславливающими его активное применение являются высокая износостойкость, высокая вязкость разрушения (низкотемпературная надёжность) и низкий коэффициент трения. По износостойкости полимер в рабочих для него температурах эксплуатации и некоторых абразивах лучше тефлонов и углеродистых сталей. Коэффициент трения СВМПЭ (по стали) — около 0,1. Коэффициент ударной вязкости — 170 кДж/м<sup>2</sup> (с надрезом — до 80 кДж/м<sup>2</sup>), рабочие температуры — от минус 150 °С или даже минус 260 °С до плюс 180 °С.

СВМПЭ имеет широкое применение в различных отраслях и сферах жизни. Особенно известны тросы из волокон СВМПЭ «Дайнима» («ДСМ», Нидерланды), «Спектра» («Хонивелл», США), являющиеся лучшими в своем деле. В медицине в основном применяются «сшитые» СВМПЭ для создания внутренних протезов суставов или эндопротезов (тазобедренных, коленных, позвонков).

Синтез СВМПЭ осуществляется с применением катализаторов из мономера — этилена, при этом количество мономеров в одной молекуле на несколько порядков больше, чем у полиэтилена высокой плотности. Синтез СВМПЭ происходит на оборудовании при низком давлении.

Созданный таким образом СВМПЭ порошок выпускается на рынке либо в виде волокон, либо в виде гранул, либо в виде листов, пленок, профилей или стержней.

Изделия из него получают следующими методами:

- прессовка;
- штранг-прессование (непрерывное профильное прессование);
- гель-прядение, или гель-формирование;
- экструзия.

Например, с помощью гель-формирования получают самые прочные волокна марок «Дайнима» и «Спектра», из которых изготавливаются тросы, стропы, они широко используются в баллистической защите, Министерством обороны и всё чаще в медицине.

Подведем итоги, почему же СВМПЭ это наш выбор:

- прочность на разрыв – 35-40 МПа; модуль упругости – 1,7-2,0 ГПа;
- исключительно стойкость к постоянным динамическим нагрузкам;
- стойкость к изгибам, абразивным воздействиям;
- стойкость к излучениям высоких энергий, радиопрозрачность;



- низкий коэффициент трения скольжения;
- эффективная работа в диапазоне температур от -150 до +150°C;
- способность повышения своих характеристик путем волокнообразования (разрывная прочность нитей – до 300 МПа, модуль упругости – до 250 ГПа, что по показателям в 1,5 раза выше, чем у арамидных).

Из всех существующих в настоящее время лесок наиболее прочной является плетеная леска. Преимуществами плетеной лески являются, во-первых, высокая прочность по сравнению с обычной леской того же диаметра, благодаря чему возможно использование меньшего диаметра лески, во-вторых, повышенные показатели абразивной и износоустойчивости, при работе с агрессивными средами, в-третьих, Минимальная растяжимость, что препятствует появлению погрешностей, связанных с изменением длины лески. К примеру, плетеный шнур от компании SeaKnight линейки Classic Line способна выдерживать нагрузку на разрыв до 36.3 кг при диаметре в 0.5 мм и минимальном растяжении (рисунок 2.1). Параметры лески дают возможность сконструировать экзоскелет на работу с грузами до 150 кг, и это только на одной руке.

Чтобы трос выдержал нагрузку, необходимо выполнение следующего условия:  $\frac{F}{S} \leq P_{max}$ , где  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь сечения троса,  $P_{max}$  – предел прочности материала, здесь это 35-40 МПа. Данный предел можно увеличить, используя плетения нескольких тросов одинакового диаметра.

Конечно, реальные возможности мотора не смогут реализовать максимальную нагрузку, так как, во-первых, нет таких компактных электродвигателей, которые смогли бы выдержать такой вес, а, во-вторых, сама конструкция, которая направлена на снижение нагрузки с тела человека должна стать намного прочее и массивнее, чтобы не деформировать и не сломать под весом таких грузов. Поэтому в данной ситуации достаточен трос, рассчитанный на 10-15 кг, что в совокупности с остальными пальцами кроме большого, ибо он участвует только в удержании предметов и не несет на себе полноценной нагрузки, выдаст возможность работы с 40-60 кг в одной руке.

LB TEST TABLE													
Line Number	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Dia(mm)	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.20	0.23	0.28	0.32	0.37	0.40	0.45	0.50
Strength(lb)	6	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80
Strength(kg)	2.7	3.6	4.5	6.8	9.1	11.3	13.6	15.9	18.1	22.7	27.2	31.8	36.3

Рисунок 2.1 - Характеристики лесок Classic Line от SeaKnight

## 2.2.2 Работа системы

Натяжение обеспечивают электроприводы, на валах которых и будут крепиться тросы. Каждый электропривод приводит в движение закрепленный за ним палец. Вращаясь по часовой стрелке вал натягивает внутренний трос и ослабляет внешний, обеспечивая сгибание пальца, и наоборот, вращаясь против часовой стрелки, он натягивает внешний трос и ослабляет внутренний, позволяя пальцу разогнуться. На валу будет установлена катушка с двумя пазами, в которые будут накручиваться тросы. Пазы должны быть разобщенными дабы избежать перекручивания троса. Крепление к пальцам в свою очередь будет осуществляться в середине дистальных фаланг внутренней, для сгибания, и внешней, для разгибания, сторон пальцев. Тросы прокладываются в пазах и фиксируются скобами, проходя вдоль каждой фаланги. По окончании проксимальных фаланг трос переходит в пястные кости, движение которых ограничено, в связи с жесткой фиксацией последних с запястной пластиной, после чего во избежание трения с остальными частями конструкцию и защиты от окружающей среды закрывается защитным кожухом, который покрывает его до момента входа его в каркас предплечья, где находятся электроприводы, и вплоть до последних.

## 2.3 Исполнительный аппарат

### 2.3.1 Виды приводов

В основу механики усилителя положен принцип натяжения тросов, приводящих в движения саму механическую кисть и выполняющих роль сухожилий. В роли мышц выступают электромоторы, вращение валов которых обеспечивают натяжение тросов, приводя пальцы в движение.

