

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Универсальный мехатронный модуль для мобильного робота

УДК 007.52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM81	Куанышев Сункар Суиндыкович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко М.В.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение автоматизации и робототехники	Малышенко А. М.	д.т.н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код рез- та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересо- ванных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов

P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями меж- дународных стандартов EUR- ACE и FEANI
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Универсальные		
P7	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9),

	<p>безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду</p>	<p>Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i></p>
P10	<p>Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-8, ПК- 11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i></p>
P11	<p>Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-4, ПК- 8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>.</p>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.04.06 Мехатроника и робототехника
Уровень образования – Магистратура
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
Период выполнения – Весенний семестр 2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.20
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
21.03.20	Литературный обзор	25
05.04.20	Практическая часть	30
26.04.20	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
11.05.20	Социальная ответственность	10
22.05.20	Приложение на иностранном языке	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение автоматизации и робототехники	Малышенко А. М.	д.т.н., профессор		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) – Отделения автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Малышенко А. М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8EM81	Куанышев Сункар Суиндыкович

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020, 59-55с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.20
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: универсальный мехатронный модуль. Предмет исследования: процесс создания 3Д модели и разработки универсального мехатронного модуля. Режим работы: непрерывный. В работе используются следующие методы и приемы: научного описания, анализ и синтез, причинно-следственный анализ, расчетный метод.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Этапы работы над ВКР: рассмотрение сущности мехатроники и мехатронного модуля; описание основных понятий мобильных роботов; определение необходимости мехатронных модулей; анализ основных видов датчиков (положения, клиренса, силы); ознакомление с основными принципами построения 3Д моделей мехатронного модуля; описание основные функции мехатронного модуля и их применение; разработка 3Д модели конструкции универсального мехатронного модуля; расчет мощности и выбрать мотор-колесо; расчет и выбор привода клиренса и привода поворота колеса; определение емкости аккумулятора для мехатронного модуля; подбор по параметрам блок управления мотор-колеса; выбор датчиков положения клиренса и поворота; разработка силовой схемы мехатронного модуля.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в <i>Microsoft office PowerPoint 2010</i></p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент,	Конотопский В.Ю., Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Горбенко М.В., Доцент ООД ШБИП, к.т.н.
Раздел, выполненный на английском языке	Горбатова Т.Н., Старший преподаватель ОИЯ ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1.1. Сущность мехатроники и мехатронных модулей
The essence of mechatronics and mechatronic modules

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.02.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM81	Куанышев Сункар Суиндыкович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа 8EM81	ФИО Куанышев Сункар Суиндыкович
------------------------	---

Школа Уровень образования	Магистратура	Отделение школы (НОЦ) Направление/специальность	15.04.06. Мехатроника и робототехника
-------------------------------------	--------------	---	---------------------------------------

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Материалы и оборудование 2290 руб; Зарботная плата 168 575 руб;
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Человеческие ресурсы – 2 человека
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, дисконтирования и кредитования</i>	30% – коэффициент отчислений в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1. Преддипломный анализ - Потенциальные потребители результата - Анализ конкурентных технических решений - SWOT-анализ - Оценка готовности проекта к коммерциализации - Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	1. Цели и результаты проекта 2. Ограничения и допущения проекта
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	1. Планирование управления научно-техническим проектом 2. Иерархическая структура работ проекта 3. План проекта 4. Продолжительность этапов работ 5. Бюджет научного исследования 6. Организационная структура проекта 7. План управления коммуникациями проекта 8. Реестр рисков проекта
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	1. Оценка сравнительной эффективности разработки

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения НТИ
3. Ограничения проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
5. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM81	Куанышев Сункар Суиндыкович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8EM81	Куанышев Сункар Суиндыкович

Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.06. Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Универсальный мехатронный модуль для мобильного робота	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Рабочим местом является учебный корпус томского политехнического университета.</i></p> <p><i>Объект исследования: устройство, предназначенное для исследования регулировочных и энергетических характеристик мотор-колеса.</i></p> <p><i>Область применения: лабораторный стенд применяется в качестве оборудования для образовательных целей.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Рабочая зона должна быть оборудована одноместными столами и персональными электронными вычислительными машинами (ПЭВМ) в соответствии с СанПиН 2.2.2/2,4.1340-03. Помещения должны быть оборудованы одноместными столами, предназначенными для работы с ПЭВМ</i></p>
<p>2. Профессиональная социальная безопасность.</p> <p>2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</p> <p>2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.</p> <p>2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>	<p><i>К вредным и опасным факторам, которые могут возникнуть при проведении исследований, относятся следующие:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – нервно-психические перегрузки; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – перенапряжение зрительных анализаторов; – отклонение показателей микроклимата; – электробезопасность.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p><i>Мехатронный модуль оказывает воздействие на окружающую среду</i></p>

	<i>электромагнитным излучением, но наиболее опасны его отходы, поэтому необходимо его утилизировать по принципу утилизации компьютерной техники.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>ЧС, связанные с мехатронным модулем, можно отнести к техносоциальным, техногенным и социотехногенным. В случае возникновения ЧС необходимо знать меры по их предотвращению и порядок действий в случае ЧС.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко М.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ81	Куанышев Сункар Суиндыкович		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 151 страниц текста, 28 таблиц, 20 рисунков, 57 список использованных источников, 3 приложения.

Ключевые слова: робототехника, робот, универсальный мехатронный модуль, 3Д моделирование, привод, датчик силы, мотор-колесо, датчика положения.

Объектом исследования является универсальный мехатронный модуль для мобильного робота.

Цель работы – разработка универсального мехатронного модуля для мобильного робота.

В процессе исследования была изучена литература по тематике мехатронных модулей, в частности, создания 3Д моделей, и основные типы мехатронных модулей.

В результате исследования была: разработана 3Д модель конструкции универсального мехатронного модуля, рассчитана мощность и выбрано мотор-колесо, произведены расчет и выбор привода клиренса и привода поворота колеса, определена емкость аккумулятора для мехатронного модуля, подобран по параметрам блок управления мотор-колеса, выбраны датчики положения клиренса и поворота, выбран датчик силы, разработана силовая схема мехатронного модуля.

Область применения: аварийно-спасательные службы, база для лабораторных работ для студентов направления «мехатроника и робототехника».

В будущем планируется модернизировать платформу и алгоритмы передвижения, разработать более прочные корпусные детали для герметизации.

Обозначения и сокращения

САПР – система автоматизированного проектирования

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ПК – персональный компьютер

ГОСТ – государственный стандарт

СанПиН – санитарные правила и нормы

ФЗ – федеральный закон

ЧС – чрезвычайная ситуация

Оглавление

Введение.....	17
1 Теоретические аспекты построения мехатронного модуля для мобильного робота	19
1.1 Сущность мехатроники и мехатронных модулей	19
1.2 Мобильные роботы.....	25
1.3 Мехатронные модули	30
1.4 Датчики и их роль при построении мехатронного модуля	31
1.5 Принципы построения 3Д модели мехатронного модуля.....	36
1.6 Функции мехатронного модуля и его применение	39
2 Разработка универсального мехатронного модуля для мобильного робота	41
2.1 Разработка конструкции универсального мехатронного модуля.....	41
2.1.1 Крепежная платформа	41
2.1.2 Элемент для крепления оборудования сверху и снизу	42
2.1.3 Винт клиренса.....	42
2.1.4 Уравновешивающая балка	43
2.1.5 Металлическая труба крепления колеса	43
2.1.6 Подвижная платформа для оборудования.....	44
2.1.7 Привод клиренса и поворота.....	44
2.1.8 Мотор-колесо	45
2.1.9 Датчики положения.....	45
2.1.10 Датчики силы.....	46
2.1.11 Сборка 3Д элементов универсального мехатронного модуля.....	46
2.2 Расчет мощности и выбор двигателя мотор-колеса.....	47
2.3 Расчет мощности и выбор привода клиренса	54

2.4	Расчет мощности и выбор привода поворота	63
2.5	Расчет емкости аккумулятора	66
2.6	Способы управления универсальным мехатронным модулем	67
2.7	Выбор датчиков положения	69
2.8	Выбор датчик силы и основные принципы монтажа	72
2.9	Выбор параметров силовой цепи	76
3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	77
3.1	Общие сведения об исследовании	77
3.2	Цели и результаты проекта.....	77
3.3	<i>SWOT</i> -анализ	78
3.4	Организация и планирование ОКР (НИР) работ	80
3.5	Продолжительность этапов работ.....	81
3.6	Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	86
3.6.1	Расчет затрат на материалы.....	86
3.6.2	Расчет заработной платы	87
3.6.3	Расчет затрат на социальный налог	88
3.6.4	Расчет затрат на электроэнергию	89
3.6.5	Расчет амортизационных расходов	90
3.6.6	Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)	92
3.6.7	Расчет прочих расходов.....	93
3.6.8	Расчет общей себестоимости разработки	93
3.6.9	Расчет прибыли	93
3.6.10	Расчет НДС	94
3.6.11	Цена разработки ОКР (НИР).....	94

3.7	Оценка экономической эффективности проекта.....	94
4	Социальная ответственность	96
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	97
4.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	97
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	98
4.2	Профессиональная социальная безопасность.....	100
4.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.	100
4.2.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	103
4.2.3	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	112
4.3	Экологическая безопасность	118
4.3.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	119
4.3.2	Анализ «жизненного цикла» объекта исследования	119
4.3.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	120
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	120
4.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	121
4.4.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	122
4.4.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	122
	Заключение	125

Список публикаций.....	126
Список используемых источников.....	127
Приложение А (обязательное).- <i>The essence of mechatronics and its main characteristics</i>	133
Приложение Б (обязательное).- Силовая схема универсального мехатронного модуля.....	143
Приложение В (обязательное).- Чертежи крепежных элементов и деталей мехатронного модуля.....	145

Введение

В настоящее время с каждым днем растет популярность мобильных роботов, которые используются в научных, коммерческих и учебных целях. Рассматривая образовательную сферу, стоит отметить использование лабораторных стендов. Как известно, одним из распространённых методов построения мобильных роботов является использование мехатронных модулей.

Мехатронный модуль для мобильного робота представляет собой устройство, с использованием которого мобильный робот может передвигаться. Существуют многочисленные виды мехатронных модулей, но все они могут обеспечить необходимую гибкость и удобство в эксплуатации. Поэтому так важно разработать универсальный мехатронный модуль для мобильного робота, который обладает не только высокой вариативностью применения, но и обеспечивает максимальную эффективность выполняемой работы. Универсальность такого мехатронного модуля объясняется его способностью подстраиваться под предъявляемые к мобильному роботу требования, а именно возможность управления клиренсом и поворотом колеса. Также такой мехатронный модуль может использоваться как для мобильного робота, так и в учебных целях (лабораторный стенд). В данном случае стенд предназначен для исследования регулировочных и энергетических характеристик мотор-колеса.

В связи со всем вышесказанным вытекает цель исследования – разработка универсального мехатронного модуля для мобильного робота.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть сущность мехатроники и мехатронного модуля;
- описать основные понятия мобильных роботов;
- определить необходимость мехатронных модулей;
- произвести анализ основных видов датчиков (положения, клиренса, силы), а также их роль при построении мехатронных модулей;

- ознакомиться с основными принципами построения 3Д моделей мехатронного модуля;
- описать основные функции мехатронного модуля и их применение;
- разработать 3Д модель конструкции универсального мехатронного модуля;
- рассчитать мощность и выбрать мотор-колесо;
- произвести расчет и выбор привода клиренса и привода поворота колеса;
- определить емкость аккумулятора для мехатронного модуля;
- подобрать по параметрам блок управления мотор-колеса;
- выбрать датчики положения клиренса и поворота;
- разработать силовую схему мехатронного модуля.

В рамках данной магистерской диссертации предметом исследования был выбран универсальный мехатронный модуль.

1 Теоретические аспекты построения мехатронного модуля для мобильного робота

1.1 Сущность мехатроники и мехатронных модулей

Бурное развитие возможностей микроэлектроники в конце XX — начале XXI века в значительной степени определило прогресс во многих областях науки и техники. Радикально возросла роль информатики и вычислительной техники, что определило интенсивное совершенствование систем управления движением различных механизмов. Широкое применение цифровых систем управления позволило реализовать более сложные, «интеллектуальные» алгоритмы управления, в частности, с адаптацией к изменяющимся параметрам объекта управления и условиям работы. На этой основе совершенствовались и системы регулируемого электропривода, который в настоящее время является основным средством приведения в действие большинства машин и технологических установок и обеспечивает разнообразные функциональные перемещения рабочих органов машины. При этом существенно возросли не только возможности оптимизации технологических режимов, энергетическая эффективность регулирования, но и интеллектуальность электропривода как элемента систем управления движением отдельных машин или систем управления технологическим процессом в целом. Одновременно в технике возникло целое направление — мехатроника, суть которого заключается в системной интеграции механики и электротехники при высокой степени использования и значимости электронной управляющей техники, реализующей сложные вычислительные алгоритмы компьютерного управления для достижения целей качественной реализации движений сложных механизмов. Суть любого процесса производства заключается в применении различных технологий, которые реализуются через использование специализированных машин, отличающихся конструкцией отдельных узлов и компоновкой их в систему [1]. Использование мехатронных устройств при автоматизации технологических процессов можно рассматривать как мехатронные технологии.

Графический образ мехатроники часто представляют в виде трех пересекающихся кругов, заключенных в общую оболочку — среду, формирующую требования к мехатронной системе (рисунок 1).



Рисунок 1 – Графический образ мехатроники

Также целесообразно рассмотреть еще одно определение мехатроники, сформулированное еще в 2000 году в образовательном стандарте направления обучения «Мехатроника и робототехника». Согласно этому определению мехатроника — область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. По сравнению с приведенным ранее данное определение более явно указывает на особый характер связей в мехатронной системе — синергетическое объединение элементов.

Однако этот термин еще не столь широко распространен в технике, чтобы иметь однозначное толкование. Вряд ли все мехатронные системы должны обладать свойством самоорганизации, хотя некоторые из них этим свойством безусловно обладают, что будет показано далее на конкретных примерах. В приведенном определении мехатроники используется исходный смысл греческого слова — совместное согласованное действие для достижения

единой цели. Но и в традиционных электромеханических системах все перечисленные выше компоненты определенным образом взаимосвязаны, и эти связи не случайно организованы так, чтобы обеспечить требуемые механические движения. В связи с рассматриваемыми понятиями уместно обратить внимание на органичное единство задач, решаемых мехатроникой и электроприводом, что позволяет рассматривать последний как важный и необходимый элемент мехатронной системы [5].

На рисунке 2 приведена типовая структура современного электропривода. Силовой канал состоит из двух частей — электрической и механической — и обязательно содержит связующее звено — электромеханический преобразователь ЭМП (электродвигатель — электрическую машину того или иного типа). Электрическая часть состоит из коммутационной аппаратуры КА и электрического преобразователя ЭП. КА (автоматический выключатель или плавкие предохранители и/или контактор), подключает электрический преобразователь ЭП к источнику электрической энергии ИП (промышленной электрической сети, автономному электрическому генератору, аккумуляторной батарее и т.п.) и выполняет защитные функции. ЭП (в большинстве случаев — статический преобразователь на силовых полупроводниковых приборах) передает электрическую энергию от ИП к ЭМП, осуществляя при этом преобразование параметров электрической энергии (род тока, напряжение, частота, число фаз) и согласуя их с требуемыми параметрами питания ЭМП. Механическая часть состоит из подвижного органа электромеханического преобразователя (ротора традиционного электродвигателя, подвижного элемента линейного или планарного электродвигателя, якоря электромагнита), механических передач МП и рабочего органа РО установки, через который реализуется механическая энергия. Как известно, МП не дают выигрыша в работе, но позволяют изменять значения угловых и линейных скоростей, вращающих моментов и действующих поступательно сил. Силовой канал, как правило, может осуществлять прямое и обратное преобразование энергии. Однако если ЭП

является непереворсивным, а ЭМП имеет генераторный режим, то в ЭМП необходимо предусматривать дополнительные цепи с балластными резисторами для рассеивания в тепло генерируемой электрической энергии. В состав информационного канала входят электронное устройство управления УУ (контроллер аналогового, дискретного, цифрового или комбинированного типов), датчики электрических и механических величин, устройство ЗУ, задающее управляющие воздействия, а в более общем случае — устройство связи с оператором, осуществляющее двунаправленную передачу информации (о состоянии и показателях работы электропривода — от контроллера к оператору, управляющие команды и задающие значения величин — от оператора в контроллер). Указанные устройства, связанные различными информационными каналами (интерфейсами), образуют систему управления электропривода СУЭП.

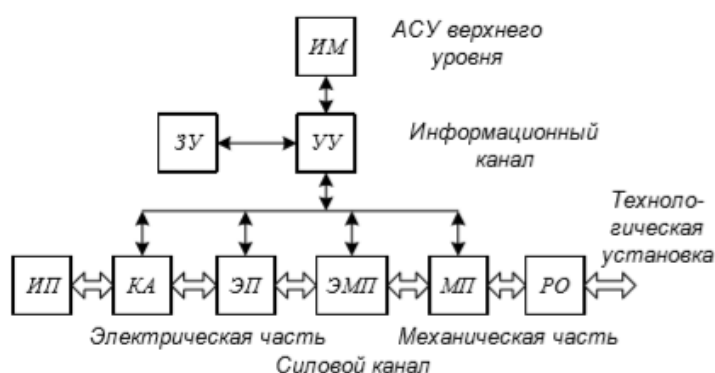


Рисунок 2 – Типовая структура современного электропривода

Связь между управляющей электроникой и механикой осуществляется через управляющие воздействия УУ на электрический преобразователь. Иногда контроллер управляет и переключениями в механическом преобразователе с помощью электромагнитных муфт сцепления. В ряде машин и механизмов в качестве среды передачи механической энергии используется гидравлический или пневматический привод. В этих случаях электрические сигналы выходов контроллера управляют приводом через электромагнитные клапаны, вентили и золотниковые устройства. Электропривод является открытой системой, поскольку взаимодействует с источником электрической энергии, с одной стороны, с технологической установкой, с другой стороны, и, наконец, через

интерфейсный (или информационный) модуль ИМ — с информационной системой верхнего уровня (при иерархической структуре АСУ—ТП) или с другими электроприводами и технологическими устройствами (в распределенных системах управления). Во втором варианте рассматриваемого определения мехатроники уточняется, что механическая часть основана на узлах точной механики. Этим уточнением без достаточных оснований существенно сужается сфера возможных применений мехатронных технологий. Повышение точности изготовления деталей механизмов и машин, их сборки, устранение нежелательных зазоров в кинематических цепях, как правило, увеличивают их надежность и срок службы. Однако для разных машин требования к точности тоже разные. Вряд ли все элементы ленточного конвейера нужно изготавливать с микронной точностью. Приемлемая для изготовления общепромышленных подшипников качения достаточно высокая точность может быть совершенно недостаточной для прецизионных (наномехатронных) оптико-механических систем [1].

В рассматриваемом определении как самостоятельный этап выделяется проектирование мехатронных модулей, и с этим, безусловно, нужно согласиться, поскольку только применение нового, мехатронного подхода к проектированию и позволяет разработать качественно новые конструкции и технологии производства мехатронных модулей, имеющих лучшие технико-экономические показатели по сравнению с существующими. Однако из определения выпал этап эксплуатации машин, как будто все они одноразового действия или срок физического износа их отдельных частей превышает срок морального износа всей системы. Речь идет об интеллектуальном управлении функциональными движениями мехатронных модулей, систем, машин и комплексов машин. Но, даже не конкретизируя определения интеллектуального управления, можно предположить, что степень интеллектуальности модулей будет отличаться от интеллектуальности отдельно взятой машины, которая, в свою очередь, будет отличаться от интеллектуальности комплекса машин. Следует заметить, что эти отличия не сводятся к оценке «количества

интеллекта» в каждом компоненте, а интеллектуальных свойств у модуля будет меньше, чем у комплекса машин. Это могут быть разные свойства, каждое из которых направлено на решение определенной задачи. Наконец, относительно функциональных движений, упоминание которых требует их определения. Подразумевается, что к ним относятся все движения, влияющие на ход реализуемого технологического процесса, для которых оговариваются необходимые показатели точности воспроизведения движений. Тогда в разряд «нефункциональных» попадают вспомогательные перемещения, например, по смене инструмента, возврату в исходное положение, и тому подобные. При этом подразумевается, что система управления, реализующая функциональные движения, без проблем может реализовать и все вспомогательные перемещения. В реальных механических системах, помимо указанных выше функциональных движений, существуют неконтролируемые перемещения, пусть и небольшие по величине, но могущие влиять, например, на качество обрабатываемой поверхности. Вызывающие их причины — нагрузки на рабочий орган, конечная жесткость элементов конструкций, зазоры в кинематических парах, статические и динамические деформации. В прецизионных мехатронных системах и эти перемещения следует учитывать как на этапе разработки, так и при их эксплуатации. Исторически мехатроника развивалась из электромеханики, опираясь на ее достижения, и идет дальше путем системного объединения электромеханических систем с компьютерными системами управления, встроенными датчиками и интерфейсами. Примерами конструктивной интеграции могут служить миниатюрные электронные вентиляторы для компьютерной техники, приводы дисководов. В этих устройствах используются бесколлекторные двигатели постоянного тока. Силовая и управляющая части электрического преобразователя размещаются в корпусе специализированной интегральной микросхемы контроллера-драйвера БДПТ. Для определения положения ротора, информация о котором необходима для коммутации статорных обмоток, используются датчики Холла,

установленные на печатной плате вместе с интегральной микросхемой и всеми дополнительными элементами [5].

1.2 Мобильные роботы

Мобильный робот - это машина, управляемая контроллером, которое использует датчики и другие технологии для идентификации своего окружения и перемещения в окружающей среде. Мобильные роботы функционируют с использованием комбинации искусственного интеллекта (ИИ) и физических элементов робота, таких как колеса (гусеницы или ноги). Мобильные роботы становятся все более популярными в различных секторах бизнеса. Они используются для помощи в рабочих процессах и даже для выполнения задач, которые невозможны или опасны для людей [3].

Мобильные роботы могут перемещаться в своей среде и не привязаны к одному физическому месту. Мобильные роботы могут быть «автономными» (*AMR* - автономный мобильный робот), что означает, что они способны перемещаться в неконтролируемой среде без необходимости использования физических или электромеханических устройств наведения. В качестве альтернативы мобильные роботы могут полагаться на устройства наведения, которые позволяют им путешествовать по заранее определенному навигационному маршруту в относительно контролируемом пространстве (*AGV* - автономное управляемое транспортное средство). Напротив, промышленные роботы, как правило, более или менее неподвижны и состоят из соединенного рычага (многосвязного манипулятора) и узла захвата (или концевых эффектора), прикрепленных к неподвижной поверхности.

Больницы уже много лет используют автономные мобильные роботы для перемещения материалов. На складах установлены мобильные роботизированные системы для эффективного перемещения материалов со складских стеллажей в зоны выполнения заказов. Мобильные роботы также

находятся в центре внимания современных исследований, и почти в каждом крупном университете есть одна или несколько лабораторий, которые занимаются исследованиями мобильных роботов. Мобильные роботы также применяются в промышленных, военных и охранных условиях. Домашние роботы - это потребительские товары, в том числе роботы для развлечений и те, которые выполняют определенные бытовые задачи, такие как уборка пылесосом или работа в саду.

Компоненты мобильного робота - это контроллер, управляющее программное обеспечение, датчики и исполнительные механизмы. Контроллер обычно представляет собой микропроцессор, встроенный микроконтроллер или персональный компьютер (ПК). Мобильным программным обеспечением для управления может быть язык ассемблера или языки высокого уровня, такие как *C*, *C++*, *Pascal*, *Fortran* или специальное программное обеспечение реального времени. Используемые датчики зависят от требований робота. Требованиями могут быть: точный расчет, тактильное и бесконтактное зондирование, триангуляция, предотвращение столкновений, определение местоположения и другие конкретные применения [2].

