

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка мобильного робота повышенной проходимости

УДК 004.3:004.415.2:621.865.8-182.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E62	Поберезкин Никита Иванович		

Руководитель ВКР

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Беляев Александр Сергеевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОАР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</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 том числе их систем управления
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем
P3	Применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы
<i>Универсальные компетенции</i>	
P6	Интегрировать знания в области анализа, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем со знаниями из смежных областей
P7	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P8	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности
P12	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Е62	Поберезкин Никита Иванович

Тема работы:

Разработка мобильного робота повышенной проходимости
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020
--	------------

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>Масса робота не более 10 кг.</p> <p>Робот должен быть шагающего типа.</p> <p>Разработка мобильного робота повышенной проходимости, должна производиться с учётом имеющейся лабораторной базы, а именно:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 3-d принтеры; – паяльные станции.
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Аналитический обзор роботов outdoor-типа; 2) Разработка структурной и функциональной схем шагающего робота, выбор элементов; 3) Разработка схемы управления исполнительными элементами робота; 4) Разработка алгоритма работы робота; 5) Проведение испытаний разработанного макета.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема, принципиальная схема, блок схема алгоритма.</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Матвиенко Владимир Владиславович, ассистент ООД ШБИП</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Заключение</p>	
<p> </p>	
<p> </p>	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E62	Поберезкин Никита Иванович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Е62	Поберезкин Никита Иванович

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 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>	<i>Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ, ставка дисконтирования $i=0.1$)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата ВКР</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Качественная и количественная характеристика экономического и др. видов эффекта от внедрения результата, определение эффективности внедрения</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Альтернативы проведения НИ</i> 4. <i>График проведения и бюджет НИ - <u>выполнить</u></i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ - <u>выполнить</u></i>
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	К. Э. Н.		2.02.2020 Г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е62	Поберезкин Никита Иванович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е62	Поберезкину Никите Ивановичу

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

Тема ВКР:

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является физическая конструкция робота, для изучения алгоритмов движения шагающих роботов. Рабочим местом разработчика является лаборатория отделения ОАР, ИШИТР.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).</p> <p>Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p> <p>Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.2.032-78.</p>

	Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования ГОСТ 21889-76.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных вредных и опасных факторов: Отклонение показателей микроклимата Превышение уровня шума Отсутствие или недостаток естественного света Недостаточная освещенность рабочей зоны Повышенная напряжённость электрического поля – Поражение электрическим током
3. Экологическая безопасность:	На атмосферу влияют вредные выбросы при производстве составных элементов робота, также пагубное влияние на литосферу при их утилизации. Воздействие на гидросферу пренебрежимо мало.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В аудиторном помещении, возможно, ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е62	Поберезкин Никита Иванович		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Уровень образования – бакалавр
 Период выполнения – весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.05.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.04.2020	Основная часть	60
04.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
13.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Беляев Александр Сергеевич			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 108 страниц, 17 рисунков, 22 таблицы, список используемых источников содержит 59 наименований и приложения на 14 листах.

Ключевые слова: **МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ, ГЕКСАПОД, ПРОХОДИМОСТЬ, АЛГОРИТМ, РАЗРАБОТКА.**

Цель работы – разработка мобильного робота повышенной проходимости.

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены виды конструкций шагающих роботов, формы корпусов и типы движителей. После обзора, в данной работе, было решено использовать гексапедальную конструкцию с продолговатой формой корпуса и дуговыми движителями. Спроектированы структурная и функциональная схемы, дерево вызова процедур мобильного робота повышенной проходимости, помимо этого, был разработан алгоритм движения робота. Произведён расчёт и выбор элементов системы. В месте с этим, был разработан и изготовлен физический макет проектируемого робота. Проведены испытания макета и сделаны заключения, о том, что при использовании шаговых приводов, необходимо применение датчика положения, в связи с пропуском шагов привода, либо применение редуктора, который бы предотвратил пропуск шагов.

В будущем планируется продолжение работы по данной тематике.

Выпускная квалификационная работа подготовлена в текстовом редакторе Microsoft Word 2019, графический материал – в пакете Microsoft Visio 2019.

Оглавление

Введение	14
1 Выбор конструкции шагающего робота	15
2 Обзор имеющихся мобильных шагающих роботов, гексапедальной конструкции	18
3 Проектирование мобильного робота	21
3.1 Разработка структурной схемы	21
3.2 Выбор элементов системы	23
3.2.1 Расчёт и выбор двигателя	23
3.2.2 Выбор контроллера/драйвера управления двигателями	30
3.2.3 Выбор акселерометра и гироскопа	31
3.2.4 Выбор датчиков	33
3.2.5 Выбор датчика глобального позиционирования	35
3.2.6 Выбор тензометрических датчиков	36
3.2.7 Выбор камеры	38
3.2.8 Выбор контроллера управления	39
3.2.9 Выбор аккумуляторной батареи	41
3.2.10 Выбор понижающих преобразователей	42
3.3 Разработка функциональной схемы и дерева вызова процедур	43
3.4 Разработка алгоритма передвижения	48
4 Разработка макета мобильного робота	53
4.1 Выбор двигателей и силовых схем управления	53
4.2 Выбор контроллера и беспроводного приёмопередатчика	54
4.3 Разработка платы подключения	55
4.4 Разработка и изготовление конструкции робота	56
4.5 Корректировка алгоритма и проведение испытаний	57

5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
5.1	Планирование научно-исследовательских работ	60
5.2	Продолжительность этапов работ	61
5.3	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	65
5.3.1	Расчет затрат на материалы	65
5.3.2	Основная заработная плата исполнителей темы	66
5.3.3	Расчёт затрат на социальный налог	67
5.3.4	Расчёт затрат на электроэнергию	67
5.3.5	Расчёт амортизационных расходов	68
5.3.6	Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)	70
5.3.7	Расчёт прочих расходов	70
5.3.8	Расчёт общей себестоимости разработки	71
5.3.9	Расчёт прибыли	71
5.3.10	Расчёт НДС	72
5.3.11	Цена разработки НИР	72
5.4	Оценка экономической эффективности проекта	72
6	Социальная ответственность	73
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73
6.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	74
6.3	Производственная безопасность	75
6.3.1	Отклонение показателей микроклимата	76
6.3.2	Превышение уровня шума	78
6.3.3	Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны	80

6.3.4	Повышенная напряженность электрического поля.....	81
6.3.5	Поражение электрическим током.....	82
6.4	Экологическая безопасность	83
6.4.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	83
6.4.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	83
6.4.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	84
6.5	Безопасность в ЧС	84
6.5.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	84
6.5.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	85
6.5.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	85
6.6	Вывод.....	87
	Заключение.....	88
	Список используемых источников	89
	Приложение А (обязательное) Техническое задание на разработку	95
	Приложение Б (обязательное) Принципиальные схемы	99
	Приложение В (обязательное) Чертежи корпуса разрабатываемого макета	104
	Application G (обязательное) Conclusion.....	107

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В представляемой работе использовались следующие термины с соответствующими определениями:

Микроэлектромеханические системы (МЭМС): устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты.

Wi-Fi: беспроводная связь по стандарту передачи данных IEEE 802.11.

GPS: Система глобального позиционирования (Global Positioning System).

USB: последовательный интерфейс передачи данных (Universal Serial Bus).

UART: Универсальный асинхронный приёмопередатчик (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).

I²C: последовательная двунаправленная двухпроводная шина для организации межмикросхемного взаимодействия (Inter-Integrated Circuit).

Введение

Поскольку, в настоящее время, шагающие конструкции роботов являются популярным объектом исследования во всем мире, научно-исследовательские коллективы в России и за рубежом уделяют внимание данным роботам. Такая популярность обусловлена тем, что шагающие конструкции обладают рядом преимуществ по сравнению с колесными и гусеничными. В частности, шагающие роботы лучше приспособлены к передвижению по поверхности со сложным рельефом и слабыми грунтами [1]. Способность преодолевать сложные формы рельефа требует того, чтобы шагающая машина умела определять тип подстилающей поверхности, проходимость территории, могла подстраивать режим передвижения, то есть была адаптивной. Для передвижения на открытой местности требуется применение различных методов навигации.

Перед началом работы, необходимо провести обзор существующих решений в мире на данный момент. Однако, для проведения обзора необходимо определиться с типом шагающей конструкции.

1 Выбор конструкции шагающего робота

Согласно техническому заданию на разработку (приложение А), необходимо разработать программно-аппаратный комплекс для проведения исследований в области передвижения шагающих робототехнических устройств. В связи с этим надо понимать, какая из шагающих конструкций в данном случае подходит больше всего.

В данной работе была выбрана гексапедальная конструкция робота [2], так она как обладает рядом преимуществ по сравнению с другими [3]. В любой момент времени земли касаются как минимум три точки опоры, что позволяет лучше удерживать равновесие на неровных поверхностях. Далее необходимо выбрать форму корпуса, поскольку она определяет тип конструкции, также выбрать форму движителя. Вместе они влияют на возможность реализации алгоритмов локомоции и выполнение различных движений, а также определяют вместительность и грузоподъемность (в основном для установленного оборудования).

Типы движителей можно разделить на следующие группы [4], схематично представленные на рисунке 1:

1. Рычажные схемы

а. Однорычажная:

- Односегментная
- Многосегментная

б. Многорычажная (пантографная).

2. Телескопическая схема.

3. Дуговая схема.

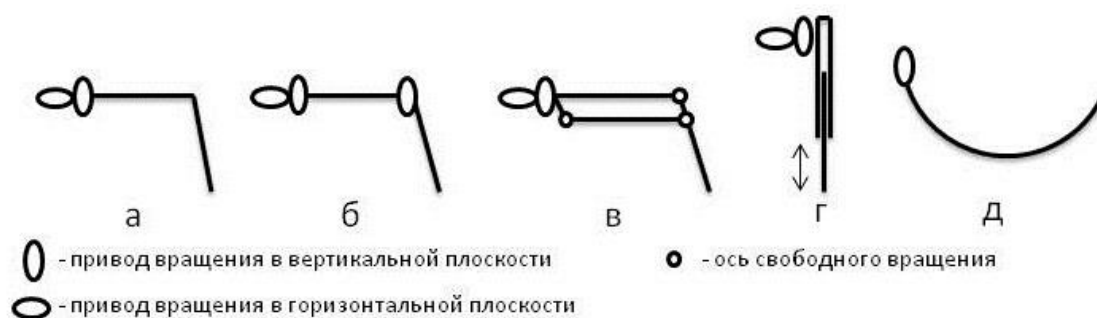
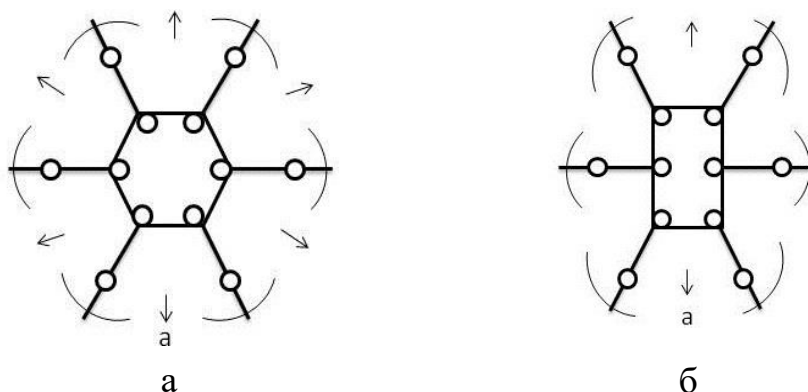


Рисунок 1 – Схемы конструкций движителей

Представленные выше конструкции, их преимущества и недостатки более подробно описаны в [2]. В данной работе была выбрана дуговая схема. Дуговая схема представляет собой дугу из пластичного материала, закрепленную на оси вращения с одного конца. Конструкция представляет собой нечто среднее между колесом и конечностью, в некоторых источниках [6] называется шагающим с «колёсным» принципом шагания (одноосевое вращение каждого из элементов) и относится к гибридным. Принципы движения и поворотов похожи на гусеничный ход. Достоинством схемы является высокий показатель скорости, по сравнению с другими схемами движителей, достигается это за счёт небольшого количества сочленений и вращения вокруг одной оси, также из-за этого данная схема имеет высокий показатель проходимости. Недостатком является нестабильный, подпрыгивающий характер движения.

Существует несколько видов корпусов, которые можно разделить на следующие группы [5]:

1. Цельный корпус-туловище:
 - Осесимметричная форма (округлая или гексагональная)
 - Пролонговатая форма (чаще всего прямоугольная)
2. Корпус-туловище с сочленениями.



а) осесимметричная форма; б) пролонговатая форма

Рисунок 2 – Схемы корпусов

Исходя из выбора формы движителей была выбрана пролонговатая форма корпуса (рисунок 2 б), так как расположение дуговых движителей не

представляется возможным на осесимметричной форме корпуса (рисунок 2 а). Помимо этого продолговатая форма обладает рядом преимуществ. Имеет выраженную направленность, это проявляется вследствие изменения расстояния и взаимного расположения точек крепления конечностей. Роботы данной формы конструктивно более приспособлены к перемещению вдоль длинной оси симметрии. Корпус с сочленениями чаще всего представляет собой продолговатую форму, состоящую из подвижно соединенных частей. Такая схема имеет преимущества цельной схемы и улучшенные способности к преодолению препятствий. В то же время конструкция становится сложнее, что требует дополнительных расчетов, а дополнительные элементы сочленения (крепления, шарниры и приводы) увеличивают массу и энергопотребление.

Подводя итог, можно сказать, что выбранные, тип шагающей конструкции, форма корпуса и двигателя удовлетворяют условиям технического задания.

2 Обзор имеющихся мобильных шагающих роботов, гексапедальной конструкции

В 1998 году начались разработки первого прототипа биологически вдохновлённого робота гексапода (рисунок 3), планируемого как часть большого консорциума, финансируемого Управлением перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (англ. Defense Advanced Research Projects Agency, далее DARPA). На разработку в течении пяти лет было выделено 5 миллионов долларов [7], а также около трёх миллионов долларов с других грантов, таких, как гранты Национального научного фонда (National Science Foundation, NSF).