Принцип действия не новый в сфере робототехники, однако никогда не рассматривался инженерами при конструировании экзоскелетов, отдающими предпочтение пневматике и гидравлике, которые способны развивать намного большие усилия. Несмотря на преимущество, они имеют ряд недостатков. Пневматика не может обеспечить нужной точности и плавности хода без дополнительных устройств, имеет меньший коэффициент полезного действия и требует постоянной смазки. Помимо этого, необходимо постоянно иметь очищенный воздух со стабилизированным давлением. Гидравлические системы же, весьма сложны в построении, так как требуют высокой точности построения. Другим большим недостатком является возможность работы в узком диапазоне температур, так как изменение последнего влечет за собой изменение параметров рабочей жидкости, что в свою очередь ведет к потере энергии и снижению коэффициента полезного действия. Они огне- и взрывоопасны, возможны утечки жидкости из гидросистемы.

В свою очередь электропривод обеспечивает стабильную скорость работы, высокую точность позиционирования и плавность регулировки, наиболее высокий КПД среди всех типов приводов, возможность работы в широком диапазоне температур и низкий уровень шума (рисунок 2.2). Помимо этого, система на его основе исключает наличие дополнительного оборудования в сравнении с приводами других видов и имеет возможность модифицирования и улучшения.

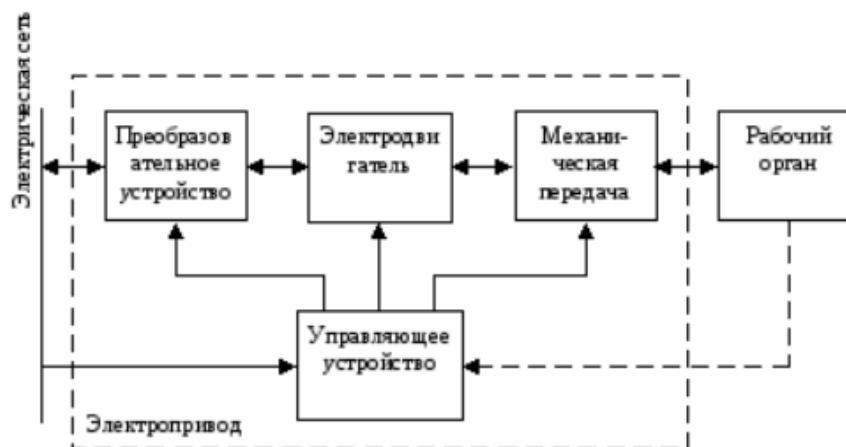


Рисунок 2.2 - Принципиальная схема электропривода

Исполнительным механизмом выступят 5 электроприводов, которые будут располагаться в корпусе предплечья экзоскелета. Электродвигателем является электрическая машина, преобразующая энергию электрическую в механическую энергию вращения. Состоящий из обмоток ротора и статора и имеющий в основе своей работы принцип электромагнитной индукции, электромеханический преобразователь начинает осуществлять вращение ротора за счет появления в статоре кругового вращающегося магнитного поля, которое начинает пронизывать обмотку ротора, наводя в ней ток индукции, после чего ротор приходит в движение.

### 2.3.2 Особенности правильного выбора электропривода

Для эффективной работы устройства необходимо правильно подобрать электродвигатели, для этого нужно определиться с режимом работы и нагрузкой самого механизма. ГОСТом выделено 6 основных режимов работы электродвигателя:

- Продолжительный S1: режим работы, при котором двигатель находится под нагрузкой в течение времени, за которое температура двигателя достигает определенного значения.

- Кратковременный S2: продолжительный режим, однако температура двигателя при нем не успевает достичь установившегося значения. За время отключения двигатель успевает;
- Повторно-кратковременный S3: кратковременный режим, но при имеющий периодические выключения двигателя;
- Повторно-кратковременный с часто повторяющимися запусками S4;
- Повторно-кратковременный с часто повторяющимися запусками и электрическим торможением S5;
- Перемежающийся S6.

Правильный выбор режима работы позволит рационально организовать систему питания нашего экзоскелета. При постоянной смене работы под нагрузкой на покой и наоборот, мы имеем перемежающийся режим работы.

Вращающий момент индукционного электродвигателя сильно зависит от силы магнитных полей, возникающих в роторе и статоре. Сила магнитного поля, во-первых, зависит от статора, его конструкции и материалов, из которых он изготовлен, во-вторых от напряжения и частоты тока (рисунок 2.3). Отношение вращающих моментов пропорционально квадрату отношения напряжений, т.е. если подаваемое напряжение падает, например, на 3%, вращающий момент, исходя из этого, уменьшается на 9%.

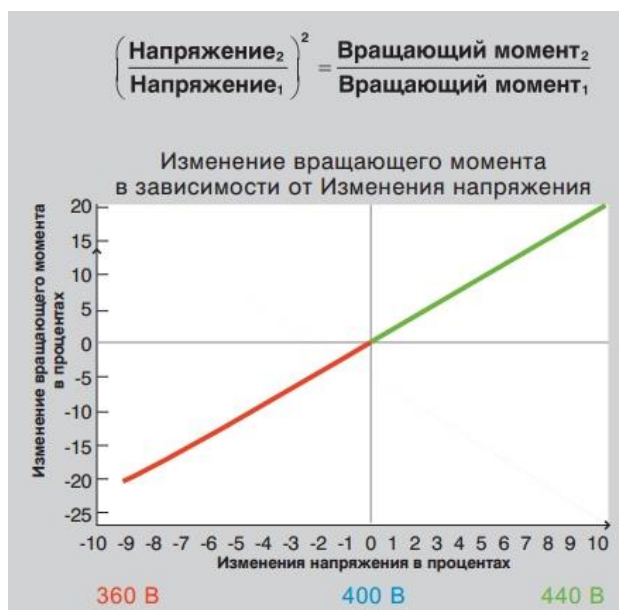


Рисунок 2.3 - Зависимость вращающего момента от изменения напряжения при их изменении

Другим важным параметром при выборе двигателя является нагрузка на валу. Для ее определения мы должны изначально понимать насколько будет рассчитан образец и уже под это значение подбирать двигатели с нужным крутящим моментом и скоростью вращения. Части двигателя, которые всегда наиболее нагружены – это, конечно же, подшипниковые узлы, поэтому при

выборе его должны быть учтены все усилия (осевые и радиальные), воздействующие на двигатель со стороны приложенной нагрузки.

