

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 04.09.2023 15:19:24
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 17 » _____ 2022 г.



Государственная итоговая аттестация

Методические указания к подготовке и проведению
государственной итоговой аттестации студентов
направления 15.04.06 «Мехатроника и робототехника»

УДК 681.323

Составители Е.Н. Политов, С.Ф. Яцун, А.В. Мальчиков

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.Н. Рукавицын*

Государственная итоговая аттестация: методические указания к подготовке и проведению государственной итоговой аттестации студентов направления 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.Н. Политов, С.Ф. Яцун, А.В. Мальчиков. Курск, 2022. 34 с.

Предназначены для студентов направления 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» всех форм обучения, а также преподавателей выпускающей кафедры в качестве методического руководства для подготовки и проведения государственной итоговой аттестации.

Содержат общие положения и правила проведения ГИА, основные требования к уровню освоения образовательной программы, объему и содержанию выпускной квалификационной работы.

Методические рекомендации соответствуют требованиям программы, утверждённой учебно-методическим объединением (УМО).

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 17.01.2022 . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. 2,0 . Уч.-изд.л. 1,8 . Тираж 30 экз. Заказ 158. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

1. Общие положения	4
2 Требования к ВКР и порядку их выполнения	6
2.1 Требования к тематике ВКР	6
2.2 Требования к структуре ВКР	7
2.3 Требования к объему и содержанию ВКР	11
2.4 Требования к оформлению ВКР	12
2.5 Требования к отзыву и рецензии	12
2.6 Требования к процедуре проведения защиты ВКР	13
3. Фонд оценочных средств для проведения ГИА (защиты ВКР)	14
3.1 Перечень компетенций, которыми должны овладеть обучающиеся в результате освоения образовательной программы	14
3.2 Тематика выпускных квалификационных работ	16
3.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов освоения образовательной программы	18
Библиографический список	21
Приложение 1. Пример выполнения презентации	22
Приложение 2. Перечень типовых вопросов к защите ВКР	31

1. Общие положения

Освоение образовательных программ высшего образования по программе магистратуры завершается обязательной государственной итоговой аттестацией выпускников.

Она проводится в соответствии с:

- Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – магистратура по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника, утвержденным приказом Минобрнауки России от «14» августа 2020 г. № 1023;

- Приказом Минобрнауки России от 5 апреля 2017 г. № 301 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры»;

- Приказом Минобрнауки России от 29 июня 2015 г. № 636 «Об утверждении Порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры»;

- Положением П 02.032–2016 «Государственная итоговая аттестация по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры».

- Программой государственной итоговой аттестации по направлению 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Целью государственной итоговой аттестации является определение соответствия результатов освоения обучающимися основной профессиональной образовательной программы высшего образования 15.04.06 Мехатроника и робототехника требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника.

Задачи государственной итоговой аттестации:

– установить уровень сформированности у обучающихся универсальных и общепрофессиональных компетенций, установленных

ФГОС ВО, и профессиональных компетенций, установленных университетом самостоятельно;

– определить готовность обучающихся к решению задач профессиональной деятельности установленных ОПОП ВО типов;

– установить соответствие обучающихся присваиваемой квалификации.

По образовательной программе «Мехатроника и робототехника» государственная итоговая аттестация проводится в форме защиты выпускной квалификационной работы.

2 Требования к ВКР и порядку их выполнения

2.1 Требования к тематике ВКР

Целью ВКР как формы государственной итоговой аттестации является определение соответствия результатов освоения обучающимися основных образовательных программ соответствующим требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования.

Основными задачами при выполнении дипломного проекта являются:

- подтверждение способности применять знания, умения, навыки и компетенции, сформированные при освоении образовательной программы «Мехатроника и робототехника», для решения профессиональных задач;

- выявление способности к поиску новых решений (конструкторских, технологических и др.);

- выявление навыков самостоятельного анализа и синтеза при решении профессиональных задач с применением достижений в науке, технике, технологии, экономической и социальной сферах;

- проверка и оценка владения современными методиками научных исследований и эксперимента при решении профессиональных задач;

- определение готовности к выполнению видов профессиональной деятельности, установленных ФГОС ВО и определенных осваиваемой образовательной программой.

Темы ВКР разрабатываются кафедрой механики, мехатроники и робототехники.

Темы ВКР должны быть актуальными, представлять практический интерес и соответствовать:

- уровню высшего образования – магистратура
- направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника;
- направленности (профилю) «Сервисная робототехника»;
- области (областям) и сфере (сферам) профессиональной деятельности, определенным в ОПОП ВО на основании ФГОС ВО:

- 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сферах: автоматизации, механизации и роботизации машиностроительных производств)

• типам задач профессиональной деятельности, на которые ориентирована ОПОП ВО:

- Научно-исследовательский
- Проектно-конструкторский

Обучающийся вправе предложить свою тему ВКР с письменным обоснованием целесообразности ее разработки для практического применения в соответствующей области (сфере) профессиональной деятельности или на конкретном объекте профессиональной деятельности.

Темы ВКР студентов, обучающихся по договорам о целевом обучении, согласуются с руководителями (или назначенными ими лицами) предприятий-заказчиков целевого обучения.

2.2 Требования к структуре ВКР

Структура, объем и содержание пояснительной записки проекта во многом определяется темой исследования, спецификой решаемой задачи. Выбор темы – важный и ответственный этап. Как правило, студенту предоставляется возможность самому определиться с темой исследования, а задача наставника – конкретизировать проблемную область, помочь сформулировать цели и задачи проекта.

Перед утверждением темы, желательно, чтобы студент ознакомился с предметной областью исследования, обсудил возможные пути решения поставленной задачи. Иногда на этом этапе у обучающихся возникает желание сменить тему или изменить формулировку решаемой задачи. Задача наставника – выступать в роли модератора, давая возможность студенту самому прийти к верной формулировке темы, сохранив высокий уровень собственной мотивации к работе над ВКР.

Как правило, ВКР имеет 4 главы. В рамках проекта решаются задачи анализа проблемы, математического моделирования, разработки системы управления и конструкции устройства. В зависимости

от специфики решаемой задачи разделы могут иметь различную последовательность и объем.

ВКР магистра должна отражать уровень компетенций инженера-исследователя, особый акцент в работе уделяется научно-исследовательской составляющей проекта: математическое моделирование, экспериментальные исследования и т.д.

Пояснительная записка магистра также разделена на 4 главы, посвященные анализу предметной области, математическому моделированию, проектированию конструкции и разработке системы управления. Кроме этого, часто ВКР магистра может содержать дополнительные разделы, например посвященные экспериментальным исследованиям или разработки методик и алгоритмов применения устройства.

Покажем примерную структуру пояснительной записки ВКР.

Введение. (1–2 стр.)

1. Состояние вопроса. Цели и задачи ВКР. (15–20 стр.)