Рисунок 3 – Первый прототип RPO

С тех пор, роботизированная платформа RHex претерпела много изменений, появлялось всё большее количество исполнений данного робота. За время своего развития данный робот приобрёл большое количество возможностей. Фактически, это единственный робот, способный выполнять такое большое разнообразие действий, как отдельный автономный робот [8].

Лабораторией Kod*Lab, которая является дочерней компанией Penn Engineering GRASP Lab были разработаны [9]:

- Research RHex – является продуктом многолетней работы по программе DARPA, изучающей простое, но эффективное перемещение на «ногах».
- Desert RHex – модифицированный Research RHex, для использования в неблагоприятных пустынных территориях, был испытан в пустыне Мохаве в 2009 году.

- EduBot – это платформа RHex, адаптированная для обучения и, в данный момент, активно используемая в учебных целях в университете Пенсильвании. Разработка данной платформы началась в 2005 году, над ней работал один человек до 2008 года, в 2009 году, уже командой разработчиков, начались разработки EduBot v1.0, также ориентированного на обучение [10].
- SandBot – это платформа, созданная специально для университета Джорджии, с целью исследования методов перемещения шагающих роботов по сыпучим грунтам.
- X-RHex – это, последняя, разработанная компанией, модель данного робота, для надежной работы в сложных естественных условиях внешней среды и является первым с модульной системой полезной нагрузки. Позиционируется, в основном, как «лаборатория на ногах». Робот обладает возможностью встроить второй компьютер с программируемым графическим процессором, что делает его первым роботом такого размера, обладающим такими вычислительными возможностями [11].
- X-RHex Lite (XRL) – более легкая версия X-RHex, разработанная для обеспечения большей гибкости при сохранении того же расстояния между ногами, чем предыдущие RHex, также имеет модульную систему полезной нагрузки [12].

Компания Boston Dynamics, некогда занимавшаяся разработкой Rugged RHex, прекратила поддержку данного проекта и более не выпускает, и не предлагает для коммерческого использования данного робота, согласно [13].

Данный робот также разрабатывался в [7]:

- Университет Мичигана, Энн Арбор, Мичиган
- Университет Макгилла, Монреаль, Канада
- Калифорнийский университет, Беркли, Калифорния
- Принстонский университет, Принстон, Нью-Джерси
- Корнельский университет, Итака, Нью-Йорк

– Университет Лахора

Несмотря на то, что последняя версия X-RHex была разработана в 2014 году, эти роботы применяются и сейчас для исследований и прикладных задач. Создаются новые модели робота, например в [14] разработали, доступного в цене и материалах, шестиного робота под названием MiniRHex. В 2018 году, [15] разработчики применили уже известную модель, но с изменением формы движителя, в данном случае, движитель имеет форму окружности, и предложили метод взбирания по лестнице. Самой последней разработкой, сделанной в конце 2019 года, в данной области является T-RHex, описанный в [16], его движители отличаются от стандартных движителей RHex, они представлены в форме запятой и имеют на кончиках крошечные шипы, которые позволяют взбираться роботу по стене с наклоном в 90° .

Исходя из разобранных выше материалов, понятно, что исследования с применением данной конструкции робота продолжаются до сих пор, а это означает, что разработка робота такой формы актуальна.

3 Проектирование мобильного робота

3.1 Разработка структурной схемы

Учитывая специфику робота, описанную выше, он должен обладать шестью движителями, каждый из которых, должен иметь свой двигатель, закреплённый на борту робота. Для коммутации привода и управления им необходим силовой драйвер, а также контроллер, который будет генерировать управляющий сигнал, однако, на данный момент существуют готовые решения, включающие в себя оба этих устройства, что является наиболее выгодным решением. В связи с необходимостью постоянно отслеживать положение движителя требуется применение датчика угла поворота. Кроме того, в дальнейшем планируется применять адаптивные алгоритмы движения, в данном случае будет разумно применение датчика тока. На данном этапе можно сформировать мехатронный модуль включающий в себя контроллер/силовой драйвер, двигатель и датчики. Согласно техническому заданию, роботу необходимо определять тип подстилающей поверхности, распознавать и обходить препятствия, чтобы достичь выполнения этих задач имеет место применять ряд сенсоров, дальномеров и датчиков давления. Так как робот должен функционировать в естественной среде, требуется определение координат для локализации, в качестве этого может выступать система глобального позиционирования (GPS, Глонасс), для стабилизации робота при движении потребуется трёхосевой гироскоп и трёхосевой акселерометр. Чтобы осуществлять постоянную связь с оператором необходимо наличие на борту робота беспроводного приёмопередатчика. Стоит отметить, что получение информации только с сенсоров будет недостаточным для корректного управления на расстоянии, поэтому будет не лишним применение в работе видеокамеры. В связи с работой вне помещений требуется беспроводное питание, и, следовательно, контроль уровня заряда батареи.

Исходя из всего многообразия датчиков и исполнительных устройств, более разумно будет разделить систему на два уровня управления. Верхний уровень будет выполнять задачи, связанные со считыванием показаний с датчиков, необходимых для локализации робота и для выполнения различных алгоритмов, а

также формированием управляющего сигнала для нижнего уровня, и передачей изображения с камеры на устройство оператора. На нижнем уровне будет происходить обработка данных с датчиков двигателя и будут выполняться алгоритмы регулирования скорости, положения и момента. Контроль уровня заряда батарей будет производиться на верхнем уровне.

Получившаяся структура робота показана на рисунке 4. На нём используются следующие обозначения:

M – значение режима движения, заданного пользователем;

V – значение скорости движения, заданной пользователем;

$\{P\}$ – множество сигналов, поступающих с датчиков давления;

$\{L\}$ – множество сигналов, поступающих с датчиков расстояния;

g_x, g_y, g_z – угловые скорости относительно осей X, Y, Z соответственно;

a_x, a_y, a_z – ускорения относительно осей X, Y, Z соответственно;

N_1 – количество оборотов датчика угла поворота первого мехатронного модуля;

ω_1 – угловая скорость двигателя, полученная с датчика угла поворота первого мехатронного модуля;

I_1 – значение силы тока первого двигателя;

$\{N^*\}$ – множество задающих значений количества оборотов, для каждого модуля;

$\{\omega^*\}$ – множество задающих значений угловых скоростей, для каждого модуля;

$\{D\}$ – множество задающих значений направления вращения, для каждого модуля;

$\{\omega_n\}$ – множество значений угла поворота, приходящих с датчика угла поворота каждого модуля;

$\{N_n\}$ – множество значений количества оборотов, приходящих с датчика угла поворота каждого модуля;

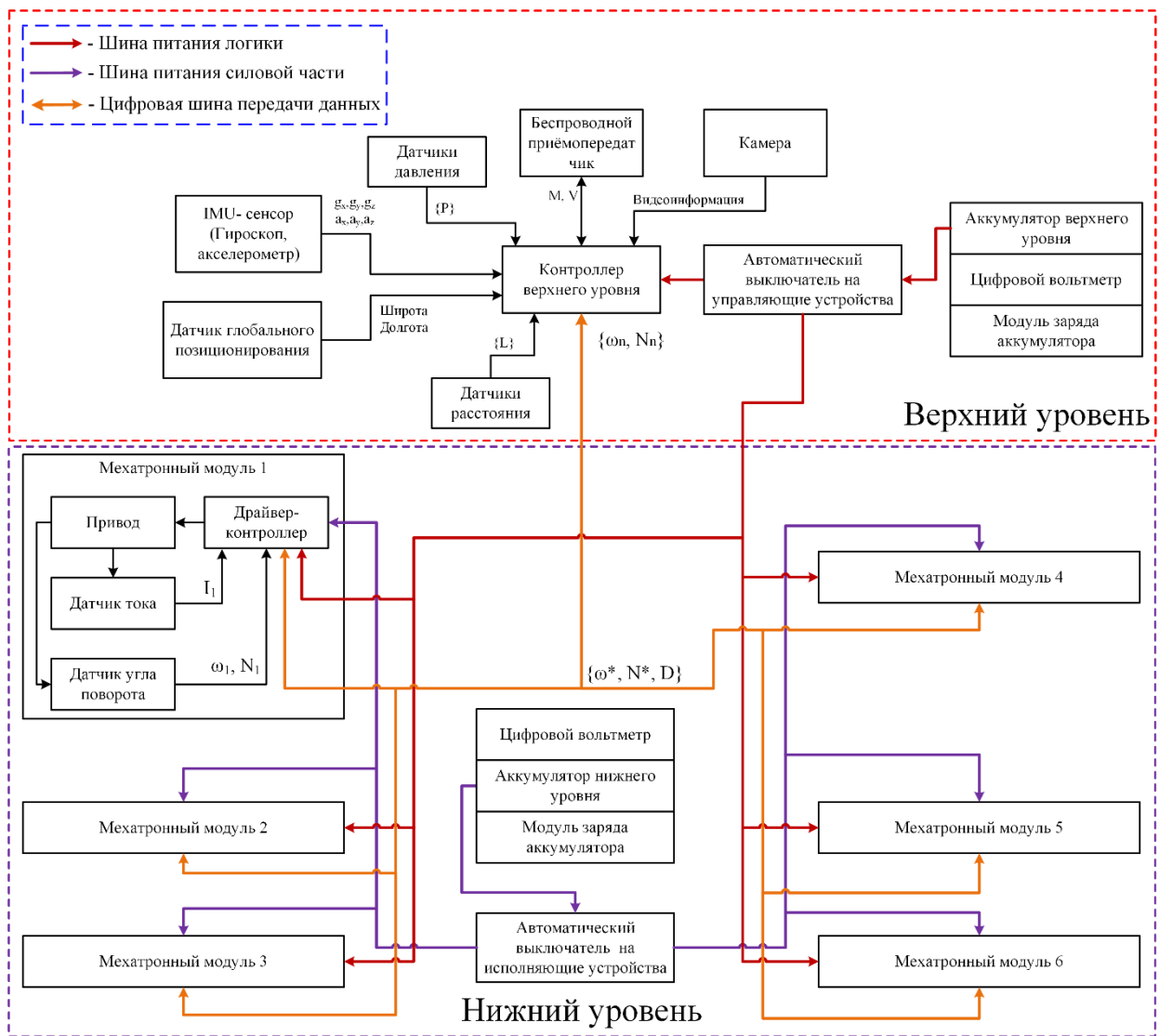


Рисунок 4 – Структурная схема робота гексапода

Для лучшего понимания работы системы был произведён, и подробно описан ниже, выбор элементов системы робота, указанных в структурной схеме.

3.2 Выбор элементов системы

3.2.1 Расчёт и выбор двигателя

Для выбора привода необходимо знать мощность и момент силы развиваемый на его валу. Чтобы рассчитать момент потребуется узнать силу. По техническому заданию необходимо обеспечить скорость передвижения робота в режиме шага не менее 0.2 м/с и в режиме бега не менее 0.7 м/с, но это минимально допустимые скорости, поэтому в дальнейших расчётах будет использоваться скорость движения человека, то есть 5 км/ч, что составляет $\approx 1,4$ м/с, время, за

которое необходимо набирать указанную скорость составляет 10 секунд. Из соображений проходимости диаметр дуги движителя будет равен 0,1 м, ширина сечения движителя будет 20 мм.

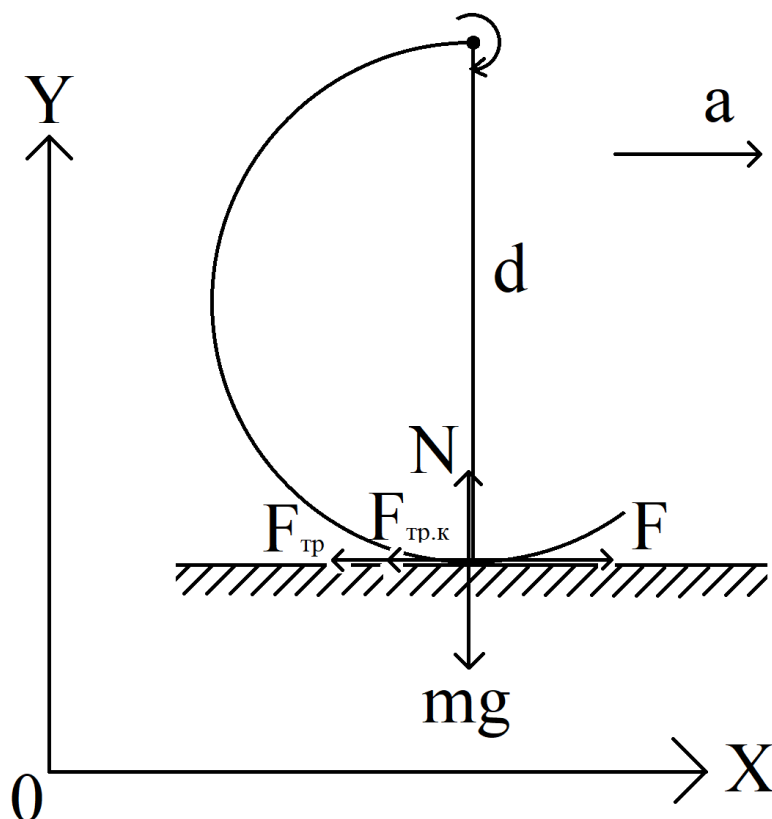


Рисунок 5 – Направление сил и осей координат для расчётов

По второму закону Ньютона [17], уравнение движения тела примет следующий вид:

$$\vec{F} + \vec{F}_{\text{тр.п.}} + \vec{F}_{\text{тр.к.}} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тяж}} = m \cdot \vec{a}, \quad (1)$$

где $F_{\text{тр.п.}} = \mu_{\text{п}} \cdot m \cdot g$ – сила трения покоя, Н;

$F_{\text{тр.к.}} = \mu_{\text{кач}} \cdot \frac{m \cdot g}{r}$ – сила трения качения, Н;

N – сила реакции опоры, Н;

$F_{\text{тяж}} = m \cdot g$ – сила тяжести, Н;

m – масса тела, кг;

$a = m \cdot \frac{v}{t}$ – ускорение тела, м/с².