Мобильные роботы могут быть классифицированы по следующим признакам:

- среда, в которой они передвигаются:
 - наземные или домашние роботы обычно называются беспилотными наземными транспортными средствами (*UGV*). К ним относятся чаще всего колесные или гусеничные роботы, но также они включают в себя роботов на ножках с двумя или более ногами (гуманоид или напоминающих животных, или насекомых);
 - роботы доставки и транспортировки могут перемещать материалы и материалы в рабочей среде;
 - воздушные роботы обычно называют беспилотными летательными аппаратами (БЛА);

- подводные роботы являются автономными подводными транспортными средствами (AUV)

- полярные роботы, предназначенные для навигации в ледяной, заполненной трещинами среде;

- основное устройство, которое они используют для передвижения:

- робот на ножках: человекоподобные ноги (то есть андроид) или похожие на животных ноги;

- колесный робот;

- дорожки.

Преимущества и недостатки мобильных роботов

Одним из главных преимуществ мобильных роботов являются их возможности компьютерного зрения. Сложный набор датчиков, используемых мобильными роботами для обнаружения их окружения, позволяет им точно наблюдать за окружающей средой в режиме реального времени. Это особенно ценно в промышленных условиях, которые постоянно меняются и меняются.

Бортовая интеллектуальная система и *AI*, используемые *AMP*, создают еще одно преимущество. Автономность, обеспечиваемая способностью мобильных роботов изучать свое окружение либо с помощью загруженного проекта, либо с помощью обхода и разработки карты, обеспечивает быструю адаптацию к новым условиям и помогает в постоянном стремлении к промышленной производительности [4].

Кроме того, мобильные роботы являются гибкими и быстрыми в реализации - поскольку они могут создавать свои собственные пути и легко адаптироваться - возможно разбить реализацию на различные установки с помощью модульной системы развертывания и способна устранить вероятность человеческих ошибок, выполняя легко повторяемые задачи, что повышает безопасность объекта или территории.

К недостаткам мобильных роботов относятся:

- ограничения по размеру груза, который можно нести;

- требующие большого количества складных единиц для работы на самом высоком уровне;

- постоянные проблемы с беспроводными соединениями между роботом и информационной конечной точкой.

Поскольку мобильные роботы, особенно АМР, загружены камерами и датчиками, они способны лучше понимать свою среду, что, как уже упоминалось, устраняет риск человеческой халатности, несчастных случаев и других угроз безопасности, которые могут возникнуть в результате результат человеческой ошибки.

Однако, поскольку область мобильной робототехники быстро расширяется, необходимо разработать стандарты и руководства по безопасности специально для мобильных роботов. В настоящее время единственными соответствующими стандартами безопасности являются комбинация национального стандарта Российской Федерации (НСТРФ), Фонда развития стандартов на грузовые автомобили (ФРСГА) и Ассоциации робототехнической промышленности (АРП). Руководства представляют собой стандарт безопасности *ANSI / ITSDF B56.5-2012* для промышленных транспортных средств с автоматическим управлением и автоматических функций, управляемых промышленных транспортных средств без водителя, а также промышленные роботы и системы роботов ГОСТ Р 60.2.2.1-2016/ИСО 13482:2014 - требования безопасности.

Хотя оба руководства важны, они не охватывают некоторые новейшие технологии. Стандарты безопасности, которые охватывают все области мобильной робототехники, должны разрабатываться и контролироваться для обеспечения благополучия людей-работников, особенно по мере продвижения вперед и добавления новых функций в системы мобильных роботов.

Появление, история и будущее мобильных роботов

Элмер и Элси, первые в мире электронные автономные мобильные роботы, были созданы в 1948 году доктором Уильямом Греем Уолтером в Бристоле, Великобритания. В 1961 году *UNIMATE*, первый промышленный

робот, был представлен на заводе *General Motors* в Нью-Джерси. После этих событий постоянно проводились работы и исследования по улучшению и продвижению мобильного робота.

В 1968 году Марвин Мински изобрел осьминогоподобную руку с щупальцами. Год спустя, в 1969 году, была создана Стэнфордская армия. *Stanford Arm* был первым роботизированным манипулятором с электрическим приводом, управляемым компьютером.

В 1970 году *SRI International* представила *Shakey*, первого мобильного робота, управляемого ИИ.

В 1974 году была изобретена Серебряная рука. Это был роботизированный манипулятор, который мог выполнять сборку мелких деталей путем сбора обратной связи от датчиков касания и давления.

В 1979 году Стэнфордская тележка пересекла комнату без посторонней помощи, используя телевизионную камеру, которая делала снимки с разных ракурсов и отправляла их обратно на компьютер. Затем компьютер анализирует расстояние между роботом и объектами и указывает Стэнфордской тележке, куда идти.

С начала 2000-х годов проводились эксперименты по исследованию использования нейронных сетей для управления ИИ в мобильных роботах.

Заглядывая в будущее, производители пытаются найти больше приложений для мобильных роботов за пределами промышленной среды. Текущая технология представляет собой смесь аппаратного, программного обеспечения и передового машинного обучения; он считается ориентированным на решение и быстро развивается [5].

Мобильные роботы могут оказаться решающими как для сельского хозяйства, так и для строительства, двух рынков, которые страдают от нехватки рабочей силы. Оба сектора требуют большого количества грязной, скучной и опасной работы, которую могли бы лучше выполнять мобильные роботы.

Использование мобильных роботов в домашних условиях также возможно в будущем, но требует повышенной надежности больших мобильных

роботизированных систем, а также устранение барьера между миром роботов и людей.

1.3 Мехатронные модули

Мехатроника - это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов [1].

В данном определении особо подчеркнута триединая сущность мехатронных систем (МС), в основу построения которых заложена идея глубокой взаимосвязи механических, электронных и компьютерных элементов.

Таким образом, системная интеграция трех указанных видов элементов является необходимым условием построения мехатронной системы. Мехатроника изучает синергетическое объединение узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых модулей, систем, машин и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Мехатронный модуль — это функционально и конструктивно самостоятельное изделие для реализации движений с взаимопроникновением и синергетической аппаратно-программной интеграцией составляющих его элементов, имеющих различную физическую природу [4].

Основные узлы мехатронных модулей:

- колесный узел – это узел, описывающий способ передвижения робота: способ передвижения, количество сегментов, диаметр, форму, тип и вариант подвески;

- моторный узел - характеризует количество и расположение моторов и применение редукторов, передач, трансмиссии;
- сенсорный узел – описывает количество и тип используемых сенсоров [9];
- управляющий узел – этот узел характеризует используемые микроконтроллеры.

1.4 Датчики и их роль при построении мехатронного модуля

В данной диссертации необходимо произвести измерение положения клиренса мехатронного модуля, а также положения колеса. В связи с этим необходимо установить два датчика положения, один из которых будет линейным, а другой ротационным.

Датчик положения - это любое устройство, используемое для измерения расстояния, пройденного телом, начиная с его исходного положения. Он измеряет линейное или угловое положение относительно фиксированной точки или произвольного ориентира. Датчик также может быть использован для обнаружения присутствия или отсутствия объекта.

Если информация о положении или близости объединяется с измерениями времени, тогда скорость, частота и ускорение могут быть рассчитаны для управления движением.

Датчики положения используют разные принципы восприятия для определения смещения тела. В зависимости от различных принципов измерения, используемых для датчиков положения, их можно классифицировать следующим образом:

- потенциометрические;
- ёмкостной;
- магнитострикционный;
- вихретоковый;

- магнитный эффект холла;
- оптический.

Потенциометрический датчик положения, также называемый резистивным датчиком, измеряет сопротивление проводящей колеи между опорной точкой и курсором, подключенным к подвижной части (или ее опоре). Измеренное датчиком сопротивление используется для расчета положения детали. Эти датчики, как правило, стоят недорого, потому что их технология проста, но они обладают большой точностью. Однако, они часто чувствительны к износу, вибрациям, посторонним предметам и экстремальным температурам.

Емкостные датчики положения работают в следующих двух конфигурациях:

- изменяя диэлектрическую проницаемость - в этой конфигурации тело, смещение которого должно быть измерено, соединено с диэлектрическим материалом между пластинами. Эффективная диэлектрическая проницаемость между пластинами во время движения тела является результатом диэлектрической проницаемости, создаваемой воздухом и диэлектрическими материалами.

- изменяя область перекрытия - в этой конфигурации корпус соединяется с одной из пластин, а другая пластина остается неподвижной. Площадь перекрытия между пластинами изменяется с движением тела, а изменение площади перекрытия приводит к изменению емкости между пластинами.

Магнитострикционный датчик положения в основном состоит из таких компонентов, как позиционный магнит, магнитострикционный датчик положения, который измеряет расстояние между головным концом чувствительного стержня и позиционным магнитом, электронный модуль и волновод. Импульс тока передается по волноводу от электронного модуля. Магнитное поле, создаваемое импульсом тока, взаимодействует с магнитным полем от позиционного магнита, создавая тем самым звуковую волну или волну крутильных колебаний в волноводе. Волна деформации движется к головному

концу, где приемное устройство определяет его прибытие. Разница во времени между генерацией опрашивающего импульса и приходом деформационной волны указывает на положение позиционного магнита [6].

Вихретоковый датчик положения, когда на катушку подается переменный ток, возникает первичное магнитное поле, которое приводит к образованию вихревых токов в электропроводящем материале. Вихревые токи, в свою очередь, вызывают вторичное поле, которое имеет эффект полного сопротивления катушки. Наличие или отсутствие проводящего материала изменяет вторичное поле и импеданс катушки. Изменения импеданса катушки могут использоваться для измерения расстояния электропроводного тела.

В датчиках положения с эффектом Холла движущаяся часть связана с магнитом, помещенным в стержень датчика, тем самым формируя элемент Холла. При движении тела или его части магнит также движется, что приводит к образованию магнитного поля и, следовательно, напряжения Холла. Таким образом, напряжение Холла становится функцией положения подвижной части.

Оптические датчики работают на основе одного из двух механизмов. В первом типе свет передается с одного конца и принимается на другом, чтобы отслеживать изменение одной из характеристик, таких как длина волны, интенсивность, фаза или поляризация. Во втором типе пропущенный свет отражается от объекта, и свет, возвращенный к источнику, контролируется.

В таблице ниже приведены преимущества и недостатки всех типов датчиков положения [8].

Таблица 1 – Преимущество и недостатки всех типов датчика положения

Тип датчика	Преимущество	Недостатки
Потенциометрический	Большая точность; Низкая цена;	Сильный износ; Чувствительность к пыли; Чувствительность к экстремальным температурам

Продолжение таблицы 1

Тип датчика	Преимущество	Недостатки
Вихретоковый	Большая точность; Прочность; Низкая чувствительность к неблагоприятным окружающим условиям	Достаточно высокая цена Большие габариты и высокий вес
Оптический	Большая точность; Высокое разрешение	Хрупкость; Чувствительность к пыли; Чувствительность к экстремальным температурам
Магнитный эффект Холла	Прочность; Низкая чувствительность к жидкостям	Чувствительность к ударам; Неполадки, связанные с магнитными материалами и электрическими проводами; Гистерезис
Магнитострикционный	Прочность; Точность на большой длине	Чувствительность к изменениям температуры; Недостаточная точность на короткой длине; Достаточно высокая цена

Также для проведения исследования с универсальным мехатронным модулем, а именно с мотор колесом, необходим тензометрический датчик (датчик силы). Он необходим для измерения силы отклонения колеса вперед-назад и влево-вправо при вращении колеса на подкладке.

Тензометрический датчик (тензодатчик) – конструктивно представляет собой металлическую конструкцию, внутри которой расположены резисторы с электросхемой. При изменении веса, корпус тензодатчика подвергается деформации, после чего результат деформации передается на тензорезисторы, а оттуда, информация о массе - на весовой терминал [7].

При покупке тензодатчика следует учитывать следующие показатели:

- наибольший предел измерения (НПИ) - следует учитывать, что предполагаемая номинальная нагрузка на тензодатчик не должна превышать НПИ;

- материал тензодатчика – как мы уже писали выше, наибольшее распространение получили тензометрические датчики из нержавеющей и легированной стали, а также алюминия. как правило, только одноточечные тензодатчики изготавливаются из алюминия, все остальные выполнены из стали;

- класс точности тензодатчика – на практике класс точности тензодатчика может лежать в диапазоне от $d1$ до $c6$, наиболее распространен класс точности $c3$;

- схема подключения тензодатчика – обычно для подключения тензодатчиков используется «четырёхжильная» схема подключения. однако в частных случаях, и в случаях, когда присутствует большая разница в сопротивлении кабелей смежных тензодатчиков, применяется «шестижильная» схема подключения;

- выбирая тип тензометрического датчика, также следует обратить внимание на следующие характеристики: рабочий диапазон температур, рабочий коэффициент передачи, класс защиты, диаметр и длину кабеля, входное и выходное сопротивление, рекомендуемое и максимальное напряжение питания [6].

Виды тензодатчиков:

- одноточечные тензодатчики - главным их как преимуществом, так и недостатком является возможность создания весоизмерительной системы используя лишь один датчик;

- тензодатчики балочного (консольного) типа (консольная балка сдвига) - используются как чувствительные элементы в весах и весоизмерительных системах с общим НПВ в 5-7 тонн;

- S-образные тензодатчики (балка на растяжение-сжатие).

Предназначаются для использования в подвесных и бункерных весах;

- цилиндрические тензодатчики - работают по принципу преобразования показаний механической деформации при сжатии в пропорциональный электрический сигнал. Чаще всего применяются при выпуске новых или модернизации старых вагонных, автомобильных или многотонных бункерных весов, а также в испытательных стендах;

- колонные датчики - силоизмеряющий элемент выполнен в виде колонны. Применяются в автомобильных весах, железнодорожных весах и т.д;

- датчики платформенного типа - используются в производстве автомобильных, вагонных, бункерных и емкостных весов;

- торсионные тензодатчики - также называются тензодатчиками мембранного типа, шайбами, "таблетками", круглыми датчиками. Используются для производства автомобильных, железнодорожных и емкостных весов, а также в конвейерном весовом оборудовании [8].

1.5 Принципы построения 3Д модели мехатронного модуля

Для создания 3Д модели универсального мехатронного модуля необходимо программное обеспечение системы автоматизированного проектирования (САПР). Существует множество САПР для 3Д моделирования.

При выборе САПР имеет смысл не только руководствоваться функциональностью программного обеспечения, но и принимать во внимание стратегический аспект проблемы. Одним из основополагающих критериев выбора является репутация компании — производителя системы проектирования. В связи с тем, что компания *Autodesk* предоставляет Томскому политехническому университету студенческую лицензию, было решено использовать программу *Autodesk Inventor 2020* для 3Д моделирования [11].

Компания *Autodesk* является признанным лидером рынка САПР в мире. В различных странах установлено свыше 2,6 млн. лицензионных экземпляров продуктов *Autodesk*. Столь широкое распространение гарантирует дальнейшее развитие систем автоматизированного проектирования от *Autodesk*. Всего за два года было создано пять версий *Autodesk Inventor*.

Мехатронные изделия могут состоять из сотен и тысяч деталей. Передовые САПР должны обеспечивать моделирование таких изделий с высокой производительностью. Если система не справляется с разработкой сложных систем и механизмов, то становится невозможным использование преимуществ объемного моделирования. *Autodesk Inventor* представляет абсолютно новую технологию фирмы *Autodesk*, построенную по принципу сегментированной базы данных. Главным преимуществом этой технологии является загрузка системной памяти только теми данными, которые должны обрабатываться в данный момент. Таким образом, технология сегментированной базы данных позволяет разрабатывать исключительно сложные изделия, демонстрируя максимальную производительность.

При работе над сложными изделиями разработчику необходимы средства отчетливой визуализации проекта, а также методы оптимизации размещения деталей в строго ограниченном пространстве сложных изделий. *Autodesk Inventor* позволяет разработчикам автоматизированно отслеживать столкновения и пересечения деталей. Предусмотрена также опция контроля столкновения деталей, движущихся в процессе работы изделия. *Autodesk Inventor* помечает пересекающиеся компоненты и указывает величину пересечения [12].

Отдельные узлы механизма функционируют взаимосвязанно; например, если во фланце шесть отверстий, то и в ответной части их должно быть столько же. *Autodesk Inventor* автоматически контролирует соответствие взаимосвязанных узлов друг другу. Например, при изменении формы одной половины корпуса другая половина автоматически подстраивается

соответствующим образом. Адаптивная технология более проста и эффективна по сравнению с традиционными параметрическими методами [9].

Autodesk Inventor поддерживает два подхода к проектированию: сверху вниз — с подробной проработкой всех деталей изделия, снизу-вверх — когда изделие собирается из существующих компонентов. Технология ассоциативных связей *Autodesk Inventor* обеспечивает полную стыковку всех составляющих проекта: изделия, отдельных деталей и чертежей с таблицами составных частей.

Чертежи, полученные из 3D-моделей, должны быть точными. *Autodesk Inventor* обладает всеми необходимыми функциями для автоматизированной разработки мехатронных чертежей, а именно: создание видов (основных, местных и раскрашенных), разрезов и сечений. Имеются многочисленные возможности для автоматизированного нанесения размеров, которые упрощают рутинную работу и экономят время — например автоматическое нанесение параметрических размеров модели, автоматическое нанесение размеров из общей базы, формирование таблиц отверстий и т.д. В *Autodesk Inventor* реализовано ассоциативное нанесение размеров, то есть все изменения, вносимые в модель, автоматически переносятся на чертежи. Более того, модель можно редактировать, внося изменения в чертеж [13].

Учитывая стремительное развитие современных технологий, было бы неверно сравнивать лишь отдельные возможности систем. По многим критериям *Autodesk Inventor* имеет неоспоримые преимущества перед аналогичными системами, такие как:

- возможность выбора — *Autodesk Inventor* поддерживает как 2D и 3D-проектирование;
- *Autodesk Inventor* прост в освоении и удобен в работе;
- оптимальная производительность в масштабных проектах;
- мощный инструментарий разработки чертежей;
- уникальная система взаимодействия в масштабах предприятия.

Стадия построения 3D модели универсального мехатронного модуля будет описана в практической части диссертационной работы.

1.6 Функции мехатронного модуля и его применение

Разрабатываемый мехатронный модуль является универсальным. Под универсальностью подразумевается, что в мехатронном модуле может присутствовать или отсутствовать определённые компоненты. Существует несколько вариаций мехатронного модуля для мобильного робота:

- мехатронный модуль с возможностью управления клиренсом робота и с возможностью управления поворотом колеса;
- мехатронный модуль с отсутствием возможности функции управления клиренсом робота, но с возможностью управления поворотом колеса;
- мехатронный модуль с возможностью управления клиренсом робота, но с отсутствием возможности поворота колеса;
- мехатронный модуль с отсутствием возможности управления клиренсом робота и с отсутствием возможности поворота колеса.

Также нужно учитывать, что каждый датчик положения, установленный на универсальный мехатронный модуль будет привязан к определённому приводу. Это означает, при отсутствии того или иного привода приводит к отсутствию привязанному к нему датчику положения.

Функциональной возможностью универсального мехатронного модуля является возможность управления и измерения клиренса и поворота колеса мехатронного модуля. Также с помощью датчиков силы исследуется с какой силой будет болтаться колесо в разные стороны, если при вращении колеса на подложке, которая, в свою очередь, будет тянуться в сторону против вращения колеса. Тем самым будет понятно, как хорошо закреплено колесо и выдержит ли мехатронный модуль все отклонения колеса.

Существуют разные вариации применения разрабатываемого мехатронного модуля:

- во-первых, с помощью, как минимум, 4-х модулей возможна сборка мобильного робота, способного перевозить груз весом 150 кг. Тем самым увеличивая необходимое количество мехатронных модулей, увеличивается

проходимость и грузоподъемность мобильного робота. Также возможна установка дополнительных мехатронных устройств для более широкого применения мобильного робота;

- во-вторых, с помощью мехатронных модулей можно проводить лабораторные работы в высших учебных заведениях для изучения принципов работы приводов, мотор-колеса, датчиков положения и силы. Также есть возможность разработки программной составляющей мехатронного модуля. Такой лабораторный стенд будет полезен для таких специальностей как «Мехатроника и робототехника», «Приборостроение», «Программная инженерия» и т.д.

В данной магистерской диссертации осуществляется разработка универсального мехатронного модуля с возможностью управления клиренсом робота и с возможностью управления поворотом колеса. Расчет и выбор необходимого оборудования будет описан в практической части диссертации.

2 Разработка универсального мехатронного модуля для мобильного робота

2.1 Разработка конструкции универсального мехатронного модуля

2.1.1 Крепежная платформа

Основная неподвижная крепежная платформа выполняет функцию крепления мехатронного модуля на рабочее место и поддерживает связь всех подвижных и неподвижных элементов мехатронного модуля. Размеры крепежной платформы приведены в приложении В. На рисунке ниже приведена ее 3Д модель в *Autodesk Inventor*.

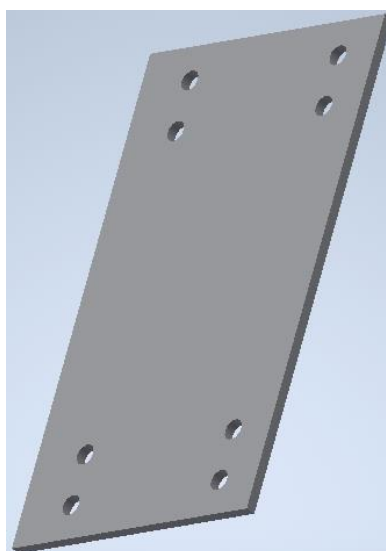


Рисунок 3 – 3Д модель крепежной платформы

2.1.2 Элемент для крепления оборудования сверху и снизу

Верхняя и нижняя неподвижные части мехатронного модуля необходимы для крепления на нее подвижных элементов модуля. Общий вид верхней и неподвижной части платформы приведены на рисунке ниже.

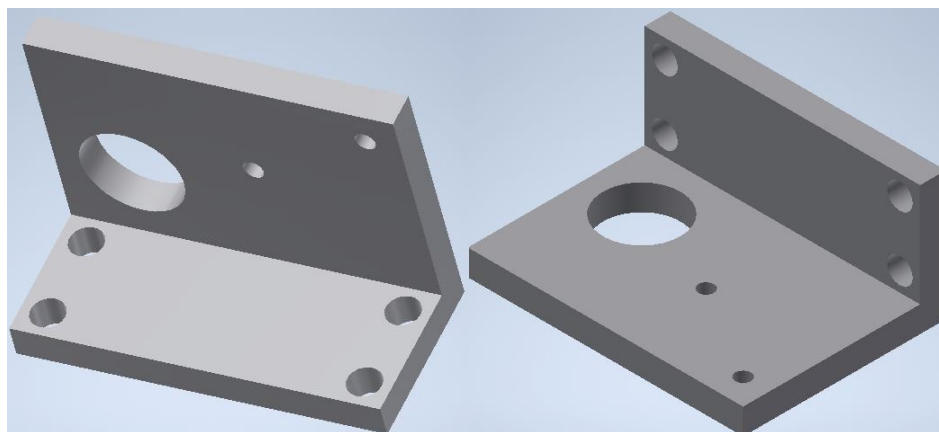


Рисунок 4 – 3Д модель элементов для крепления оборудования сверху и снизу

2.1.3 Винт клиренса

Винт клиренса предназначен для управления высотой дорожного просвета. Диаметр винта был известен при расчете винтовой передачи. Винт крепится на верхнюю и нижнюю неподвижные части модуля. 3Д модель винта представлена на рисунке ниже.



Рисунок 5 – 3Д модель винта клиренса

2.1.4 Уравновешивающая балка

Балка предназначена для равномерного поднятия и опускания подвижной части платформы. Также она предназначена для поддержания прочности подвижной платформы для крепления оборудования. Созданная 3Д модель представлена на рисунке 6.