Также необходимо не забывать и про мощность самого электродвигателя, как про потребляемую, дабы правильно организовать энергоснабжение, так и про мощность на валу. Ток ротора индуцируется через источник питания, с которым соединён электродвигатель, а магнитное поле частично создаётся напряжением. Входную мощность можно рассчитать, если известны напряжение электродвигателя, коэффициент его мощности, потребляемый им ток и КПД.

Неправильный подбор или превышение предельных значений нагрузок ведет за собой скорый износ подшипников и поломку двигателя.

### 2.3.3 Мотор-редуктор

Одними из вариантов снятия лишней нагрузки на двигателе является разобщение конструкции узла намотки лески и двигателя или использование редуктора. Редуктором называется механизм, в основе действия которого лежит редукция, т.е. передача мощности посредством вращения, что влечет за собой снижение величины усилия, необходимого приводу устройства, преобразующего мощность в полезную работу. Редуктор не меняет мощность передаваемую вращением вала, а лишь изменяет её угловую скорость и крутящий момент. Это изменение является передаточным отношением. Редукция предполагает под собой следующее: входной крутящий момент всегда меньше, чем выдаваемый, угловая скорость же напротив — на выходе будет меньше, чем на входе. Передаточное отношение редукторов всегда будет больше единицы. Оно может быть подсчитано как с помощью угловых скоростей валов, так и с помощью количества зубьев на взаимозацепленных зубчатых колесах. В случае его использования, двигатель свободно вставляется в конструкцию, обеспечивая возможность легкого доступа и ремонта, а также на него не передаются никакие усилия, что позволяет ему быть “хрупким”.

В связи с этим, на стадии проектирования необходимо либо предусматривать наличие редукторов в конструкции экзоскелета, либо использовать моторы, в которых они уже встроены. Данное решение поможет решить проблему большого веса устройства, так как подходящие по характеристикам двигателя достаточно крупные и увесистые, и упростит устройство, снизив количество звеньев.

Мотор-редуктор — устройство, представляющее собой совмещённые электродвигатель и редуктор в одном блоке (рисунок 2.4). Широко применяется в качестве электропривода во всех областях промышленности. Отличительными его особенностями является компактность, высокий КПД, легкость при монтаже и в обслуживании, В зависимости от вида используемой передачи, выделяются планетарные, цилиндрические, волновые, червячные и прочие виды.



Рисунок 2.4 - Мотор-редуктор

В большинстве случаев одной ступени не хватает для получения нужного количества передаточных чисел мотор-редукторов, поэтому чаще всего имеет место применение двух и трёхступенчатых мотор-редукторов. По мимо этого существуют четырёх и пятиступенчатые агрегаты. Среди многих видов исполнения можно выделить следующие типы компоновок электроприводов:

- соосный цилиндрический мотор-редуктор. Несет в себе две-три ступени и охватывает от 3 до 200 передаточных чисел. Для передачи движения в нём используются цилиндрические косозубые колёса. Монтаж мотора осуществляется на лапах или на фланце. Соосным называется он потому, что выходной вал и электродвигатель находятся на одной оси. В плане компоновки схож с волновым и планетарным редукторами;

- цилиндрический мотор-редуктор с параллельными валами (плоский или навесной). Использует также цилиндрические колёса косозубой формы. Отличительным конструктивным преимуществом является выходной вал, который является полым, что подразумевает возможность монтажа редуктора на оборудование без надобности дополнительных пластичных муфт. Передаточное число для данного вида двухступенчатого редуктора от 5 до 200.

Основными сферами эксплуатации таких моторов являются управление крутящим моментом (уменьшение или повышение мощности) вместе с регулировкой скорости вращения двигателя, использование в качестве следящего элемента привода и т.д.

Хорошим решением может выступить мотор-редуктор Gekko MR20-250 (рисунок 2.5 и 2.6). Данный мотор-редуктор обладает хорошей мощностью и в то же время компактными габаритами, что безусловно важно в нашем проекте.



Рисунок 2.5 - Мотор-редуктор Gekko MR20-250

Спецификация Gekko MR20-250:

- Рабочее напряжение: 3 - 9 В (номинальное 6В);
- Ток без нагрузки: 175 мА (ток при блокировке: 1200 мА);

- Крутящий момент: 8,0 кг\*см;
- Передаточное отношение: 250:1;
- Габариты: 56 x 20 x 20 мм, с диаметром вала 4 мм и весом 45гр.

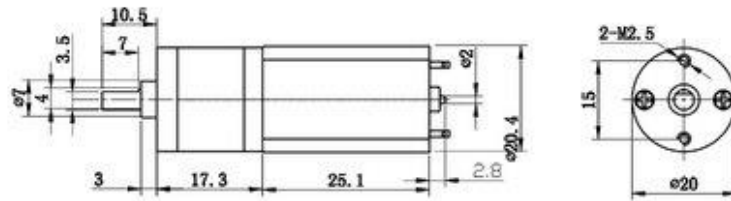


Рисунок 2.6 - Параметры Gekko MR20-250

Как было сказано выше, моторы-редукторы будут располагаться в исполнительном блоке, представленном в виде предплечья экзоскелета. Блок будет разделен горизонтальной перегородкой и состоять из двух отсеков. В верхнем отсеке будут находиться вертикально расположенные приводы, драйвера и микроконтроллеры, отвечающие за управление экзоскелетом. Каждый из приводов будет крепиться к корпусу винтами, а сквозь отверстия в перегородке их валы будут направлены в нижний отсек. В нижней части будет происходить движение тросов. Данная камера не будет содержать в себе ничего кроме катушек, закрепленных на корпусе, и непосредственно самих тросов. Катушки представляют из себя рабочие колеса, имеющие по периметру два паза, в которых будут закреплены два троса, и отверстие в середине по форме вала мотора-редуктора.