При направлении осей координат, как показано на рисунке 5, были записаны уравнения в проекциях на оси координат:

$$0x: F - F_{\text{тр.п.}} - F_{\text{тр.к.}} = m \cdot a, \quad (2)$$

$$0y: N - m \cdot g = 0, \quad (3)$$

Учитывая данные из [17] и преобразовывая уравнения выше, было получено следующее уравнение:

$$F = m \cdot \frac{v}{t} + \mu_{\text{п}} \cdot m \cdot g + \mu_{\text{кач}} \cdot \frac{m \cdot g}{r}, \quad (4)$$

Коэффициент трения покоя был взят для резины о сухой асфальт [18], коэффициент трения качения для пневматической шины по асфальту [19]. Подставив известные данные и коэффициенты трения, была найдена необходимая сила:

$$F = 6 \cdot \frac{1,4}{10} + 0,5 \cdot 6 \cdot 9,8 + 0,02 \cdot \frac{6 \cdot 9,8}{0,1} = 42 \text{ Н}, \quad (5)$$

Момент находится по формуле [17], приведённой ниже.

$$M = F \cdot d, \quad (6)$$

где d – кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы, называемое плечом силы.

Зная диаметр дуги движителя и подставляя значения из (5) в формулу (6), был получен необходимый момент.

$$M = 42 \cdot 0,1 = 4,2 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (7)$$

Согласно данным, из [17], мощность, развиваемая силой в данный момент времени, определяется как:

$$N = \frac{A}{t} = F \cdot \frac{s}{t} = F \cdot v, \quad (8)$$

Подставив в (8), полученное в (5) значение и значение скорости в 1,4 м/с, была получена мощность $N = 58,8$ Вт. Также для выбора двигателя потребуется минимальное значение частоты вращения в об/мин, для нахождения было применено выражение из [17]:

$$v = \omega \cdot R, \quad (9)$$

$$\omega = \frac{v}{d}, \quad (10)$$

где $d = R$ – радиус от точки приложения силы до оси вращения.

Отсюда скорость $\omega = 14$ рад/сек, за один оборот угол меняется на 2π радиан, тогда:

$$n = \frac{60\omega}{2\pi}, \quad (11)$$

$$n = \frac{60 \cdot 14}{2 \cdot 3,14} = 133,75 \approx 134 \text{ об/мин}, \quad (12)$$

В ходе проведения расчётов были получены следующие параметры двигателя:

$$M = 4,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$N = 58,8 \text{ Вт},$$

$$n = 134 \text{ об/мин}.$$

Поскольку, на данный момент, на рынке, существует большое разнообразие двигателей, можно разбить все двигатели на группы, постоянного тока, переменного тока, шаговые и мотор-редукторы. Было принято решение рассмотреть по несколько вариантов с каждой группы. Двигатели переменного тока рассматриваться не будут, в силу сложности их управления, по сравнению с двигателями постоянного тока.

Для начала, были рассмотрены шаговые приводы (далее ШД). Гибридные шаговые двигатели обладают внушительными моментами удержания и возможностью точного позиционирования без применения датчиков обратной связи, но, в тоже время, имеют немалые габаритные показатели и высокий номинальный ток. Характеристики данных приводов представлены в таблице ниже.

Таблица 1 – Характеристики шаговых приводов

Наименование	34НР29-6004S [20]	ST86-80[21]	34HE31-6004S [22]
Момент удержания, Н · м	4,5	4,4	4,8
Ток фазы, А	6	5,6	6
Соппротивление фазы, Ом	0,34	0,3	0,42
Напряжение, В	2,04	1,68	2,52

Продолжение таблицы 1 – Характеристики шаговых приводов

Наименование	34HP29-6004S [20]	ST86-80[21]	34HE31-6004S [22]
Габариты, мм × мм × мм	86x86x74	86x86x80	86x86x80
Масса, кг	2,15	2,15	2,3
Цена, руб/шт	3154,85	4290	2184,53

Как видно из таблицы, рассмотренные ШД удовлетворяют найденному в расчётах моменту, но не подходят по габаритным параметрам и по показателю массы, так как, по техническому заданию, требуемая масса составляет 6 кг.

Далее были рассмотрены мотор-редукторы. Данный вид двигателей включает в себя, помимо самих двигателей, редуктор, что исключает процесс выбора и подбора отдельно редуктора для двигателя. Рассмотренные приводы можно видеть в таблице ниже.

Таблица 2 – Характеристики мотор-редукторов

Наименование	ROHS PB60630391	5GN15K	07SGN-24- 3200+4GN20K
Напряжение, В	24	24	24
Номинальная мощность, Вт	60	60	50
Коэффициент уменьшения	30:1	15:1	-
Номинальная скорость вращения, об/мин	133	120	160
Номинальный ток, А	3,7	3	1,8
Номинальный момент, Н · м	4,42	4,4	3,66
Габариты, мм × мм	132x57	227x90	173x80
Масса, кг	1,27	3,9	3,2
Цена, руб/шт	5597	-	-

Из большинства рассмотренных мотор-редукторов, указанные в таблице, оказались более подходящими к рассчитанным параметрам, самым лучшим, из таблицы, является двигатель с первой позиции, так как все его параметры

совпадают с рассчитанными, без учёта запаса, однако если взять шесть таких приводов, то масса робота, без учёта комплектующих и материала корпуса, составит 7,3 кг, что не удовлетворяет условиям. Также данный привод обладает ещё одним преимуществом перед другими, он основан на бесколлекторном двигателе постоянного тока и имеет в своём составе встроенные датчики Холла, с помощью которых можно отслеживать положение вала.

Есть ещё один вариант выбора привода для робота, отдельно рассматривать двигатели и редукторы. Вначале выбирается двигатель по известной мощности, затем идёт выбор редуктора по необходимому моменту. Двигатель выбирался в диапазоне от 50 до 60 Вт, были рассмотрены несколько вариантов двигателей, от прославившихся долговечностью и эффективностью своей продукции компаний *Dunkermotoren* и *Maxon*, характеристики которых представлены в таблице ниже.

Таблица 3 – Характеристики двигателей

Наименование	BG 42 [24]	EC 45 [25]
Напряжение, В	24	24
Номинальная мощность, Вт	64	50
Номинальная скорость вращения, об/мин	3670	5240
Пусковой ток, А	6,5	23,3
Номинальный ток, А	3,3	2,33
Номинальный момент, Н · см	16,6	8,34
Механическая постоянная времени, мс	-	12,3
Длина, мм	80	21,3
Масса, кг	0,47	0,11
Цена, руб/шт	10283	8783

Далее производился выбор редуктора для данных двигателей, поскольку, для полноценного выбора необходимо знать параметры выбираемого двигателя вместе с редуктором, были рассмотрены редукторы от обеих компаний. При

выборе учитывался момент рассчитанный выше, который составляет 4,2 Н·м. Ниже приведена таблица с характеристиками рассмотренных редукторов.

Таблица 4 – Характеристики редукторов

Наименование	PLG 42 S [26]	GP 32 HP [27]
Коэффициент уменьшения	16:1	28:1
Количество ступеней передачи	2	2
Непрерывный крутящий момент, Н·м	До 6	До 4
Длина, мм	58,6	48,1
Вес, кг	0,37	0,17
Цена, руб/шт	16261	15783

Рассмотрев редукторы для двигателей, можно говорить, что оба варианта двигатель-редуктор удовлетворяют найденным выше параметрам, но продукция компании Махон выходит легче, что позволит дополнительно нагружать робота, компактнее, что даёт возможность оборудовать робота дополнительными датчиками и системами, в дальнейшем, не прибегая к конструктивным изменениям, вместе с этим данная продукция обойдётся дешевле продукции Dunkermotoren.

В заключении можно сказать, что на данный момент существует большой выбор приводов под разные задачи, но для того, чтобы выбрать двигатель подходящий под поставленные задачи, были рассмотрены несколько вариантов, а именно, шаговые двигатели и мотор-редукторы, а также рассмотрены отдельно двигатели и отдельно редукторы. Поскольку рассмотренные шаговый привод и мотор-редуктор при подходящих параметрах момента и мощности не обладают необходимыми габаритными параметрами, выбор был остановлен на бесколлекторном двигателе и редукторе от компании Махон, которые в совокупности дают характеристики, превышающие ранее найденные, а также обладают малыми габаритами, в длину 69,4 мм, масса в сборе составляет 0,28 кг.

3.2.2 Выбор контроллера/драйвера управления двигателями

Использование готового контроллера позволит обеспечить широкий диапазон возможностей и высокую производительность, в то же время убирая необходимость в индивидуальном проектировании устройства управления, что требует меньшего времени разработки. Поскольку компания, двигатели которой были выбраны, предоставляет возможность выбора контроллеров управления для них, было решено выбирать контроллер в этой же компании. Характеристики рассмотренных контроллеров представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики контроллеров управления

Наименование	DEC	ESCON	EPOS4
Максимальная мощность подключаемых двигателей, Вт	250	250	120
Режимы работы:			
Рег. тока	Нет	Да	Да
Рег. скорости	Да	Да	Да
Рег. положения	Нет	Нет	Да
Максимальное рабочее напряжение, В	50	50	24
Максимальный выходной ток, А	10	15	15
Номинальный выходной ток, А	5	5	5
Частота ШИМ, кГц	46,8	53,6	53,6
Частота ПИ регулятора скорости, кГц	0,25	5,36	2,5
Частота ПИ регулятора тока, кГц	-	53,6	25
Частота ПИД регулятора положения, кГц	-	-	2,5
Цена, руб/шт	5529	11420	14472

Учитывая данные из таблицы выше, можно сделать вывод, что для поставленных задач подходят все три контроллера, но последний контроллер включает в себя возможности двух других контроллеров, а также имеет регулятор

положения и возможность подключения абсолютного энкодера, что убирает необходимость подключения энкодера отдельно к контроллеру и настройку регулятора положения, также данный модуль обладает тремя интерфейсами передачи данных, это USB 2.0, CAN, RS232. Исходя из этого выбор был остановлен на устройстве управления двигателем EPOS4 от компании Махон. В этой же компании можно приобрести плату расширения для выбранного драйвера, которая позволит увеличить мощность данного устройства. Хотя использование готового контроллера, подобного этому, экономит время и усилия, необходимые для разработки различных режимов управления, требуется значительное время, чтобы понять и эффективно использовать множество режимов управления, предоставляемых сторонним продуктом.

3.2.3 Выбор акселерометра и гироскопа

Для функционирования робота в естественной среде, необходимо определять и, по возможности, сохранять положение равновесия корпуса робота, для этого будут использоваться акселерометр и гироскоп. Выбор будет производиться исходя из известных параметров двигателей.

Из таблицы 3 известно, что механическая постоянная времени выбранного двигателя составляет 12,3 мс, система будет состоять из шести двигателей, соответственно переходный процесс в двигателях, примерно, определяется как $5T = 62$ мс. Согласно техническому заданию, скорость передвижения робота составляет 200 мм/сек, в связи с тем, что это минимально допустимая скорость, в расчётах будет использоваться скорость равная 1500 мм/сек. Предположив, что робот будет развивать данную скорость за время переходного процесса, можно получить ускорение: $\frac{1500 \text{ мм/сек}}{62 \text{ мсек}} = 24,2 \text{ м/с}^2$, переводя полученное значение ускорения в g, можно получить следующее значение: $2,42g$. Это говорит о том, что для акселерометра достаточен диапазон от минус $2,42g$ до плюс $2,42g$, в такие диапазоны укладывается практически любой акселерометр.

В связи с тем, что скорость поворота робота вокруг оси, в техническом задании не указана, было принято решение принять скорость поворота равную 90 градусов в секунду. Данному требованию удовлетворяет большое количество гироскопов. Помимо вышеперечисленного, чтобы на неоднородной поверхности получать значения линейных изменений ускорения и вибрации, необходимо чтобы гироскоп и акселерометр измеряли свои показания во всех трёх осях.

В работах [29-30] рассматривается применение гироскопов и акселерометров для различных роботов, функционирующих на неоднородных поверхностях. Применяются как двухосные, так и трёхосные акселерометры, и гироскопы. Например, MEMS сенсор 3DM-GX1, передающий данные с частотой 100 Гц и работающим на диапазонах от 500 до плюс 500 и от минус 5g до плюс 5g. Для типичных скоростей движения роботов достаточно применения инерциальных датчиков, работающих на частотах (1.6 – 160) Гц [31]. Исходя из всего вышеперечисленного можно составить следующий список требуемых характеристик сенсоров.

Для гироскопа:

- Диапазон измерений: больше 90 °/сек.
- Точность: 0,5 °/сек.
- Количество осей: необходимо измерять отклонения в трёх осях, для того чтобы получать терромеханические характеристики среды (углы наклона робота).
- Стоимость: не более 3000 рублей.

Для акселерометра:

- Диапазон измерений: не менее диапазона от минус 2,42g до плюс 2,42g.
- Частота работы: не менее 5 Гц.
- Количество осей: необходимо измерять отклонения по трём осям, по Z – для возможности определения переходов между поверхностями, по X и Y – измерение ускорений, направленных по осям движения робота.
- Стоимость: не более 3000 рублей.

Согласно списку требуемых характеристик был выбран MEMS-сенсор MPU6050, характеристики которого представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики MEMS-сенсора

Наименование	Значение
Диапазон рабочих напряжений, В	3.3-6
Потребляемый ток, мкА	500
Диапазон измерений акселерометра	$\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16g$
Диапазон измерений гироскопа	$\pm 250 \pm 500 \pm 1000 \pm 2000$ °/сек
Интерфейс	I2C
Цена, руб/шт	400

3.2.4 Выбор дальномеров

В связи с тем, что робот будет функционировать как в помещениях, так и в условиях естественной среды, на борту робота необходимо наличие датчиков определяющих расстояние до объектов, в условиях естественной среды, для предотвращения столкновений и в помещениях, для реализации специальных алгоритмов преодоления препятствий, таких как взбирание по лестнице. Поскольку корпус робота, в длину, не должен превышать 500 мм, и для совершения манёвра также необходимо пространство в 500 мм, отсюда получается, что минимальное расстояние измерений должно быть не менее метра. На данный момент дальномерные приспособления делятся на активные и пассивные.