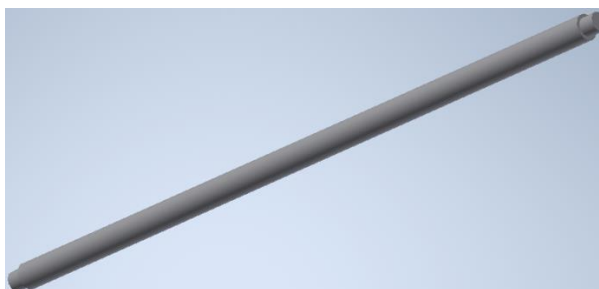


Рисунок 6 – 3Д модель уравновешивающей балки

2.1.5 Металлическая труба крепления колеса

Данная труба является подвижной частью платформы. На нее крепится мотор-колесо и привод поворота колеса. С помощью специальных прокладок данная труба без усилий совершает подъем и опускание при выполнении функции клиренса. Модель прокладки и самой трубы показаны на рисунках ниже.

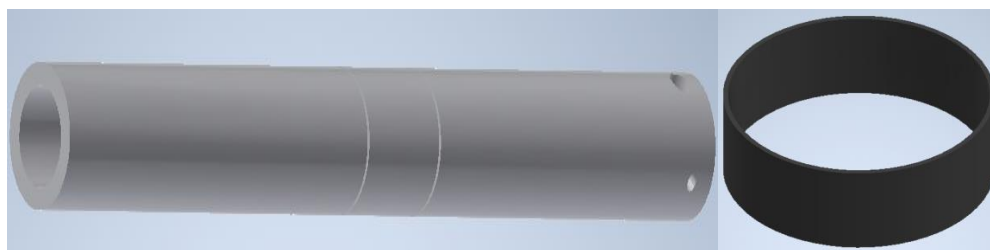


Рисунок 7 – 3Д модель металлической трубы и прокладки для крепления колеса

2.1.6 Подвижная платформа для оборудования

Подвижная платформа является основой для крепления приводов клиренса и поворота, а также для датчиков положения. В связи с тем, что привод поворота и подвижные элементы крепятся на данную платформу, при управлении клиренсом модуля происходит подъем и спуск именно этой детали. 3Д модель подвижной платформы представлена на рисунке 8.

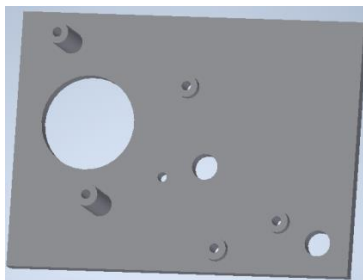


Рисунок 8 – 3Д модель подвижной платформы для оборудования

2.1.7 Привод клиренса и поворота

Универсальный мехатронный модуль, как описывалось в теоретической части работы, имеет ряд функций, таких как управление высотой дорожного просвета и поворотом колеса. В связи с этим 3Д модель мехатронного модуля должна содержать два привода. Расчет и выбор приводов произведен в пунктах ниже. Созданная 3Д модель данных приводов представлена на рисунках ниже.

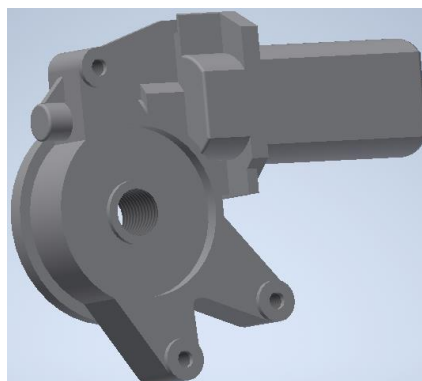


Рисунок 9 – 3Д модель привода клиренса

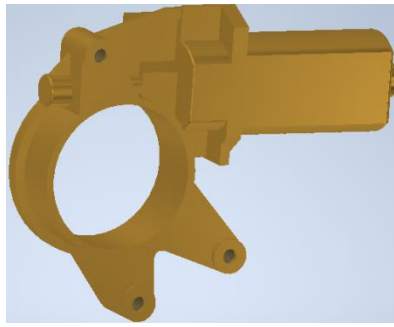


Рисунок 10 – 3Д модель привода клиренса

2.1.8 Мотор-колесо

Одной из основных частей мехатронного модуля является мотор-колесо. Зная, что мотор колесо состоит из таких элементов как ротор и постоянные магниты, созданы 3Д модели каждого из этих элементов. Общий вид ротора и статора мотор-колеса представлен на рисунке ниже.

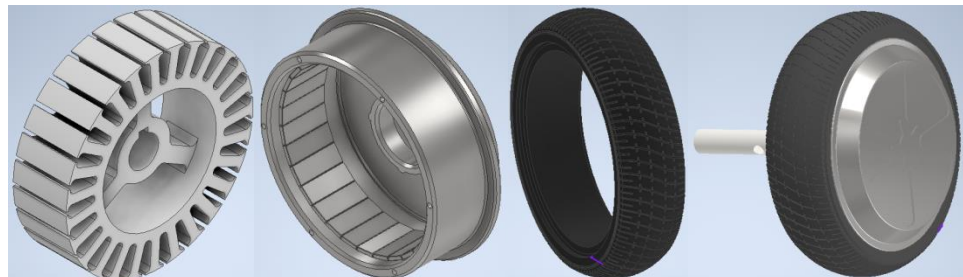


Рисунок 11 – 3Д модель элементов мотор-колеса

2.1.9 Датчики положения

Датчики положения необходимы для измерения отклонения высоты при выполнении команды клиренса, а также измерения угла поворота колеса при выполнении команды поворота колеса. Каждый из этих элементов находится внутри 3Д модели приводов клиренса и поворота, в связи с креплением их на вал привода. 3Д модель датчика положения представлена на рисунке 12.

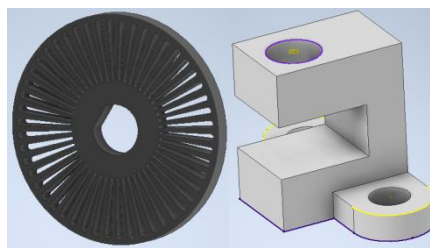


Рисунок 12 – 3Д модель датчика положения

2.1.10 Датчики силы

В связи с тем, что мехатронный модуль может использоваться в учебных целях, необходимо установить датчик силы. В разделах ниже описан тип и выбранная модель датчика силы. Для этого была создана 3Д модель датчика (рисунок ниже). Установка датчика показана на рисунке 14 в разделе 2.1.11.

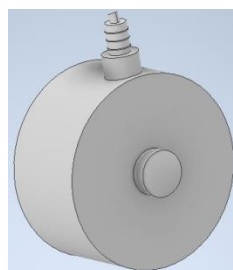


Рисунок 13 – 3Д модель датчика силы

2.1.11 Сборка 3Д элементов универсального мехатронного модуля

Сборка всех созданных 3Д элементов представлена на рисунке 14. Чертежи подвижных и неподвижных элементов, кроме оборудования, представлены в приложении В к магистерской диссертации.

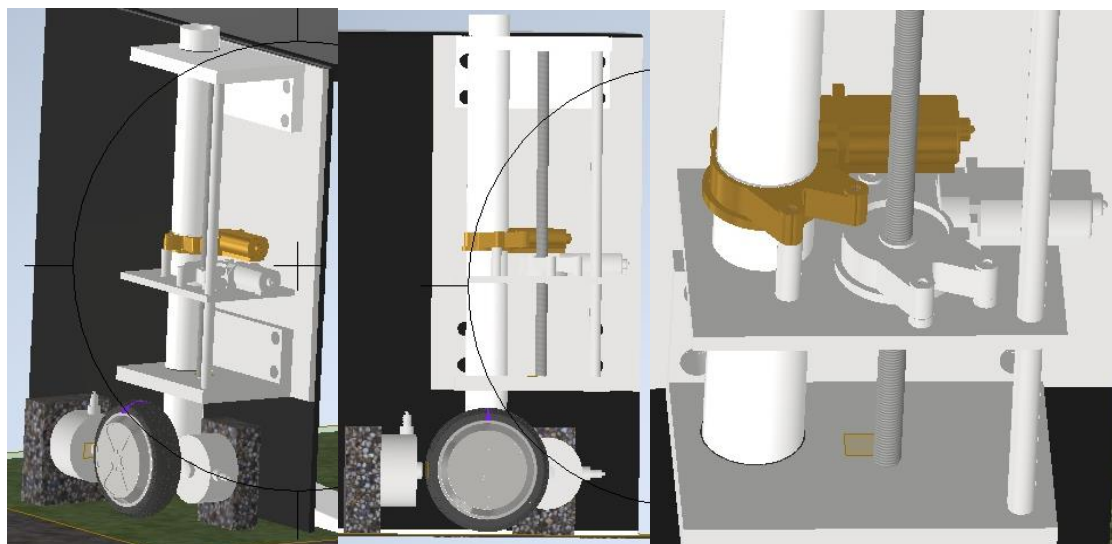


Рисунок 14 – 3Д модель сборки универсального мехатронного модуля

2.2 Расчет мощности и выбор двигателя мотор-колеса

Обозначим требуемые параметры двигателя:

- максимальная скорость $20 \text{ км/ч} = 5,55 \text{ м/с}$;
- колесо радиусом $0,15 \text{ м}$;
- масса платформы 150 кг ;
- КПД электродвигателя $\eta = 85\%$.

Для того, чтобы выбрать необходимый электродвигатель, нужно знать его максимальную мощность. Формула нахождения максимальной мощности двигателя представлена ниже [1]:

$$P=A/t, \quad (1)$$

где A – работа, совершаемая телом за единицу времени « t ».

Для решения этого уравнения нам не известна работа, совершаемая мехатронным модулем за единицу времени [18].

Необходимо найти, чему равна работа. Формула для нахождения работы представлена ниже:

$$A=F*s, \quad (2)$$

где F – прикладываемая сила, необходимая для движения платформы по ровной горизонтальной поверхности;

S – пройденный путь

Подставив формулу 2 в формулу 1 получим:

$$P=F*S/t. \quad (3)$$

Зная, что скорость равна отношению пройденного пути за единицу времени, можно упростить формулу 3:

$$P=F*V, \quad (4)$$

где V - максимальная скорость платформы, которая приведена в исходных данных.

По второму закону Ньютона:

$$F=m*a, \quad (5)$$

где m – масса платформы;

a – ускорение.

Для того, чтобы найти силу, необходимо найти ускорение. Формула ускорения приведена ниже:

$$a=(V-V_0)/t, \quad (6)$$

где V_0 – начальная скорость, в данной задаче она равна 0.

Экспериментальными данными было определено, что платформа может развить скорость 6,94 м/с за 10 секунд. Следовательно, можно рассчитать ускорение:

$$a=(5,55-0)/10 = 0,55 \text{ м/с}^2.$$

Для того, чтобы найти максимальную мощность, подставим в формулу 4 формулу 5 и 6, получим:

$$P=75*a*V. \quad (7)$$

Так как все значения известны, можем рассчитать максимальную мощность электродвигателя согласно формуле 7:

$$P=150 * 0,55 * 5,55 = 228 \text{ Вт.}$$

Для выбора электродвигателя необходимо найти мощность с учетом требуемого КПД [17]:

$$P_{\text{кпд}} = P/n \quad (8)$$

Зная все значения можно рассчитать мощность с учетом КПД по формуле 8:

$$P_{\text{кпд}} = 228/0.85 = 270 \text{ Вт}$$

Поиск двигателя осуществлялся по таким значениям следующих параметров:

- напряжение питания: 36В;
- мощность двигателя более 200 Вт;
- максимальная скорость двигателя: 25 км/ч;
- минимальные КПД: 85%.

Существует два основных вида электродвигателей: двигатель постоянного тока, двигатель переменного тока.

Двигатель переменного тока (АС) редко используется в мобильных роботах. В первую очередь потому, что большинство из них рассчитаны на питание постоянным током (DC) от батареи. Так как в случае мобильной платформы, питание осуществляется через аккумулятор, данный вид двигателя не подходит.

Для мобильных роботов и мобильных платформ чаще всего используются двигатели постоянного тока, так как питание осуществляется через аккумуляторы.

Классификация электродвигателей постоянного тока (ДПТ) осуществляется по такому критерию, как наличие или отсутствие коллекторно-щеточного механизма.

Коллекторный электродвигатель – двигатель, в котором датчиком положения ротора и переключателем тока в обмотках выступает щеточно-коллекторный узел.

Коллекторно-щеточный узел является одной из причин снижения КПД электромотора, посредством потребления значительного количества энергии.

В связи с тем, что нам необходим электродвигатель с более высоким показателем КПД, выбираем бесколлекторный электродвигатель, так как он обладает большим сроком службы за счёт отсутствия коллекторно-щеточного механизма.

Существует два вида бесколлекторных электродвигателей: редукторное мотор-колесо и мотор-колесо с прямым приводом.

Для выбора того или иного двигателя необходимо проанализировать все их достоинства и недостатки, которые представлены в таблице 1 и в таблице 2.

Таблица 2 – Достоинства и недостатки прямоприводного бесколлекторного двигателя

Достоинства	Недостатки
Довольно надёжная конструкция (отсутствие частей поддающихся износу)	Большой вес, чем у мотор-колес с редукторным механизмом Незначительное магнитное сопротивление.
Могут создавать большой крутящий момент	
Прямоприводные мотор-колеса способны развивать довольно большую скорость	
Обладают высоким КПД.	
Не нуждаются в смазке и ином техническом обслуживании	
Низкий уровень шума и вибрации.	
Возможность работы в режиме генератора энергии	

Таблица 3 – Достоинства и недостатки редукторного бесколлекторного двигателя

Достоинства	Недостатки
Малый вес	Больше поддаются износу, чем прямоприводного электродвигателя

Продолжение таблицы 3

Достоинства	Недостатки
Высокие показатели крутящего момента	Скоростные показатели ограничены 25-30 км/ч
Позволяет экономить заряд батарей	КПД редукторного двигателя ниже прямоприводного
	Существует необходимость периодического технического обслуживания

Изучив все плюсы и минусы двух видов бесколлекторных электродвигателей решено выбрать прямоприводный электродвигатель, основываясь на том, что нам необходима более надежная конструкция и высокий КПД. Так как необходим двигатель мощностью 300 Вт вес и размеры редукторного и прямоприводного электродвигателя будут незначительно отличаться [17].

Заключительным этапом является поиск прямоприводного бесколлекторного электродвигателя мощностью 300 Вт и напряжением питания 36В. Был найден недорогой электродвигатель фирмы *KUN RAY*. Технические характеристики электродвигателя *KUN RAY* приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики электродвигателя *KUN RAY*.

Номинальное напряжение	36 В
Номинальный крутящий момент	15 Н*м
Мощность	300 Вт
Номинальный ток	12А
Частота вращения	400 об/мин
Масса	4 кг
КПД	85%
Пар магнитов	8



Рисунок 15 – Электродвигатель *KUN RAY* [22]

Выбрав необходимое нам мотор-колесо, определим, соответствует ли он по скорости движения уставочному параметру.

В идеальном случае при отсутствии явления проскальзывания шин колеса по опорной поверхности (коэффициент буксования $\delta = 0$) мощность движения будет равна тяговой мощности.

Отношение мощности движения колеса к тяговой мощности, подведенной к тяговому колесу есть КПД колеса [17]:

$$N_{дв} = N_{т} / \eta [1]$$

где $N_{дв}$ - мощность движения, т. е. мощность, затрачиваемая на перемещение машины;

$N_{т}$ - тяговая мощность, т. е. мощность, подведенная от двигателя к ведущему колесу;

η – КПД мотор-колеса

Зная КПД и мощность двигателя найдем тяговую мощность основываясь на формуле 8:

$$N_{т} = N_{дв} * \eta = 300 * 0,85 = 255 \text{ Вт}$$

Зная частоту вращения и радиус мотор-колеса можем найти угловую скорость:

$$W = 2 \pi * n / 60 \quad (9)$$

где n – количество оборотов в минуту мотор-колеса

Зная угловую скорость найдем линейную скорость:

$$U = W * R \quad (10)$$

Зная тяговую мощность и скорость найдем силу тяги:

$$F_T = N_T / U \quad (11)$$

где F_T – сила

U – скорость мотор колеса

Зная тяговую силу и радиус колеса найдем максимальный крутящий момент двигателя [17]:

$$M_{кр} = F_T * R \quad (12)$$

Согласно формуле 9, найдем угловую скорость:

$$W = 2 \pi * 400 / 60 = 41,87 \text{ рад/с}$$

Согласно формуле 10, найдем линейную скорость мотор-колеса:

$$U = 41,87 * 0,15 = 6,28 \text{ м/с (22,62 км/ч)}$$

Основываясь на формулах 11 и 12 найдем силу тяги и крутящий момент мотор-колеса на холостом ходу:

$$F_T = 255 / 6,28 = 40,6 \text{ Н}$$

$$M_{кр} = 40,6 * 0,15 = 6,09 \text{ Н*м}$$

Также можно рассчитать силу и момент сопротивления движения:

$$F_{дв} = m * g * f + F_{воз} \quad (13)$$

где $F_{дв}$ – сила сопротивления движению;

m – вес с учетом нагрузки;

f – коэффициент сопротивления качению;

$F_{воз} = 0$ – сила сопротивления воздуха.

$$M_{дв} = F_{дв} * R * k_{тр} \quad (14)$$

где R – радиус колеса;

$k_{тр} = 0,95$ – коэффициент трения в подшипниках.

Найдем значения сил и моментов сопротивления движению согласно формулам 13 и 14, учитывая разный тип покрытия дороги (Таблица 5).

Таблица 5 – Значения сил и момента сопротивления движению при разных значениях коэффициента сопротивления качению.

Тип покрытия дороги	F	$F_{дв}$, Н	$M_{дв}$, Н*м
Песок сухой и супесь	0,3	220,5	31,42
Рыхлый снег	0,01	7,35	1,05
Булыжное шоссе	0,03	22,05	3,14
Асфальтобетонное	0,008	5,88	0,84

2.3 Расчет мощности и выбор привода клиренса

Возможность управления клиренсом осуществляется с помощью привода, редуктора и винта. Следовательно, нужно произвести расчет винтовой передачи, червячной передачи и самого привода.

Начнем с расчета винтовой передачи. Рассчитаем винт (рисунок 5). Высота клиренса (подъема колеса) = 0,1 м. Резьба в нашем случае будет метрическая.

Выбор материалов: для винта – конструкционная сталь 35 ГОСТ 1050 – 88 без термообработки, $\sigma_t=300 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_b=540 \text{ Н/мм}^2$.

Определим изначально силу тяжести:

$$F\alpha = m * g \quad (15)$$

где m – масса платформы;

$g = 9.8$ – ускорение свободного падения.

Основываясь на формуле 15 найдем силу:

$$F\alpha = 150 * 9.8 = 735 \text{ Н}$$

Определение среднего диаметра:

$$d_{2p} \geq \sqrt{\frac{F\alpha}{\pi \cdot \Psi_h \cdot \Psi_H \cdot [p_H]}}, \text{ мм}, \quad (16)$$

где $F\alpha = 735 \text{ Н}$;

$\Psi_h = 0,5$ - коэффициент относительной высоты профиля резьбы;

Ψ_H - коэффициент высоты гайки. Принимаем $\Psi_H = 1,7$;

$[p_H] = 9 \text{ Н/мм}^2$ - допускаемое давление в резьбе.

$$d_{2p} \geq \sqrt{\frac{F_\alpha}{3,14 \cdot \Psi_h \cdot \Psi_H \cdot [p_H]}} = 5,53 \text{ мм.}$$

Минимальное значение шага резьбы:

$$P_{min} \geq \Psi_H \cdot \frac{d_{2p}}{z_{max}} \quad (17)$$

где $z_{max} = 10$ – наибольшее число витков резьбы гайки, воспринимающих осевую силу.

$$P_{min} \geq 1,7 * \frac{5,53}{10} = 0,94 \text{ мм}$$

Осуществим выбор параметров резьбы. По ГОСТ 8724-2002 выбираем метрическую резьбу $M8 \times 1$ с параметрами: средний диаметр $d_2 = 7,35 \text{ мм} \geq d_{2p} = 5,53 \text{ мм}$; внутренний диаметр $d_3 = 6,77 \text{ мм}$; наружный диаметр $d = 8 \text{ мм}$; шаг $P = 1 \text{ мм}$.

Произведем проверку условия самоторможения резьбы. Угол подъема винтовой линии резьбы [14]:

$$\Psi = \arctg \left(\frac{Ph}{\pi \cdot d_2} \right) \quad (18)$$

где $Ph = P \cdot n$ – ход резьбы, P – шаг резьбы и $n = 1$ – число заходов;

$$\Psi = \arctg \left(\frac{1}{3,14 \cdot 7,35} \right) = 2,48^\circ.$$

Приведенный угол трения:

$$\varphi' = \arctg \left(\frac{f}{\cos \gamma} \right), \quad (19)$$

где $f = 0,1$ – коэффициент трения в резьбе;

$\gamma = 30^\circ$ - угол наклона рабочей стороны профиля метрической резьбы.

$$\varphi' = \arctg \left(\frac{0,1}{\cos(30^\circ)} \right) = 6,59^\circ$$

Так как $\psi < \varphi'$, следовательно, самоопускания под действием груза не произойдет.

Проверочный расчет винта на прочность. В материале винта возникает напряжение сжатия от осевой силы F_a и кручение от момента сил трения в резьбе T_v .

Напряжение сжатия:

$$\sigma_c = 4 \cdot \frac{F_a}{\pi \cdot d_3^2} \quad (20)$$

Основываясь на формуле 20, рассчитаем:

$$\sigma_c = 4 \cdot \frac{735}{3,14 \cdot 6,77^2} \approx 20,43 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Напряжение кручения:

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_k}, \quad (21)$$

где T - вращающий момент, скручивающий винт в опасном сечении, Н·мм;

$W_k \approx 0,2 d_3^2$ - момент сопротивления кручению поперечного сечения винта, мм².

Вращающий момент для винтового домкрата равен моменту сил трения в резьбе T_v :

$$T = T_B = F_a \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg(\psi + \varphi') \quad (22)$$

Согласно формулам 21 и 22 рассчитаем:

$$T = 735 \cdot \frac{7,35}{2} \cdot tg(2,48^\circ + 6,59^\circ) = 0,43 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

$$\tau_{кр} = \frac{0,43}{0,2 \cdot 6,77^2} = 6,95 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Эквивалентное напряжение в опасном сечении винта:

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_c^2 + 3 \cdot \tau_{кр}^2} \quad (23)$$

$$\sigma_E = \sqrt{20,43^2 + 3 \cdot 6,95^2} \approx 23,71 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Допускаемое напряжение сжатия материала винта:

$$[\sigma_c] = \frac{\sigma_T}{[S]}, \quad (24)$$

где $[S]=3$ – коэффициент запаса прочности винта.

$$[\sigma_c] = \frac{300}{3} = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Условие прочности выполняется, так как:

$$\sigma_E = 23,71 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \leq [\sigma_c] = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Определение КПД винта [14]:

$$\eta = \frac{\text{tg}\psi}{\text{tg}(\psi+\varphi')} \quad (25)$$

$$\eta = \frac{\text{tg}(2,48)}{\text{tg}(2,48 + 6,59)} = 0,72$$

Далее производим расчет червячной передачи. Исходные данные для расчета:

- передаточное число $u = 31,5$;
- частота вращения червяка $n_1 = 1000 \text{ мин}^{-1}$;
- вращающий момент на червячном колесе $T_2 = 5 \text{ Н*м}$.

Ожидаемое значение скорости скольжения:

$$v_8 = 4,5 \cdot 10^{-4} n_1 \sqrt[3]{T_2} \quad (26)$$

$$v_8 = 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 \sqrt[3]{5} = 0,77 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Для венца червячного колеса при $v_3 > 5 \text{ м/с}$ выбираем безоловянную бронзу Бр А9ЖЗЛ, с механическими характеристиками $\sigma_B = 400 \text{ МПа}$, $\sigma_T = 200 \text{ МПа}$.