Сборка будет выглядеть следующим образом: приводы помещаются в верхний отсек и закрепляются в нем на своих местах. Вал каждого двигателя сквозь отверстие в перегородке, разделяющей отсеки, проходит в нижний отсек и вставляется в отверстия в катушках. Разделение катушек с электродвигателями направлено на упрощение проведения ремонта устройства и легкий доступ к его отдельным частям, что избавляет от необходимости полной разборки системы управления. В нижнем отсеке тросы натягиваются на катушки и фиксируются. При вращении мотора-редуктора в каком-либо направлении, один трос наматывается в паз, а другой разматывается, т.е. вращение вала будет приводить к тому, что один из двух тросов, натягиваясь, будет или сгибать палец, или разгибать его. Катушки располагаются на расстоянии друг от друга во избежание запутывания тросов между собой и, помимо этого, беспрепятственном доступе к каждой в отдельности. Сам блок будет иметь два независимых друг от друга доступа в оба отсека, на верхней и нижней грани.

## 3 Управление экзоскелетом

### 3.1 Обзор микроконтроллера ESP32

Основой системы управления будет выступать ESP32 (рисунок 3.1). Так как, что для рациональной и эффективной работы двигателя нам необходима будет широтно-импульсная модуляция, выбирается именно ESP32, а не Arduino. Так как ШИМ в последнем имеется только на нескольких выходах, в то время как на ESP32 все выходы его поддерживают. Кроме этого модуль ESP32 показывает рекордную производительность по сравнению с конкурентами, что сильно влияет на скорость работы системы, в основе которой он лежит. Это приводит к тому, что загрузка страницы с длинным скетчем и большим количеством графики может занять всего лишь несколько секунд. Помимо этого он имеет низкое энергопотребление, что позволяет ставить во главе мобильных систем, работающих не от сети. Сам микроконтроллер представляет собой систему с интегрированным Wi-Fi и Bluetooth. В ESP32 используется Tensilica Xtensa LX6 в вариациях с одним или двумя ядрами. В систему кроме вышеперечисленного интегрированы радиочастотные компоненты, симметрирующий трансформатор, усилитель мощности, встроенные антенные коммутаторы, малошумящий усилитель, модули управления питанием и фильтры. Вместе с этим используются индивидуальное питание для RTC (ядро с низким энергопотреблением), пробуждение по таймеру или сенсорному датчику и линейный регулятор.

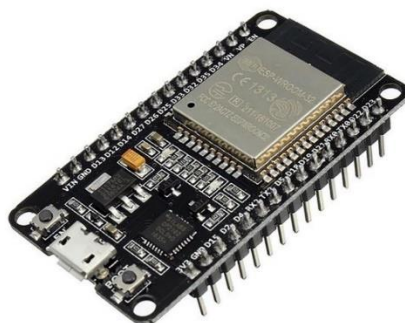


Рисунок 3.1 - Микроконтроллер ESP32

Технические характеристики ESP32:

- Одно- или двухъядерный 32-битный процессор Tensilica Xtensa LX6;
- Тактовая частота – 160 или 240 МГц;
- 512 Кб SRAM;
- Максимальный ток потребления 260 мА, в спящем режиме – 10 мА;
- Wi-Fi, Bluetooth;
- Набор датчиков температуры, Холла, тактильных сенсоров;
- ИК управление;



- Возможность использования ШИМ;
- Стандарт IEEE 802.11 с поддержкой WPA, WPA/WPA2 и WAPI.

В основе управления лягут 2 платы ESP32, так как одной не хватает для организации действия всей конструкции (рисунок 3.2).

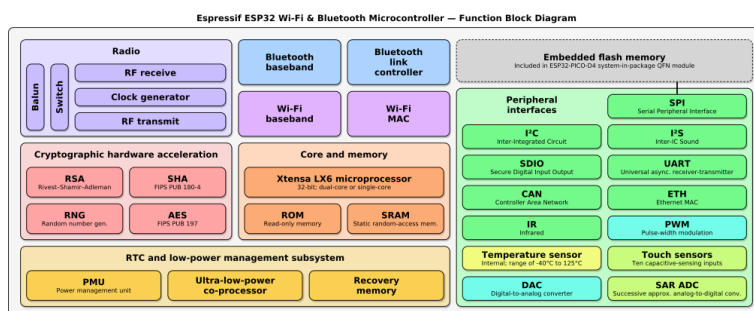


Рисунок 3.2 - Функциональная схема ESP32

В связи с нехваткой свободных пинов первая плата будет осуществлять контроль большого и указательного пальцев, вторая – среднего, безымянного и мизинца. Можно организовать два типа управления: с помощью кнопок для одновременного сгибания и разгибания пальцев и с помощью сенсорной перчатки, которая будет реагировать не только на сам факт движения, но и на степень его законченности, позволяя сгибаться пальцам не полностью.

### 3.2 Принцип управления экзоскелетом

Суть управления с помощью сенсорной перчатки заключается в следующем: по внешней стороне человеческой кисти, вдоль каждого пальца обычной перчатки располагаются силиконовые трубки (рисунок 3.3), на концах которых расположены светодиоды, а в основании фоторезисторы. После чего трубку, с фоторезистором и светодиодом, обмотать черной изолетной, именно черной, во избежание ложных срабатываний на другие источники света, также может быть использована термоусадка. Затем токоограничивающий резистор припаивается в светодиод, а подтягивающий резистор к фоторезистору. Задумка проста: при сгибании пальцев, трубка изгибается, и количество света, падающего на фоторезистор, меняется. Чем сильнее изгиб, тем меньше света доходит до датчика.



Рисунок 3.3 - Оптический датчик изгиба на основе силиконовой трубки

Работу датчика можно проверить с помощью кода из ПРИЛОЖЕНИЯ Б.

В зависимости от окружающего освещения на экран будут выводиться значения от 0 до 1024. При сгибании датчика данные значения начнут уменьшаться по мере того как сильно будет изогнут датчик.