Активные включают в себя следующие:

- звуковой дальномер;
- лазерный дальномер;
- световой дальномер;
- радиодальномер;
- других конструкций.

Пассивные:

- дальномеры, использующие оптический параллакс (напр. дальномерный фотоаппарат);
- дальномеры, использующие сопоставление объекта какому-либо образцу (нитяной дальномер и т.д.);
- других конструкций.

На сегодняшний день широкое распространение получили ультразвуковые дальномеры и инфракрасные датчики, в силу достаточно простой эксплуатации, лёгкой доступности и не высокой цены относительно остальных видов. Было решено использовать ультразвуковые дальномеры, в связи с тем, что они обладают большей дальностью измерений, в добавлении к этому, дальность его измерений практически не зависит от типа поверхности, в отличии от инфракрасного дальномера, который не сможет определить дальность до препятствия со светопоглощающей поверхностью. Учитывая описанное выше, были рассмотрены несколько вариантов датчиков, в сегменте малогабаритных/мобильных, и составлена таблица с представленными в ней характеристиками.

Таблица 7 – Характеристики ультразвуковых дальномеров

Наименование	SRF005	JSN-SR04T	HCSR04
Напряжение питания, В	5	5	5
Номинальный ток, мА	40	50	20
Частота сигнала, кГц	40	40	40
Угол обзора, °	20	50	12
Слепая зона, см	3	25	2
Максимальное расстояние измерений, см	3	5	4
Цена, руб/шт	1570	745	600

По информации, отражённой в таблице видно, что датчики практически не имеют различий, расхождения происходят в графе слепой зоны, где один датчик имеет слепую зону в 25 см, что не удовлетворяет условиям задачи. Выбор был остановлен на дальномере SRF005, в связи с его большим углом обзора по сравнению с HCSR04.

Также следует отметить немаловажный факт, для того чтобы определять угол между препятствием и роботом необходимо иметь на борту два датчика, а для того, чтобы реализовать передвижение после поворота необходимо также два датчика с другой стороны, то есть на борту должно находиться четыре датчика.

3.2.5 Выбор датчика глобального позиционирования

Для локализации робота при работе в условиях внешней среды требуется датчик глобального позиционирования. Для выбора необходимо учесть погрешность позиционирования, которая не должна превышать 10 метров. В связи с тем, что на рынке присутствует, на выбор, как отдельные чипсеты, так и распаянные модули, выбор будет направлен на готовые модули, для уменьшения времени разработки. На данный момент существует большое разнообразие приёмников для различных целей, наиболее популярным модулем, в нынешнее время, является GY-NEO6MV2, в силу невысокой цены, простой эксплуатации и легкой доступности. Характеристики типовых приёмников, приведены, выборочно, из проделанного обзора в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики GPS приёмника

Наименование	GY-NEO6MV2	AMP-B167	EM-411
Чипсет	NEO-6M [32]	Neoway G7[33]	SiRF Star III[34]
Навигационные системы	GPS	GPS, GLONASS, BeiDou	GPS
Рабочие частоты, МГц	GPS-1575,42	GPS-1575,42 GLONASS-1602,5625 BeiDou-1561,098	GPS-1575,42
Чувствительность, дБм	-161	-165	-159
Протокол передачи данных	NMEA	NMEA, RTCM	NMEA
Скорость передачи данных по умолчанию, бод	9600	9600	4800

Продолжение таблицы 8 – Характеристики GPS приёмника

Наименование	GY-NEO6MV2	AMP-B167	EM-411
Интерфейс передачи	UART, USB, SPI, I2C	UART	UART
Погрешность позиционирования, м	2,5	3	5
Напряжение питания, В	3,3-5	3,3-5	4,5-6,5
Потребляемый ток, мА	25	25	60
Цена, руб/шт	1790	1290	1470

По данным из таблицы можно сделать вывод, что модуль, основанный на чипсете SiRF Star III имеет большую погрешность позиционирования, по сравнению с другими, представленными в таблице, модуль на чипсете NEO-6M незначительно отличается от модуля на Neoway G7, имеет меньшую погрешность, но в свою очередь последний обладает тремя навигационными системами, при использовании сразу двух систем, GPS и GLONASS, можно снизить погрешность до 1,5 метров [35]. Исходя из всего вышеописанного, наиболее подходящим, является модуль AMP-B167 от компании «Амперка».

3.2.6 Выбор тензометрических датчиков

Для применения определённых алгоритмов, таких как, определение подстилающей поверхности, необходимо наличие тензометрических датчиков. Поскольку масса робота не должна превышать 6 кг, необходим датчик, измеряющий приложенное к нему усилие в диапазоне (0 – 10) кг. Для того чтобы закрепить данный вид датчиков на движителе, требуются малогабаритные датчики, достаточно плоские, для того чтобы не мешать передвижению робота. Из [36] известно, что тензометрические датчики делятся на следующие типы:

- резистивные;
- магнитные;
- тактильные;

- пьезорезонансные;
- емкостные;
- пьезоэлектрические.

Также, согласно обзору принципов работы разных типов датчиков, из [36], понятно, что большинство типов датчиков не удовлетворяют габаритным параметрам, в силу своих конструктивных особенностей. Наиболее подходящими в данной работе будут тактильные и резистивные тензометрические датчики. Резистивные датчики по своему конструктиву могут быть гораздо тоньше тактильных, выходной сигнал у обоих одинаковый, изменение значения сопротивления, но резистивные датчики более доступные и распространённые, поэтому было решено использовать именно их. Согласно данным, из электронного ресурса [37], большинство датчиков имеют квадратные, круглые, прямоугольные формы и обладают одинаковыми диапазонами измерений от 0,1 кг до 10 кг. Квадратные используют, в основном, когда необходима большая зона сканирования, поэтому они обладают габаритами в 45 x 45 мм и больше, прямоугольные имеют габариты 6,35 x 609,6 мм, круглые имеют диаметр 12,7 мм. Исходя из этого было решено использовать именно круглый датчик, так как его габариты подходят для движителя шириной в 20 мм. Наиболее распространённым и доступным датчиком в нынешнее время является FSR402, который обладает следующими параметрами:

Габариты: длина 56 мм, диаметр окружности 12,7 мм, толщина (0,2 – 1,25) мм.

- Диапазон чувствительности прикладываемой силы: от 100 г до 10 кг.
- Сопротивление датчика без приложенной силы: более 10 Мом.
- Повторяемость показаний: $\pm 2 - 6 \%$.
- Гистерезис: +10 %.
- Жизненный цикл датчика: более 10 млн нажатий.
- Диапазон рабочих температур: от минус 30 °С до плюс 70 °С.
- Стоимость: 790 рублей.

3.2.7 Выбор камеры

Камера в данной работе будет использоваться для удалённого управления роботом, в труднодоступных для людей месте. Поскольку в техническом задании указано минимальное разрешение камеры в 640 x 480, которая должна быть на работе, обзор будет проводиться исходя из этого условия, а также из условий минимально возможных габаритов, немаловажным фактором выбора является частота кадров и скорость передачи данных с камеры. В результате обзора камер, имеющихся на рынке, были выделены следующие виды камер, отраженные в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики камер

Наименование	DNS- HD101AB	FA- CAM202	Levenhuk T130 PLUS	OV2640
Разрешение видеозаписи	1920x1080 1280x720 640x480	1600x1200 1280x720 640x480	1280x1024 640x512 320x256	1600x1200 1280x720 640x480
Число мегапикселей матрицы, МП	2	2	1,3	2
Частота кадров, кадры в секунду (fps)	5 8 30	7 10 30	15 26 50	6 9 30
Интерфейс передачи данных	USB2.0	USB2.0	USB2.0	SCCB(I2C)
Габариты, мм × мм	50 × 30	30 × 25	40 × 40	27 × 27
Цена, руб/шт	1090	1990	9900	980

Каждая из представленных камер удовлетворяет требованиям, камера OV2640 имеет наименьшие габариты по сравнению с другими, но данная камера не подходит в связи с более медленным интерфейсом передачи данных, в отличие от других представленных в таблице, поэтому выбор был остановлен на камере FA-CAM202, которая обладает незначительно большими размерами, по сравнению с вышеописанной и большей частотой кадров в секунду.

3.2.8 Выбор контроллера управления

В дальнейших перспективах развития планируется применение более сложных алгоритмов, чем просто движение, таких как определение подстилающей поверхности, патрулирование территории, распознавание объекта и следование за ним и т.д., для их реализации потребуются большие вычислительные мощности, а также необходима возможность установки на контроллер операционной системы, это облегчит дальнейшие манипуляции с контроллером. Более того, выше были описаны и выбраны элементы системы, которые обладают различными интерфейсами передачи данных, UART, I2C, USB, RS232. В связи с этим, требуется чтобы контроллер мог принимать данные с этих интерфейсов. Также необходимо принимать изображение с камеры, по интерфейсу USB, и отправлять его на устройство оператора, для этого желательно наличие встроенного приёмопередатчика на борту контроллера, вместе с этим требуется наличие шести дополнительных USB 2.0 интерфейсов, для подключения силовых контроллеров управления двигателями. Учитывая специфику, описанную выше, можно сделать вывод, что в качестве контроллера верхнего уровня можно использовать одноплатные компьютеры. Поэтому далее обзор и выбор будет происходить среди одноплатных компьютеров. Характеристики одноплатных компьютеров приведены, из проделанного обзора, в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики одноплатных компьютеров

Наименование	A20-OlinuXino-LIME2 [38]	Raspberry Pi 4 Model B [39]	ODROID-C4 [41]
Частота процессора, ГГц	1	1,5	2
Наличие GPU	Есть	Есть	Есть
Оперативная память, Гб	1, DDR3	4, DDR4	2, DDR3L
Память	microSD	microSD	microSD

Продолжение таблицы 10 – Характеристики одноплатных компьютеров

Наименование	A20-OlinuXino-LIME2 [38]	Raspberry Pi 4 Model B [39]	ODROID-C4 [41]
WiFi	Нет	Есть	Нет
Bluetooth	Нет	Есть	Нет
USB 2.0/3.0	0/2	2/2	1/2
Ethernet, Mbit/s	100	1000	1000
GPIO	160	40	42
UART	Есть	Есть	Есть
I2C	Есть	Есть	Есть
Напряжение питания, В	5	5	5
Ток потребления, А	2	3	2
Поддерживаемые операционные системы	Linux	Linux, Raspbian, Windows 10	Linux, Android
Цена, руб/шт	8600	6990	6209

По данным отражённым в таблице, можно сделать вывод, что для данной работы подходит компьютер Raspberry Pi 4, он обладает хорошими техническими характеристиками и имеет на борту встроенные WiFi и Bluetooth приемопередатчики, помимо этого, с данным устройством имеется опыт работы, что позволит сократить время разработки. Исходя из всего вышеописанного был выбран именно этот компьютер. Однако, выбранное устройство не обладает желаемым количеством интерфейсов USB 2.0, поэтому, в данном случае, необходимо использование четырехпортового USB-концентратора со встроенным USB-UART преобразователем, который называется USB HUB NAT и стоит 800 рублей. Он позволит к уже имеющимся интерфейсам добавить дополнительные четыре. Помимо этого, ни один из представленных компьютеров не обладает встроенным аналого-цифровым преобразователем, поэтому, для подключения датчиков будет использоваться шилд прецизионного АЦП/ЦАП для Raspberry Pi 4

от компании WaveShare, который имеет восемь каналов АЦП и два канала ЦАП [42].

3.2.9 Выбор аккумуляторной батареи

Одной из основных задач при разработке мобильных платформ является выбор аккумулятора, который будет способен обеспечить достаточную мощность при высоких скоростях разряда и при этом иметь достаточно высокую ёмкость для поддержания работы в течении длительных периодов времени без дозаряда. На данный момент большую долю рынка занимают литий-полимерные батареи, в силу их высокого отношения энергии к весу, энергии к стоимости и эффективности заряда-разряда [43, 44].

Наиболее важным фактором при выборе источника питания является напряжение. Самым высоким напряжением питания, в системе, обладает двигатель, номинальное рабочее напряжение которого составляет 24 В, в установившемся режиме, двигатель потребляет 2,3 А, пусковой ток составляет 23,3 А. Одноплатному компьютеру, для нормальной работы, необходим ток в 3 А, все датчики, в общем, потребляют ~400 мА. Помимо данных параметров, согласно техническому заданию, необходимо обеспечить минимум час непрерывной работы. Согласно данным, приведённым выше, необходим аккумулятор ёмкостью больше 17,2 Ач и напряжением равным 24 В или мощностью 413 Вт. Проведя обзор рынка аккумуляторов, стало понятно, что найти литий-полимерный аккумулятор такой мощности, достаточно проблематично, но был найден литий-ионный аккумулятор от компании AERDU, характеристики представлены ниже.

Характеристики батареи AERDU:

- Номинальное напряжение: 25,9 В.
- Диапазон выходных напряжений: (19,25 – 29,4) В.
- Номинальная ёмкость: 17,5 Ач.
- Номинальная мощность: 453 Вт.
- Габариты: 265 x 95 x 40 мм.

– Цена: 10985 рублей.

Характеристики данного аккумулятора соответствуют найденным выше, поэтому был выбран именно этот аккумулятор. Время непрерывной работы составит 61 минута, что удовлетворяет заданным в техническом задании условиям. У выбранных источников питания имеются встроенные модули защиты от перезаряда, переразряда и от короткого замыкания, что убирает необходимость в дополнительном выборе данных устройств. Для зарядки выбранных батарей необходимо будет приобрести у этого же производителя зарядное устройство, стоимостью 1165 руб. Согласно техническому заданию, необходимо осуществлять контроль уровня напряжения, и обеспечить его индикацию. Для выполнения данных операций может использоваться цифровой вольтметр, минимальное измеряемое напряжение которого составляет 30 В, так как самое высокое рабочее напряжение составляет 24 В. В качестве описанного выше датчика будет использоваться цифровой вольтметр с диапазоном измерений от 3,3 В до 30 В, стоимостью 140 рублей, на момент написания работы [45].