Определение допускаемых контактных напряжений для червячного колеса:

$$[\sigma_H] = \sigma_{Hlim} C_y Z_N, \text{ МПа}, \quad (27)$$

где σ_{Hlim} - предел контактной выносливости зубьев колеса при базовом числе циклов нагружения:

$$\sigma_{Hlim} = 0,75 \sigma_B \quad (28)$$

$$\sigma_{Hlim} = 0,9 \cdot 400 = 300 \text{ МПа};$$

C_y - коэффициент, учитывающий интенсивность износа материала колеса:

$$C_y = 1,66v_3^{-0.352} \quad (29)$$

$$C_y = 1,66 \cdot 0,77^{-0,352} = 1;$$

$Z_N = 1$, коэффициент долговечности.

Основываясь на формуле 27, рассчитаем:

$$[\sigma_H] = 300 * 1 * 1 = 300 \text{ МПа.}$$

Определение межосевого расстояния:

$$a_w \geq K_\alpha \sqrt[3]{T_2 \cdot \frac{K}{[\sigma_H]^2}}, \text{ мм,} \quad (30)$$

где $K_\alpha = 530$ – для передачи с вогнутым профилем витков червяка;

T_2 – вращающий момент на червячном колесе, $T_2 = 5 \text{ Н*м}$;

K – коэффициент нагрузки. При $v_s < 3 \text{ м/с}$ предварительно принимаем $K =$

1.

$$a_w = 530 \sqrt[3]{5 \cdot \frac{1}{300^2}} \approx 20.22 \text{ мм.}$$

Принимаем из ряда стандартных чисел по ГОСТ 6636-69 (с. 9) $a_w = 20.5$ мм.

Выбор числа витков червяка и определение числа зубьев червячного колеса. Число витков червяка $z_1 = 1$. Число зубьев колеса [15]:

$$z_2 = z_1 * u \quad (31)$$

$$z_2 = 1 * 31.5 = 31.5.$$

Принимаем $z_2 = 32$.

Предварительное значение модуля передачи:

$$m = (1,4 - 1,7) \cdot \frac{a_w}{z_2} \quad (32)$$

$$m = (1,4 - 1,7) \cdot \frac{20,5}{32} = (0,89 - 1,08) \text{ мм.}$$

По ГОСТ 19672-74 принимаем $m = 1$ мм.

Выбор коэффициента диаметра червяка. Предварительное значение коэффициента диаметра червяка [15]:

$$q = \left(\frac{2a_w}{m} \right) - z_2 \quad (33)$$

$$q = \left(2 \cdot \frac{20,5}{1} \right) - 32 = 9$$

Минимально допустимое значение коэффициента диаметра червяка

$$q_{min} = 0,212 z_2 \quad (34)$$

$$q_{min} = 0,212 \cdot 32 = 8.$$

Принимаем по ГОСТ 19672-74 ближайшее стандартное значение коэффициента $q = 8$.

Определение коэффициента смещения червяка:

$$x = \left(\frac{a_w}{m} \right) - 0,5(z_2 + q) \quad (35)$$

$$x = \frac{20,5}{1} - 0,5(32 + 8) = 0,5$$

При такой величине коэффициента смещения выбираем Архимедов червяк ZA.

Фактическое передаточное число:

$$u_{\phi} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{32}{1} = 32.$$

Фактическая частота вращения колеса:

$$n_{2\phi} = \frac{n_1}{u_{\phi}} = \frac{1000}{32} = 31,25 \text{ мин}^{-1}.$$

Определение углов подъема витка червяка. Делительный угол подъема:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{z_1}{q}\right) \quad (36)$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{1}{8}\right) = 7,13^\circ.$$

Начальный угол подъема:

$$\gamma_w = \arctg[z_1/(q + 2x)] \quad (37)$$

$$\gamma_w = \arctg[1/(8 + 2 \cdot 0,5)] = 6,75^\circ.$$

Расчет делительного диаметра червячного колеса:

$$d_2 = m \cdot z_2 \quad (38)$$

$$d_2 = 1 \cdot 32 = 32 \text{ мм.}$$

Делительный диаметр червяка:

$$d_1 = m \cdot q \quad (39)$$

$$d_1 = 1 \cdot 8 = 8$$

Диаметр вершин зубьев колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot (1 + x) \cdot m \quad (40)$$

$$d_{a2} = 32 + 2 \cdot (1 + 0,5) \cdot 1 = 34,45 \text{ мм;}$$

Диаметр впадин зубьев:

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot (1,2 - x) \cdot m \quad (41)$$

$$d_{f2} = 32 - 2 \cdot (1,2 - 0,25) \cdot 1 = 30,05 \text{ мм;}$$

Наибольший диаметр колеса:

$$d_{ae2} \leq d_{a2} + 6m / (z_1 + 2) \quad (42)$$

$$d_{ae2} \leq 34,45 + 6 \cdot 1 / (1 + 2) = 36,45 \text{ мм,}$$

Определение КПД передачи:

$$\eta = 0,96 \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma_w}{\operatorname{tg}(\gamma_w + p)}, \quad (43)$$

где p – приведенный угол трения. При $v_s = 0,77$ м/с для безоловянной бронзы $p = 3,4^\circ$.

$$\eta = 0,96 \cdot \frac{\operatorname{tg}(7,13)}{\operatorname{tg}(7,13^\circ + 3,4^\circ)} = 0,65.$$

Определение усилий в зацеплении. Окружная сила на червяке, равная осевой силе на колесе [15]:

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2000 \cdot T_2}{d_{w1} \cdot u_{\varphi} \cdot \eta} \quad (44)$$

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2000 \cdot 5}{8 \cdot 32 \cdot 0,65} = 66,87 \text{ Н.}$$

Осевая сила на червяке, равная окружной силе на колесе:

$$F_{a1} = F_{t2} = \frac{2000 \cdot T_2}{d_2} \quad (45)$$

$$F_{a1} = F_{t2} = \frac{2000 \cdot 5}{32} = 312,5 \text{ Н.}$$

Радиальные силы на червяке и колесе:

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma_w} \quad (46)$$

где $\alpha = 20^\circ$ – угол профиля витка червяка.

$$F_{r1} = F_{r2} = \frac{312,5 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 6,75^\circ} = 114,54 \text{ Н.}$$

Зная все параметры винта и червячной передачи, можно произвести расчет для выбора привода клиренса. Зная частоту вращения можно найти линейную скорость привода:

$$V = n_1 \cdot P_{min} / (60 \cdot 1000) \quad (47)$$

$$V = 1000 \cdot 1 / (60 \cdot 1000) = 0,02 \text{ м/с}$$

Угловая скорость привода [16]:

$$W_{pk} = n_1 \cdot 2 \pi / 60 \quad (48)$$

$$W_{pk} = 1000 \cdot 2 \pi / 60 = 104,67 \text{ рад/с}$$

Необходимо найти отраженный момент инерции нагрузки:

$$J_l = m \cdot (P / 2 \pi)^2 \quad (49)$$

$$J_l = 75 \cdot (8 / 2 \cdot 3,14)^2 = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Определим общую отраженную инерцию (J_T) от нагрузки на валу червячной винтовой передачи:

$$J_T = J_s + J_l, \quad (50)$$

где $J_s = 35 \times 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – инерция винта.

$$J_T = 35 \times 10^{-8} + 1,9 \times 10^{-6} = 1,98 \times 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Определим необходимый крутящий момент на валу для ускорения инерции нагрузки T_a :

$$T_a = T_j + T_g, \quad (51)$$

где T_j – крутящий момент, необходимый для преодоления момента инерции нагрузки

$$T_j = J_t \cdot (V - V_0) / (t_1 - t_0) \cdot 2 \cdot \pi / Ph, \quad (52)$$

$$T_j = 1,98 \times 10^{-6} \cdot 104,67 \cdot 2 \cdot 3,14 / 1 = 6,21 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м};$$

T_g – Крутящий момент, необходимый для преодоления гравитации[15]

$$T_g = \sin q \cdot m \cdot g \cdot p / (2\pi \cdot \eta), \quad (53)$$

q – ориентация нагрузки, в нашел случае вертикальная = 90° ,

$$T_g = \sin(90) \cdot 75 \cdot 9,8 \cdot 1 / (2\pi \cdot 0,65) = 0,16 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_a = 6,21 \cdot 10^{-4} + 0,16 = 0,16 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Зная угловую скорость и крутящий момент можем найти требования по мощности для винтовой передачи:

$$P_{pk} = T_a \cdot \omega_{pk}, \quad (54)$$

$$P_{pk} = 0,16 \cdot 104,67 = 16,96 \text{ Вт.}$$

Окончательные нагрузочные параметры для входного вала винтовой передачи (выходного вала привода с червячной передачей):

$$P_{онп} = (F \cdot S / T) / \eta \quad (55)$$

$$P_{онп} = 735 \cdot 0,02 / 65 = 7,91 \text{ Вт}$$

Привод с червячной передачей передает крутящий момент на вал винтовой передачи. Во-первых, он должен передавать максимальный крутящий момент для ускорения массы, преодоления гравитации и достижения постоянной скорости вращения винтовой передачи 1000 об/мин. Привод с червячной передачей должен обеспечивать постоянный крутящий момент для преодоления гравитации с постоянной скоростью. Кроме того, во время

замедления мотор-редуктор должен поддерживать отрицательный крутящий момент для контролируемой остановки исполнительного звена.

Для клиренса мехатронного модуля выбран бесщеточный двигатель постоянного тока *TS-RBL85*.

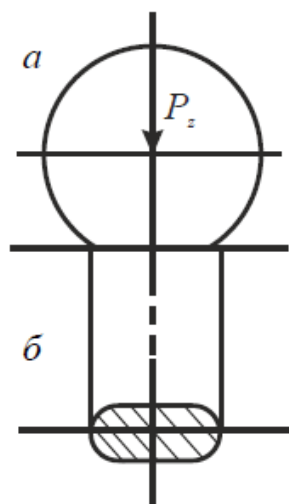
Таблица 6 – Характеристики бесщеточный двигатель постоянного тока *TS-RBL85*

Характеристики	
Вес, кг	0,3
Номинальная мощность, Вт	12 Вт
Номинальный момент, Н*м	0,125
Максимальный момент, Н*м	0,38
Номинальная скорость, об/мин	2780
Напряжение, В	12
Скорость холостого хода, об/мин	1000
Максимальный ток, А	10,6

2.4 Расчет мощности и выбор привода поворота

При повороте колеса, по сравнению с прямолинейным движением, возникают дополнительные силы и моменты, препятствующие повороту. Суммарное дополнительное силовое воздействие, препятствующее повороту, называют моментом сопротивления повороту, который преодолевается за счет поворачивающего момента.

Максимальный угол поворота управляемых колес автомобилей и колесных тракторов обычно не превышает 35–40°[17].



а – деформация нижней части колеса от вертикальной силы P_z ; б – пятно контакта

Рисунок 16 - Силы, действующие на неподвижное эластичное колесо

Поворачивающий момент создается за счет силы тяги колеса. Момент сопротивления повороту появляется за счет действия силы трения скольжения колеса.

На дорогах с твердым покрытием увеличение нагрузки на колесо приводит к уменьшению коэффициента сцепления приблизительно по линейной зависимости. Причем на заснеженной дороге и при гололедице изменение величины коэффициента сцепления больше, чем на дорогах с асфальтобетонным покрытием. Причиной является уменьшение площади пятна контакта шины с твердой опорной поверхностью.

В нашем случае берем максимально возможный коэффициент трения (резины об асфальт) $f = 0,7$.

Сила трения скольжения равна силе реакции опоры с учетом коэффициента сцепления колеса об асфальт:

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{ро}} * f \quad (56)$$

На неподвижной горизонтальной поверхности сила реакции опоры всегда равна весу тела (силе тяжести) $F_{\text{ро}} = m * g$:

$$F_{\text{тр}} = m * g * f \quad (57)$$

$$F_{\text{тр}} = 75 * 9.8 * 0,7 = 514,5 \text{ Н}$$

Далее находим площадь пятна контакта колеса:

$$S = \pi * l * b/4 \quad (58)$$

где l – длина пятна (0,04 м опытным путем);

B – ширина контакта (0,015 м опытным путем).

$$S = 3,14 * 0,04 * 0,015/4 = 4,71 * 10^{-4} \text{ м}$$

Зная площадь пятна контакта колеса и силу трения можем найти момент сопротивления повороту колеса [17]:

$$M_{сп} = F_{тр} * \sqrt{S} \quad (59)$$

$$M_{сп} = 514,5 * \sqrt{0,000471} = 11,17 \text{ Н*м}$$

Для того чтобы колесо совершило поворот, необходимо создать поворачивающий момент $M_{пв}$, равный по величине моменту сопротивления повороту ($M_{пв} = M_{сп}$).

При максимальной линейной скорости равной 20 км/ч, радиус поворота будет составлять 60 м. Следовательно, максимальный угол поворота будет составлять 6 градусов.

Зная линейную скорость и радиус поворота можно рассчитать угловую скорость поворота:

$$\omega_{пов} = V/R_{пов} \quad (60)$$

$$\omega_{пов} = 6,28 / 60 = 0,105 \text{ рад/с.}$$

Зная угловую скорость и поворачивающий момент можно рассчитать максимальную мощность привода:

$$P_{max} = M_{пв} * \omega_{пов} \quad (61)$$

$$P_{max} = 11,17 * 0,105 = 1,17 \text{ Вт}$$

Можно сделать вывод, что необходим привод мощностью не менее 2 Вт, напряжением питания 12В, угловой скоростью равной 0,105 рад/с.

Для поворота колеса мехатронного модуля выбран бесщеточный двигатель постоянного тока *TS-RBL85*.

Таблица 7 – Характеристики бесщеточный двигатель постоянного тока *TS-RBL85*

Характеристики	
Вес, кг	0,3
Номинальная мощность, Вт	12 Вт
Номинальный момент, Н*м	0,125
Максимальный момент, Н*м	0,38
Номинальная скорость, об/мин	2780
Напряжение, В	12
Скорость холостого хода, об/мин	1000
Максимальный ток, А	10,6

2.5 Расчет емкости аккумулятора

Для расчета емкости необходимо знать совокупную мощность электродвигателей и двух приводов, напряжение питания и время работы от одного заряда.

Выбрав электродвигатель мощностью 300 Вт, рассчитаем совокупную мощность. Для этого необходимо сложить мощности двух приводов и мотор-колеса:

$$P_{\text{общ}} = 300 + 12 + 12 = 324 \text{ Вт.}$$

Напряжение питания электродвигателей 36 В.

Можно рассчитать ток разряда, зная совокупную мощность и напряжение:

$$I = P_{\text{общ}}/U = 324/36 = 9 \text{ А.}$$

По условию задачи необходимо рассчитать емкость аккумулятора для 8 часовой автономной работы:

$$E = I * t = 9 * 8 = 72 \text{ А*ч. [6]}$$

В связи с тем, что полученная емкость аккумулятора очень высока, не удалось найти подходящий аккумулятор в специализированных интернет магазинах.

Для одного часа работы подобран аккумулятор компании *LG* емкостью 10,3 А*ч *LG INR18650MJ1*[21].

2.6 Способы управления универсальным мехатронным модулем

Бесколлекторный двигатель без электроники - просто железка. Нет возможности подать на него напряжение и добиться нормального вращения как у других двигателей. Электроника, управляющая бесколлекторным двигателем - в нужные моменты подключает постоянное напряжение на нужные обмотки статора.

Необходимо выбрать блок управление двигателем. В связи с этим, вместе с мотор-колесом необходимо установить плату управления.

Необходимые требования для платы управления:

- напряжение рабочее - 36 В;
- управление двигателем мощностью 300Вт;
- трехфазное питание двигателя;
- управляющие провода для связи платы управления с контроллером, в

котором необходимо реализовать логическую базу платформы.

При поиске блока управления мотор-колеса, найдены два подходящих по всем параметрам блока управления *KU 63* и *BLD-300B*.

Технические характеристики блока управления *KU 63* и *BLD-300B* приведены в таблице ниже.

Таблица 8 – Характеристики блока управления *KU 63* и *BLD-300B*

Наименование параметров	Значения	
	<i>KU 63</i>	<i>BLD-300B</i>
Номинальное рабочее напряжение	36 В	18-50 В
Максимальный ток	15 А	10 А
Номинальная мощность	350 Вт	300 Вт
Максимальная мощность	540 Вт	400 Вт
Управляющее напряжение	1...4,2 В	0...5 В
Диапазон скоростей	0-3000 об/мин	0-3000 об/мин
Цена	3000 рублей	2300 рублей

В связи с тем, что по всем необходимым характеристикам данные блоки управления похожи, необходимо также учитывать ценовую составляющую и возможность приобретения в пределах РФ.

Был выбран блок управления *BLD-300B* [20]. Основными преимуществами данного блока являются:

- цена;
- форм-фактор;
- наличие документации на русском языке.



Рисунок 17 – Блок управления двигателем *BLD-300B*

2.7 Выбор датчиков положения

У разрабатываемого универсального мехатронного модуля, как описывалось в теоретической части работы, присутствует функция управления клиренсом мехатронного модуля и поворотом мотор-колеса. Контроль за состоянием данной функции осуществляется с помощью двух датчиков положения для каждой из функций.

Для контроля положением клиренса мехатронного модуля необходим линейный датчик положения. Из всех существующих линейных датчиков положения, описанных в теоретической части работы, более подходящим для мехатронного модуля является магнитострикционный линейный датчик положения. Критериями поиска модели датчика являются:

- диапазон измерений: 0-600 мм и более (если мехатронный модуль будет прикреплен к боковой части аудиторного стола).
- питания датчика – DC 5В;
- функция на выходе – 0-3,3 В

Был подобран магнитострикционный датчики линейных перемещений *Balluff Micropulse* в профильном корпусе *PF* с аналоговым выходом серии *BTL6* (таблица 9).

Таблица 9 – Основные характеристики магнитострикционного датчика положения *Balluff Micropulse*

Тип	Магнитострикционный датчик линейных перемещений
Диапазон измерений	0..1000 мм
Разрешение	5 мкм
Частота измерений	2000 Гц
Максимальная нелинейность	0,04% (от диапазона)
Температура эксплуатации	-25..+70 ⁰ С

Продолжение таблицы 9

Тип	Магнитострикционный датчик линейных перемещений
Функция на выходе	4..20 мА
Питание	5 В (DC)
Материал корпуса	алюминий

При подключении датчика к микроконтроллеру нужно знать разрядность датчика. Разрядность АЦП микроконтроллера должна быть больше разрядности датчика. От эффективной разрядности АЦП зависит его чувствительность. Чем больше промежуточных ступеней выходного напряжения, тем выше будет чувствительность.

Ниже приведен расчет по нахождению разрядности датчика.

$$N = a/b \quad (62)$$

где N – количество возможных значений датчика;

a – максимальное значение;

b – разрешение.

$$N = 10^{-3}/5 * 10^{-6} = 200$$

Зная количество возможных значений можем найти разрядность датчика положения:

$$2^x > 200,$$

где x - разрядность датчика положения.

Условие будет выполняться при разрядности равной 8:

$$2^8 = 256$$

Для 8 разрядного АЦП и опорного напряжения 3,3 В, чувствительность датчика будет составлять: $3,3/256 = 12,89$ мВ

Для контроля положением угла поворота колеса мехатронного модуля необходим ротационный датчик положения. Из всех существующих ротационных датчиков положения, описанных в теоретической части работы,

более подходящим для мехатронного модуля является оптический датчик положения. Критерии поиска модели датчика:

- тип датчика: инкрементальный.
- питания датчика – *DC*;
- количество бит: 10 и более;
- интерфейсный выход – *PWM*.

Был подобран инкрементальный оптический датчик положения *АТОМ™ RCDM* (таблица 10).

Таблица 10 – Основные характеристики инкрементального оптического датчика положения *АТОМ™ RCDM*

Тип	Инкрементальный датчик положения <i>АТОМ™ RCDM</i>
Разрешение	65536 точек на оборот
Температура эксплуатации	-40..+125 ⁰ С
Функция на выходе	4..20 мА
Питание	5 В (<i>DC</i>)
Материал корпуса	алюминий
Выход	<i>SPI, PWM, ABI</i>

Зная количество возможных значений можем найти разрядность углового датчика положения:

$$2^x \geq 65536,$$

где x - разрядность датчика положения.

Условие будет выполняться при разрядности равной 16:

$$2^{16} = 65536$$

Для 16 разрядного АЦП и опорного напряжения 3,3 В, чувствительность датчика будет составлять: $3,3/65536 = 0,05$ мВ

Так как датчики также обладают определенной чувствительностью и точностью, будет неплохо, если АЦП микроконтроллера будет обладать лучшими показателями.

У платы управления *STM32F103C8T6* имеются входные аналоговые сигналы разрядностью АЦП равной 32. В связи с этим данные типы датчиков можно использовать, так как разрядность датчика не превышает разрядности АЦП платы микроконтроллера.

2.8 Выбор датчик силы и основные принципы монтажа

Для проведения исследования прочности крепления мотор-колеса с цилиндрической балкой, необходимы данные о силах, действующих на крепежный узел. В связи этим было решено установить 2 тензодатчика для измерения боковых и горизонтальных отклонений колеса при вращении на подложке.

Основные виды датчиков силы приведены в теоретическом разделе работы. Выбран датчик силы шайбового типа в связи с его простым монтажом и широким распространением на рынке. По техническим характеристикам датчик должен соответствовать следующим параметрам:

- максимальная осевая нагрузка, которую сможет измерить датчик, от 0 до 100 кг;
- номинальный выходной сигнал: 4 .. 20 мА;
- размер, не превышающей размеры мотор-колеса;
- питание 12 В;
- рабочий диапазон температур от -30 до 50 °С.

По вышеописанным параметрам был подобран датчик силы компании ТОКВЕС. Модель датчика *LPC-SS*.

Основные характеристики датчика приведены в таблице ниже.

Таблица 11 - Основные характеристики датчика силы *LPC-SS TOKBEC*.

Параметр	Значение
Предел измерения, кг	100
Класс точности, %	0,3
Функция на выходе	4..20 мА
Рабочий температурный диапазон	-30 .. +70 °С
Напряжения питания	12 В
Класс защиты	<i>IP68</i>
Длина кабеля, м	3

Одним из основных моментов при использовании датчика силы является правильная установка на объекте. При правильной установке датчика на объекте полученные данные будут получены с высокой точностью измерений. Неблагоприятные условия установки, следовательно, ухудшают точность измерения, а также при воздействии электромагнитных полей ухудшается чувствительность.

Руководство по эксплуатации датчиков силы *LPC-SS* требует, чтобы силы, действующие на датчик, действовали точно в направлении измерения, если это возможно.

Есть целый ряд причин, почему необходимо соблюдать данное предписание:

- возникает систематическая ошибка измерения, поскольку датчик силы измеряет только силы в направлении измерения;

- усилие, приложенное под углом к направлению измерения, в значительной степени компенсируются, поскольку боковые силы, как правило, не являются объектом измерения.

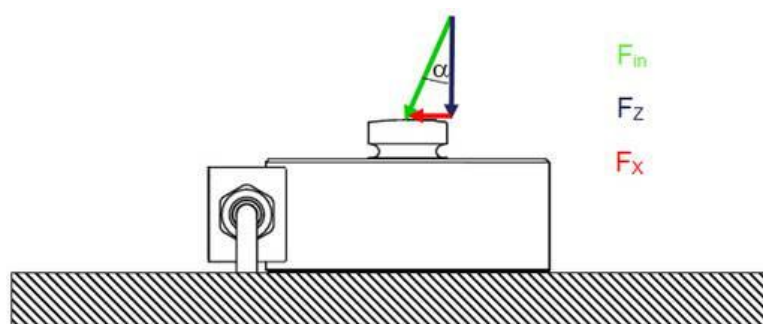


Рисунок 18 – Влияние направления силы на тензодатчик

На рисунке выше измеряемая сила, F_{in} , прикладывается к датчику под углом, обозначенным как α . Вектор силы приложенного усилия затем распределяется на две составляющие F_z и F_x . На датчике измеряется только сила в направлении Z , которая меньше приложенной силы.