В зависимости от входного сигнала, который соответствует количеству света на датчике, вырабатывается выходной сигнал, который пропорционально увеличиваясь подается на двигатели, которые в свою очередь натягивают леску с определенной силой (рисунок 3.4).

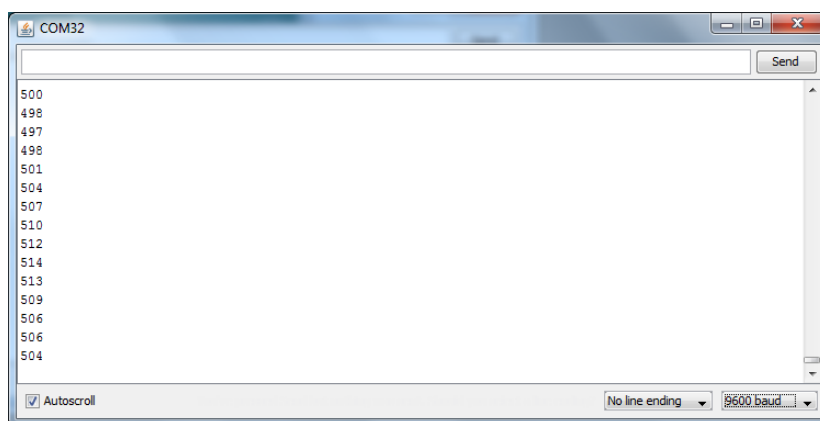


Рисунок 3.4 - Регистрация данных фоторезистором при сгибании датчика

Так как у нас идет сгибание и разгибание, то необходимо организовать вращение по и против часовой стрелки. Для этого мы можем использовать H-мост, состоящий из четырех транзисторов (рисунок 3.5). Попарно открывая и закрывая нужные элементы, мы можем выбирать направление вращения, пропуская ток через обмотки в разных направлениях. Однако, стоит отметить, что необходимо будет на программном уровне предусмотреть момент сгибания и разгибания, так как конструкция со светодиодами и фоторезисторами, связанными силиконовыми трубками, регистрирует только само сгибание, но не определяет в какую сторону оно происходит.

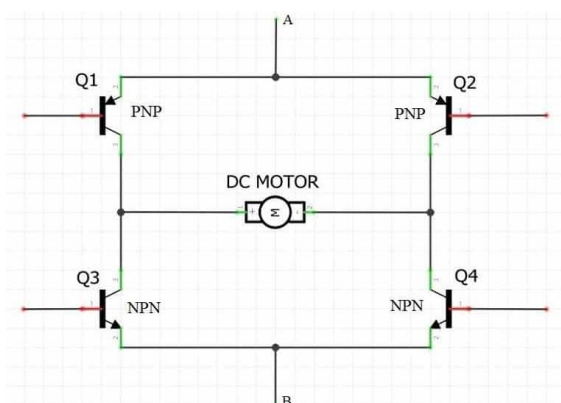


Рисунок 3.5 - Схема H-моста

Отличным решением будет драйвер двигателя L298N (рисунок 3.6). Предназначен для передачи сигналов к индуктивным элементам, типа обмоток

или катушек реле. Позволяет управлять двумя электродвигателями за счет встроенного моста. Имеет модульное исполнение, что подразумевает о наличие рабочих элементов в модели, выводов и разъемов, необходимых для передачи сигналов.

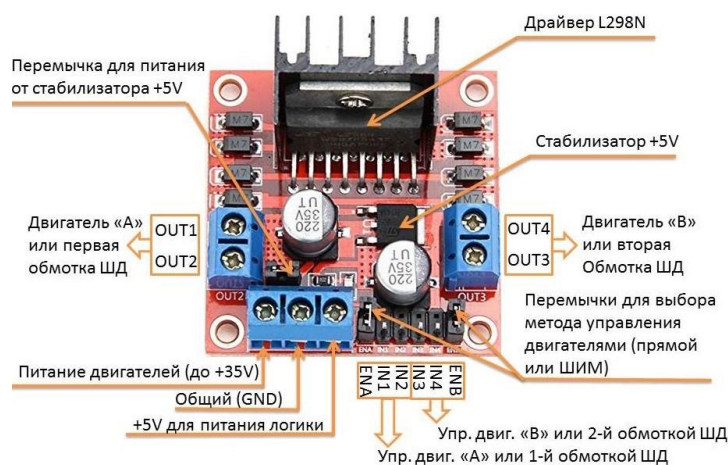


Рисунок 3.6 - Драйвер двигателя L298N

Технические характеристики модуля:

- Напряжение логики: 5V;
- Ток логики: 36mA;
- Напряжение питания моторов: от 5V до 35V;
- Рабочий ток драйвера: 2A (пиковый 3A);
- Предельная мощность: 20Вт;
- Габариты модуля: 43.5 мм x 43.2мм x 29.4мм;

Зажим модуля с тремя выводами не только подводит к нему питающее напряжение, но и позволяет получать напряжение в 5В для нужд драйвера. Важно помнить, что в модуле встроена перемычка для преобразования отличного от 5В напряжения до 12В. При питающем напряжении свыше 12В перемычку необходимо убрать, так как встроенный преобразователь не рассчитан на него, а плате нужно питание 5В третьего вывода клеммника. На схеме ниже представлено подключение двигателя постоянного тока с помощью L298N (рисунок 3.7).

Здесь предусмотрена регулировка скорости вращения, поэтому выводы ENA и ENB драйвера подключены к ШИМ-пинам платы. К ESP32 двигатели мы подключать не будет, так как для эффективной работы ему необходим большой ток. Исходя из этого подключим их к батарее. В данной компоновке можно реализовать аккумулятор от 6 до 12 В.

Чтобы минимизировать любые скачки напряжения, лучше использовать керамический конденсатор 0,1 мкФ, припаяв его к клеммам двигателя.

В ПРИЛОЖЕНИИ А наглядно показывается, как осуществляется управление двигателем постоянного тока с помощью ESP32.