3.2.10 Выбор понижающих преобразователей

Для питания выбранных в разделах 1.2.1. – 1.2.8. компонентов будут применены понижающие преобразователи постоянного тока. Критерием для выбора данного устройства является пропускная способность по току, максимальное входное напряжение и выходная мощность. Силовой контроллер потребляет максимум 1 А, номинальное напряжение 15 В, так как данных контроллеров в системе будет шесть, то выходной ток преобразователя должен быть не менее 6 А, выходная мощность не менее 90 Вт. Исходя из этого был выбран преобразователь PW821, характеристики которого представлены ниже.

Характеристики преобразователя PW821 [46]:

- Диапазон входных напряжений: (7-32) В.
- Диапазон выходных напряжений: (1,3-27) В.
- Диапазон выходного тока: (0-10) А.

- Выходная мощность: 140 Вт.
- Стоимость 1600 рублей.

Одноплатный компьютер потребляет 3 А при напряжении питания 5 В, мощность получается 15 Вт, датчики при 5 В потребляют 400 мА, что даёт 2 Вт мощности, итого получается минимальная выходная мощность преобразователя должна быть не менее 17 Вт. Для параметров, описанных ранее, был выбран преобразователь напряжения XL4005, характеристики которого представлены ниже.

Характеристики преобразователя XL4005 [47]:

- Диапазон входных напряжений: (5-32) В.
- Диапазон выходных напряжений: (0.8-30) В.
- Диапазон выходного тока: (0-5) А.
- Выходная мощность: 75 Вт.
- Защита от короткого замыкания: есть, ограничение тока 8 А.
- Стоимость 203 рубля.

3.3 Разработка функциональной схемы и дерева вызова процедур

В разделе 1.2 были выбраны все составляющие разрабатываемого робота, пользуясь параметрами выбранных модулей можно составить функциональную схему. По ходу выбора происходили отклонения от структурной схемы, сформированной ранее. Для более удобной работы необходимо расписать, что из себя представляют блоки, указанные в структурной схеме. Мехатронный модуль состоит из двигателя ЕС 45, редуктора GP 32 HP и контроллера управления EPOS4, который обрабатывает, через цифровые входы, показания с датчиков Холла, установленных внутри двигателя. Вместе с этим, данный контроллер обрабатывает данные с датчиков тока, которые установлены на контроллере, также передаёт данные с датчиков через интерфейс USB2.0 на главный компьютер. При выборе аккумулятора, было решено использовать один для всей системы.

В качестве контроллера верхнего уровня будет использоваться одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 Model B, к которому по интерфейсам USB 2.0 будут подключены контроллеры с нижнего уровня и выбранная камера FA-CAM202. Управление роботом удалённо будет осуществляться через встроенный WiFi приёмник, с помощью которого будет отправляться и приниматься информация о скорости и режиме движения. К цифровым входам будут подключаться выбранные дальномеры SRF005 и тензометрические датчики FSR402. Акселерометр-гироскоп MPU6050 и датчик глобального позиционирования Neoway G7 обладают интерфейсами передачи данных I2C и UART соответственно и подключаются к данным интерфейсам на контроллере. Исходя из описанного выше была получена функциональная схема, представленная на рисунке 6.

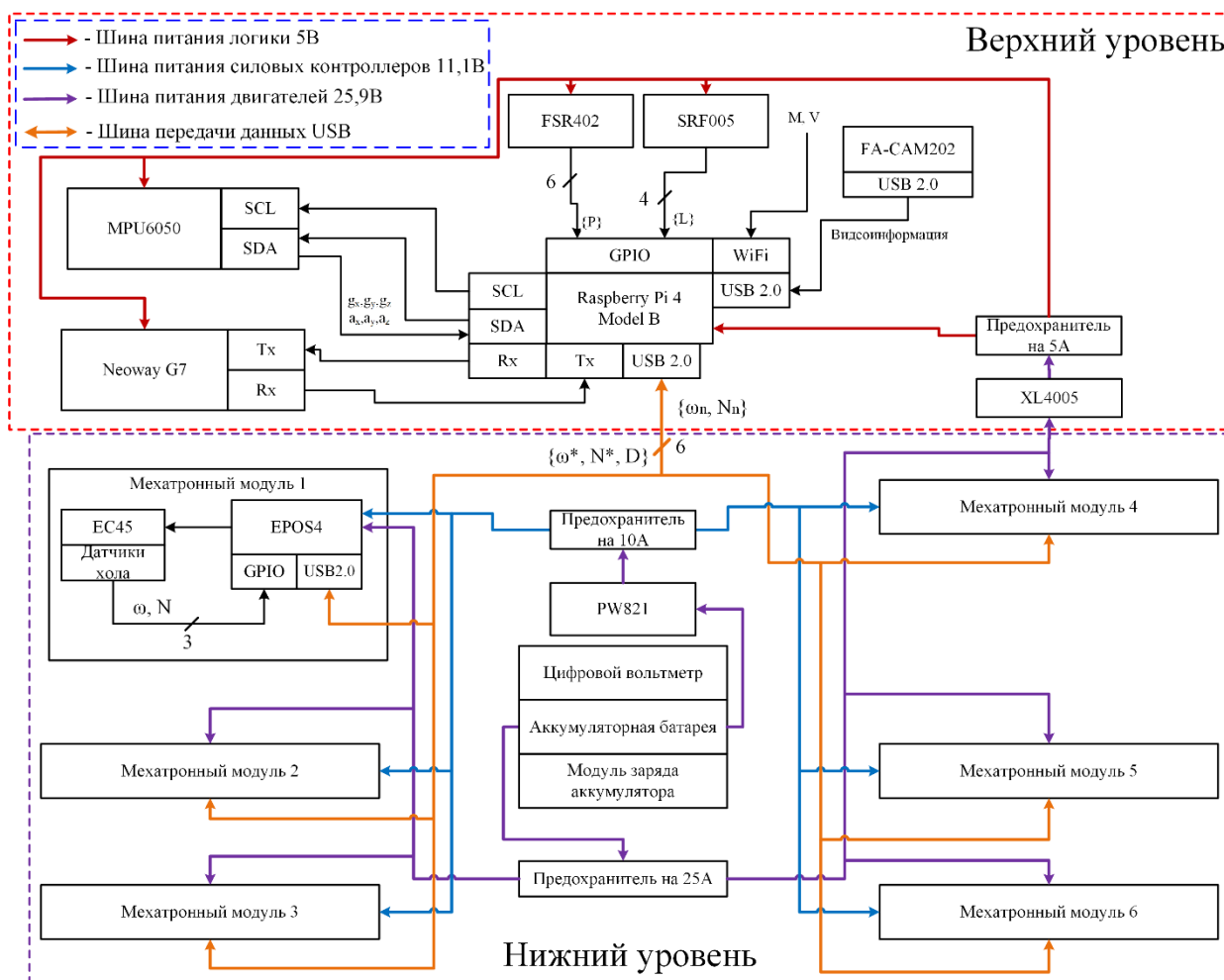


Рисунок 6 – Функциональная схема робота гексапода

Чтобы разработать программное обеспечение необходимо определиться с функциями системы. При разработке сложных систем принято представлять функции в виде дерева вызова процедур. Согласно структурной и функциональной схемам разработки, робот должен выполнять следующие функции:

- работа с оператором;
- сбор данных с датчиков;
- определение типа подстилающей поверхности;
- определение и обход препятствий;
- контроль уровня напряжения;
- движение в зависимости от выбранного режима.

Поскольку для определения типа подстилающей поверхности и для определения и обхода препятствий, необходим постоянный сбор данных с датчиков, то обе эти функции будут использовать процедуру сбора данных, а также использование данной процедуры необходимо для движения.

Процедура контроля напряжения должна принимать данные с цифрового вольтметра, обрабатывать их и сравнивать с заданным значением напряжения системы, после чего принимать решение о продолжении работы системы или о её выключении.

Процедура работы с пользователем должна принимать данные, заданные пользователем, преобразовывать их и передавать на другие блоки. Помимо этого, данная процедура должна осуществлять вывод изображения с камеры на экран пользователя.

Для выполнения функции движения робота необходимо также, как и для других получать данные с датчиков, алгоритмы движения, помимо этого, требуется получать данные с функций определения препятствий и определения поверхности, и в зависимости от этих данных будет происходить корректировка алгоритма движения. В свою очередь функции определения типа подстилающей поверхности и обхода препятствий, будут также получать данные с датчиков, будут использовать собственные алгоритмы получения типа поверхности и нахождения

препятствий, а также, будут производить анализ полученных результатов и сравнение их с заданными эталонными значениями. На рисунке 7 представлено дерево вызова процедур для работа гексапода.

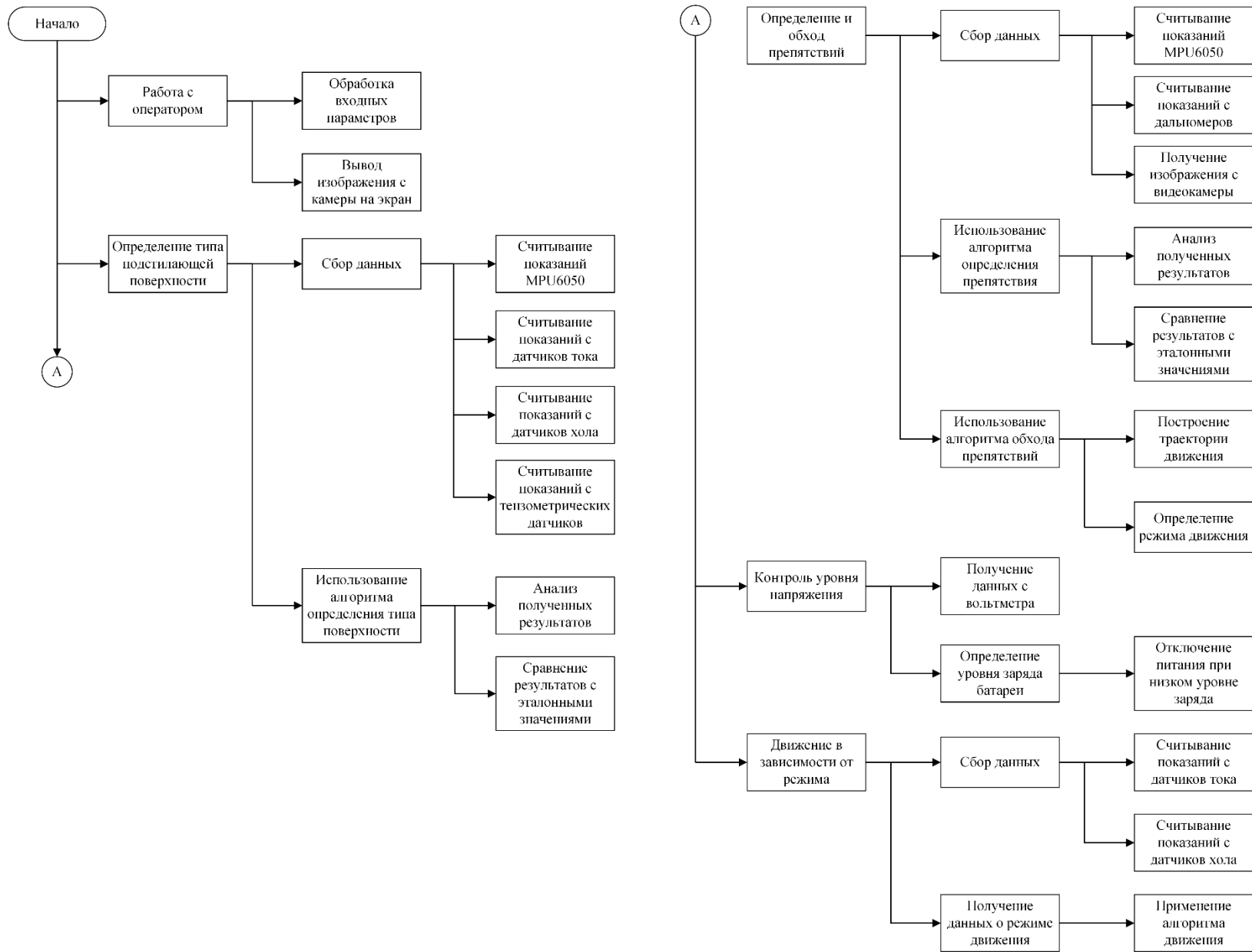


Рисунок 7 – Дерево вызова процедур

3.4 Разработка алгоритма передвижения

Согласно техническому заданию, в рамках выпускной квалификационной работы, будут разработаны следующие алгоритмы движения, подъём, движение вперёд и назад, повороты направо и налево, опускание робота на дно. Чтобы робот принимал нужное положение перед тем, как двигаться, то есть совершал подъём, нужно будет каждый движитель повернуть в нулевую позицию, для этого будут использоваться датчики положения, установленные в приводе.

Для движения, роботам данного типа необходимо, чтобы в любой момент времени у робота были три точки опоры на поверхность, по которой он передвигается, этот вид передвижения называется «tripod» (с англ. «штатив»). Чтобы робот переместился при исполнении шага, требуется, чтобы он преодолел расстояние, равное длине дуги А-Б, рисунок 8, это расстояние и будет определять перемещение робота. В связи с этим, для перемещения, необходимо, чтобы при выполнении поворота первой троицы ног на 330° , начинался поворот второй троицы ног. Для передвижения вперёд движители робота должны вращаться в одну сторону, однако, чтобы совершить поворот, необходимо ноги с одной стороны вращать в обратную сторону, по типу гусеничного поворота. На рисунках 10-12 представлен разработанный алгоритм.