Ошибка измерения при приложении усилия под углом до пяти градусов описана в таблице ниже.

Таблица 12 - Ошибка измерения при приложении усилия под углом до пяти градусов

Угол (усилие под углом)	Ошибка измерения
1°	0.015 %
2°	0.06 %
3°	0.14 %
4°	0.24 %
5°	0.38 %

Для сравнения, самая большая индивидуальная ошибка в современных тензодатчиках составляет 0,02%.

Шайбовые тензодатчики силы сконструированы таким образом, чтобы они могли регистрировать силы только в направлении сжатия, они оснащены выпуклым сферическим фитингом для приложения нагрузки. Приложение усилия к сферической поверхности датчика может быть реализовано с помощью вспомогательных элементов приложения нагрузки, которые доступны для многих моделей. К ним относятся, например, упорные детали. Упорный элемент этого типа просто помещается в точку приложения нагрузки

датчика. Необходимо только убедиться, что между опорным элементом и тензодатчиком силы нет никаких посторонних предметов. Упорный элемент может вращаться, а также возможно изменить угол его наклона относительно датчика, таким образом, изгибающие и крутящие моменты не воздействуют на тензодатчик силы.

Если тензодатчик силы установлен без такого упорного элемента, следующие требования должны быть выполнены для компонента, который входит в контакт со сферической поверхностью датчика к которой прилагается усилие:

- *HBM* рекомендует твердость не менее 43 *HRC*;
- заготовка должна быть отшлифована;
- монтаж должен быть выполнен таким образом, чтобы сопрягаемый элемент не отрывался от поверхности приложения нагрузки датчика, и на датчике не возникало ударной нагрузки.

По возможности, сопрягаемый элемент должен вращаться и иметь опорно-поворотное устройство для предотвращения изгибающих и крутящих моментов.

Важно, чтобы поверхность была ровной. Максимально допустимая неровность составляет 0,005 мм. Ровное основание гарантирует, что датчик силы деформируется так, как необходимо для достижения полной точности измерения, заявленной производителем.

Основание, на котором устанавливается датчик силы, должно быть устойчивым к деформации и иметь больший диаметр, чем датчик. Сильно деформирующееся основание, слишком маленькая или неравномерная поверхность при приложении усилия, приведет к деформации, которые не были приняты во внимание при проектировании датчика силы. В этом случае технические данные, относящиеся к чувствительности, линейности и гистерезису, могут измениться.

Существенное требование к основанию на который устанавливается датчик силы: соответствующий размер, ровная поверхность и достаточная жесткость.

2.9 Выбор параметров силовой цепи

Схема силовой цепи универсального мехатронного модуля состоит из таких компонентов, как аккумулятор с выходным напряжением 36В, мотор-колесо, привод поворота и привод клиренса 12В, плата управления мотор-колесом, а также преобразователи напряжения для питания оборудования (платы микроконтроллера, двух приводов и четырех датчиков).

Для подключения выходного сигнала с датчика к плате управления мехатронным модулем необходим также преобразователь 4..20 мА – 0..3,3 В.

Для питания платы микроконтроллера и двух датчиков положения необходимо напряжение 5В. Для питания двух датчиков силы и двух приводов необходимо напряжение 12В. В связи с этим подобраны преобразователи напряжения 36В/5В и 36В/12В компании *OUMEX DCDC-36-5-12*[4].

В связи с тем, что датчики положения и датчики силы имеют токовый выходной сигнал 4-20мА, необходим резистор номиналом 170 Ом для подключения к аналоговому входу микроконтроллера.

Схема электрическая принципиальная силовой цепи представлена в приложении Д.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Общие сведения об исследовании

Данная ВКР предназначена для разработки аппаратной части универсального мехатронного модуля для мобильного робота.

Основным потребителем аппаратной части универсального мехатронного модуля является Отделение мехатроники и робототехники Инженерной школы информационных технологий и робототехники Томского политехнического университета. Результаты ВКР планируется использовать в качестве лабораторных стендов для студентов направления «Мехатроника и робототехника».

3.2 Цели и результаты проекта

Цели проекта связаны с усовершенствованием учебного процесса. Цели и результат проекта представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Цели и результат проекта

Цели проекта	<ul style="list-style-type: none">• Разработать конструкцию 3Д модели универсального мехатронного модуля
Ожидаемые результаты проекта	Успешная разработка аппаратной части универсального мехатронного модуля для мобильного робота
Критерии приемки результата проекта	Успешное тестирование функционала в соответствии с функциональным требованием
Требования к результату проекта	<ul style="list-style-type: none">• 3Д модель соответствует реальному лабораторному стенду• Приводы мехатронного модуля выбраны верно• Датчики выбраны верно

Соответствие целей проекта с фактическими результатами позволит говорить о его успешности.

3.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки. Первый этап анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 14.

Таблица 14 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Универсальность эксплуатации С2. Низкая стоимость производства С3. Использование распространённого программного обеспечения С4. Возможность модернизации продукта пользователем С5. Высокая вариативность эксплуатации	СЛ1. Сложность эксплуатации СЛ2. Энергозависимость
Возможности	В1С1С5 Использование ключевых особенностей разработки для продвижения продукта В2С5С1С2 Привлечение внимания к более дешевому продукту В3С2С3С1С5 Добавление новых функций и возможностей продукту В4С1С2С4С5 Увеличение спроса на продукт за счет его преимуществ	В1СЛ1 Сложность эксплуатации может помешать повышению спроса В2СЛ2 Повышение затрат на электроэнергию может привести к повышению стоимости продукта В3СЛ1 Сложность эксплуатации может помешать дополнительному финансированию В4СЛ1 Сложность эксплуатации может препятствовать распространению проекта на международном рынке
В1 Появление дополнительного спроса на продукт В2 Повышение стоимости конкурентных разработок В3 Получение финансирования В4 Выход на международный рынок		

Продолжение таблицы 14

	Сильные стороны		Слабые стороны	
Угрозы	У1С1С2С5	Преимущества	У1СЛ1	Сложность
У1 Отсутствие спроса	проекта	максимально	применения	может
У2 Появление новых конкурентов	минимизируют	вероятность	способствовать	падению
У3 Снижение стоимости конкурентных разработок	отсутствия спроса		спроса	
У4 Неверная эксплуатация продукта пользователем	У2С1С5	Особенная	У2СЛ2	Новые конкуренты
	универсальность	и	могут предложить	менее
	вариативность проекта	ставят	энергозависимые проекты	
	барьеры для новых конкурентов на рынке		У3СЛ2	Конкуренты могут
	У3С2	Низкая стоимость	придумать	способы
	производства	обеспечит	энергосберегательной	
	наименьший уровень затрат		системы эксплуатации стенда	
	У4С3С4	Для правильной	У4СЛ1	Сложность
	эксплуатации стенда достаточно	пройти обучение, так как	эксплуатации стенда	может
	используется распространенное ПО		способствовать	совершению
			ошибок во время его	применения

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	-	-	-	+
	В2	+	+	*	*	+
	В3	+	+	+	-	+
	В4	+	+	-	+	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2			
	В1	+	-			
	В2	-	+			
	В3	+	-			
	В4	+	-			

Продолжение таблицы 15

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	+
	У2	+	-	-	-	+
	У3	-	+	-	-	-
	У4	-	-	+	+	-
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2			
	У1	+	-			
	У2	-	+			
	У3	-	+			
	У4	+	-			

SWOT-анализ показал сильные (универсальность, цена, возможность усовершенствования) и слабые (сложность эксплуатации, энергозависимость) стороны проекта, а также возможности (получение финансирования, увеличение спроса) и угрозы (появление новых конкурентов, отсутствие спроса) при реализации разработки. Используя данную информацию, можно рассмотреть возможные варианты устранения слабых сторон и минимизации угроз. Устранить слабые стороны и снизить влияние угроз проекта позволит разработка руководства по эксплуатации и поиск методов оптимизации энергопотребления при эксплуатации лабораторного стенда.

3.4 Организация и планирование ОКР (НИР) работ

При организации процесса реализации исследования необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей составляет 2 человека

(степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) предпочтительным является линейный график [23].

В рамках планирования научного проекта необходимо разработать перечень работ и продолжительность их выполнения ВКР, который представлен в таблице 16.

Таблица 16 - Перечень работ и продолжительность их выполнения ВКР

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, С	НР – 100% С – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, С	НР – 30% С – 100%
Разработка календарного плана	НР, С	НР – 100% С – 10%
Обсуждение литературы	НР, С	НР – 30% С – 100%
Написание теоретической части ВКР	НР, С	НР – 10% С – 100%
Разработка конструкции 3Д модели универсального мехатронного модуля	НР, ИС	НР – 100% С – 80%
Расчет и выбор приводов мехатронного модуля	С	С – 100%
Выбор датчиков	С	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	С	С – 100%
Оформление графического материала	С	С – 100%
Подведение итогов	НР, С	НР – 60% С – 100%

3.5 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется экспертным способом. Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ *тож* применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (63)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{max}}{6}, \quad (64)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 16 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (65)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{РД} \cdot T_{к}, \quad (66)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (67)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 109$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 12$).

$$T_K = \frac{366}{366 - 109 - 12} = 1,49.$$

Таблица 17 - Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
Постановка задачи	НР	2	4	2,80	2,80	-	4,17	-
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	2	3	2,40	2,40	0,24	3,58	0,36
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, С	12	15	13,20	3,96	13,20	5,90	19,67
Разработка календарного плана	НР, С	2	4	2,80	2,80	0,28	4,17	0,42
Обсуждение литературы	НР, С	3	6	4,20	1,26	4,20	1,88	6,26
Написание теоретической части ВКР	НР, С	14	30	20,40	2,04	20,40	3,04	30,40
Разработка конструкции 3Д модели универсального мехатронного модуля	НР, С	6	14	9,20	9,20	7,36	13,71	10,97
Расчет и выбор приводов мехатронного модуля	С	6	14	9,20	-	9,20	-	13,71

Продолжение таблицы 17

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
Выбор датчиков	С	3	9	5,40	-	5,40	-	8,05
Оформление расчетно-пояснительной записки	С	6	9	7,20	-	7,20	-	10,73
Оформление графического материала	С	5	6	5,40	-	5,40	-	8,05
Подведение итогов	НР, С	5	8	6,20	3,72	6,20	5,54	9,24
Итого:				88,40	28,18	79,08	41,99	117,83

Длительность выполнения проекта составляет 132 календарных дня, начиная с 01.02.2020 до 12.06.2020. Основной объем работ приходится на инженера.

Для графического представления графика работ по исследованию используется диаграмма Ганта.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График строится в виде таблицы 18 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. В данном случае зеленым цветом отвечена занятость научного руководителя, синим – инженера.

Совместная работа инженера и научного руководителя приходится на начальный этап работ, при составлении технического задания и выбора направления исследований, и на завершающий период при оценке результатов, оформлении ВКР и подготовке к защите. Выполнение основной части работы по проектированию производится инженером.

Таблица 18 - Линейный график работ по написанию ВКР

Этап	НР	С	Февраль				Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
1	4,17	-	■														
2	3,58	0,36		■													
3	5,90	19,67			■	■	■	■									
4	4,17	0,42					■										
5	1,88	6,26						■									
6	3,04	30,40							■	■	■	■	■	■	■	■	
7	13,71	10,97									■	■	■	■	■	■	
8	-	13,71															
9	-	8,05															
10	-	10,73															
11	-	8,05															
12	5,54	9,24															

■ Студент ■ Научный руководитель

3.6 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы [24].

3.6.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение

сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Таблица 19 - Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Канцелярские принадлежности:			
- Ручка шариковая	30	2 шт.	60
- Тетрадь для записей А4 200 стр.	150	1 шт.	150
Бумага для принтера формата А4	190	2 уп.	380
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Всего за материалы:			2140
Транспортно-заготовительные расходы (7%)			150
Итого по статье См:			2290

В данном случае транспортно-заготовительные расходы составляют 7%, следовательно, $S_{\text{мат}} = 2140 * 1,05 = 2290$.

3.6.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя [25].

Среднедневная тарифная заработная плата (ЗПдн-т) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO / 25,083 (19,55), \quad (68)$$

где MO – месячный оклад;

25,083 – среднее число рабочих дней в месяц (для научного руководителя);

19,55 – среднее число рабочих дней в месяц (для инженера).

Таким образом, среднедневная заработная плата руководителя:

$$ЗП_{дн-т} = 33664 / 25,083 = 1342,1 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера:

$$ЗП_{дн-т} = 2650 / 19,55 = 135,5 \text{ руб.}$$

Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{ПР} = 1,1$; $K_{доп.ЗП} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$.

Вышеуказанное значение $K_{доп.ЗП}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{и} = 1,62$.

Таблица 20 - Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,1	42	1,699	95 769, 57
И	2650	135,5	118	1,62	25 902, 18
Итого:					121 671, 8

3.6.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{соц.} = C_{зп} * 0,3. \quad (69)$$

Итак, в нашем случае:

$$C_{\text{соц.}} = 121\,671,8 * 0,3 = 36\,501,53 \text{ руб.}$$

3.6.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об.}} \cdot t_{\text{об.}} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (70)$$

где $P_{\text{об.}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об.}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 6,59 \text{ руб./кВт·час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5 для инженера из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об.}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (71)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В данном случае используются персональный компьютер и струйный принтер.

Для начала найдем время работы ПК при 8-ми часовом рабочем дне:

$$t_{\text{об.пк.}} = 94,9 * 0,9 * 8 = 683,3 \text{ часа.}$$

Для струйного принтера:

$$t_{\text{об.сп.}} = 94,9 * 0,1 * 8 = 75,2 \text{ часа.}$$

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об.}} = P_{\text{ном.}} * K_c, \quad (72)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Номинальная мощность ПК составляет 350 Вт, струйного принтера – 25 Вт.

Определим мощность, потребляемую ПК:

$$P_{\text{об.ПК}} = 350 * 1 = 350 \text{ Вт} = 0,35 \text{ кВт}$$

Мощность, потребляемая СП:

$$P_{\text{об.СП}} = 25 * 1 = 0,025 \text{ кВт.}$$

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 21.

Таблица 21 - Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты $\Delta_{\text{об}}$, руб.
Персональный компьютер <i>HP Pavilion 590-r0022ur</i>	683,3	0,35	1576
Принтер струйный <i>HP Officejet Pro 6230</i>	75,2	0,025	12,4
Итого:			1588,4

3.6.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{\text{ам}} = \frac{N_A * C_{\text{об}} * t_{\text{рф}} * n}{F_d}, \quad (73)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{\text{АМ}}$. в 2020 году для ПК (245 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_{\text{д}} = 245 * 8 = 1960$ часов;

$t_{\text{рф}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для определения $N_{\text{А}}$ следует обратиться к приложению 1, содержащему фрагменты из постановления правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Оно позволяет получить рамочные значения сроков амортизации (полезного использования) оборудования $\equiv C_{\text{А}}$. Например, для ПК это 2 - 3 года. Необходимо задать конкретное значение $C_{\text{А}}$ из указанного интервала, например, 2,5 года. Далее определяется $N_{\text{А}}$ как величина обратная $C_{\text{А}}$, в данном случае это $1 : 2,5 = 0,4$.

Компьютер *HP Pavilion 590-p0022ur*:

- стоимость – 31 990 рублей;
- время использования - 683,3 часа;
- $N_{\text{А}}$ - 0,4;
- $C_{\text{А}}$ – 2,5 года.

Тогда $C_{\text{АМ}}(\text{ПК}) = (0,4 * 31990 * 683,3 * 1) / 1960 = 4460,97$ руб.

Принтер струйный *HP Officejet Pro 6230*:

- стоимость – 6090 рублей;

- время использования - 75,2 часа;

- C_A – 2 года;

- N_A – 0,5;

- $F_d = 500$ часов;

Тогда $C_{AM}(СП) = (0,5*6090*75,2*1)/500 = 457,97$ руб.

Итого начислено амортизации 4 918,94 руб.

3.6.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день. Отметим, что в любых расходах этой группы отсутствуют транспортно-заготовительные составляющие. Не должны учитываться в составе всех статей сметы затраты на проезд от места проживания до места работы и обратно (в том числе и во время пребывания в командировке), считается, что они покрываются заработной платой или оплатой суточных.

Из перечисленных статей расходов в ходе выполнения ВКР инженером были оплачены услуги за пользование интернетом: 12 руб./день. За время выполнения проекта $C_{Ир} = 12*88,4 = 1060,8$ руб.

3.6.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1, \quad (74)$$

Для нашего случая это:

$$C_{\text{проч.}} = (2290 + 121\,671,8 + 36\,501,53 + 1588,4 + 4\,918,94 + 1\,060,8) \cdot 0,1 = 16\,803,15 \text{ руб.}$$

3.6.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 22 - Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	2290
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	121 671,8
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	36 501,53
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1588,4
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	4 918,94
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	1 060,8
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	16 803,15
Итого:		184 834,62

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 184\,834,62$ рубля.

3.6.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может

определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере 5 - 20 % от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 18 483, 46 руб. (10 %) от расходов на разработку проекта [26].

3.6.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(184\ 834,62 + 18\ 483,46) * 0,2 = 203\ 318,08 * 0,2 = 40\ 663,62$ руб.

3.6.11 Цена разработки ОКР (НИР)

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$\text{ЦОКР (НИР)} = 184\ 834,62 + 18\ 483,46 + 40\ 663,62 = 243\ 981,7 \text{ руб.}$$

3.7 Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную, социально-экономическую систему и т.п. (т.н. объекты инвестиций) с целью получения определенного результата в будущем.

Данный проект ВКР имеет локальный эффект, т.к. для НИ ТПУ осуществляются разработка и расчет аппаратной части универсального мехатронного модуля производится в рамках учебного процесса НИ ТПУ.

Определение круга учитываемых при расчете показателей эффективности является одним из исходных пунктов оценки эффективности инвестиций и делается исполнителем по согласованию с руководителем экономической части проекта.

В данном случае, оценка экономического эффекта невозможна в рамках данной работы. Это связано с тем, что результат носит не экономический характер и не подлежит экономической оценки. Результат носит образовательный характер, то есть повышается эффективность образовательного процесса.

4 Социальная ответственность

ВКР направлена на разработку универсального мехатронного модуля для мобильного робота.

Принцип работы данного устройства заключается в том, что мехатронный модуль запускают в помещении. Затем оператор при помощи программирования микроконтроллера контролирует перемещение и запуск двигателей, важных для работы универсального мехатронного модуля. Данный модуль будет включать в себя одноплатный микроконтроллер *STM32*, где будет находиться управляющая программа, мехатронный колесный модуль для передвижения, датчики положения и тензодатчики, аккумуляторные батареи для питания конструкции. Данная система разработана для использования в различных отраслях промышленности, где есть устройства, которым необходима мобильное перемещение, например, шахты, для служб таких как МЧС.

Рабочим местом является лаборатория с компьютером, где будет работать оператор.

В данном разделе выпускной квалификационной работы необходимо проанализировать все вредные и опасные факторы на рабочем месте в соответствии с действующими нормативными документами.

Рабочим местом является аудитория №101 10 корпуса Томского политехнического университета. Аудитория имеет размерность: длина - 6 м, ширина - 5 м, высота - 3,5 м.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Возможно установление неполного рабочего дня для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет) [30]. Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

При работе в ночное время, продолжительность рабочей смены должна составлять на один час меньше. К работе в ночные смены не допускаются беременные женщины; работники, не достигшие возраста 18 лет; женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, инвалиды, работники, имеющие детей-инвалидов, а также работники, осуществляющие уход за больными членами их семей в соответствии с медицинским заключением, матери и отцы – одиночки детей до пяти лет [30].

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться, перерыв не более 2 часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд.

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

В данном разделе рассмотрим основные требования по эргономике рабочего места при выполнении работ сидя. Данные требования регламентируются ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». В ГОСТе указаны такие параметры, как высота сидения, ширина пространства для ног, высота рабочей поверхности для человека, выполняющего работы в сидячем положении.

Предъявляемые требования к расположению и компоновке рабочего места:

Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах (680 – 800) мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм [31].

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПК, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм [31].

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [31].

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400 – 550) мм и углам наклона вперед до 15°, и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки (300 ± 20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах (260 – 400) мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – (50 – 70) мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах (230 ± 30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 – 500) мм [31].

Рабочее место пользователя ПК следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм [31].

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии (100 – 300) мм от края, обращенного к пользователю или на специальной,

регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы [31].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 – 700) мм, но не ближе 500 мм [31].

Рекомендуется работать в помещении, где окна выходят на север или северо-восток. Местное освещение не должно создавать блики на поверхности экрана дисплея. Чистота обязательна при работе за компьютером. Влажную уборку помещения следует проводить ежедневно. Недопустима запыленность воздуха, пола, рабочей поверхности стола и техники. Помещение должно быть оборудовано системами вентиляции, кондиционирования и отопления.

4.2 Профессиональная социальная безопасность.

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.

К вредным факторам, которые может создать объект исследования, относятся:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень электромагнитных излучений.

К опасным факторам, которые может создать объект исследования, относятся:

- электробезопасность;
- пожаровзрывобезопасность.

4.2.1.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Люди, которым приходится работать в условиях длительного шума, обычно имеют головные боли, раздражительность, сталкиваются со снижением памяти, повышенной утомляемостью, также у многих понижен аппетит, есть боли в ушах и т. д. Перечисленные факты снижают производительность, работоспособность человека, а также качество труда.

Шумовой фон помещения создают десять одновременно работающих компьютеров. Также возникает шум, исходящий от принтера или телефонных аппаратов. Также источником шума является система вентиляции или шумы, поступающие извне помещения. Во избежание негативных последствий от производственного шума, его необходимо регулировать в соответствие с нормами, которые указаны в СанПиН 2.2.4.3359-16. Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах, является 80 дБА [32].

Для уменьшения воздействий шума можно использовать следующие методы, согласно СНиП 23-03-2003 [56]:

- экранирование рабочих мест, то есть установка перегородок между рабочими местами;
- установка оборудования, производящего минимальный шум.

Для снижения уровня шума, производимого персональными компьютерами, рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применять звукопоглощающие материалы.

4.2.1.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электромагнитное излучение представляет собой вид энергии, состоящий из электромагнитных волн, возбуждаемых различными излучающими объектами, такими как атомы, молекулы, заряженные частицы.

Электромагнитные волны создаются за счет электрических и магнитных вибраций, возникающих в атомах. Скорость распространения волн через различные виды материалов отличается. Примерами излучения являются радиоволны, инфракрасные, ультрафиолетовые лучи, свет [32].

Источником электромагнитного излучения в лаборатории является робот для построения карты местности, а именно его собственный компьютер с *Wi-Fi* модулем.

Энергетической причиной нарушения здоровья людей в зонах с повышенной интенсивностью электромагнитных излучений является устойчивое изменение характеристик биополей человека под воздействием различных излучений. От такого воздействия органы человека изменяют свои параметры функционирования.

Механизмы здорового организма способны устранить образовавшиеся изменения энергетических полей или молекулярной структуры организма после выхода из зоны излучения. Но при длительном пребывании в помещениях с повышенным уровнем излучений такие изменения накапливаются, приобретая болезненный характер.

Предельно допустимые нормы (ПДУ) воздействия ЭМИ РЧ на человека в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 приведены в таблице 23.