1.1. Актуальность темы работы.

1.2. Анализ существующих устройств.

1.3. Классификация устройств.

1.4. Формулировка проблемы.

1.5. Выводы (цели ВКР, задачи ВКР, требования к разрабатываемому устройству).

1.6. Техническое задание.

2. Математическое моделирование работы устройства. (20–25 стр.)

2.1. Схема, описание работы устройства.

2.2. Задачи математического моделирования.

2.3. Математическая модель устройства.

2.3.1. Принятые допущения в модели.

2.3.2. Расчетная схема (схемы) взаимодействия устройства с окружающей средой и узлами.

2.3.3. Математические выражения (уравнения) для моделирования.

2.4. Описание условий математического моделирования (описание используемых констант, начальных условий решения дифференциальных уравнений и пр.).

2.5. Описание модели в выбранной среде моделирования (блок-схема (схемы), алгоритм и/или программа на языке программирования).

2.6. Результаты моделирования (графики и таблицы).

- 2.7. Получение исходных данных для конструирования.
- 2.8. Выводы.
3. Разработка конструкции устройства. (20-25 стр.)
 - 3.1. Кинематическая схема (схемы) привода.
 - 3.2. Математическая модель приводов устройства.
 - 3.3. Расчет и выбор двигателей для приводов устройства.
 - 3.4. Параметры и характеристики двигателей.
 - 3.5. Расчет (и проектирование) редукторов для приводов устройства.
 - 3.6. Выбор элементов конструкции устройства (выбор готовых двигателей, редукторов, мотор-редукторов (Maxon, Faulhaber, Hiwin, исполнительных устройств (Schunk), сборочных узлов, подшипниковых узлов (SKF), электроустановочных изделий (ABB)).
 - 3.7. Проектирование шасси, корпуса, деталей устройства.
 - 3.7.1. Трехмерные эскизы (минимум 3 модели, выполненные в SolidWorks или Компас-3D).
 - 3.7.2. Чертежи (минимум 3 чертежа – 1 сборочный чертеж и 2 чертежа деталей, выполненные в Компас-3D или AutoCAD).
 - 3.8. Расчеты на прочность и жесткость деталей устройства (минимум 2 детали).
4. Система управления устройством. (20–25 стр.)
 - 4.1. Принципы работы системы управления устройством.
 - 4.1.1. Функциональная схема системы управления.
 - 4.1.2. Оценка возможностей предлагаемой системы управления.
 - 4.1.3. Выбор типа и средств управления устройством (с участием оператора, автономное, комбинированное).
 - 4.2. Структурная схема системы управления.
 - 4.3. Математическая модель (модели) работы системы управления.
 - 4.3.1. Применение элементов искусственного интеллекта.
 - 4.4. Алгоритм (алгоритмы) работы системы и/или подсистем управления.
 - 4.5. Описание математической модели системы автоматического управления в выбранной среде моделирования (блок-схема (схемы), алгоритм и/или программа на языке программирования).
 - 4.6. Исследование работы системы и/или подсистем управления (исследование точности, быстродействия, устойчивости в требуемых режимах эксплуатации).
 - 4.7. Результаты исследований и выводы (графики, таблицы).

4.8. Программа на языке высокого уровня для реализации работы системы управления устройством (программа на языке C или C++ для микроконтроллеров Atmel ATmega/AVR).

4.9. Выбор элементной базы для построения электронного модуля системы управления устройством.

4.10. Электрическая принципиальная схема электронного модуля устройства.

Заключение. (1 стр.)

Список используемых источников (минимум 50 источников, в т.ч. 20 зарубежных).

Дополнительно в работе могут присутствовать разделы, посвященные результатам экспериментальных исследований, разработка методик испытания и применения исследуемого устройства и т.д.

2.3 Требования к объему и содержанию ВКР

Типичный объем пояснительной записки ВКР магистра составляет 100–120 с. Объем графического материала также определяется индивидуально в зависимости от темы, но минимально должен содержать чертеж общего вида и не менее двух рабочих чертежей деталей, оформленных согласно ЕСКД.

Основные требования к содержанию ВКР:

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цель, задачи, объект и предмет исследования, указываются избранные методы исследования, анализируется степень разработанности исследуемой проблемы в научной литературе.

Основная часть состоит из 4-5 глав.

В первой главе проводится аналитический обзор современного состояния вопроса в области исследований, приводится классификация мехатронных и робототехнических систем в данной области; определяются цели и конкретные задачи ВКР и приводится технико-экономическое обоснование проекта. Объем первой главы: 15-20 страниц.

Во 2-й главе описывается расчетная схема и математическая модель разрабатываемого робота или мехатронной системы, приводятся основные результаты моделирования и даются рекомендации к выбору ключевых параметров конструкции и системы автоматического управления. Объем второй главы: 20-25 страниц.

В 3-й главе описывается конструкция разработанного объекта, приводятся необходимые расчеты приводов механизмов и основных элементов конструкции, а также общий вид всего устройства и его отдельных частей. Объем первой главы: 20-25 страниц.

Четвертая глава посвящена разработке системы автоматического управления приводами робота (мехатронной системы), выбору контроллеров, драйверов, датчиков и остальной элементной базы, описания алгоритмов управляющей программы в различных режимах и т.д. Объем четвертой главы: 15-20 страниц.

Пятая глава (при наличии) представляет собой научно-исследовательский раздел, и может включать в себя более углубленные расчеты и уточненные модели, анализ результатов моделирования работы устройства или его системы управления, описание натур-

ных экспериментов и анализ их результатов, представляющие определенную научную новизну. В большинстве случаев результаты научных исследований должны быть опубликованы и (или) апробированы на различных научных конференциях и семинарах, что должно быть отражено в тексте ВКР. Объем пятой главы: 15-20 страниц.

Заключение содержит конкретные выводы, которые соотносятся с целью и задачами, поставленными во введении, а также включает предложения и рекомендации по использованию полученных результатов в производственной деятельности.

Список литературы содержит сведения об источниках, использованных при выполнении ВКР.

В *Приложениях* размещаются (при наличии): спецификации, листинги программ, копии документов, подтверждающих апробацию работы или публикаций и др.

Подробно требования к содержанию ВКР и порядку их выполнения изложены в методических рекомендациях, разработанных кафедрой механики, мехатроники и робототехники.

2.4 Требования к оформлению ВКР

Выпускная квалификационная работа должна быть напечатана и иметь жесткий переплет.

Оформление ВКР осуществляется в соответствии со стандартом университета СТУ 04.02.030-2015 «Курсовые работы (проекты). Выпускные квалификационные работы. Общие требования к структуре и оформлению» методическими рекомендациями, разработанными кафедрой механики, мехатроники и робототехники

2.5 Требования к отзыву и рецензии

После завершения работы над ВКР обучающийся представляет ее руководителю ВКР, который дает отзыв на эту работу. В отзыве руководителя ВКР содержится краткая характеристика и оценка работы студента, делается вывод о готовности обучающегося к самостоятельной профессиональной деятельности. Форма отзыва руководителя ВКР приведена в положении П 02.032-2016.