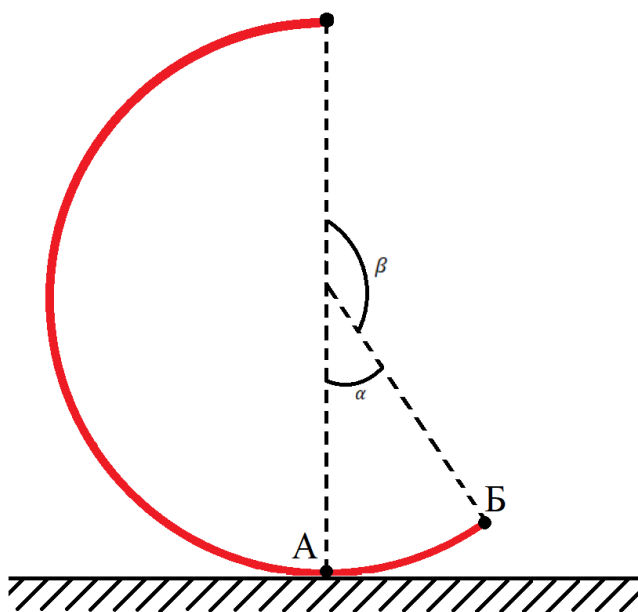


Рисунок 8 – Схематичное изображение движителя

На рисунке 9 показан процесс двух полных шагов робота с продолговатым типом корпуса и дуговыми движителями, на рисунке 9 (е, ж) можно наблюдать момент, описанный выше, когда первая тройка движителей ещё не закончила вращение, а вторая уже начинает.

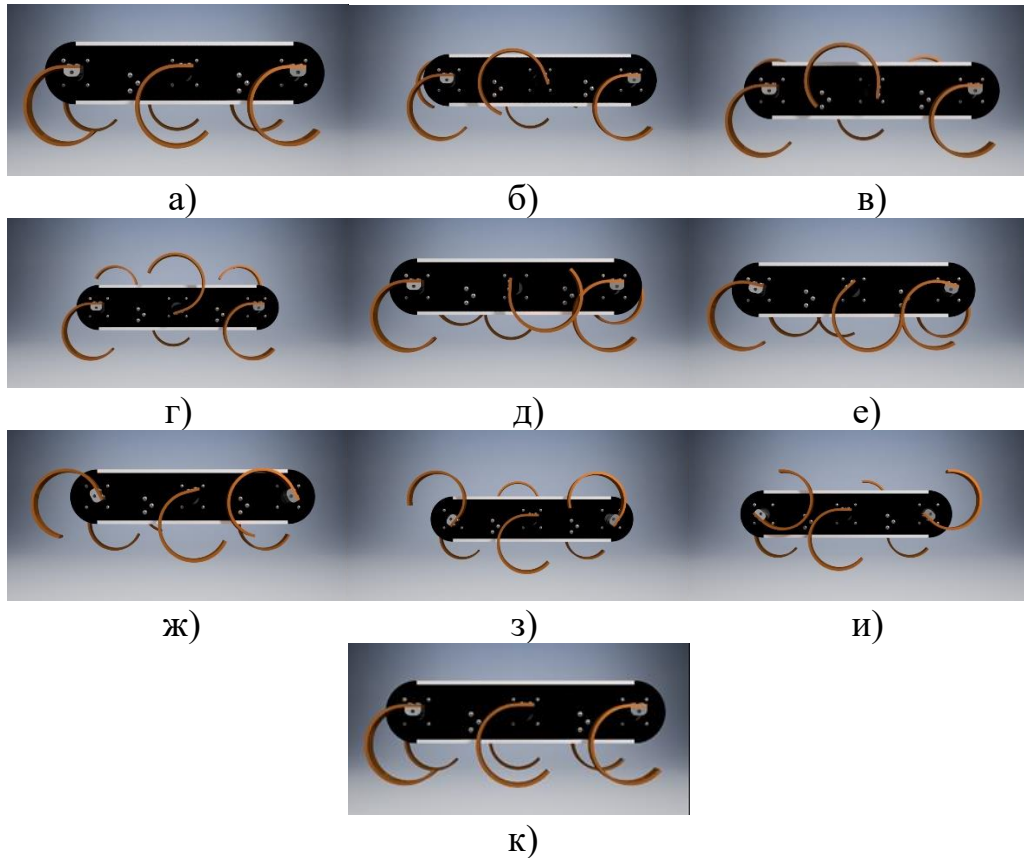


Рисунок 9 – Два полных шага робота гексапода

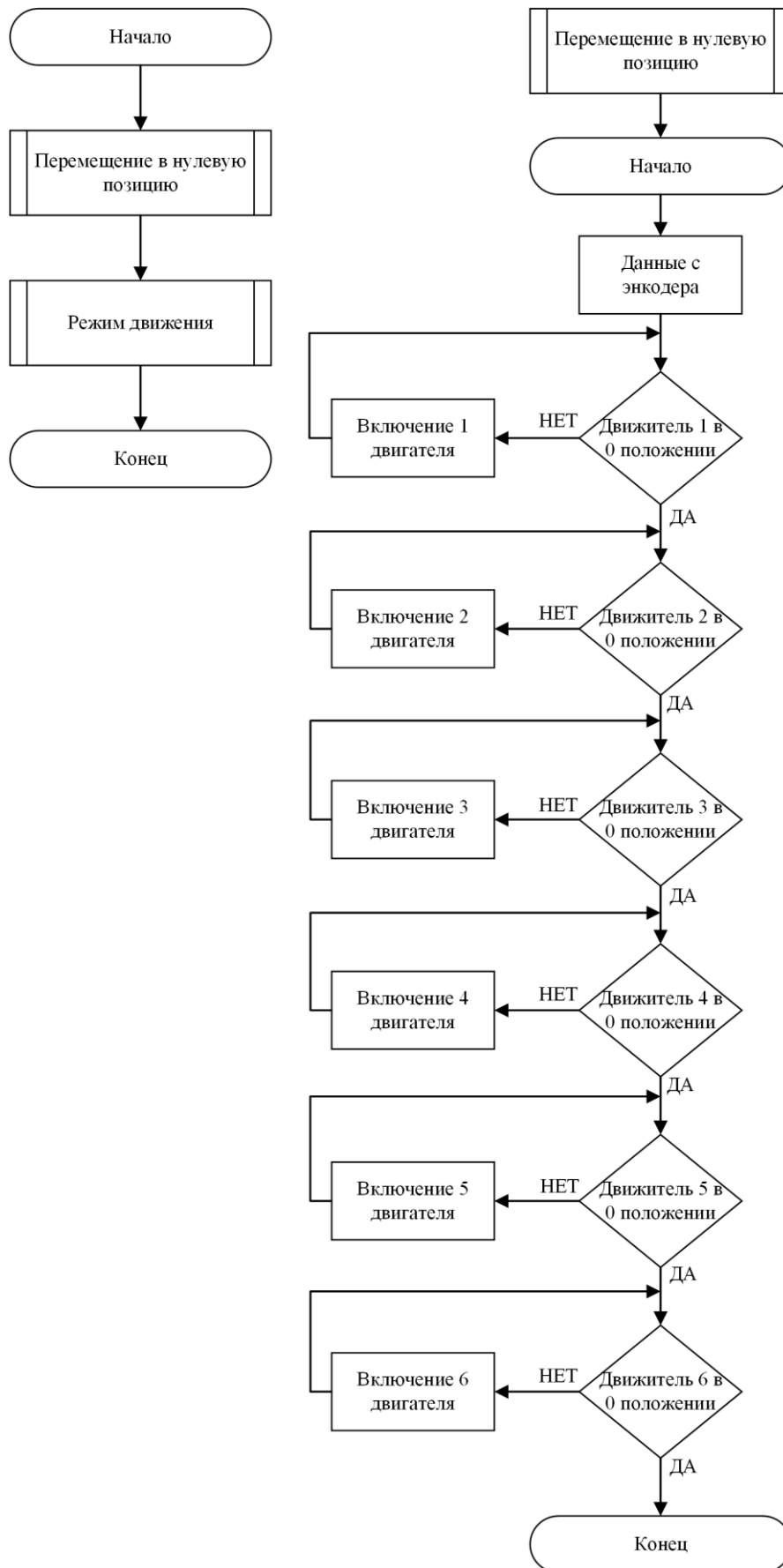


Рисунок 10 – Алгоритм движения, часть 1

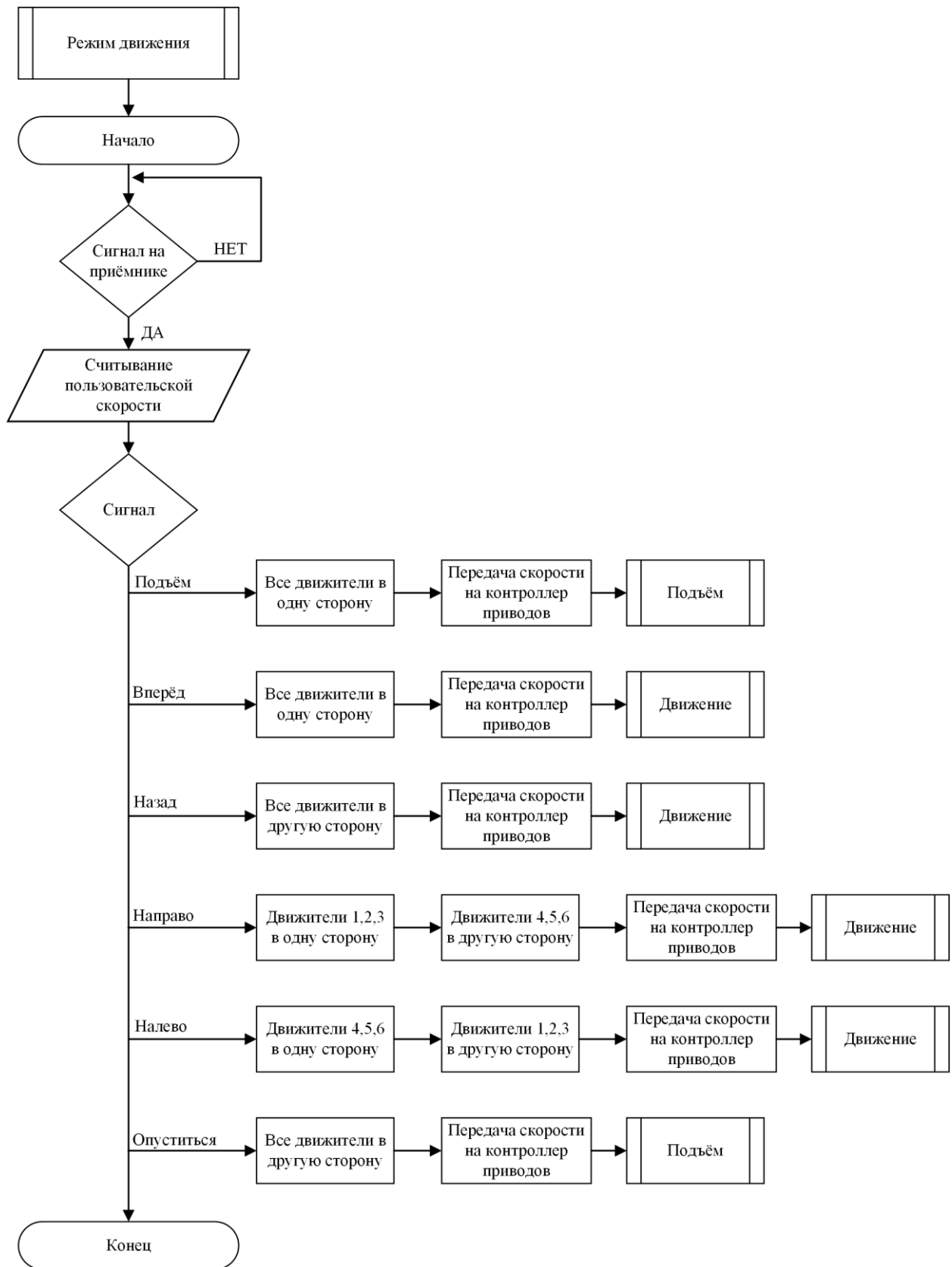


Рисунок 11 – Алгоритм движения, часть 2

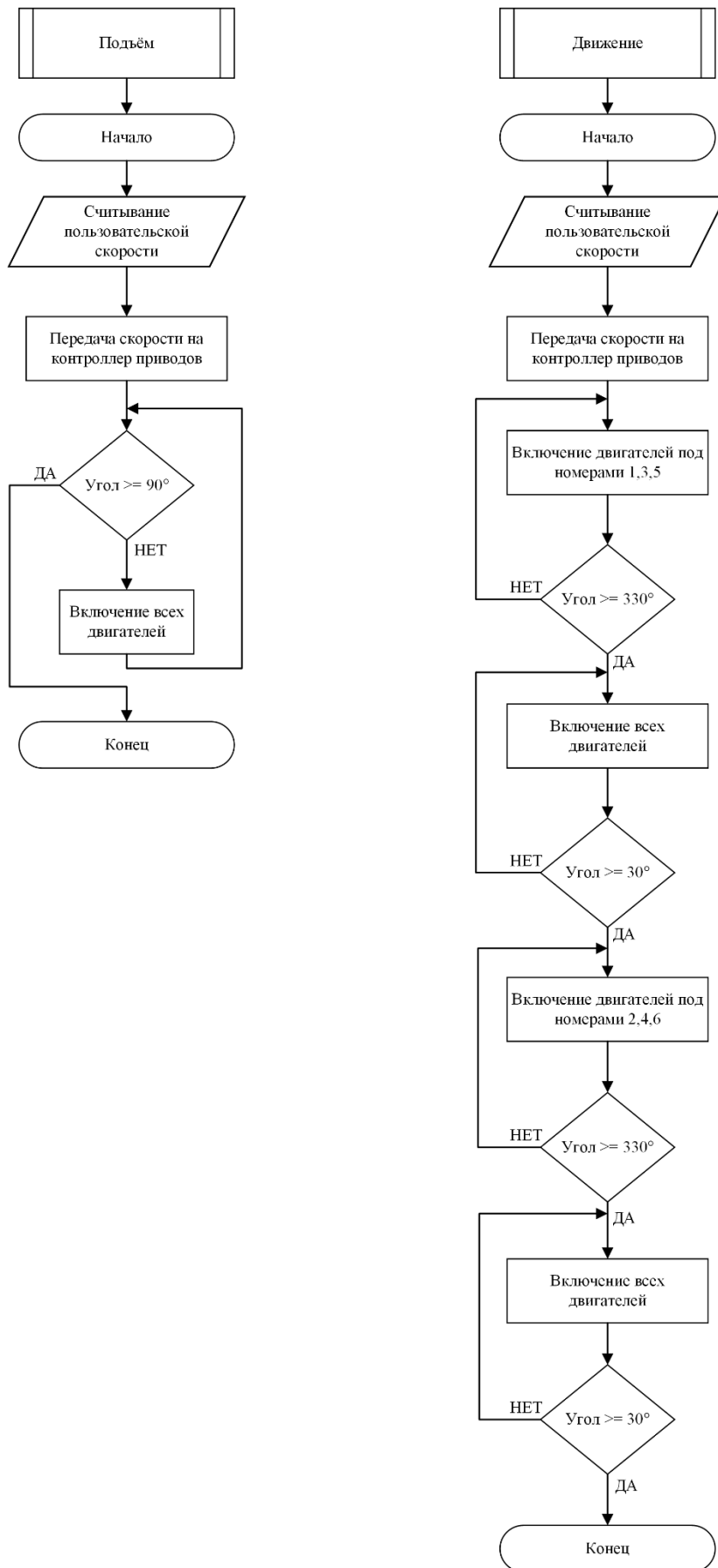


Рисунок 12 – Алгоритм движения, часть 3

4 Разработка макета мобильного робота

Чтобы проверить, разработанные выше, алгоритмы движения, требуется наличие работающего макета. Поэтому было решено разработать макет, на котором можно было бы проверять простейшие алгоритмы движения, а также, при дальнейшей модернизации, более сложные. Основными критериями разработки стали скорость и простота, потому как, необходимо было быстро собрать и проверить алгоритм в действии.