Таблица 23 - ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 [33]

Параметры	ЭЭ _{ПДУ} в диапазонах частот, МГц				
	0,03- 3,0	3,0- 30,0	30,0- 50,0	50,0- 300,0	300,0- 300000,0
ЭЭ _Е , (В/м) ·ч	20000	7000	800	800	-
ЭЭ _Е , (А/м) ·ч	200	-	0,72	-	-
ЭЭ _{ППЭ} (мкВт/см) ·ч	-	-	-	-	200

4.2.1.3 Электробезопасность

Опасность поражения электрическим током есть всегда при использовании электрического оборудования. Для того чтобы исключить электрическое поражение нужно исключить причины, к которым относят:

- появление напряжения на частях оборудования из-за повреждения изоляции;
- прикосновения к незащищенным участкам работа;
- возникновение напряжения на опорной поверхности или земле;
- большое количество фильтров и удлинителей [34].

4.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

К вредным и опасным факторам, которые могут возникнуть при проведении исследований, относятся следующие:

- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- нервно-психические перегрузки;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- перенапряжение зрительных анализаторов;
- отклонение показателей микроклимата;
- электробезопасность.

4.2.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение влияет на зрительный аппарат, а именно формирует зрительную работоспособность человека, также влияет на эмоциональное состояние, психику, вызывает усталость нервной системы,

которая возникает из-за усилий, расходуемых на опознание сигналов и контуров различных предметов.

Рабочим местом является компьютерная аудитория, где проводятся исследования, поэтому разрядом рассматриваемой зрительной работы будет А-2 в соответствии со СНиП 23-05-95.

Требования к освещению для таких помещений приведены в таблице 24.

Таблица 24 -Требования к освещению в соответствии со СНиП 23-05-95 [35]

Характеристика зрительной работы		Точность	
Наименьший или эквивалентный размер объекта различия, мм		от 0,15 до 0,30	
Разряд зрительной работы		А	
Под разряд зрительной работы		2	
Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %		менее 70	
Искусственное освещение	освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	400	
	цилиндрическая освещенность, лк	100	
	показатель дискомфорта М	40-15**	
	коэффициент пульсации освещенности Кп, %	10	
Естественное освещение	КЕО	верхнем или	3,5
	e_n , %, при в	комбинированном боковом	

При работе за компьютером основное значение имеет освещение рабочего места, и кабинета в целом. Освещение рабочего места, это один из основных условий для формирования благоприятных и безопасных условий

труда, влияющие на настрой сотрудника, самочувствие и эффективность деятельности.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в административно – общественных помещениях, преимущественно работы с документацией предусмотрена комбинированная система освещения. Освещенность в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк [36].

Согласно нормативным значениям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) [36].

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в офисных помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол, оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. В соответствии с размером аудитории (длина $A = 6$ м, ширина $B = 5$ м, высота = 3,5 м), в ней размещены 4 светильника типа *PTF/R*. В каждом светильнике установлено 4 люминесцентных лампы типа Т5.

Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,8$ м. Произведем расчет имеющегося освещения аудитории

Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы [55].

Площадь помещения определяется по следующей формуле:

$$S = A \times B, \quad (75)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 6 \times 5 = 30 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения поверхности стен $\rho_C=50\%$ (свежепобеленные с окнами без штор), потолка $\rho_{II}=70\%$ (свежепобеленный) [28]. Коэффициент запаса с нормальным условиям среды $K_3 = 1,2$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z= 1,1$ [55].

Как известно, светильник типа *PTF/R* имеет следующую размерность:

- длина светильника = 575 мм;
- ширина = 575 мм.

Люминесцентные лампы дневного света Т5 имеют следующие параметры:

- световой поток ФЛД = 1660 лм;
- мощность 28 Вт [55].

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,15$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле [26]:

$$h = H - h_n - h_p, \quad (76)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса;

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для светильников *PTF/R*: $H = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется [55]:

$$h = 3,5 - 0,8 - 0,15 = 2,55 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле [55]:

$$L = \lambda \cdot h, \quad (77)$$

где λ - оптимальное расположение светильников;

h - высота светильников над рабочей поверхностью.

$$L = 1,1 \cdot 2,55 = 2,8 \approx 3 \text{ м.}$$

Число рядов светильников в помещении [55]:

$$Nb = \frac{B}{L}, \quad (78)$$

где B - ширина, м;

L - расстояние между соседними светильниками.

$$Nb = \frac{5}{3} = 1,6 \approx 2.$$

Число светильников в ряду [26]:

$$Na = \frac{A}{L}, \quad (79)$$

где A - длина, м.

$$Na = \frac{6}{3} = 2.$$

Общее число светильников [55]:

$$N = Na \cdot Nb, \quad (80)$$

$$N = 2 \cdot 2 = 4$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле [55]:

$$l = \frac{L}{3}, \quad (81)$$

$$l = \frac{3}{3} = 1.$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 19 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

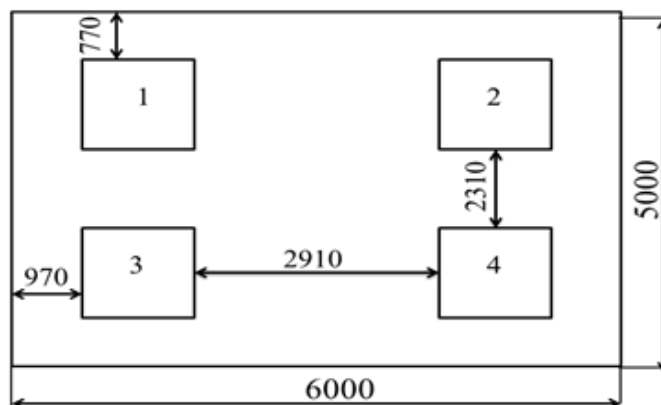


Рисунок 19 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле [55]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)}, \quad (82)$$

$$i = \frac{6 \cdot 5}{2,55 \cdot (6+5)} = 1,06.$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа *PTF/R* с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,06$ равен $\eta = 0,6$ [55].

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (83)$$

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{300 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,6} = 1444 \text{ лм.}$$

Делаем проверку выполнения условия [26]:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (84)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{1660 - 1444}{1660} \cdot 100\% = 13\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 13\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона, то есть система освещения в рабочей аудитории соответствует нормам СНиП 23-05-95.

4.2.2.2 Нервно-психические перегрузки

Среди причин, ведущих к тяжелым заболеваниям, нужно указать на нервные перегрузки, отрицательные психологические раздражители. Перегрузки возникают при неравномерном распределении времени при работе и отдыхе. Это приводит к утомлению, что является реакцией организма на физические и нервно-психические перегрузки. Вследствие накопления усталости постепенно развивается переутомление, что относится к состоянию

предболезни. Если не принять мер по снижению нагрузок, то последствия выразятся в развитии профессионального или производственно-обусловленного заболевания в связи со снижением сопротивляемости организма.

4.2.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

На данном этапе работ опасность представляет персональный компьютер с монитором.

Электромагнитное излучение персонального компьютера является опасным ввиду ряда причин [33]:

- у ПК есть 2 источника излучения: системный блок и монитор компьютера.
- оператор компьютера чаще всего находится на небезопасном расстоянии от ПК.
- в настоящее время люди подвергаются длительному влиянию ПК при норме в 6 часов день по официальным нормам.

Также существуют обстоятельства, которые ухудшают ситуацию, например, большое количество компьютеров в одном помещении, недостаточную вентиляцию воздуха.

Нормы напряженности электромагнитного поля согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 приведены в таблице 25 [36].

Таблица 25 - Нормы напряженности поля

Наименование параметров		Допустимые значения
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 Гц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 Гц – 400 кГц	25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал		500

4.2.2.4 Перенапряжение зрительных анализаторов

При работе за ПК оператор читает текст в прямом свете, его глаза смотрят на источник света.

При работе за дисплеем возникает следующая проблема: экран имеет высокую фоновую яркость, при ее понижении уменьшается контрастность изображения, что создает проблему для считывания информации. Поэтому пользователю приходится повышать яркость, что приводит к увеличению интенсивности вредных излучений и к утомлению глаз.

В настоящее время при работе за ПК визуальные параметры мониторов оказывают большую нагрузку на зрительные анализаторы, а именно на мышцы глаз. В результате чего мозгу сложно идентифицировать изображение.

В связи с этим параметры безопасности компьютерной техники указаны в соответствующих нормативных документах.

После длительной нагрузки необходим период восстановления и отдыха. Если полного восстановления возможностей зрительного аппарата не происходит, то в детском и юношеском возрасте зрительная усталость приводит к нарушениям в аккомодационном механизме глаза, а в дальнейшем – к близорукости. В зрелом возрасте создаются предпосылки к развитию хронических глазных заболеваний [37].

4.2.2.5 Отклонение показателей микроклимата

К числу показателей микроклимата, которые измеряют для его оценки, относятся следующие:

- скорость движения воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- температура поверхностей;
- температура воздуха;
- интенсивность теплового облучения [38].

При оценке показателей учитывается время года (холодный период года или теплый), во время которого проводится работа. Также важна интенсивность работы.

Показатели микроклимата приведены в таблицах 26 и 27 [39].

Таблица 26 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

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

Таблица 27 - Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	20-25	19-26	15-75	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21-28	20-29	15-75	0,1

Работа оператора ПК относится к категории Ia, поскольку работа связана с минимальными физическими нагрузками. Также нужно учитывать нормы подачи свежего воздуха в помещении с ПК (таблица 28)

Таблица 28 - Нормы подачи свежего воздуха в помещении с ПК [40]

Объем помещения, м ³	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ /на одного человека в час
До 20	Не менее 30
20-40	Не менее 20
Более 40	Естественная вентиляция

4.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Чтобы обезопасить разработчика от воздействия вредных факторов, необходимо придерживаться определенных правил. Рассмотрим их.

4.2.3.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

В данном разделе необходимо рассмотреть, какие меры необходимо предпринять, чтобы уменьшить вред, причиняемый отсутствием или недостатком естественного освещения.

При недостатке на рабочем месте естественного освещения и оценке естественного освещения классом 3.1 можно выполнить следующие мероприятия:

- сделать ремонт для создания более светлого помещения и изменить после этого параметры КЕО;
- передвинуть рабочие места из зон с недостаточным естественным освещением в зоны с достаточным освещением, если таковые имеются;
- обеспечить снос зеленых насаждений в случае, если нехватка естественного освещения связана с ними;

- проанализировать, насколько окна загрязнены, ликвидировать загрязнения и измерить показатели КЕО;

- обеспечить лучшие условия при помощи искусственного освещения;

- обеспечить защиту временем, то есть обеспечивать перерывы в работе [41].

Решение о проведении каких-либо мероприятий принимается после оценки ситуации, затем эти меры вносятся в план работ.

4.2.3.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Исследования на рабочих местах показывают, что, если проводить мероприятия по ограничению уровня шума на рабочих местах, сотрудники меньше устают, реже становятся раздражёнными, лучше спят ночью, у них реже развиваются болезни, вызванные усталостью.

Для того чтобы защитить работников от шума, нужно использовать индивидуальные средства защиты — противозумные наушники или вкладыши (ГОСТ 15762—70). Для защиты от высокочастотного шума эффективны наушники ВЦНИИОТ-2, наушники ПН-2К, также вкладыши «Беруши»[42].

Ухудшение слуха из-за регулярного воздействия шума необратимо. Поэтому очень важно не допускать вреда здоровью и также регулярно проходить медицинский осмотр. Определить уровень шума можно с помощью специального прибора. Есть и менее точный, зато более простой способ: если человек не может услышать другого, который не кричит и находится в двух метрах от него, то уровень шума угрожающий. Если на работника влияет шум более 75 дБ, то нужно носить противозумные наушники либо беруши (они убирают до 25 дБ) или хотя бы иногда уходить от шума. Зачастую даже 10-минутный перерыв поможет восстановлению. Однако после 2 часов, проведённых при 100 дБ, нужен 16-часовой отдых. Если громкий звук вызывает боль, необходимо немедленно уйти от источника [43].

4.2.3.3 Нервно-психические перегрузки

Решением данной проблемы является предоставление перерыва для отдыха и питания в течение рабочего процесса, которые длятся не более двух часов и не менее 30 минут. Продолжительность перерыва и время его предоставления прописаны в статье 108 ТК РФ [44].

4.2.3.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

4.2.3.4.1 Защита от воздействия статического электричества

Необходимо заземление металлических электропроводных элементов оборудования, установка нейтрализаторов статического электричества (индукционных, высоковольтных, жидких и др.), увеличения поверхностей и объемной проводимости диэлектриков, что приводит к уменьшению генерации электростатических зарядов или их отвод с наэлектризованного материала. Этот метод считается одним из распространенных средств защиты от статического электричества [40].

Для эффективной защиты также нужно обеспечить увеличение относительной влажности воздуха до 65-75 %, когда это возможно по условиям технологического процесса.

Антистатическую обувь, антистатический халат, заземляющие браслеты применяют обычно в качестве индивидуальной защиты.

4.2.3.4.2 Защита от воздействия электромагнитных полей промышленной частоты

Для защиты людей от воздействия электромагнитных полей промышленной частоты предусматриваются санитарно-защитные зоны. Необходимо обеспечить удаление линии электропередач не менее чем на 250-300 метров от границы населенного пункта при проектировании воздушных линий электропередачи напряжением 750-1110 кВ [45].

Съемные экраны и стационарные экраны, являющиеся заземленными металлическими конструкциями (системы тросов, козырьки, щитки, навесы) являются средствами коллективной защиты для обслуживающего персонала.

В качестве средств индивидуальной защиты от электромагнитных полей промышленной частоты служат индивидуальные экранирующие комплекты.

4.2.3.5 Перенапряжение зрительных анализаторов

Чтобы уменьшить перенапряжения зрительных анализаторов, необходимо придерживаться правил работы за компьютером [46]:

- необходимо обеспечить себе равномерное и достаточное освещение в помещении.
- дополнительные источники освещения должны быть направлены не на монитор и не в глаза.
- правильное расположение клавиатуры – 65-70 см от пола.
- необходимо расположить монитор на 15-20 см ниже горизонтальной линии зрения.
- расстояние от глаз до монитора не менее 50 и не более 70 см.
- при работе стопы должны твердо стоять на полу, а коленные - согнуты под углом около 90 градусов.
- угол между сиденьем и креслом должен быть 95-100 градусов.

Периодически необходимо расслаблять аккомодационные мышцы, настраивая глаз на дальнюю точку лучшего видения. Во время рабочего дня за компьютером следует каждые 20 минут делать 20 секундные перерывы и смотреть вдаль на расстоянии 6 метров [46].

Для профилактики компьютерного зрительного синдрома (КЗС) лицам, работающим с компьютером 6-8 часов в день, необходимо проводить курс терапевтических гигиенических процедур каждый день. Он включает очищение краев век и самомассаж век с помощью блефарогеля и теплых компрессов с блефаролосьоном [46].

4.2.3.6 Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения необходимых параметров микроклимата помещение нужно оснастить системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

4.2.3.7 Электробезопасность

Лабораторию, где проводятся исследования, в соответствии с классификацией помещений по опасности поражения электрическим током можно отнести к 1 группе «Помещение без повышенной опасности». Согласно требованиям «Правил устройства электроустановок» [47], помещение должно быть оборудовано следующим образом:

- на распределительном щитке должен находиться рубильник, чтобы отключить всю сеть электропитания;
- во всех приборах должны быть предохранители для защиты от перегрузок в общей сети питания.

Согласно «Правилам эксплуатации электроустановок потребителей» [48] необходимо проведение следующих мероприятий:

- запретить использование неисправных приборов;
- необходимо наличие изоляции на всех токоведущих проводниках;
- при проведении работ с включенными приборами соблюдать технику безопасности;
- для подключения приборов должны быть использованы только стандартные электрические разъемы;
- применение заземления, зануления или устройства защитного отключения (УЗО).

4.2.3.8 Пожаровзрывобезопасность

В соответствии с СП 12.13130.2009 (Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности) лабораторию, где проводятся исследования, можно отнести к категории Д (пониженная пожароопасность).

Пожарная безопасность и взрывобезопасность оборудования обеспечивается следующими способами:

- исключением образования внутри аппаратов и оборудования горючей среды;
- применением режимов эксплуатации оборудования;
- применением оборудования, рассчитанного на давление взрыва;
- применением средств пожаротушения и взрывоподавления;
- обеспечением проезда к зданию [49].

Нужно соблюдать противопожарные правила, нормы при установке электропроводов, оборудования, освещения и т.д. Также необходимо правильно эксплуатировать оборудование, проводить противопожарный инструктаж, обучать людей правилам пожарной безопасности, обеспечить наличие плана эвакуации и инструкций.

В соответствии с постановлением правительства от 25 апреля 2012 г. №390 «О противопожарном режиме» помещение также должно быть оснащено средствами первичного пожаротушения. Поскольку в лаборатории расположены компьютеры и мелкая электроника, то ее следует оснастить углекислотными огнетушителями.

Для тушения пожаров в помещении необходимо установить углекислотный огнетушитель типа ОУ-5. Покидать помещение необходимо согласно плану эвакуации, на рисунке 20.

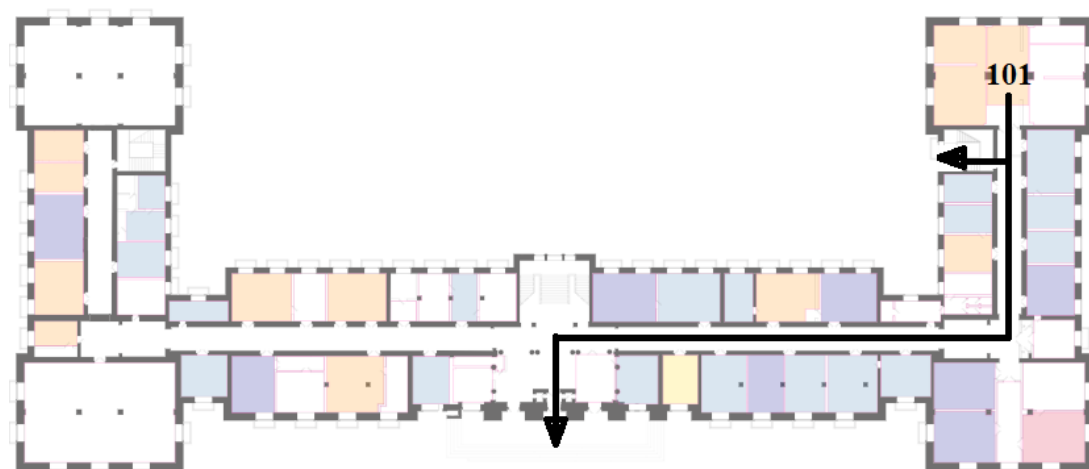


Рисунок 20 - План эвакуации при пожаре и других ЧС

4.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность представляет собой состояние защищенности биосферы и человеческого общества, а на государственном уровне – государства от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на ОС. Также данное понятие включает в себя систему регулирования и управления, которая позволяет прогнозировать, не допускать и ликвидировать развитие чрезвычайных ситуаций [50].

4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Технологические процессы всегда сопровождаются образованием различного вида отходов, после чего те поступают в окружающую среду.

Объектом исследования является мехатронный модуль для мобильного робота. Фактором, влияющим на окружающую среду, в настоящий момент можно выделить воздействие электромагнитных излучений. Но уровень воздействия меньше, чем, например, у стационарного ПК, потому что у модуля на борту одноплатный компьютер и три двигателя постоянного тока низкой мощностью, поэтому можно говорить о том, что робот не оказывает значительного влияния на окружающую среду и оператора, ведь ему нет необходимости находиться постоянно рядом с ним.

4.3.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования

Мехатронный модуль для мобильного робота, как и любое устройство такого рода, проходит следующий «жизненный цикл»: разработка, эксплуатация, утилизация. Как было выше отмечено, в процессе эксплуатации не происходит значительного воздействия на окружающую среду в отличие от последнего этапа. Необходимо утилизировать компоненты правильно, чтобы избежать загрязнений.

Процесс утилизации робота будет аналогичен процессу утилизации компьютерной техники.

Изначально необходимо составить акт списания. Если техника не подлежит ремонту и эксплуатации, это подтвердит технический осмотр и выведенное на основании его результатов экспертное заключение. Затем техника будет разобрана на мелкие компоненты. После происходит переработка. Она производится для того, чтобы полученные в ходе нее черные металлы и цветные металлы снова стали сырьем, как и пластик, прошедший перед этим сортировку по видам и по цветам. Утилизация вычислительной

техники также имеет еще 1 особенность – в составе такой техники находится много драгоценных металлов. Поэтому по закону утилизацией оргтехники должна осуществляться компанией, имеющей сертификат Пробирной Палаты [50].

4.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Утилизация электронного оборудования нужна, чтобы уберечь окружающую среду от загрязнений. Только таким образом можно избавиться от постоянно растущих свалок техники. А она может содержать такие материалы, как металлические детали и пластик, которые трудно поддаются процессу разложения. Некоторые элементы техники, в частности аккумуляторы, содержат опасные химические соединения. В связи с этим необходимо знать, что утилизация оборудования – это обязательная процедура. Также нужно помнить, что за загрязнение окружающей среды полагаются штрафы. Они регламентируются федеральным законом об охране окружающей среды №7-ФЗ [51].

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) представляет собой состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории (акватории) нарушаются нормальные условия жизнедеятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде [23].

Одна из классификаций ЧС приведена в таблице 29.

Таблица 29 - Классификация ЧС в зависимости от источников их возникновения и поражаемых объектов

Источник	Объект (реципиент)		
	Природный	Социальный	Техногенный
Природный	Природные	Природно-социальные	Природно-техногенные
Техногенный	Техноприродные	Техносоциальные	Техногенные
Социальный	Социоприродные	Социальные	Социотехногенные

4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Поскольку мехатронный модуль способен на данный момент крутить колесо только на одном месте, то природных ЧС не произойдет. Поэтому в соответствии с классификацией объект исследований может инициировать следующие виды чрезвычайных ситуаций. В процессе эксплуатации мехатронного модуля могут возникать аварии, которые приведут к воспламенению. Это может нанести вред как зданию, где находится оборудование и имущество, так и человеку, который будет находиться в этом здании. Поэтому данный фактор можно отнести и к техносоциальным, и к техногенным ЧС.

Техносоциальные ЧС – это ЧС, источником возникновения которой служат техногенные причины, которые наносят ущерб социальной системе [52].

Техногенные ЧС – это ЧС, источником возникновения которых служит техногенное явление, которое наносит вред техногенному объекту [52].

4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

В процессе исследований также можно исключить природные ЧС, так как исследования проводятся в лабораторных условиях, то есть в помещении. Возможные аварии являются могут быть не только связаны со скачком напряжения, например, но и с ошибкой при проектировании. Тогда ЧС будет социотехногенной, потому что причиной ЧС будет человек, а пострадает помещение, оборудование и т.д.

Социотехногенными ЧС – это ЧС, причиной которых служит человек, его поведение, что оказывает воздействие на различные техногенные объекты [52].

4.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций нужно заблаговременно проводить мероприятия по их предупреждению. Эти мероприятия ведут к снижению возможности для возникновения ЧС и их масштабов. Эти мероприятия базируются на:

- прогнозировании угроз, опасности возникновения ЧС различного характера, в частности природного и техногенного, и возможных последствий воздействия на людей, материальные объекты и окружающую среду;
- мониторинге потенциально опасных объектов, окружающей среды, диагностике состояния сооружений и зданий [53].

Предварительные меры по уменьшению вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций делятся на такие направления:

- снижение разрастания опасного явления до ЧС;
- снижение возможной частоты событий, которые могут стать ЧС.

Снижение частоты событий, инициирующих ЧС, необходимо предпринять следующие действия:

- бороться с терроризмом и преступностью;
- проводить профилактические работы по возникновению аварий (техническое обслуживание, планово-предупредительные ремонты, диагностика оборудования);
- осуществлять предупреждение опасных природных явлений;
- разбивать территории на районы, чтобы определить оптимальное расположение объектов, в том числе и потенциально опасных.