В рецензии должен быть дан квалифицированный анализ содержания и основных положений работы, оценка актуальности избранной темы, самостоятельности подхода к её раскрытию, наличия собственной точки зрения автора, умения пользоваться современными методами сбора и обработки информации, степени обоснованности выводов и рекомендаций, достоверности полученных результатов, их новизны и практической значимости. Наряду с положительными сторонами работы отмечаются недостатки. Замечания должны носить конкретный характер с указанием номера соответствующей страницы ВКР. Форма рецензии приведена в положении П 02.032-2016.

2.6 Требования к процедуре проведения защиты ВКР

Защита ВКР происходит на открытом заседании государственной экзаменационной комиссии (ГЭК). Порядок проведения защиты ВКР установлен в положении П 02.032-2016 «Государственная итоговая аттестация по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры».

В процессе публичной защиты соискатель делает доклад (обычно не более 10 мин) и отвечает на вопросы комиссии. Особое внимание в докладе следует уделить апробации результатов работы в ходе выступлений на конференциях и семинарах, в публикациях.

При подготовке презентаций ВКР рекомендуется делать не менее 15 и не более 30 слайдов. Каждый слайд должен иметь заголовки и нумерацию. Содержание слайда должно строго соответствовать заголовку и докладу, быть легко читаемым и не перегруженным. Рекомендуется использовать светлые тона фона, лучше всего белый, и черный цвет для шрифта.

3. Фонд оценочных средств для проведения ГИА (защиты ВКР)

3.1 Перечень компетенций, которыми должны овладеть обучающиеся в результате освоения образовательной программы

Таблица 1 – перечень формируемых компетенций

Код	Определение компетенции
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (ых) языке (ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ОПК-1	Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности
ОПК-2	Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации в области машиностроения
ОПК-3	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного уровня
ОПК-4	Способен использовать современные информационные технологии и средства при моделировании технологических процессов

ОПК-5	Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, с учетом стандартов, норм и правил
ОПК-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий
ОПК-7	Способен разрабатывать современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении
ОПК-8	Способен оптимизировать затраты на обеспечение деятельности производственных подразделений
ОПК-9	Способен разрабатывать и осваивать новое технологическое оборудование
ОПК-10	Способен разрабатывать методики контроля и обеспечения производственной и экологической безопасности на рабочих местах
ОПК-11	Способен организовывать разработку и применение алгоритмов и современных цифровых программных методов расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем
ОПК-12	Способен организовывать монтаж, наладку, настройку и сдачу в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
ОПК-13	Способен использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем
ОПК-14	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
ПК-1	Способен проводить патентные исследования, осуществлять

	сбор, обработку и анализ научно-технической информации в области современной сервисной робототехники
ПК-2	Способен руководить и самостоятельно проводить научные исследования, проводить анализ и внедрять результаты опытно-конструкторских разработок сервисных роботов
ПК-3	Способен организовывать и управлять научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими разработками сервисных роботов
ПК-4	Способен организовывать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области разработки сервисных роботов
ПК-5	Способен разрабатывать техническое задание на проектирование и варианты структурных схем управляемого электропривода модуля сервисного робота
ПК-6	Способен проектировать и разрабатывать проектно-конструкторскую документацию на проектирование управляемого электропривода модуля сервисного робота

Показатели и критерии оценивания компетенций, а также типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения образовательной программы рассмотрены в программе государственной итоговой аттестации.

3.2. Тематика выпускных квалификационных работ

Тематика заданий на выпускные квалификационные работы по программе магистратуры должна охватывать те отрасли промышленности, в которых широко используются сервисные роботы, мехатронные и автоматизированные системы, с учетом профиля магистерской программы.

В каждом задании должен быть элемент новизны, разработка которого была бы полезна студенту и прививала бы ему навыки самостоятельной творческой работы. Выбор темы ВКР осуществляется студентом добровольно из списка тем, предлагаемых выпускающей кафедрой. Все задания должны носить индивидуальный харак-

тер, их выбор студенты могут связывать как со своими профессиональными интересами, так и с будущим местом работы.

Примеры тем ВКР представлены ниже:

1. Беспилотный летательный аппарат для поиска людей при чрезвычайных ситуациях
2. Роботизированный мобильный комплекс для проведения батиметрических измерений
3. Адаптивная система управления электроприводами реабилитационного комплекса нижних конечностей
4. Роботизированное устройство для реабилитации голеностопного сустава после спортивных травм
5. Бизнес-проект «Экзоскелет промышленного назначения для такелажных работ»
6. Обучающий полигон для выполнения технологических операций с использованием экзоскелета.
7. Роботизированный комплекс для транспортировки пациента в реабилитационный экзоскелет
8. Система управления станком для лазерной резки металлов
9. Автоматизированный модуль подъема груза экзоскелета.
10. Экзоскелетный комплекс для проведения офтальмологических операций
11. Навигационная система аэродромного мобильного робота-тягача
12. Адаптивное управление манипулятором KUKA для покраски вертикальных поверхностей
13. Матричный измеритель сило-моментного взаимодействия в человеко-машинной системе.
14. Роботизированная буксировочная аэродромная система
15. Мультикоптерное роботизированное устройство для доставки малогабаритных грузов
16. Экзоскелет верхних конечностей промышленного назначения
17. Роботизированный мобильный модуль для такелажных работ
18. Шагающая четырехногая роботизированная платформа для транспортных задач
19. Мобильный колёсный прыгающий робот для поисковых работ
20. Пятикоординатная стопа двуногого шагающего робота для

- перемещения по пересеченной местности
21. Конвертоплан на основе квадрокоптерной схемы для перемещения в замкнутом пространстве
 22. Шагающий шестиногий робот для экологического мониторинга горных предприятий
 23. Мультикоптер для мониторинга пожарной обстановки в лесопарковых зонах с применением камер бинокулярного зрения
 24. Логистическая колесная платформа с манипулятором
 25. Мобильный колесный робот для сопровождения слабовидящих людей и инвалидов по зрению
 26. Мобильный трёхколёсный робот-промоутер для распространения рекламной продукции
 27. Мобильный робот-тренажер для метания теннисных мячей
 28. Конвертоплан с двухплоскостным вектором тяги задних приводов
 29. Активный экзоскелет нижних конечностей
 30. Роботизированная инвалидная коляска вертикализатор

3.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов освоения образовательной программы

На государственной итоговой аттестации (защите ВКР) ГЭК оценивает результаты освоения ОПОП ВО (компетенции) и устанавливает уровень их сформированности персонально у каждого обучающегося.