4.1 Выбор двигателей и силовых схем управления

Учитывая специфику робота, описанную в разделах 1, 2 и 3, для разработки макета необходимо наличие шести двигателей, в связи с тем, что для заказа и доставки выбранных двигателей необходимо большое количество времени и денег, было принято решение использовать имеющиеся в наличии приводы, а именно двигатели постоянного тока и шаговые приводы.

Вначале был применён мотор-редуктор на основе двигателя постоянного тока 25GA370, который обладал меньшими габаритами и весом, по сравнению с шаговым приводом, а также имел скорость в 100 об/мин и момент, равный 0,1 Нм. Для регулирования скорости и положения был применён энкодер, который был установлен на приводе, с разрешающей способностью 1000 тиков на оборот. Но в процессе эксплуатации, при применении алгоритма регулирования скорости и положения, у данного двигателя был обнаружен люфт, из-за которого становилось затруднительным управление данным двигателем. Поскольку шаговые двигатели обладают возможностью точного позиционирования без использования датчиков обратной связи, было принято решение использования более габаритных и тяжёлых, двухфазных шаговых приводов 17HS15-1504S, характеристики которых приведены ниже.

- Номинальный ток фазы: 1,5 А.
- Сопротивление фазы: 2,3 Ом.
- Удерживающий момент: 0,45 Нм.

- Угол шага: $1,8^\circ$.
- Вес: 0,28 кг.

Для управления данными приводами необходим силовой драйвер-инвертор, исходя из параметров двигателя, драйвер должен пропускать через себя минимум 1,5 А и иметь возможность коммутировать два канала, так как двигатель двухфазный. В связи с этим был применён наиболее распространённый и легкодоступный драйвер шаговых двигателей DRV8825, характеристики представлены ниже.

- Максимальный ток на канал: 1,6 А (с радиатором до 2 А).
- Диапазон рабочих напряжений: (8-45) В.
- Диапазон напряжений питания логики: (3,3-5) В.
- Наличие защиты от перегрузок по напряжению, току и температуре.
- Деление шага: полный шаг, 1/2-шага, 1/4-шага, 1/8-шага, 1/16-шага, 1/32-шага.

4.2 Выбор контроллера и беспроводного приёмопередатчика

Следующим шагом в разработке макета стал выбор контроллера управления, поскольку на данном этапе разработки не планировалось использование сложных алгоритмов, для которых необходимы большие вычислительные мощности, выбор был остановлен на контроллере, с которым был опыт работы, а именно на ATmega 2560, на базе отладочной платы Arduino Mega. Небольшая сводка характеристик приведена ниже.

- Рабочее напряжение: 5 В.
- Диапазон входных напряжений: (7-12) В.
- Цифровые Входы/Выходы: 54.
- Постоянный ток через вход/выход: 40 мА.
- Тактовая частота: 16 МГц.

Исходя из технического задания на разработку и разработанных функциональной и структурной схем, для беспроводной связи, на борту робота

необходим приёмопередатчик. Поскольку, на данном этапе работы нет необходимости передавать изображение с камеры на устройство оператора, то есть не нужна высокая скорость передачи, было решено использовать Bluetooth модуль HC-06, в связи с наличием такового на момент создание макета.

4.3 Разработка платы подключения

В соответствии со структурой, разработанной в разделе 3.1, логическая часть драйвера должна подключаться к одному источнику питания, а силовая часть к другому, для стабильной работы, контроллеру необходим отдельный источник питания. Но, согласно функциональной схеме, разработанной в разделе 3.3, можно использовать один источник питания, а всю логику питать через преобразователи напряжения. Чтобы подключить шесть драйверов, требуется общая шина питания для двигателей и общая шина питания для логической части драйвера. Поэтому, было принято решение развести печатную плату, которая включала бы в себя общую шину питания двигателей и общую шину питания логики, а также для более удобного подключения драйверов к контроллеру.

При разработке печатной платы, был выявлен ряд критериев, по которым производилась разводка. Первым критерием стали габариты получающейся платы, которые не должны превышать 90×90 мм, вторым критерием является доступность всех выводов модуля драйвера, третьим является ширина силовых дорожек, которая должна быть не менее 1,5 мм, поскольку по ним будет протекать ток от 1,5 А до 2 А. Чтобы развести плату в соответствии с первым критерием было решено делать двухстороннюю плату. Схемы разводки и подключения устройств к контроллеру представлены в приложении Б. Получившаяся печатная плата представлена рисунке ниже.

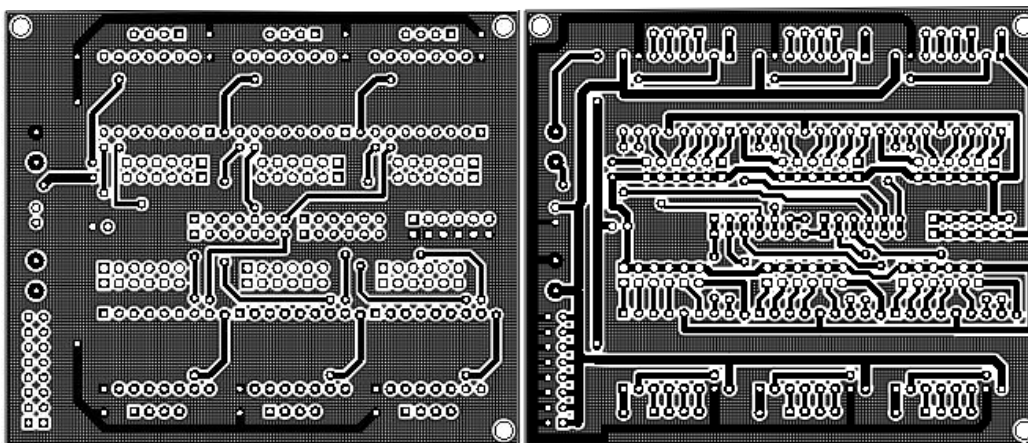


Рисунок 13 – Печатная плата

4.4 Разработка и изготовление конструкции робота

Учитывая габариты шаговых приводов и опираясь на заданные в техническом задании габариты 500 x 350 x 150 мм, был разработан каркас робота, который включает в себя боковые стенки, дно и крышку, чертежи которых представлены в приложении В. На одной из боковых стенок было сделано отверстие для выключателя, это сделано для более удобной эксплуатации макета. При проведении испытаний, было обнаружено, что силовые схемы, при нагрузке, могут разогреваться до 70 °С, для предотвращения перегрева драйверов, на крышке размещается специальный вырез под кулер, для циркуляции горячего воздуха, выделяемого при работе системы. Каркас робота было решено изготавливать из оргстекла, поскольку данный материал является относительно хрупким, было решено использовать оргстекло толщиной 5 мм, для крепления боковых стенок ко дну был применён стальной уголок. После подготовки чертежей и определения материала из которого будет собираться робот, чертежи были отправлены на резку оргстекла. По полученным габаритам, для лучшего понимания и более быстрой сборки, была создана 3D модель робота, представленная на рисунке 14.

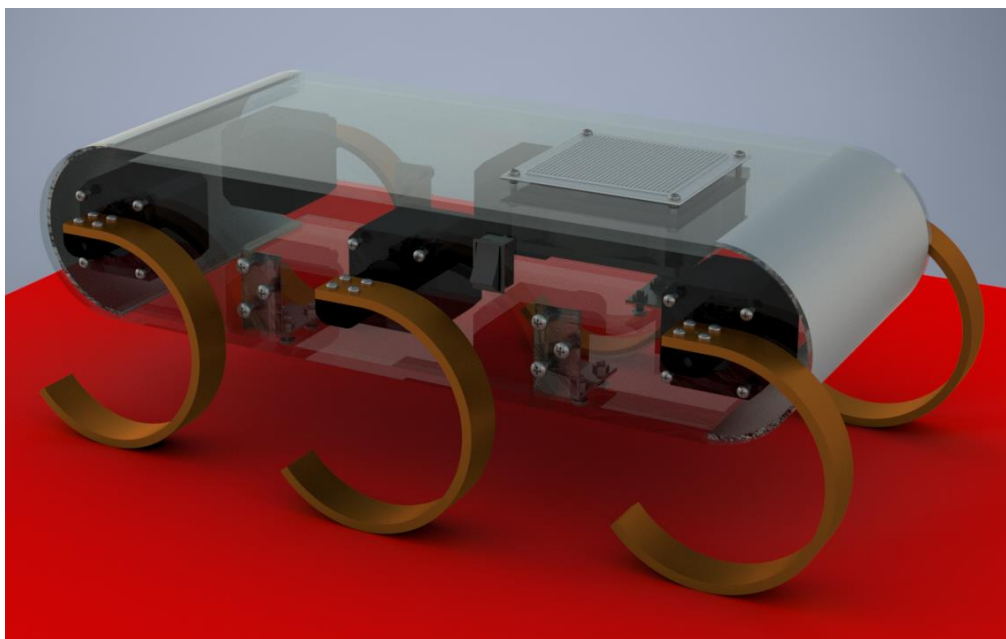


Рисунок 14 – 3D модель мобильного робота

Из-за не заурядной формы двигателей, на данном этапе работы, было решено изготовить их с помощью технологии 3D-печати, для чего была сделана модель двигателя, которую можно наблюдать в сборе с конструкцией, на рисунке 14. После изготовления всех деталей макет робота, представленный на рисунке 15, он был собран.

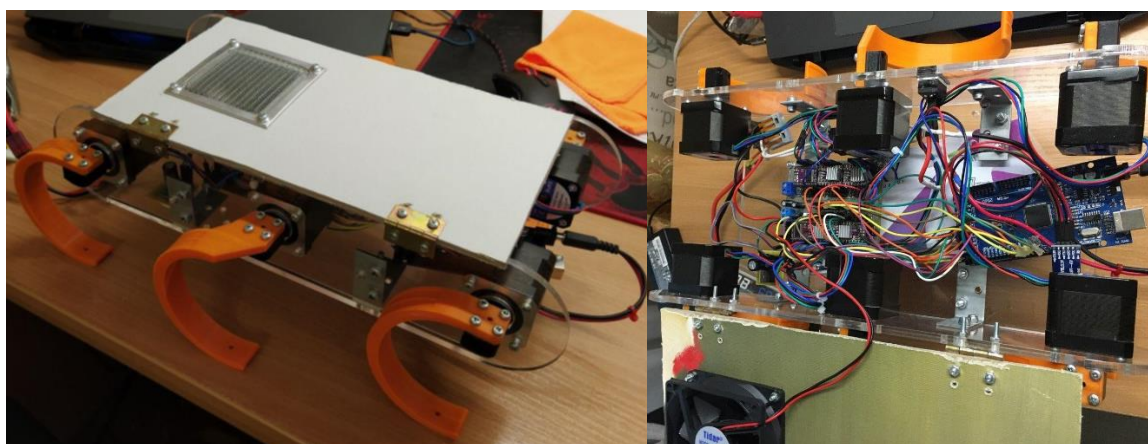


Рисунок 15 – Собранный макет

4.5 Корректировка алгоритма и проведение испытаний

После сбора макета, разработанный в разделе 3.4 алгоритм передвижения необходимо было корректировать под шаговые двигатели. Поскольку шаговые приводы имеют возможность точного позиционирования без использования

датчиков обратной связи, требуется заменить блок с условием о проверке угла поворота на блок с условием о проверке количества выполненных шагов, однако, чтобы избежать замены всех блоков была введена функция пересчёта шагов в градусы. Пользователь будет задавать необходимое количество градусов, а функция будет пересчитывать их в шаги.

Для того, чтобы сделать функцию пересчёта необходимо знать количество шагов, которое совершает привод для того, чтобы повернуть вал на один оборот. Из характеристик привода известно, что один шаг двигателя равен $1,8^\circ$, отсюда следует, что оборот вала в 360° будет происходить за 200 шагов. Зная это можно количество шагов разделить на 360° и получить количество шагов в одном градусе, затем умножить заданный оператором угол на получившееся значение шага на градус. Корректированный алгоритм представлен на рисунке 16.