Также необходимо предпринять меры по снижению возможностей для того, чтобы опасное явление стало чрезвычайной ситуацией, такие как:

- обеспечить эффективность систем безопасности;
- обеспечить физическую устойчивость сооружений и зданий;
- уменьшить уровень уязвимостей объектов к воздействию негативных факторов опасных явлений природного и техногенного рода;
- обеспечить снижение уровня нагрузок и защищенности объектов;
- обеспечить защиту от экстремальных социальных явлений путем проведения инструктажей для персонала;
- создать инженерную защиту от опасных явлений [54].

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе выполнения раздела были выявлены и проанализированы вредные и опасные факторы. Для них были установлены средства, которые 83 помогают защитить человека, который находится в данном помещении, от выявленных вредных и опасных факторов.

Аналізу были подвергнуто влияние работы на рабочем месте на окружающую среду. Установлено, что после работы остаются отходы при выходе из строя ПК и при пайке, которые при неправильной утилизации будут влиять на литосферу и атмосферу Земли. Выявлено, что отходы утилизируются согласно ГОСТ.

Кроме того, исследовались правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

В итоге, установлено, что рабочее место соответствует ГОСТ по защищённости от вредных и опасных факторов, при работе соблюдаются правила по утилизации полученных отходов. Так же она соответствует правовым нормам и имеет соответствующую компоновку рабочей зоны.

Заключение

В рамках данной магистерской диссертации был разработан универсальный мехатронный модуль для мобильного робота. Он способен работать в помещениях с небольшими неровностями пола. Также он может управлять высотой дорожного просвета (клиренс) и поворотом мотор-колеса и производить их мониторинг.

Универсальный мехатронный модуль может быть использован в сферах, где работает множество роботов. Преимущество использования такого устройства заключается в том, что можно использовать различные вариации функциональных возможностей такого модуля.

В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи:

- разработана 3Д модель конструкции универсального мехатронного модуля;
- рассчитана мощность и выбрано мотор-колесо;
- произведены расчет и выбор привода клиренса и привода поворота колеса;
- определена емкость аккумулятора для мехатронного модуля;
- подобран по параметрам блок управления мотор-колеса;
- выбраны датчики положения клиренса и поворота;
- разработана силовая схема мехатронного модуля.

В дальнейшем будут вестись работы в следующих направлениях:

- модернизировать платформу и алгоритмы передвижения, чтобы вывести робота на пересеченную местность;
- разработать более прочные корпусные детали для герметизации, чтобы никакие вредные факторы не смогли оказать действия на электронику.

Планируется опробовать данный мобильный робот с универсальными мехатронными модулями в области ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций совместно с другими роботами.

Список публикаций

1. Куанышев С.С. Разработка автономной мобильной тележки с гусеничным двигателем // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 17–20 февраля 2020 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. –С. 234-235;

Список используемых источников

1. Юревич Е.И. «Основы робототехники». - 2-е изд., перераб. и доп. - Спб.: БХВ-Петербург, 2016. - 416 с.;
2. Андреев А. С., Перегудова О. А. Об управлении движением колёсного мобильного робота // Прикладная математика и механика. — 2015. — Т. 79, № 4. — С. 451—462.
3. Охоцимский Д. Е., Мартыненко Ю. Г. Новые задачи динамики и управления движением мобильных колёсных роботов // Успехи механики. — 2003. — Т. 2, № 1. — С. 3—47.
4. М.А. Босинзон. Автоматизированные мехатронные модули линейных и вращательных перемещений. / Журнал «Приводная техника» №1,2002. с10-19.
5. Введение в мехатронику: Учебное пособие/ А.К. Тугенгольд, И.В. Богуславский, Е.А. Лукьянов и др. Под ред. А.К. Тугенгольда. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ,1999, с 4-23.
6. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Совлуков. — Москва: Техносфера, 2012. — 624 с.
7. Г. Виглеб. Датчики. Устройство и применение. Москва. Издательство «Мир», 1989
8. Современные датчики. Справочник. ДЖ. ФРАЙДЕН Перевод с английского Ю. А. Заболотной под редакцией Е. Л. Свинцова ТЕХНОСФЕРА Москва Техносфера-2005
9. *Direct Industry*/Как правильно выбрать датчики. Режим доступа: <http://guide.directindustry.com/ru/kak-pravilno-vybrat-datchik-polozheniya/>. Дата обращения: 10.05.20.
10. ГОСТ Р 51086-97 Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения. раздел 3 «Термины и определения».

11. САПР и графика. Выбор оптимального САПР для задач машиностроения. Режим доступа: <https://sapr.ru/article/8031> . Дата обращения: 09.03.2020;
12. *Autodesk / Inventor*. Режим доступа: <https://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional>. Дата обращения: 18.12.2019;
13. *Autodesk_Inventor / Википедия*. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor . Дата обращения: 20.12.2019;
14. ПЕРЕДАЧА ВИНТ – ГАЙКА: учебное пособие / сост. В. О. Варганов, М.В. Аввакумов, М. В. Колычев, В.М. Гребенникова, В. А. Романов; СПб ГТУРП. – СПб., 2015. – 57 с.
15. РАСЧЕТ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ: методическое указание / сост. Аввакумов, А.Б. Коновалов; СПб ГТУРП. – СПб., 2012. – 37 с.
16. Бельков, В.Н. Б44 Основы расчёта и конструирования винтовых механизмов: учеб. пособие / В. Н. Бельков. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 160 с.
17. Мирошниченко, А.Н. Основы теории автомобиля и трактора [Текст] : учебное пособие / А.Н. Мирошниченко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 490 с.
18. Перышкин А.В. Решебник по Физике 7 класс : Учебник. – М.: «Дрофа», 2016. – 235 с.;
19. Шепелев А. О., Артамонова Е. Ю. Расчет емкости аккумуляторных батарей // Молодой ученый. — 2016. — №17. — С. 99-101.
20. Бесщеточный серводрайвер /BLD-300В. Режим доступа: <https://m.darxton.ru/files/pdf/servo/BLD-300B.pdf>. Дата обращения: 20.12.2019;
21. *Go wheel / Аккумулятор LG INR18650MJ1*. Режим доступа: https://gowheel.ru/akkumuljatory-36v-elektrosamokat/akb_36v_9ah_xiaomi_mijia/ (дата обращения – 15.01.2020);

22. Алиэкспресс / Электродвигатель *KUN RAY*. Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/32922118708.html?spm=searchweb201603_5_3 (дата обращения – 10.01.2020).

23. Кнышова Е. Н. Экономика организации: учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.

24. Бочаров В. В. Инвестиции: учебник для вузов / В. В. Бочаров. – 2-е изд. – СПб: Питер, 2009. – 381 с. – Учебник для вузов.

25. Староверова Г. С. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Г. С. Староверова, А. Ю. Медведев, И. В. Сорокина. – 2-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2009. – 312 с

26. Несветаев Ю. А. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Ю. А. Несветаев; Московский Государственный индустриальный университет; Институт дистанционного образования. – 3-е изд., стер. – Москва: Изд-во МГИУ, 2006. – 162 с.

27. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах: учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 192 с.

28. Голосовский С. И. Эффективность научных исследований в промышленности / С. И. Голосовский. – Москва: Экономика, 1986. – 159 с.

29. Мигуренко Р. А. Научно-исследовательская работа: учебно-методическое пособие / Р. А. Мигуренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 184 с.

30. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 1.04.2019)

31. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

32. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности
33. Статья 108 ТК РФ «Перерывы для отдыха и питания»
34. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ «Электробезопасность»
35. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"
36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
37. Определение допустимой зрительной нагрузки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://www.medoptika.ru/menu-articles-vis/187-article-about-vis-5.htm> (дата обращения - 20.03.2020);
38. Микроклимат на рабочем месте: как удержать ситуацию под контролем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.ippnou.ru/print/003440/> (дата обращения - 20.03.2020);
39. СанПиН 2.2.4-548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
40. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2786/ (дата обращения - 20.03.2020);
41. Мероприятия по улучшению условий труда по фактору световая среда. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://edu.trudcontrol.ru/~3d/item/paxlJuqG> (дата обращения - 20.03.2020);
42. Повышенный уровень шума. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://iitu.ru/04/07/povishennij-urovenshuma/> (дата обращения - 20.03.2020);
43. Шум, как вредный производственный фактор. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс:

<https://profmedlab.ru/profosmotr/shum-vrednyj-proizvodstvennyj-faktor/> (дата обращения - 20.03.2020);

44. Статья 108 ТК РФ «Перерывы для отдыха и питания»

45. Защита от воздействия электромагнитных полей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://websot.jimdo.com/обучение/учебный-курс/защита-от-воздействияэлектромагнитных-полей/> (дата обращения - 20.03.2020);

46. Предупреждение перенапряжения зрительных анализаторов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.rmj.ru/articles/oftalmologiya/kompyuternyy-zritelnyy-sindrom-vpraktike-vracha-oftalmologa/> (дата обращения - 20.03.2020);

47. Приказ Минэнерго РФ от 20.06.2003 № 242 «Об утверждении глав Правил устройства электроустановок». [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91517/ (дата обращения - 20.03.2020);

48. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2786/ (дата обращения - 20.03.2020);

49. Способы обеспечения пожаровзрывобезопасности оборудования и технологических процессов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://fireman.ru/bd/gost/12-1-041/12-1-041-4.htm> (дата обращения - 20.03.2020);

50. Процесс утилизации оборудования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: 92 <http://33.utilizaciya.com/component/content/article/37-2010-06-25-11-04-04/62-2010-07-04-13-11-51/> (дата обращения - 20.03.2020);

51. Утилизация оборудования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс:

<http://28.utilizaciya.com/component/content/article/37-2010-07-04-09-27-46/51-2010-07-04-09-30-57/> (дата обращения - 20.03.2020);

52. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/1200139176> (дата обращения - 20.03.2020);

53. Мероприятия по предупреждению ЧС и повышению уровня защиты. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: https://www.msu.ru/info/struct/gochs-mgu/docs/zashita_i_deistviya_v_chs.pdf (дата обращения - 20.03.2020);

54. Основные мероприятия по предупреждению и ликвидации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://biofile.ru/bio/10661.html> (дата обращения - 20.03.2020);

55. СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение»

56. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – М.: Госстрой России, 2004. – 34 с

57. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Издво Томского политехнического университета, 2009. — 101 с

Приложение А

(обязательное)

Раздел 1.1

The essence of mechatronics and mechatronic modules

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM81	Куанышев Сункар Суиндыкович		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Горбатова Т.Н.	Старший преподаватель		

The essence of mechatronics and mechatronic modules

The rapid development of microelectronics in the late XX - early XXI centuries largely determined the progress in many fields of science and technology. The role of informatics and computer technology has significantly increased. This determined the intensive improvement of the motion control systems of various mechanisms. In addition, the widespread use of digital control systems made it possible to implement more complex, “intellectual” control algorithms, in particular, with adaptation to changing parameters of the control object and working conditions. On this basis scientists could improve the systems of controlled electric drive, which is currently the main means of driving the majority of machines and technological installations. More than that, controlled electric drive provides a variety of functional movements of the machine working bodies. It became possible to optimize technological regimes and energy efficiency of regulation. At the same time, the intellect of the electric drive as an element of the motion control systems of individual machines or the whole process have significantly grown [1].

Mechatronics as a line of technology has emerged. The essence of this field lies in the systemic integration of mechanics and electrical engineering with a high degree of use and significance of electronic control technology. This technology, in turn, implements complex computational algorithms for computer control to achieve the goals of the qualitative realization of the movements of complex mechanisms. The essence of any production process is the application of various technologies implemented by using specialized machines that differ in the design of individual units and their arrangement in a system. The use of mechatronic devices in the automation of technological processes can be considered as mechatronic technologies.

Mechatronics as a new field of science and technology is in the stage of intensive development, so its concepts and terminology continue to develop. Mechatronics is related to the creation and operation of machines and systems with

computer-controlled motion, which is based on knowledge in the fields of mechanics, electronics and microprocessor technology, computer science and computer-controlled movement of machines and assemblies. In this definition we can see the essence of the mechatronic system, the construction of which is based on the idea of a deep relationship between mechanical, electronic and computer elements. Therefore, the graphic image of mechatronics is often shown in the form of three intersecting circles enclosed in a common shell - a medium that forms the requirements for the mechatronic system (Figure 1).

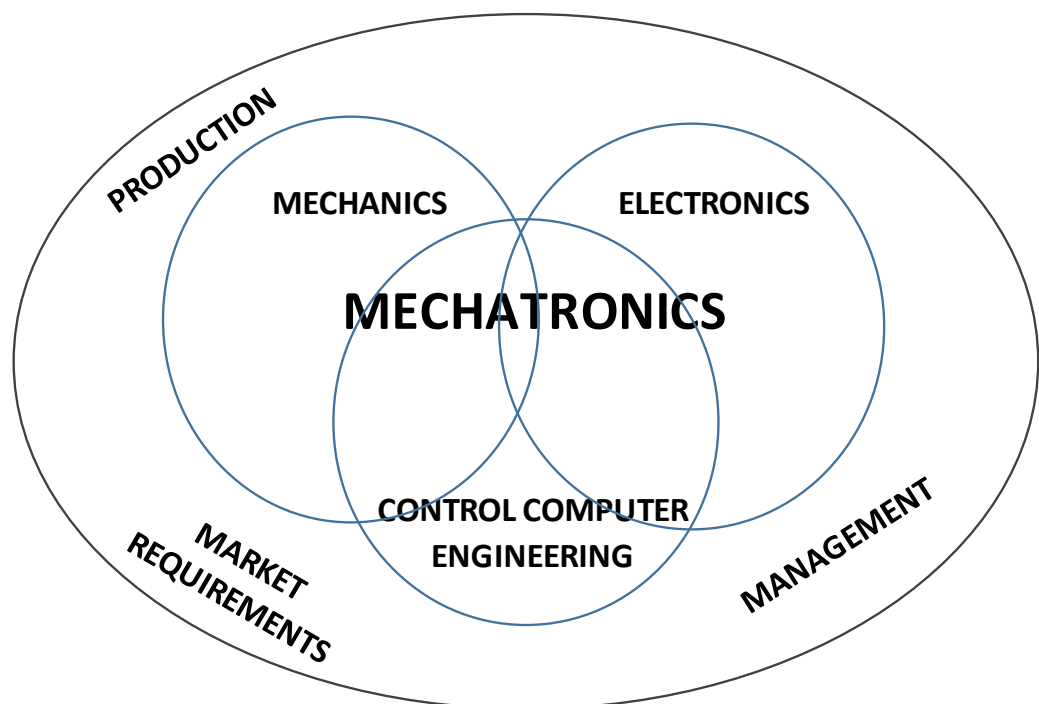


Figure 1 - Graphic representation of mechatronics

It is also advisable to consider another definition of mechatronics, formulated in 2000 in the educational standard “Mechatronics and Robotics”. According to this definition, mechatronics is a field of science and technology based on the synergistic combination of precision mechanics units with electronic, electrical and computer components. These components ensure the design and manufacture of qualitatively new modules, systems, machines and complexes of machines with intellectual control of their functional movements. Compared with the previous one, this definition more clearly indicates the special feature of the bonds in the mechatronic system such as a synergistic combination of elements.

However, this term is not so widespread in technology to have an unambiguous interpretation. The following definition is given in the encyclopedic dictionary: synergetics (from the Greek *synergetikos* - joint, coordinated action) is a scientific field that studies the connections between structural elements (subsystems) formed in open systems (biological, physico-chemical, etc.) due to intensive (flow) exchange of substance and energy with the environment under no equilibrium conditions. This type of systems make it possible to observe a consistent behavior of subsystems. As a result, the degree of its ordering increases, i.e. entropy decreases (the self-organization). The basis of synergetics is the thermodynamics of nonequilibrium processes, the theory of random processes, the theory of nonlinear oscillations and waves. It is unlikely that all mechatronic systems should have the property of self-organization, although some of them certainly have this property, which will be shown below with specific examples. In the definition of mechatronics listed above, the original meaning of the Greek word «*synergetikos*» is used as joint coordinated action to achieve a common goal. Nevertheless, in traditional electromechanical systems, all of the above-mentioned components are connected in a certain way, and these connections are organized to provide the required mechanical movements. With regard to the concepts under consideration, it is necessary to pay attention to the organic unity of the tasks solved by mechatronics and an electric drive, which allows us to consider the latter as an important element of the mechatronic system.

The figure 2 shows a typical structure of a modern electric drive. As we can see, the power channel consists of two parts - electrical and mechanical - and contains a connecting link - an electromechanical converter (EMC) (electric motor - an electric machine of different types). The electrical part consists of the switching equipment SE and the electric converter (EC) of the electric drive. Switching equipment (circuit breaker or fuses and / or contactor) connects the electric converter (EC) to the electric power supply unit (PS) (industrial electric network, autonomous electric generator, battery, etc.) and has protective functions. The EC (in most cases. It's a static converter of the power semiconductor devices) transfers electric energy

from the PS to the EMC, converting the parameters of the electric energy (type of current, voltage, frequency, number of phases) and matching them with the required power parameters of the EMC. The mechanical part consists of a moving body of an electromechanical converter (a rotor of a traditional electric motor, a moving element of a linear or planar electric motor, an anchor of an electromagnet), mechanical transmissions (MT) and an operating part (OP) of setting through which mechanical energy is realized. It is known that the MT do not give a gain in work, but they allow to change the values of angular and linear velocities, torques and translational forces. The power channel, as a rule, can carry out direct and reverse energy conversion. However, if the electric converter of the electric drive is non-reversible, and the electromechanical converter has a generator mode, then it is necessary to provide additional circuits with ballast resistors to dissipate the generated electrical energy into the heat [2]. The information channel includes:

- electronic control device (CD) (analog, discrete, digital or combined type controller);
- sensors of electrical and mechanical quantities;
- device (D) that defines the control actions, which in more cases is a communication device with an operator that performs bi-directional transmission of information (about the state and performance of the electric drive - from the controller to the operator, control commands and setting values of values - from the operator to the controller).

These devices, connected by various information channels (interfaces), form the control system of the electric drive (CSED) [3].

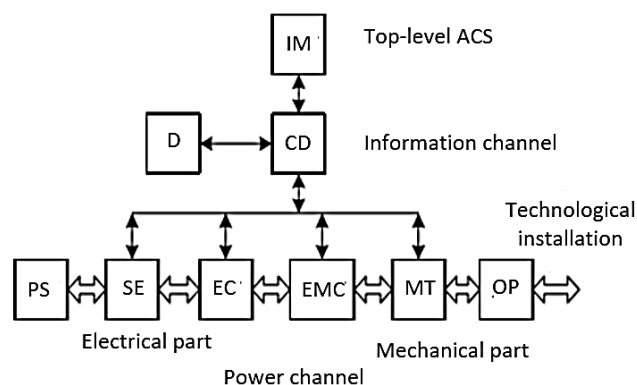


Figure 2 - Structure of a modern electric drive

The connection between the control electronics and mechanics is carried out through the control actions of the CD to the electrical converter. Sometimes the controller also manages switching processes in the mechanical converter using electromagnetic clutches. In a number of machines and mechanisms, there is a hydraulic or pneumatic drive used as a medium for transmitting mechanical energy. In these cases, the electrical signals of the controller outputs control the drive through solenoid valves, valves and spool devices.

The electric drive is an open system. On the one hand, it interacts with an electric energy source, on the other hand, with a technological installation, and, finally, through an interface (or information) module (IM) with a top-level information system (with a hierarchical structure of APCS) or with other electric drives and technological devices (in distributed control systems). In the second version of the definition of mechatronics, it is specified that the mechanical part is based on nodes of precise mechanics. This refinement narrows the scope of possible applications of mechatronic technologies. Improvements in the accuracy of manufacturing parts of mechanisms, machines, and their assembly, elimination of unwanted gaps in kinematic chains, as a rule, increase their reliability and service life. However, the accuracy requirements might vary for different machines. It is unlikely that all elements of the conveyor belt should be manufactured with micron precision. Sufficiently high accuracy, used for the manufacture of general industrial rolling bearings, may be completely insufficient for precision (nanomechatronic) optical-mechanical systems [4].

In the considered definition, the design of mechatronic modules is distinguished as an independent stage. This, of course, must be accepted, since only the application of a new mechatronic approach to engineering allows us to develop qualitatively new designs and technologies for the production of mechatronic modules with better technical and economic indicators compared to existing. However, the operation phase of the machines has dropped out of the definition, as if they all have a one-time action or the physical amortization of their individual parts exceeds one of the entire system. The topic under discussion relates to the intellectual

control of the functional movements of mechatronic modules, systems, machines and complexes of machines. Nevertheless, without even specifying the definition of intellectual control, we can assume that the intellectual level of the modules will differ from one of a single machine, which, in turn, will differ from the intellectual level of a complex of machines. It is important to note that these differences do not mean an evaluation of the “amount of intellect” in each component, but the opportunity that the module will have less intellectual properties than a complex of machines. These can be different properties, each of which is used to solve a specific problem. Finally, regarding functional movements, we understand that they include all the movements affecting the course of implemented process, for which the necessary indicators of the accuracy of the reproduction of movements are specified. Then auxiliary displacements fall into the category of “non-functional”, for example, by changing the tool, returning to the initial position, etc. At the same time, control system that implements functional movements can implement all auxiliary movements without problems. In real mechanical systems, in addition to the presented above functional movements, there are uncontrolled movements, which are small, but can affect, for example, the quality of the processed surface. The reasons causing them are loads on the operating part, finite stiffness of structural elements, gaps in kinematic pairs, static and dynamic deformations. In precision mechatronic systems, it is necessary to take these movements into account both at the development stage and during their operation.

Historically, mechatronics evolved from electromechanics, relying on its achievements, and goes further by systemically combining electromechanical systems with computer control systems, built-in sensors and interfaces. Examples of constructive integration include miniature electronic fans for computer technology, drive units. Brushless DC motors are used in these devices. The power and control parts of the electric converter are placed in the framework of a specialized integrated circuit of the brushless DC motors driver controller. Hall sensors, installed on a printed circuit board together with an integrated circuit and all additional elements

are used to determine the position of the rotor and the information about it is necessary for switching stator windings [5].

A spherical robot Galileo developed at the Motor Power Company research can be an example of replacing a complex kinematic circuit with electronics. Linear and rotary electric motors, integrated into a single space, are used for multi-axis movement of the robot's arm.

An example of information integration of many objects is the intellectual Montrac conveyor system. It combines transport pallets autonomously moving along the monorail, arrow elements, switching sections of the monorail network, power supply trolleys integrated in the monorail, and sensors. The pallets have proximity obstacle recognition sensors, which allows them to stop automatically, avoiding collision with another pallet in front or any other barrier.

Demonstration models for stabilizing the position of statically unstable mechanical objects, such as one-wheel and two-wheel moving mechanisms can be used as illustrations of the capabilities of computer-controlled motion.

This system can also be considered as a replacement for conventional chain or belt conveyors, since it simplifies the construction of the transport system. But the key property is the combination of autonomous objects distant from each other in a single system by implementing the appropriate information communication channels. Demonstration models for stabilizing the position of statically unstable mechanical objects, such as one-wheel and two-wheel moving mechanisms can show the capabilities of computer-assisted motion control.

Due to the use of special gyroscopic sensors and appropriate wheel drive control algorithms, the mechanisms can move in a given direction, fix a practically stationary state and compensate for disturbances from impulses of external forces trying to bring them out of equilibrium. Today, the two-wheeled version has found its practical application as an individual vehicle. Another example of intellectual control of the movement of "very moving objects" is a demo stabilization model of the ball position in the center of the plane under arbitrary initial conditions of its movement. The system has two orthogonal control channels for tilting the plane. Each of them

responds to a signal deflecting the ball from the centerline. Feedback signals on the position of the ball are obtained without the use of any optical devices and machine vision systems. Plane is a regular tactile screen that displays the current coordinates of the ball touching its surface. The usual deviation regulator is not enough to stop the ball in the center of the screen, since with zero mismatch it is necessary to ensure zero speed as well. The speed of the ball is controlled by the change in the inclination of the plane, but this dependence is ambiguous. Intellectualization of mechatronic objects appears in the use of machine vision systems, pattern recognition, and self-learning procedures.