В течение 0,5 часа защиты обучающимся ВКР члены ГЭК, используя контрольные задания и иные материалы, указанные в п. 6.3 настоящей программы, оценивают владение обучающимся качествами, которые в виде показателей оценивания компетенций перечислены в п. 6.2 настоящей программы, и определяют по критериям и шкале, приведенным там же, уровень сформированности у обучающегося каждой компетенции. Затем члены ГЭК устанавливают, какому именно уровню (высокому, продвинутому, пороговому или недостаточному) соответствует большинство (более 50%) компетен-

ций, продемонстрированных обучающимся в ходе защиты ВКР. На основании этого делается вывод об уровне сформированности компетенций у конкретного обучающегося в целом.

Установленный членами ГЭК уровень сформированности компетенций является важнейшим критерием при определении оценки на государственной итоговой аттестации (защите ВКР). Оценка определяется в соответствии со следующими критериями.

Критерии итоговой оценки защиты ВКР

Оценка «отлично» предполагает:

• **высокий уровень сформированности большинства (более 50%) компетенций (пороговый уровень не зафиксирован членами ГЭК ни по одной компетенции);**

- актуальность, самостоятельность и практическую значимость ВКР;
- оригинальность решений и новизну полученных результатов;
- использование достаточного и необходимого количества информационных источников, в том числе электронных;
- умение лаконично докладывать о проделанной работе, убедительно обосновывать свои суждения и выводы, аргументированно рассуждать, полно и глубоко отвечать на заданные вопросы;
- безукоризненное качество оформления ВКР;
- положительные отзыв и рецензия.

Оценка «хорошо» предполагает:

• **продвинутый уровень сформированности большинства (более 50%) компетенций;**

- актуальность, самостоятельность и социальную значимость ВКР;
- корректность решений и полученных результатов;
- использование достаточного и необходимого количества информационных источников, в том числе электронных;
- умение четко докладывать о проделанной работе, обосновывать свои суждения и выводы, рассуждать, отвечать на заданные вопросы;
- хорошее качество оформления ВКР;

- в целом положительные отзыв и рецензия, но имеющие отдельные замечания.

Оценка «удовлетворительно» предполагает:

• пороговый уровень сформированности большинства (более 50%) компетенций;

- традиционность темы, низкий уровень самостоятельности и практической значимости ВКР;
- недостаточность и (или) спорность отдельных решений и (или) результатов;
- использование незначительного количества информационных источников, в том числе электронных;
- допустимое качество оформления ВКР, но с имеющимися недочетами;
- неполнота доклада о проделанной работе, недостаточно обоснованные суждения и выводы, ошибки в построении рассуждения, поверхностные ответы на заданные вопросы;
- отзыв и рецензия с замечаниями.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент:

• недостаточный уровень сформированности большинства (более 50%) компетенций;

- не владеет содержанием работы, не может прокомментировать ее элементарные положения;
- допускает грубые ошибки в рассуждении;
- неправильно отвечает или не отвечает на наводящие и дополнительные вопросы комиссии по содержанию ВКР;
- низкое качество оформления работы;
- отзыв и рецензия с серьезными замечаниями.

Библиографический список

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - магистратура [Электронный ресурс] // Федеральные государственные образовательные стандарты. М.: Институт стратегических исследований в образовании РАО. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Mag/150406_M_3_31082020.pdf. –Текст: электронный.
2. Дипломное проектирование мехатронных и робототехнических систем : учебное пособие для студентов направления "Мехатроника и робототехника" (бакалавриат и магистратура) / С. Ф. Яцун, Е. Н. Политов, В. Я. Мищенко [и др.] ; Юго-Западный государственный университет (Курск). - Курск : Университетская книга, 2019. - 140 с. : ил. - Библиогр.: с. 122-129 (77 назв.). - ISBN 978-5-907270-96-1 : 121.74 р.
3. Яцун С.Ф. Проектирование мехатронных и робототехнических систем: учебное пособие / Юго-Зап. гос. ун-т; С.Ф. Яцун, А.В. Мальчиков, Е.Н. Политов. – Курск, 2021. – 195 с. – Библиограф.: с. 155-175.
4. Основы автоматизированного проектирования мехатронных и робототехнических систем : учебное пособие / С. Ф. Яцун, П. А. Безмен, Е. Н. Политов – Юго-Зап. гос. ун-т. – Книга : Университетская книга, 2021. – 194 с. : ил., табл. - Библиогр. – с. 197. –ISBN: 978-5-907441-87-3–Текст: непосредственный.
5. Основы проектирования мехатронных систем. Правила выполнения чертежей: учебное пособие / Яцун С.Ф., Локтионова О.Г. , Ворочаева Л.Ю., Политов Е.Н., Мальчиков А.В., Савин С.И. – Курск: ЮЗГУ, 2017. – 343 с. –ISBN: 978-5-7681-1229-5–Текст: непосредственный.
6. Курсовое проектирование деталей машин на базе графических систем : учебное пособие / под общ. ред. проф. П. Н. Учаева. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 428 с. – ISBN: 978-5-94178-513-1. –Текст: непосредственный.

Минобрнауки России
Юго-Западный государственный университет
Кафедра механики, мехатроники и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ

Направление подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

Тема: «Приводная система реабилитационного экзоскелета нижних конечностей»

Автор ВКР:

Иванов Иван Иванович

Группа МГ-00

Руководитель ВКР:

к.т.н., Мальчиков А.В.

Курск 2021

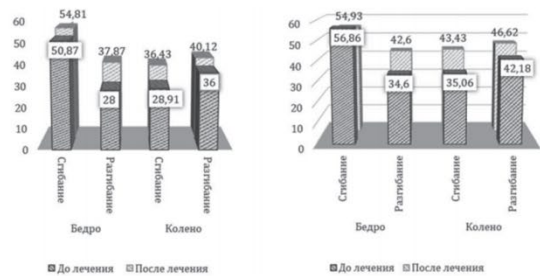
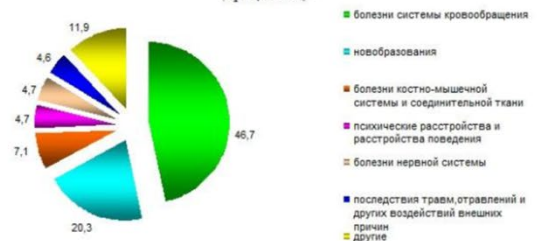
Актуальность темы работы

- По данным Федерального реестра инвалидов, по состоянию на 1 октября 2019 года в Российской Федерации насчитывается 11,95 млн инвалидов.
- По данным министерства труда и социальной защиты РФ численность инвалидов колясочников в России составляет 320 тыс. человек



Реабилитация на экзоскелетном комплексе Lokomat

Структура причин инвалидности взрослого населения (процентов)



Сила мышц нижних конечностей по результатам встроенных тестов до и после механизированной реабилитации а) на паретичной стороне; б) на интактной стороне.