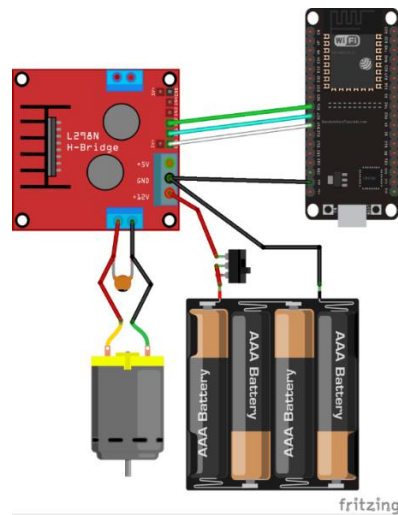


Рисунок 3.7 - Схема подключения двигателя постоянного тока при помощи L298N

Сначала определяем GPIO, к которым подключены контакты двигателя. Подключим вход 1 для двигателя А к 27, вход 2 к 26 и пин включения к 14.

Скорость должна соответствовать рабочему циклу. Для правильной работы ШИМ с ESP32, необходимо провести настройку параметров ШИМ. Сгенерируем сигнал на нулевом канале с 8-битным разрешением и частотой 30000 Гц. Начнем с коэффициента заполнения 200.

При рабочих циклах меньше 200, двигатель работать не будет, будет издаваться гудящий звук без вращения.

Для контроля скорости вращения необходимо провести настройку ШИМ. Воспользуемся функциями `ledcWrite()` и `ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle)`. В примере имеется цикл `while`, который будет увеличивать показатель скорости на 5 каждый цикл. Когда выполнение условия перестанет выполняться устанавливаем рабочий цикл в 200.

### 3.3 Питание

Так как экзоскелет является устройством мобильным, то необходимо позаботиться о системе энергопитания. В спецификации на ESP32 указано напряжение питания от 2.2 до 3.6 вольт, что дает нам возможность питать ESP32 напрямую батареек AA или одной литиевой 1S батарейки. Однако, это касается только микроконтроллера и не затрагивая все остальное.

Чаще всего напряжение батареи будет выше, чем нужно нам, и оно будет заметно меняться по мере разряда самой батареи, поэтому нужно его уменьшить и сделать стабильным. Сначала нужно понять: хотим ли мы питать оставшуюся часть схемы напряжением, которое мы стабилизировали, или все таки напрямую от аккумулятора. От этого будет зависеть ток, отдаваемый регулятором. Самому

ESP32 максимум необходимо 260 mA, взяв с запасом еще немного на заряд конденсатора и прочее, можно округлить до 350. Повторюсь, что стабильное напряжение лучше использовать для подпитки датчиков, а исполнительные устройства подключить лучше напрямую от батареи. Далее нужно выбрать тип регулятора: линейный или импульсный.

Линейный регулятор является, по сути, управляемым резистор, на котором исчезает всё излишнее напряжение, рассеиваясь в виде тепла. Самый распространённый вариант — микросхема типа 1117 (рисунок 3.8). Модуль выпускается производителем в нескольких вариантах на фиксированную линейку выходных напряжений, среди которых есть 3.3 В

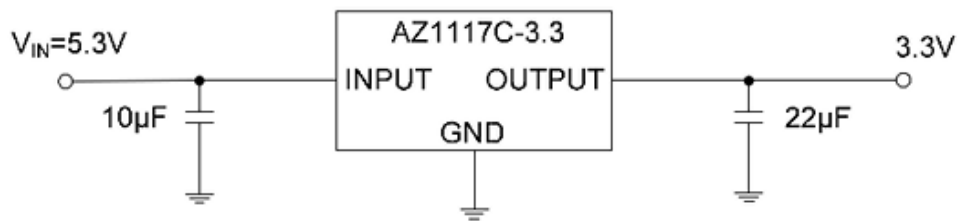


Рисунок 3.8 - Типовая схема включения линейного регулятора типа 1117

Недостатком линейного регулятора является не очень большой КПД, не мало зависящий от разницы между напряжением выходным 3.3 В и на батарее.

С другой стороны, импульсные регуляторы обладают высоким КПД, который слабо зависит от разницы входного и выходного напряжений. Однако, чтобы его использовать необходимо усложнить схему, и продумать все до изготовления печатной платы. В самом регуляторе используется достаточно высокая частота (около десятков кГц, но доходит и до единиц мГц), что приводит к паразитным индуктивностям и ёмкостям, поэтому необходимо не только соединить элементы правильно, но и расположить их соответствующе, так как неправильная компоновка может критически повлиять на его работоспособность. На нижеприведенной схеме можно рассмотреть схему включения (рисунок LM2736).