The most striking intellectualization of the control system appears in robotics. These include, first of all, industrial robots used to revolutionize production and raise it to a qualitatively higher level. The appearance and development of industrial robots made it possible to expand the automation of technological and auxiliary processes, and opened up broad prospects for the creation of automatic machine systems for flexible, repairable production.

List of references:

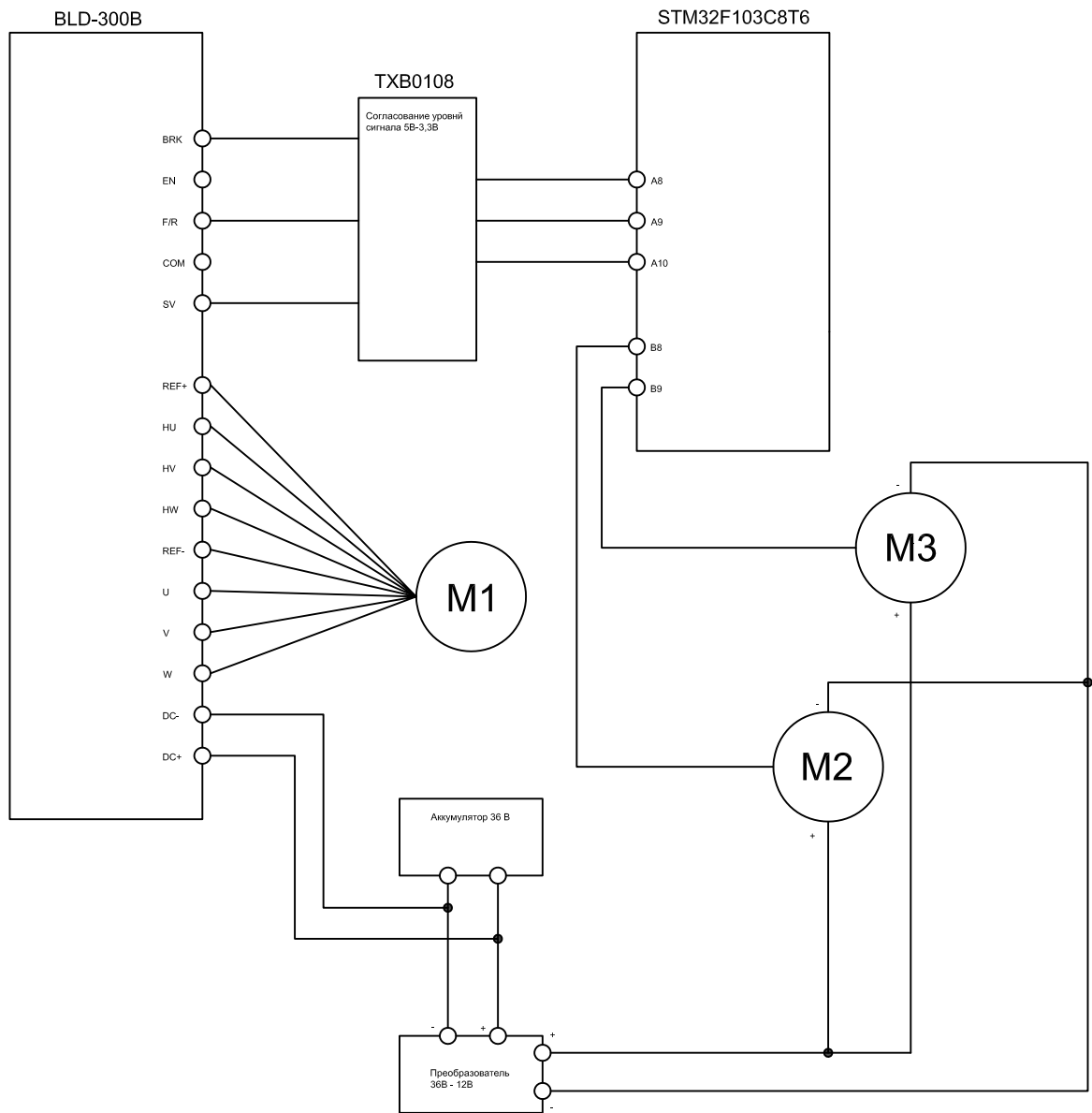
1. Poduraev Y.V. Fundamentals of mechatronics. - M.: Publishing House of MSTU "STANKIN", 2015. – 165 p.;
2. Ilyinsky N.F. Fundamentals of electric drive: Textbook. Manual for universities. - M.: Publishing House MEI, 2017. – 248 p.;
3. Terekhov V.M., Osipov O.I. Control systems for electric drives: Textbook for students. Higher textbook. Institutions. - M.: Publishing Center "Academy", 2014. – 124 p.;
4. Egorov O.D., Poduraev Y.V. Design of mechatronic modules: Textbook. - M.: IC MSTU "STANKIN", 2019. – 319 p.;
5. Electric drive with valve motors // Reports of scientific and practical workshop. - M.: Publishing House MEI, 2017. – 475 p.

Приложение Б

(Обязательное)

Силовая схема универсального мехатронного модуля.

Схема электрическая принципиальная



Инв.№ подл.	Подл.и дата		Взам.инв. №									
					15.04.06.001							
	Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				Стадия	Лист	Листов
	Разраб.		Куанышев С.			15.04	Силовая схема универсального мехатронного модуля			L		1
	Проверил		Филипас А.			25.05						
	Н. контр.		Филипас А.				ТПУ ИШИТР 8EM81					

Приложение В

(Обязательное)

Чертежи крепежных элементов и деталей мехатронного модуля

ФЮРА467100.001

Перв. примен.

Справ. №

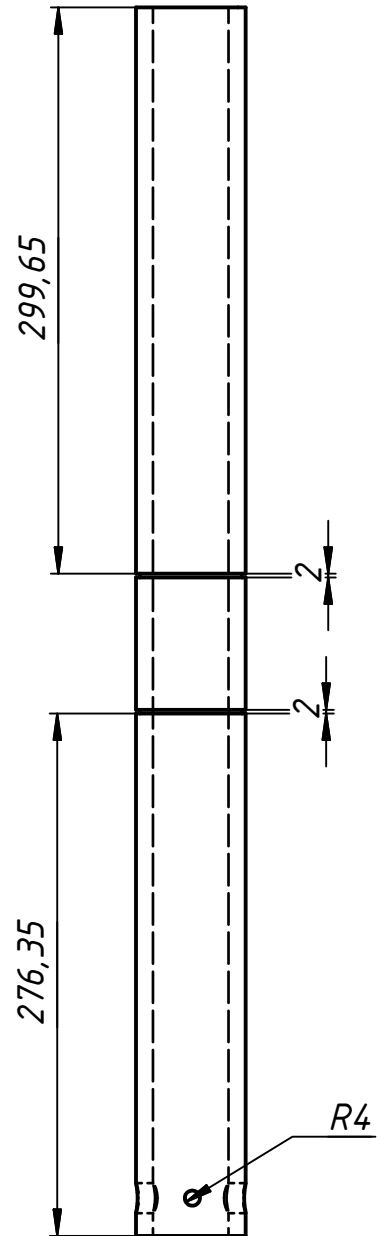
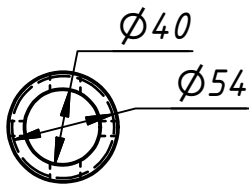
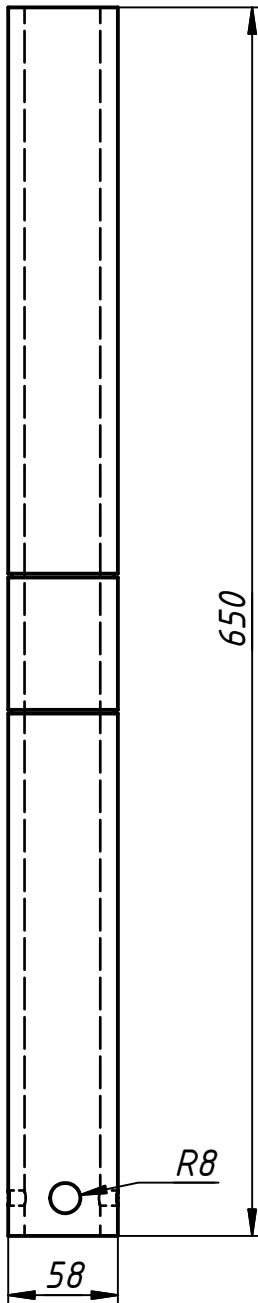
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



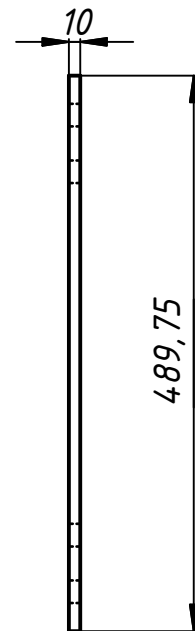
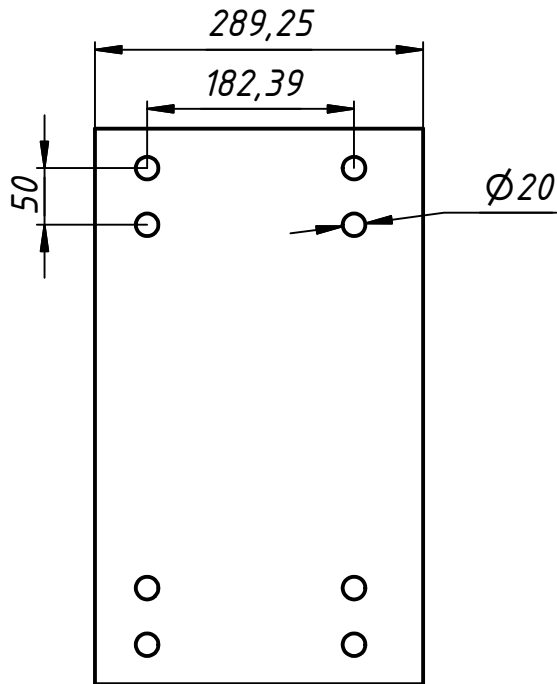
ФЮРА467100.001

Цилиндр подвижный

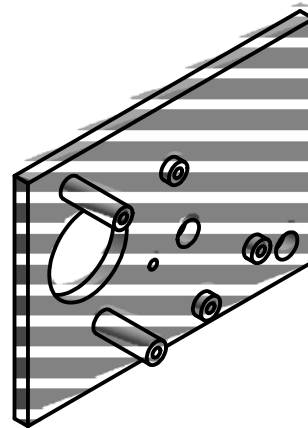
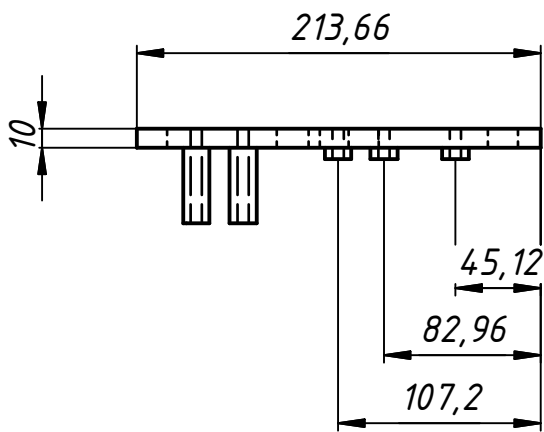
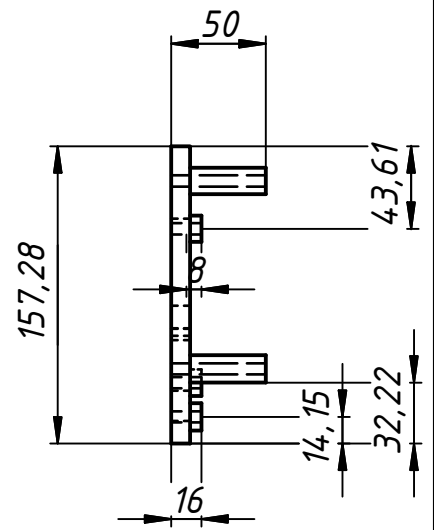
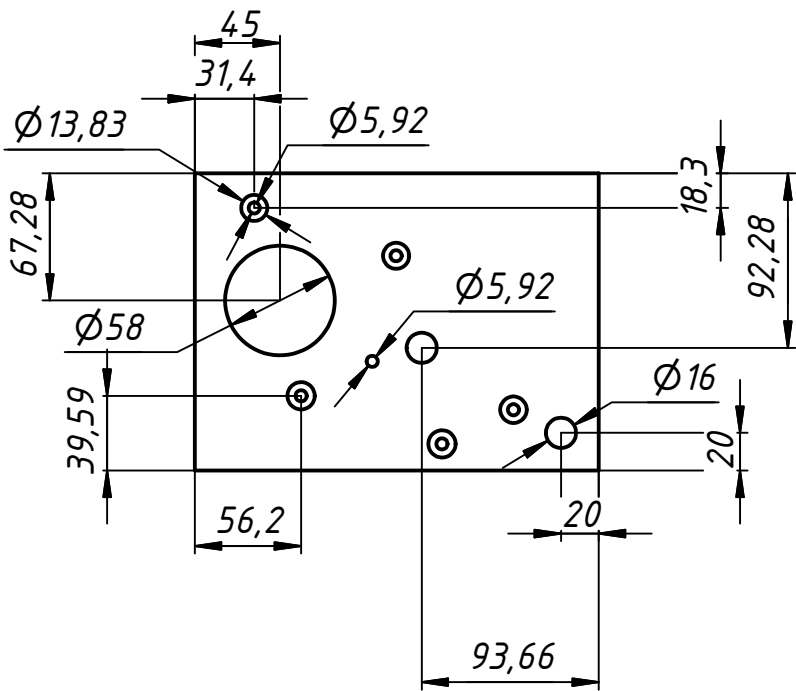
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Куанышев		27.04.2020
Пров.		Филипас		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Лит.	Масса	Масштаб
У		1:4
Лист	1	Листов 6

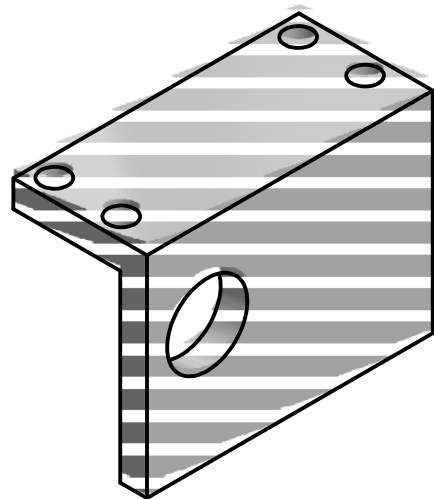
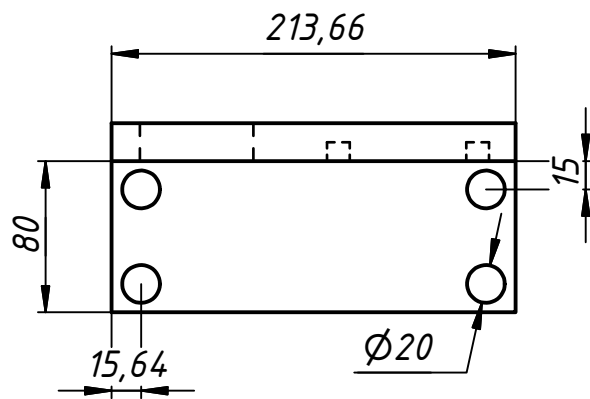
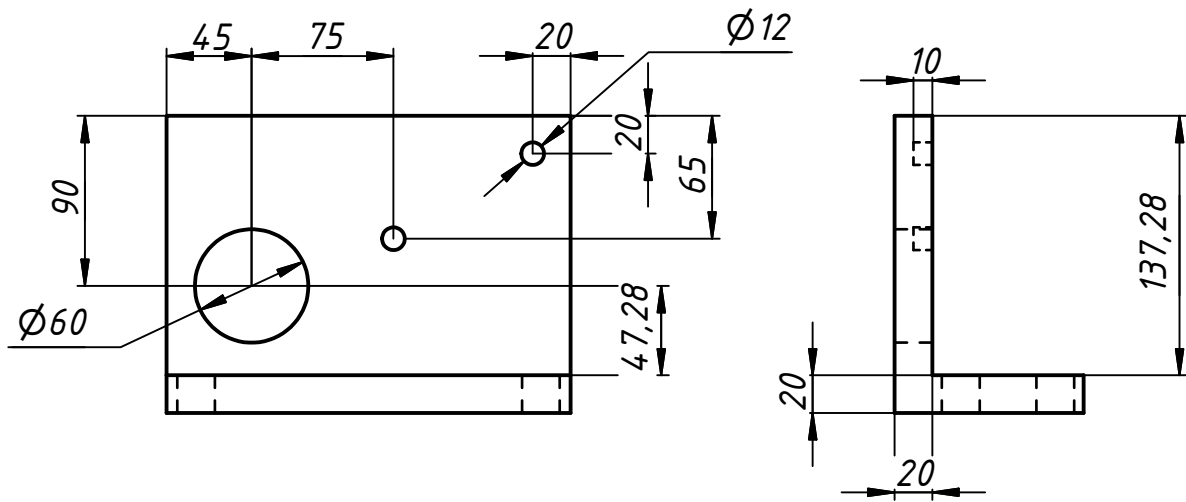
ТПУ. ИШИТР. 8ЕМ81



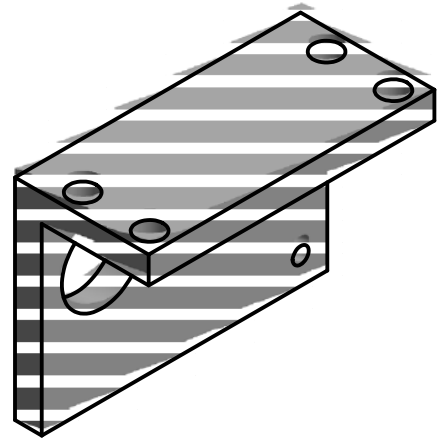
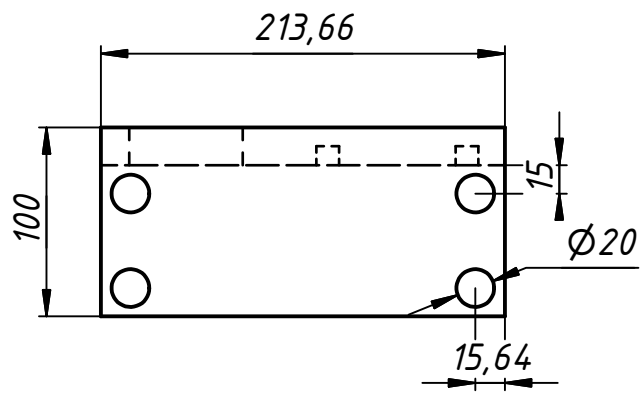
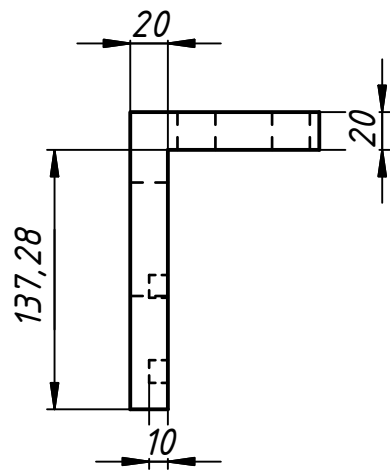
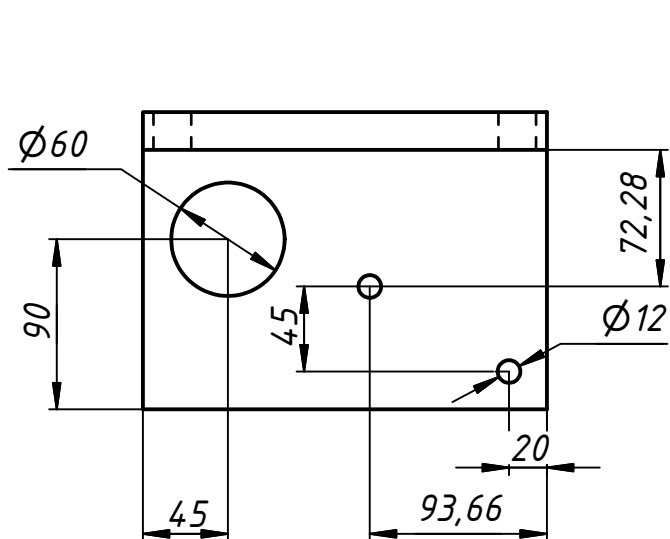
					ФЮРА467100.001				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	Крепежная платформа	<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>	
<i>Разраб.</i>		<i>Куанышев</i>		<i>27.04.2020</i>		<i>У</i>		<i>1:4</i>	
<i>Пров.</i>		<i>Филипас</i>							
<i>Т. контр.</i>						<i>Лист</i>	<i>2</i>	<i>Листов</i>	<i>6</i>
<i>Нач.отд.</i>						ТПУ. ИШИТР. 8ЕМ81			
<i>Н. контр.</i>									
<i>Утв.</i>									



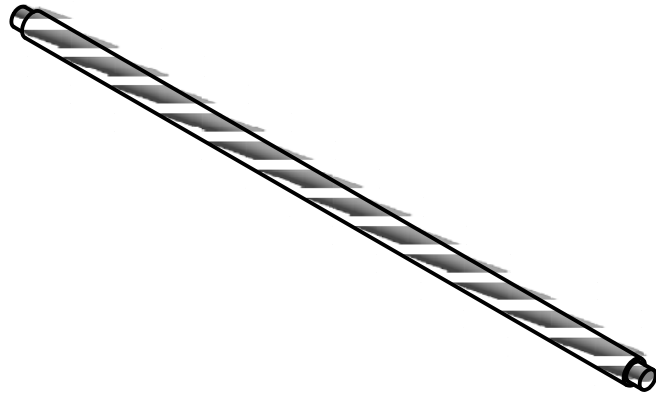
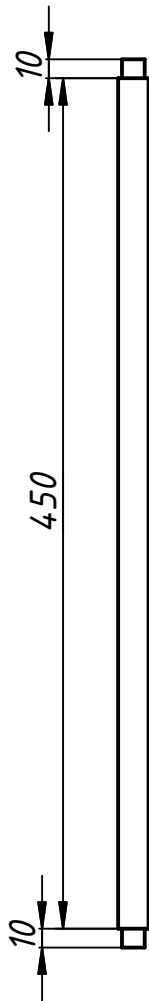
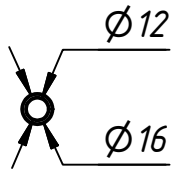
					ФЮРА467100.001		
					Подвижная платформа		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Куанышев		27.04.2020	У		1:4
Пров.		Филипас					
Т. контр.					Лист	3	Листов
Нач.отд.							6
Н. контр.					ТПУ. ИШИТР. 8ЕМ81		
Утв.							



					ФЮРА467100.001		
					Верхняя неподвижная часть		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Куанышев		27.04.2020	У		1:4
Пров.		Филипас			Лист	4	Листов
Т. контр.							6
Нач.отд.					ТПУ. ИШИТР. 8ЕМ81		
Н. контр.							
Утв.							



					ФЮРА467100.001				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Нижняя неподвижная часть	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.	Куанышев			27.04.2020		у		1:4	
Пров.	Филипас					Лист	5	Листов	6
Т. контр.						ТПУ. ИШИТР. 8EM81			
Нач. отд.									
Н. контр.									
Утв.									



					ФЮРА467100.001				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Уравновешивающая балка	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.	Куанышев			27.04.2020		У		1:4	
Пров.	Филипас								
Т. контр.						Лист	6	Листов	6
Нач. отд.						ТПУ. ИШИТР. 8ЕМ81			
Н. контр.									
Утв.									