Анализ существующих устройств



Экзоскелет Ekso GT



Экзоскелет REX
(Новая Зеландия)



Экзоскелет ExoLite
(Россия)



Экзоскелет ExoAtlet
(Россия)

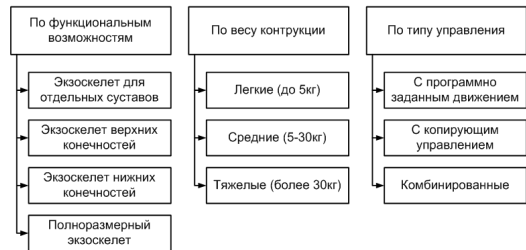
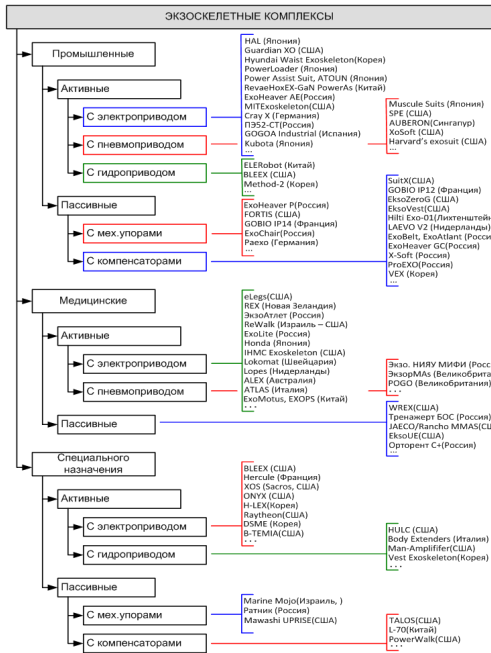


Экзоскелетный комплекс Lokomat Pro
(Швейцария)



Экзоскелет ReWalk
(США)

Классификация экзоскелетных устройств



Различные классификации экзоскелетов

Цель и задачи проекта

Цель проекта:

В рамках выпускной квалификационной работы ставится задача повышения эффективности процесса механизированной реабилитации за счет повышения точности и адаптивности системы автоматического управления приводной системы.

Задачи:

- Выполнить анализ состояния проблемы роботизированной реабилитации нижних конечностей. Провести обзор и анализ существующих конструкций экзоскелетов, разработать их классификацию;
- Разработать схему и принцип функционирования приводной системы реабилитационного экзоскелета. Разработать математическую модель устройства и поставить численные эксперименты функционирования в различных режимах, с целью отработки алгоритмов управления и проверки силовых характеристик приводной системы;
- Спроектировать конструкцию приводной системы реабилитационного экзоскелета: разработать привод, крепления, детали силового каркаса, выполнить необходимые прочностные расчеты;
- Спроектировать цифровую систему автоматического управления, предложить ее аппаратную и программную реализацию.

Основные технические характеристики устройства:

- Рост пациента: 1,6 – 1,9 м;
- Масса пациента: не более 100 кг;
- Максимальная ширина бедер: 42 см;
- Максимальная скорость ходьбы: 2 км/ч
- Количество степеней свободы: 6.

5

Схема и описание принципа работы устройства

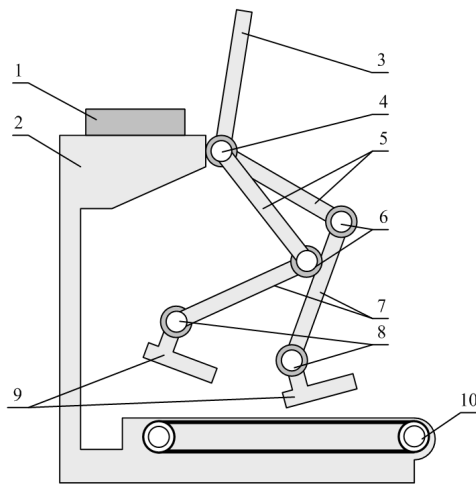
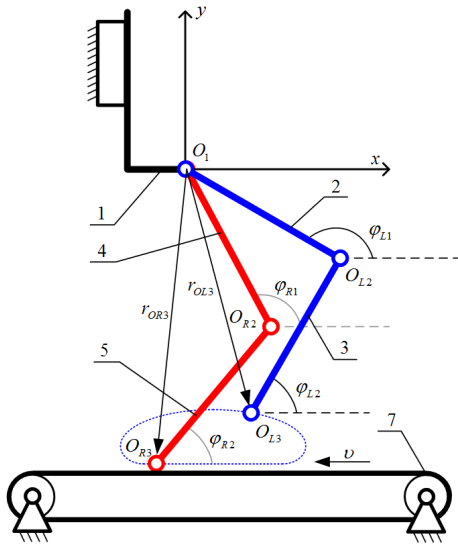


Схема конструкции реабилитационного экзоскелетного комплекса

- 1 – электронный блок управления,
- 2 – силовая рама
- 3 – звено крепления торса пациента,
- 4 – тазобедренный однокоординатный активный шарнир,
- 5 – бедренное звено экзоскелета,
- 6 – коленный однокоординатный активный шарнир,
- 7 – звено голени
- 8 – однокоординатный активный шарнир голеностопа
- 9 – стопы экзоскелета
- 10 – беговая дорожка

6

Расчетная схема и задачи математического моделирования



Расчетная схема устройства в процессе ходьбы по подвижному основанию

Прямая задача кинематики

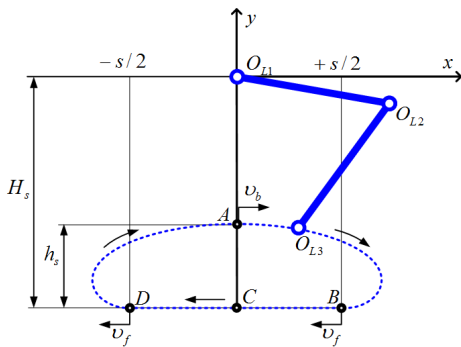
$$\begin{aligned} x_{OL2} &= x_O + l_1 \cos(\varphi_{L1}) & x_{OL3} &= x_O + l_1 \cos(\varphi_{L1}) + l_2 \cos(\varphi_{L2}) \\ y_{OL2} &= y_O + l_1 \sin(\varphi_{L1}) & y_{OL3} &= y_O + l_1 \sin(\varphi_{L1}) + l_2 \sin(\varphi_{L2}) \\ x_{OR2} &= x_O + l_1 \cos(\varphi_{R1}) & x_{OR3} &= x_O + l_1 \cos(\varphi_{R1}) + l_2 \cos(\varphi_{R2}) \\ y_{OR2} &= y_O + l_1 \sin(\varphi_{R1}) & y_{OR3} &= y_O + l_1 \sin(\varphi_{R1}) + l_2 \sin(\varphi_{R2}) \end{aligned}$$