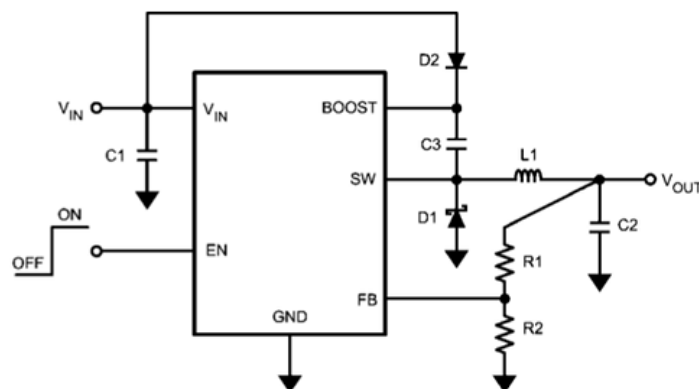


Рисунок 3.9 - Схема включения LM2736

Необходимо также контролировать напряжение батареи. Есть две причины, из-за которых это нужно делать. Во-первых, это позволит нам рассчитать сколько времени у нас осталось до полного разряда нашего аккумулятора. Во-вторых, своевременное отключение батареи до ее полного разряда, продлит срок ее службы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте был разобран принцип действия активного экзоскелета кисти и проведен анализ современного рынка. Разобрав нынешнюю ситуацию на предприятиях тяжелой промышленности, в сфере машиностроения и станкостроительства, были рассмотрены способы создания прототипа экзоскелета, направленного на облегчение работы с грузами работников промышленности и повышения их эффективности труда.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А.А. Терминология и классификация экзоскелетов // <http://www.volgmed.ru/uploads/journals/articles/1476165386-vestnik-2015-3-2459.pdf>;
2. Доклиническое испытание экзоскелета нижней челюсти (реферат) - Оперативная хирургия и клиническая анатомия - 2018-01 - Издательство «Медиа Сфера» // [www.mediasphera.ru](http://www.mediasphera.ru);
3. А.Мельников. "Экзоскелет и катушки Тесла". Газета "Весть", 23.10.2014.;
4. Пластмассы СПб. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен PE 1000 (PE-UHMW);
5. Андреева И. Н., Веселовская Е. В., Наливайко Е. И. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности. — Л.: Химия, 1982. — 80 с;
6. Наука и технологии России - Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – материал для экстремальных условий // [www.strf.ru](http://www.strf.ru);
7. General Electric Co (GE.N) - Company Officers (англ.).Reuters;
8. <https://helpiks.org>;
9. <https://90zavod.ru/raznoe/alyuminij-v-transporte>;
10. <https://ru.wikipedia.org>;
11. <https://electronicparts.ru/uroki/universalnyj-ekzoskelet>;
12. <https://mining-media.ru>;
13. <https://itc.ua/articles/biomehatronika-kiberprotezyi>;
14. <https://eti.su/articles/elektricheskie-mashini>;
15. <http://robotrends.ru>;
16. <https://kizerknives.ru/vrashhayushhij-moment>;
17. <https://www.ourboox.com>;
18. <https://rusautomation.kz/privodnaya-tehnika>;
19. <https://electronicparts.ru>;
20. <https://newtonew.com/tech>.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
int motor1Pin1 = 27;
int motor1Pin2 = 26;
int enable1Pin = 14;
const int freq = 30000;
const int pwmChannel = 0;
const int resolution = 8;
int dutyCycle = 200;

void setup() {
  Далее идет установка пинов в качестве входов.
  pinMode(motor1Pin1, OUTPUT);
  pinMode(motor1Pin2, OUTPUT);
  pinMode(enable1Pin, OUTPUT);

  // Настройка работы светодиода
  ledcSetup(pwmChannel, freq, resolution);

  // Подключение канала к GPIO, который будет управляться
  ledcAttachPin(enable1Pin, pwmChannel);

  Serial.begin(115200);

  // Проверка мотора
  Serial.print("Testing DC Motor...");
  }
  void loop() {
    // Запуск мотора вперед на максимальной скорости. Для это вход 1
устанавливаем на LOW, а вход 2 на HIGH.
    Serial.println("Moving Forward");
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
    digitalWrite(motor1Pin2, HIGH);
    delay(2000);

    // Остановка мотора. Для остановки оба входа переводим в LOW.
    Serial.println("Motor stopped");
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
    digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
    delay(1000);

    // Запуск мотора назад на максимальной скорости. Для этого на первый
подаем HIGH, а на второй LOW.
    Serial.println("Moving Backwards");
    digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);
```

## ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
delay(2000);
```

```
// Остановка мотора  
Serial.println("Motor stopped");  
digitalWrite(motor1Pin1, LOW);  
digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
delay(1000);
```

```
// Запуск мотора вперед с возрастающей скоростью.  
digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);  
digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
while (dutyCycle <= 255){  
    ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);  
    Serial.print("Forward with duty cycle: ");  
    Serial.println(dutyCycle);  
    dutyCycle = dutyCycle + 5;  
    delay(500);  
}  
dutyCycle = 200;  
}
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