Обратная задача кинематики

$$\varphi_{L1} = \begin{cases} \arctg\left(\frac{y_{OL3}}{x_{OL3}}\right) + \arccos\left(\frac{l_1^2 - l_2^2 + (x_{OL3}^2 + y_{OL3}^2)}{2l_1 \sqrt{x_{OL3}^2 + y_{OL3}^2}}\right) & \text{if } (x_{OL3} > 0) \\ \arctg\left(\frac{y_{OL3}}{x_{OL3}}\right) + \arccos\left(\frac{l_1^2 - l_2^2 + (x_{OL3}^2 + y_{OL3}^2)}{2l_1 \sqrt{x_{OL3}^2 + y_{OL3}^2}}\right) - \pi & \text{if } (x_{OL3} \leq 0) \end{cases}$$

$$\varphi_{L2} = \varphi_{L1} + \left(\pi + \arccos\left(\frac{l_1^2 + l_2^2 - (x_{OL3}^2 + y_{OL3}^2)}{2l_1 l_2}\right) \right)$$

Построение траектории движения звеньев



Планирование траектории перемещения звеньев шагающей машины

Вектор параметров шага:

$$\bar{s} = (s, h_s, H_s, k_v, T_s)^T$$

- s – длина шага,
- h_s – высота подъема ноги при ходьбе,
- H_s – расстояние от тазобедренного шарнира до беговой дорожки,
- T_s – длительность одного шага.

Граничные условия для траектории:

В точке А:

$$\begin{cases} x_{OL3} = 0; \\ y_{OL3} = -(H_s - h_s); \\ \dot{x}_{OL3} = v_b; \\ \dot{y}_{OL3} = 0. \end{cases}$$

В точке В:

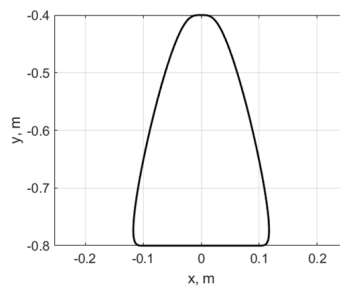
$$\begin{cases} x_{OL3} = s/2; \\ y_{OL3} = -H_s; \\ \dot{x}_{OL3} = -v_f; \\ \dot{y}_{OL3} = 0. \end{cases}$$

В точке D:

$$\begin{cases} x_{OL3} = -s/2; \\ y_{OL3} = -H_s; \\ \dot{x}_{OL3} = -v_f; \\ \dot{y}_{OL3} = 0. \end{cases}$$

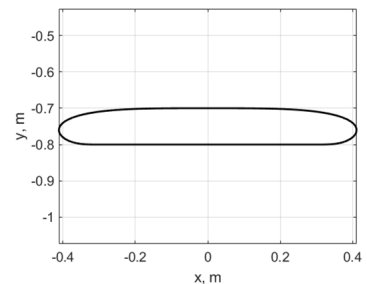
$$\bar{q}(t_0, t_{last}, q_0, q_{last}, \dot{q}_0, \dot{q}_{last}, t) = \left(\sum_{i=0}^3 k_i t^i \right)^T$$

$$\begin{bmatrix} k_0 \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 \\ 1 & t_{last} & t_{last}^2 & t_{last}^3 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 \\ 0 & 1 & 2t_{last} & 3t_{last}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_0 \\ q_{last} \\ \dot{q}_0 \\ \dot{q}_{last} \end{bmatrix}$$



Траектория для параметров шага:

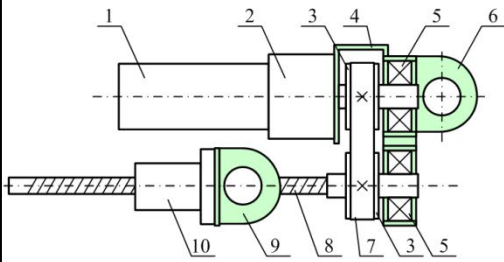
$$\bar{s} = (0.2, 0.3, 0.7, 0.5, 4)^T$$



Траектория для параметров шага:

$$\bar{s} = (0.6, 0.1, 0.8, k_v, 0.25, 4)^T$$

Проектирование привода экзоскелета



- 1 – коллекторный электродвигатель постоянного тока,
- 2 – планетарный редуктор
- 3 – входной шкив ременной передачи,
- 4 – силовой элемент корпуса редуктора,
- 5 – подшипниковый узел,
- 6 – проушина крепления привода,
- 7 – зубчатый ремень,
- 8 – винт шарико-винтовой передачи.
- 9 – проушина крепления нагрузки,
- 10 – гайка ШВП



Двигатель постоянного тока Leshi motor 550PC



Планетарный редуктор Suntry Motor PLG42 (64:1)

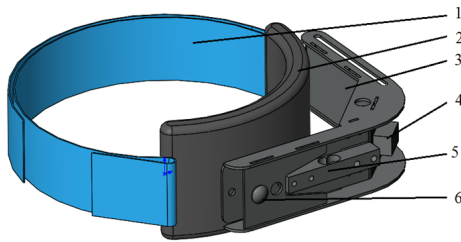


Линейная шарико-винтовая передача 1605-C7



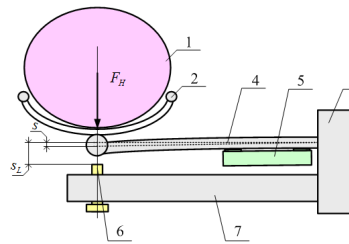
Зубчатый шкив и ремень 3M-15

Измерительная манжета

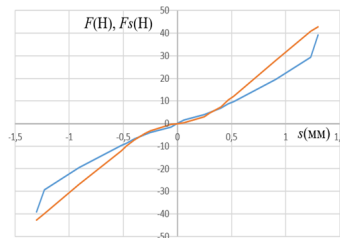


Трехмерная модель манжеты

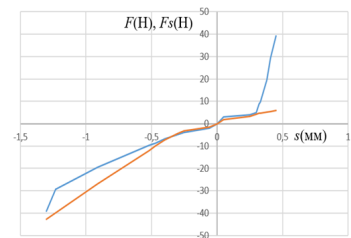
- 1 – фиксирующая стропа,
- 2 – мягкое основание (подушка),
- 3 – каркас манжеты, который закрепляется на конечности экзоскелета,
- 4 – модуль АЦП,
- 5 – тензодатчик,
- 6 – винтовой ограничитель.



- 1 – бедро оператора,
- 2 – крепление бедра,
- 3 – кронштейн крепления к экзоскелету,
- 4 – деформируемая (измерительная) пластина кронштейна,
- 5 – тензодатчик,
- 6 – ограничитель,
- 7 – силовая пластина кронштейна,
- 8 – тестовая нагрузка,
- 9 – прецизионный измеритель перемещения (деформации).



Зависимость величины нагрузки и показаний датчика от деформации



Зависимость величины нагрузки и показаний датчика от деформации

Трёхмерная модель устройства



Внешний вид трёхмерной модели реабилитационного экзоскелета

Принцип работы и функциональная схема САУ

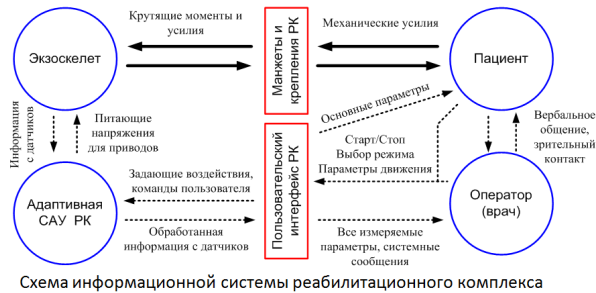
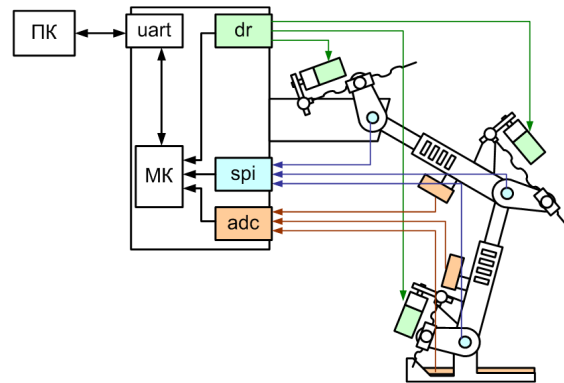
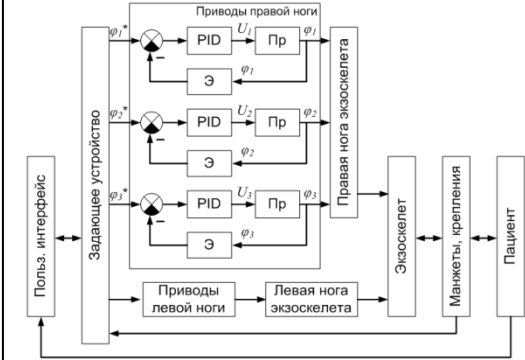


Схема информационной системы реабилитационного комплекса

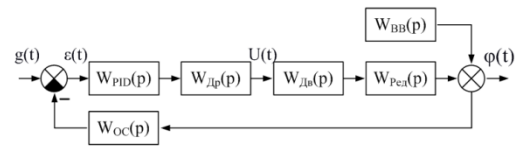


Функциональная схема информационной системы

Моделирование системы управления

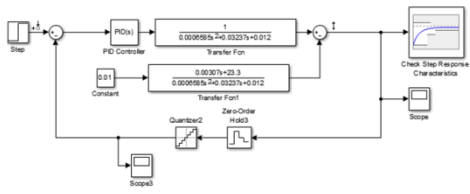


Структурная схема многоканальной САУ



Структурная схема одного канала САУ

$g(t)$ – задающее воздействие;
 $U(t)$ – управляющее воздействие (напряжение);
 $\varepsilon(t)$ – ошибка;
 $\varphi(t)$ – управляемая величина (угол поворота звена);
 $W_{PID}(p)$ – передаточная функция PID-регулятора;
 $W_{Др}(p)$ – передаточная функция драйвера двигателя;
 $W_{Дв}(p)$ – передаточная функция двигателя;
 $W_{Ред}(p)$ – передаточная функция механической передачи;
 $W_{ВВ}(p)$ – передаточная функция возмущающего воздействия;
 $W_{Сс}(p)$ – передаточная функция обратной связи



Структурная схема одноканальной системы

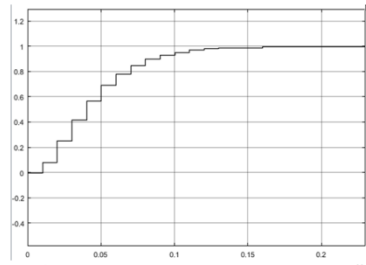
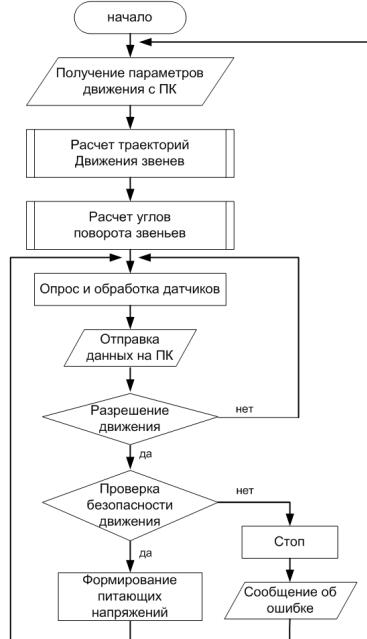


График переходного процесса исследуемой

$k_p = 0.84725$; $k_i = 5.31955$; $k_d = 0.00877$.

- Коэффициент перерегулирования: 0%.
- Время переходного процесса: 0.07 с.
- Колебания в системе отсутствуют.
- Статическая ошибка: 0%.

Алгоритм работы системы управления



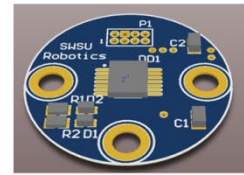
Выбор элементной базы для построения электронного модуля