```
const int pinPhoto = A0;
void setup() {
  pinMode( pinPhoto, INPUT );
}
void loop() {
  Serial.println( analogRead( pinPhoto ) );
  delay(100);
}
```

ДАТА ОТЧЕТА: 2020-05-20 20:09:10

**НАЗВАНИЕ:**

Проектирование и разработка экзоскелета для усиления кистевого хвата

**АВТОР:**

Павлов Никита Владленович

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:**

Нурлан Баянбай

**ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ:**

ИПАиЦ

**ДАТА ЗАГРУЗКИ ДОКУМЕНТА:**

2020-05-20 14:05:39

**ЧИСЛО ПРОВЕРОК ДОКУМЕНТА:** 

1

**ПРОПУЩЕННЫЕ ВЕБ-СТРАНИЦЫ:** **Уровень заимствований**

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.

6,60%

КП1 

% комбинаций из 5 слов, найденных во всех доступных источниках, кроме БЮА

2,08%

КП2 

% комбинации 25 -слов, найденных во всех доступных источниках, кроме БЮА

0,14%

КЦ 

% найденных слов в тексте, помеченных как цитаты

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2

5713

Количество слов

42688

Количество символов

**Предупреждение и сигналы тревоги**

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся манипуляций в тексте, с целью изменить результаты проверки. Для того, кто оценивает работу на бумажном носителе или в электронном формате, манипуляции могут быть невидимы (может быть также целенаправленное вписывание ошибок). Следует оценить, являются ли изменения преднамеренными или нет.

Замена букв	0	показать в тексте
Использование символов из другого алфавита - может указывать на способ обойти систему, поэтому следует установить их использование.		
Интервалы	0	показать в тексте
Количество увеличенного расстояния между буквами (просим определить является ли расстояние имитацией пробела, так как исходно слова могут быть написаны слитно).		
Микропробелы	0	показать в тексте
Количество пробелов с нулевым размером - необходимо проверить влияют ли они на неправильное разделение слов в тексте.		
Белые знаки	0	показать в тексте
Количество символов, выделенных белым цветом, пожалуйста, проверьте не используются ли белые символы вместо пробела, соединя слова (в отчете подобия система изменяет автоматически цвет букв в черный, чтобы их сделать видимыми).		

**Заимствования по списку источников**

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и посмотрите, являются ли выделенные фрагменты повтояющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("криптоцитаты").

**10 самых длинных фраз (3,78 %)**

Десять самых длинных фрагментов найденных во всех доступных ресурсах.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	АВТОР	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ	
1	<a href="http://robotrends.ru/pub/1723/top-3-trenda-rynka-ekzo-skeletov-i-ih-znachenie">http://robotrends.ru/pub/1723/top-3-trenda-rynka-ekzo-skeletov-i-ih-znachenie</a>		34	0,60 %
2	<a href="https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/">https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/</a>		31	0,54 %
3	<a href="https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/">https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/</a>		27	0,47 %
4	<a href="https://electronicparts.ru/uroki/universalnyj-ekzoskelet-dlya-perenoski-gruzov.html">https://electronicparts.ru/uroki/universalnyj-ekzoskelet-dlya-perenoski-gruzov.html</a>		27	0,47 %
5	<a href="http://robotrends.ru/pub/1723/top-3-trenda-rynka-ekzo-skeletov-i-ih-znachenie">http://robotrends.ru/pub/1723/top-3-trenda-rynka-ekzo-skeletov-i-ih-znachenie</a>		18	0,32 %

6	<a href="https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/">https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/</a>	17	0,30 %
7	<a href="https://kizerknives.ru/vrashhayushhij-moment-formula/">https://kizerknives.ru/vrashhayushhij-moment-formula/</a>	16	0,28 %
8	<a href="https://xn----7sbeb3bupph.xn--p1ai/mocshnost/formula-mocshnost-elektrodivigatelya.html">https://xn----7sbeb3bupph.xn--p1ai/mocshnost/formula-mocshnost-elektrodivigatelya.html</a>	16	0,28 %
9	<a href="https://pandoraopen.ru/2018-08-28/mnogoe-kazhetsya-fantastikoj-kak-aktivnyj-ekzoskelet-izmenit-vozmozhnosti-rossijskix-voennyx-foto/">https://pandoraopen.ru/2018-08-28/mnogoe-kazhetsya-fantastikoj-kak-aktivnyj-ekzoskelet-izmenit-vozmozhnosti-rossijskix-voennyx-foto/</a>	15	0,26 %
10	<a href="https://90zavod.ru/raznoe/alyuminij-v-transporte-alyuminij-v-transporte-alyuminievaya-associaciya-stimuliruet-pri-menenie-alyuminiya-v-transporte.html">https://90zavod.ru/raznoe/alyuminij-v-transporte-alyuminij-v-transporte-alyuminievaya-associaciya-stimuliruet-pri-menenie-alyuminiya-v-transporte.html</a>	15	0,26 %

### из базы данных RefBooks (0,00 %)

Все фрагменты найдены в базе данных RefBooks, которая содержит более 3 миллионов текстов от редакторов и авторов.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	АВТОР	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (КОЛИЧЕСТВО ФРАГМЕНТОВ)
---------------------	----------	-------	---

ЗАИМСТВОВАНИЙ НЕ НАЙДЕНО

### из домашней базы данных (0,00 %)

Все фрагменты найдены в базе данных вашего университета.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	АВТОР	ДАТА ИНДЕКСАЦИИ	ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
---------------------	----------	-------	--------------------	---------------------------------

ЗАИМСТВОВАНИЙ НЕ НАЙДЕНО

### из программы обмена базами данных (0,00 %)

Все фрагменты найдены в базе данных других университетов.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ НАЗВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ	АВТОР	ДАТА ИНДЕКСАЦИИ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (КОЛИЧЕСТВО ФРАГМЕНТОВ)
---------------------	----------------------------------	-------	--------------------	---

ЗАИМСТВОВАНИЙ НЕ НАЙДЕНО

### из интернета (6,60 %)

Все фрагменты найдены в глобальных интернет-ресурсах открытого доступа.

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	<a href="http://robotrends.ru/pub/1723/top-3-trenda-rynka-ekzoskeletov-i-ih-znachenie">http://robotrends.ru/pub/1723/top-3-trenda-rynka-ekzoskeletov-i-ih-znachenie</a>	90 (7)	1,58 %
2	<a href="https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/">https://www.ourboox.com/books/%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B/</a>	89 (4)	1,56 %
3	<a href="https://xn----7sbeb3bupph.xn--p1ai/mocshnost/formula-mocshnost-elektrodivigatelya.html">https://xn----7sbeb3bupph.xn--p1ai/mocshnost/formula-mocshnost-elektrodivigatelya.html</a>	58 (5)	1,02 %
4	<a href="https://electronicparts.ru/uroki/universalnyj-ekzoskelet-dlya-perenoski-gruzov.html">https://electronicparts.ru/uroki/universalnyj-ekzoskelet-dlya-perenoski-gruzov.html</a>	40 (3)	0,70 %
5	<a href="https://pandoraopen.ru/2018-08-28/mnogoe-kazhetsya-fantastikoj-kak-aktivnyj-ekzoskelet-izmeni-t-vozmozhnosti-rossijskix-voennyx-foto/">https://pandoraopen.ru/2018-08-28/mnogoe-kazhetsya-fantastikoj-kak-aktivnyj-ekzoskelet-izmeni-t-vozmozhnosti-rossijskix-voennyx-foto/</a>	38 (3)	0,67 %
6	<a href="https://90zavod.ru/raznoe/alyuminij-v-transporte-alyuminij-v-transporte-alyuminievaya-associaciya-stimuliruet-primeneniye-alyuminiya-v-transporte.html">https://90zavod.ru/raznoe/alyuminij-v-transporte-alyuminij-v-transporte-alyuminievaya-associaciya-stimuliruet-primeneniye-alyuminiya-v-transporte.html</a>	26 (2)	0,46 %
7	<a href="https://kizerknives.ru/vrashhayushhij-moment-formula/">https://kizerknives.ru/vrashhayushhij-moment-formula/</a>	25 (2)	0,44 %
8	<a href="https://garganta.ru/samye-krutye-igry/top-lychshih-firm-rybolovnyh-lesok.html">https://garganta.ru/samye-krutye-igry/top-lychshih-firm-rybolovnyh-lesok.html</a>	11 (1)	0,19 %