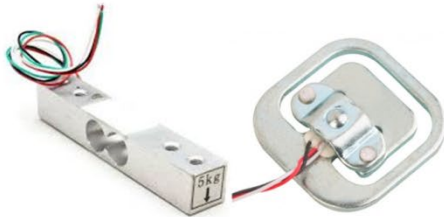
Внешний вид платы Arduino Mega



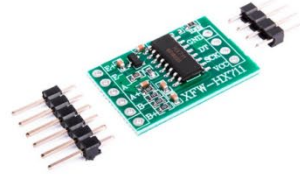
Внешний вид драйвера Pololu 5019



Магнитный энкодер AS5048A



Тензодатчики для измерительных манжет и для стопы

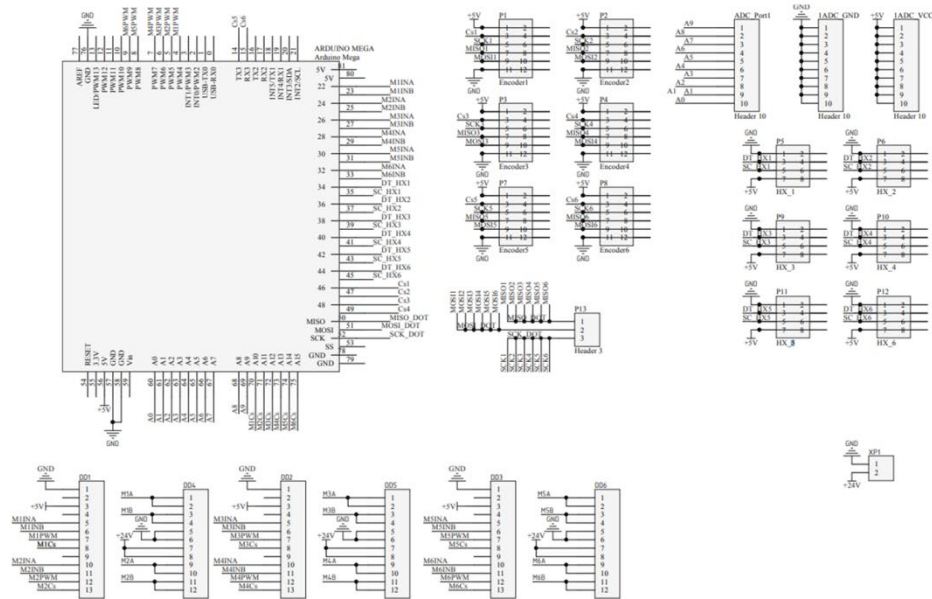


Arduino-модуль HX711



Блок питания Mean Well RSP-1000-12

Принципиальная схема системы управления



Заключение

- Выполнен анализ состояния проблемы роботизированной реабилитации нижних конечностей. Проведен обзор и анализ существующих конструкций экзоскелетов, разработать их классификацию;
- Разработана схема и принцип функционирования приводной системы реабилитационного экзоскелета. Разработана математическую модель устройства и поставили численные эксперименты функционирования в различных режимах, с целью отработки алгоритмов управления и проверки силовых характеристик приводной системы;
- Спроектирована конструкция приводной системы реабилитационного экзоскелета: разработаны привод, крепления, детали силового каркаса, выполнены необходимые прочностные расчеты;
- Спроектирована цифровая система автоматического управления, предложена аппаратную и программную реализацию.

Спасибо за внимание!

Приложение 2. Перечень типовых вопросов к защите ВКР

По главе 1

1. Поясните цель работы.
2. Где и каким образом предполагается дальнейшее использование аппарата?
3. Есть ли опубликованные печатные работы или патенты с Вашим участием по данной тематике?
4. Чем обусловлен выбор данной тематики исследования?
5. Есть ли российские (зарубежные) аналоги проектируемого устройства?
6. В чем заключается актуальность Вашей работы?
7. Какие источники использовались для обзора современного состояния области исследования?
8. Каково назначение Вашего устройства?
9. Приведите достоинства и конкурентные преимущества разработанного устройства?
10. Каковы недостатки Вашего устройства и предложения для их уменьшения?

По конструкторскому разделу

1. Поясните конструктивную схему и принцип действия аппарата.
2. По каким критериям осуществляется выбор двигателя?
3. По каким критериям осуществляется выбор редуктора?
4. Поясните базовые принципы расчета на прочность (конкретного узла или детали).
5. Сколько приводов имеет весь робот и каково их назначение?
6. Каков КПД привода устройства?
7. Где происходят потери мощности в приводе?
8. Каково передаточное отношение привода? Что оно характеризует?
9. Исходя из каких условий рассчитаны основные размеры механической передачи?
10. Покажите на расчетной схеме силы, действующие на устройство.
11. Что такое статическая нагрузка?
12. Что такое динамическая нагрузка?
13. Какой вид деформации испытывают звенья устройства?
14. Что такое допускаемые напряжения?
15. Где возникают опасные сечения на ведущем и ведомом валах?
16. Какие подшипники выбраны для редуктора привода? Почему?

По математическому моделированию

1. Каковы цель и задачи компьютерного моделирования рассматриваемой системы?
2. Как проверялась адекватность разработанной компьютерной модели?
3. Какие результаты получены в ходе компьютерного математического моделирования?
4. Как использовались результаты компьютерного математического моделирования для решения задач ВКР?
5. Какие программные продукты использованы в ВКР и чем обоснован их выбор?
6. Что такое «адекватность модели»?
7. К какому виду моделей относится реализованная в работе компьютерная модель?
8. Как оценивалась точность результатов компьютерного моделирования?
9. Какие численные методы использованы при компьютерном моделировании рассматриваемой системы? В чем их преимущества?

По цифровой системе управления

1. На какой частоте работает следящая система управления и сам микроконтроллер?
2. Какой тип и разрядность датчика обратной связи?
3. Как программно реализован цифровой регулятор?
4. Исходя из каких параметров подобран управляющий микроконтроллер?
5. Какой тип и принцип действия драйвера электропривода?
6. Как описана модель цифрового регулятора и синтезированы его коэффициенты?
7. По какому интерфейсу подключён канал формирования задающего воздействия?

По теории автоматического управления

1. Что такое регулятор и как работает (Р)?
2. Что такое задающее воздействие (ЗВ)?
3. Как формируется задающее воздействие?
4. Что такое передаточная функция объекта управления (ПФ)?
5. Какие методы исследования СУ на устойчивость Вы знаете?
6. Что такое переходная функция?

7. Как определить быстродействие СУ?
8. Что такое коэффициент перерегулирования?
9. Точность СУ?
10. Что входит в структурную схему многоканальной САУ?
11. В чем смысл траекторного управления?
12. Планирование траектории движения?
13. Что такое терминальное управление?
14. Методы синтеза многоканальных алгоритмов управления?
15. Критерии качества управления, применяемые при синтезе алгоритмов управления?
16. Что является объектом управления?
17. Что является управляемой величиной?
18. Чем и как формируется задающее воздействие САУ?
19. Какие задачи реализованы в разделе теории автоматического управления ВКР?
20. Как получена передаточная функция объекта управления?
21. Как учитывается в структурной схеме САУ действие полезной нагрузки и различных видов сопротивления на объект управления?
22. Сколько каналов управления в рассматриваемой САУ?
23. Какие программные средства использованы для настройки САУ? В чём их достоинство?
24. Какие основные результаты достигнуты в процессе решения задачи управления рассматриваемым объектом?
25. Как функционирует блок формирования задающих воздействий (блок принятия решений) в структурной схеме многоканальной САУ?
26. Какими средствами настраивался ПИД-регулятор?
27. Какие характеристики переходного процесса получены в результате настройки ПИД-регулятора САУ?
28. Какие методы повышения точности работы САУ Вы знаете?
29. Какие методы использованы для проверки САУ на устойчивость?
30. Что такое «нелинейная САУ» и какие виды нелинейностей могут встречаться в мехатронных системах?
31. Учитывалось ли в вашей работе наличие нелинейности в САУ, и если да, то какие нелинейности Вы рассматривали и чего достигли?
32. Что собой представляет цифровой ПИД-регулятор?
33. Сформулируйте критерий устойчивости ЦСАУ.