После корректировки алгоритма были проведены испытания получившегося макета. При проведении испытаний стало понятно, что при высокой скорости передвижения двигателя не справляются с нагрузкой, не хватает удерживающего момента, происходит пропуск шагов привода. Избавиться от этой проблемы может помочь редуктор, установленный на шаговый привод, либо датчик обратной связи, для отслеживания положения вала. При меньшей скорости, робот передвигается точно, без пропуска шагов, но медленно, 50 см в минуту. Однако, даже при такой скорости робот не способен преодолеть препятствие высотой более 4 см, это также связано с пропуском шага двигателей. Для нивелирования данной проблемы может быть применён также датчик обратной связи и специальный алгоритм адаптации передвижения. Передвижение робота по снегу, а также попытку преодоления им препятствия можно наблюдать на рисунке 17.

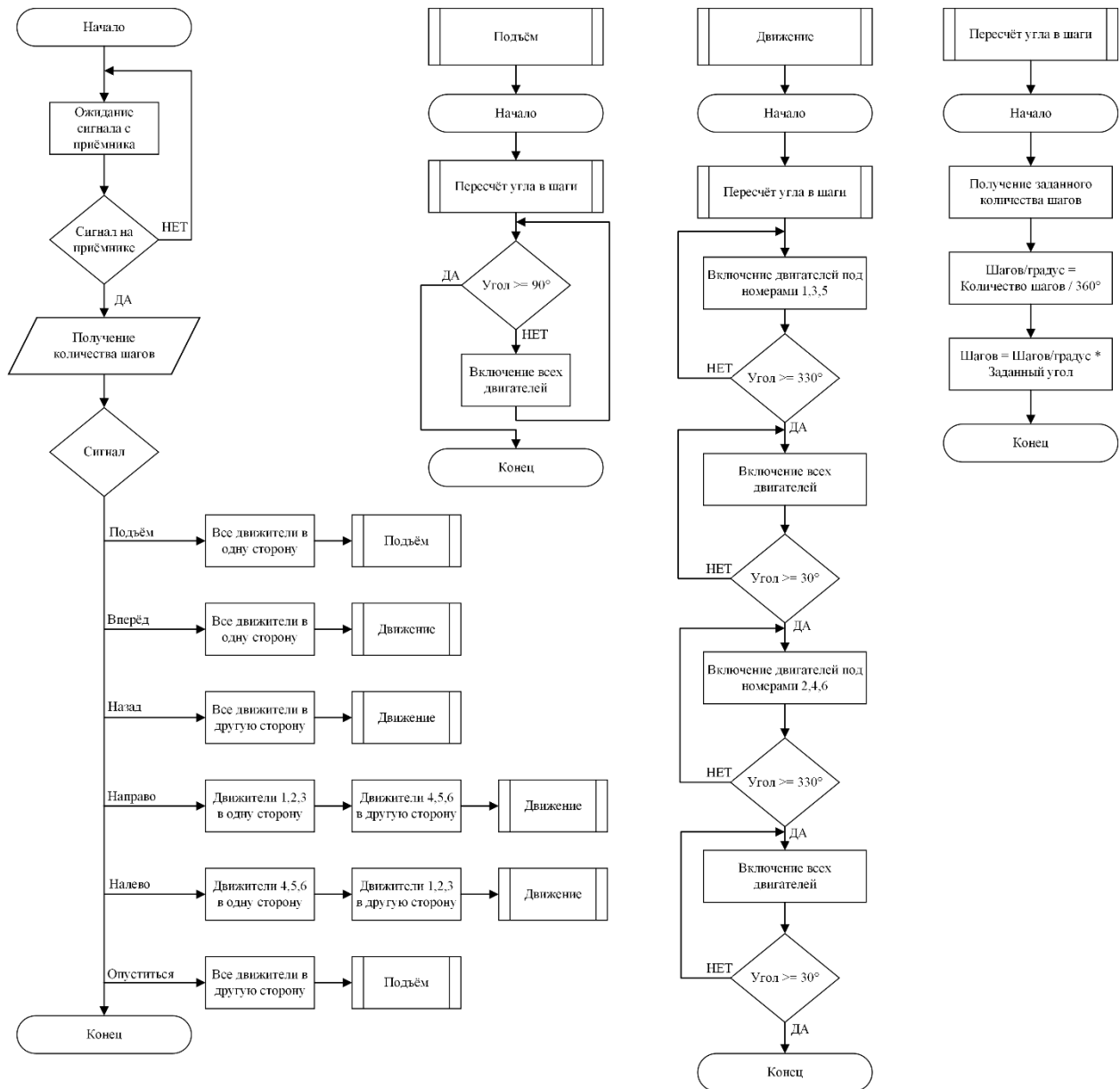


Рисунок 16 – Корректированный алгоритм



Рисунок 17 – Двигающийся робот

ресурсосбережение

5.1 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения научного исследования формируется рабочая группа, в состав которой входят инженер и один руководитель. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Загрузка исполнителей
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Инженер	Р – 100% И – 20%
Выбор направления Исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	И – 100%
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер	Р – 100% И – 10%
Теоретические исследования	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	И – 100%
Обобщение и оценка результатов	5	Оценка эффективности полученных результатов и определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, Инженер	Р – 100% И – 20%
<i>Проведение ОКР</i>				
Разработка технической документации и проектирование	6	Разработка блок-схемы, принципиальной и функциональной схемы	Инженер	И – 100%
	7	Выбор и расчет конструкции	Инженер	И – 100%
	8	Проверка правильности оформления технической документации	Руководитель	Р – 100%
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	9	Сборка опытного образца системы	Инженер	И – 100%
	10	Лабораторные испытания системы	Руководитель, Инженер	Р – 20% И – 100%
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	И – 100%
	12	Проверка работы	Руководитель	Р – 100%

5.2 Продолжительность этапов работ.

Для расчета ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется две оценки: t_{min} и t_{max} (метод двух оценок).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (13)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, дн.

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 (ТРД) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (14)$$

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:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (15)$$

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

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (16)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365-52-10} = 1,205,$$

Для выполнения перечисленных в таблице 11 работ требуются специалисты: инженер, научный руководитель. Результаты расчетов представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	Р	С	Р	С
Составление и утверждение технического задания	Р, И	2	3	2,4	2,88	0,58	3,47	0,7
Подбор и изучение материалов по теме	И	3	5	3,8	–	4,56	–	5,49
Календарное планирование работ по теме	Р, И	1	2	1,4	1,68	0,17	2,02	0,2
Проведение теоретических расчетов и обоснований	И	3	5	3,8	–	4,56	–	5,49
Оценка эффективности полученных результатов и определение целесообразности проведения ОКР	Р, И	1	2	1,4	1,68	0,34	2,02	0,41
Разработка блок-схемы, принципиальной и функциональной схемы	И	15	17	15,8	–	18,96	–	22,85
Выбор и расчет конструкции	И	12	15	13,2	–	15,84	–	19,09
Проверка правильности оформления технической документации	Р	5	6	5,4	6,48	–	7,81	–
Сборка опытного образца системы	И	11	13	11,8	–	14,16	–	17,06
Лабораторные испытания системы	Р, И	6	9	7,2	1,73	8,64	2,08	10,41
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	И	2	3	2,4	–	2,88	–	3,47
Проверка работы	Р	3	5	3,8	4,56	–	5,49	–
Итого:				72,4	19,01	70,69	22,89	85,17

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб оты	Вид работы	$T_{КД}$		Февраль			Март			Апрель			Май		
		Р	И	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
1	Составление и утверждение технического задания	3,47	0,7	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	–	5,49	▨											
3	Календарное планирование работ по теме	2,02	0,2	■											
4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	–	5,49		▨										
5	Оценка эффективности полученных результатов и определение целесообразности проведения ОКР	2,02	0,41		■										
6	Разработка блок-схемы, принципиальной и функциональной схемы	–	22,85			▨	▨	▨							
7	Выбор и расчет конструкции	–	19,09					▨	▨	▨					
8	Проверка правильности оформления технической документации	7,81	–							■					
9	Сборка опытного образца системы	–	17,06							▨	▨	▨			
10	Лабораторные испытания системы	2,08	10,41									■	▨		
11	Составление пояснительной записки	–	3,47										▨		
12	Проверка работы	5,49	–										■		

5.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

5.3.1 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. В таблице представлены данные о стоимости единицы товара и количество штук, используемых в проекте, а также общая сумма.

Таблица 14 – Материальные затраты на создание проекта.

Наименование	Количество, шт	Цена за ед., руб.	Сумма, руб
Электропривод EC 45	6	8 783	52 698
Редуктор GP 32 HP	6	15 783	94 698
Контроллер EPOS4	6	14 472	86 832
Акселерометр MPU6050	1	400	400
GPS датчик Neoway 7G	1	1 290	1 290
Дальномер SRF005	4	1 570	6 280
Тензодатчик FSR402	6	790	4 740
Камера FA-CAM202	1	1 990	1 990
Одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 Model B	1	6 990	6 990
Аккумуляторная батарея	1	10 985	10 985
Зарядное устройство	1	1 165	1 165
Преобразователь XL4005	2	203	406
Вольтметр	1	140	140
Шаговый электропривод	6	800	4 800
Драйвер DRV8825	10	290	2 900
Микроконтроллер Arduino	1	900	900
Шлейф проводов	1	250	250
Лист текстолита	1	500	500
Конденсатор элетролит.	2	25	50
Припой(катушка)	1	250	250
Вентилятор, 80x80x25 мм	1	130	130
Вентилятор, 40x40x10 мм	6	95	570
Итого:			278 964

Было допущено, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 278\,964 * 1,05 = 292\,912$ рублей.

5.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/25,083 \quad (17)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе). Для учета в составе заработной плате, премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{пр}} = 1,1$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. 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 $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. В таблице 15, приведены расчёты затрат на полную заработную плату. Месячные оклады были взяты из приложения 1, из источника [48].

Таблица 15 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	21 760	867,52	19,01	1,699	28 019,15
И	9 489	378,3	70,69	1,699	45 435,2
Итого:					73 454,34

5.3.3 Расчёт 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, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,3$.

Исходя из этих данных, для данной работы:

$$C_{\text{соц.}} = 73\,454,34 \cdot 0,3 = 22\,036,3 \text{ рублей.}$$

5.3.4 Расчёт затрат на электроэнергию

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

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (18)$$

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

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 12 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t \quad (19)$$

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 ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_c \quad (20)$$

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

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

Работа за ноутбуком производилась практически каждый день, 3D принтер работал параллельно другим работам. Работа с паяльником проводилась в течении 3 недель, если учитывать, что рабочая неделя состоит из 6 дней, а рабочий день состоит из 8 часов, то получается 144 часа. Время работы зарядного устройства обусловлено количествами заряда батареи и временем заряда, при создании и испытаниях макета, исходя из этого можно посчитать время использования, во время выполнения работ было произведено 24 заряда батареи, в среднем один цикл заряда длится 2 часа 30 минут. Расчеты затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $C_{эл.об.}$, рублей
Ноутбук	381	0,384	964,1
Струйный принтер	10	0,1	6,6
3D-принтер	80	0,4	210,9
Паяльная станция	144	0,7	644,3
Осциллограф	10	0,03	2
Зарядное устройство	60	0,24	94,9
Итого:			1 922,8

5.3.5 Расчёт амортизационных расходов

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

Для расчёта амортизационных расходов будет использоваться формула, представленная ниже.

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot Ц_{ОБ} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D} \quad (21)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{ОБ}$ – 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_D – 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_{AM} .

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

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Для определения N_A следует обратиться к приложению 2 из [48], в котором имеются фрагменты постановления правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Оно позволяет получить рамочные значения сроков амортизации (полезного использования) оборудования $\equiv SA$. N_A определяется как величина обратная SA .

Вначале были определены значения N_A . Для этого из приложения 2 была взята информация о рамочных значениях сроков для использованного оборудования. Паяльная станция (ПС) – 7 ÷ 10. Принято 8 лет, что даёт $N_A = \frac{1}{8} = 0,125$. Для ноутбука (Н), струйного принтера (СП), принтера 3D (П3D), осциллографа (О) и зарядного устройства (ЗУ) был выбран диапазон 2 ÷ 3, принято 2,5 года, что даёт $N_A = \frac{1}{2,5} = 0,4$. Значения F_D , были использованы по фактическому времени использования оборудования.

Далее используя формулу (21), были найдены следующие значения:

$$C_{AM}(ПС) = \frac{0,125 \cdot 6\,532,5 \cdot 144 \cdot 1}{800} = 146,98 \text{ рублей};$$

$$C_{AM}(Н) = \frac{0,4 \cdot 31\,500 \cdot 381 \cdot 1}{2\,384} = 2\,013,82 \text{ рублей};$$

$$C_{AM}(СП) = \frac{0,4 \cdot 12\,000 \cdot 10 \cdot 1}{500} = 96 \text{ рублей};$$

$$C_{AM}(ПЗД) = \frac{0,4 \cdot 25\,000 \cdot 80 \cdot 1}{1\,600} = 500 \text{ рублей};$$

$$C_{AM}(О) = \frac{0,4 \cdot 20\,000 \cdot 10 \cdot 1}{592} = 135,13 \text{ рублей};$$

$$C_{AM}(ЗУ) = \frac{0,4 \cdot 4\,250 \cdot 60 \cdot 1}{144} = 708,33 \text{ рублей}.$$

В итоге, после суммирования полученных значений, было получено значение $C_{AM} = 3\,599,26$ рублей.

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

Во время проведения выпускной работы командировок не проводилось и специального оборудования не арендовалось.

5.3.7 Расчёт 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, то есть

$$C_{проч} = (C_{мат} + C_{ЗП} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{AM} + C_{нр}) \cdot 0,1 \quad (22)$$

Для данной работы это

$$\begin{aligned} C_{проч} &= (292\,912,2 + 73\,454,34 + 22\,036,3 + 1\,922,8 + 3\,599,26 + 0) \cdot 0,1 \\ &= 39\,392,49 \text{ рублей.} \end{aligned}$$

5.3.8 Расчёт общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Разработка мобильного робота повышенной проходимости».

Таблица 17 – Общая себестоимость проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	292 912,2
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	73 454,34
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	22 036,3
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.об.}}$	1 922,8
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	3 599,26
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	0
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	39 392,49
Итого:		433 317,39

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 433\,317,39$ рублей.

5.3.9 Расчёт 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. В связи с тем, что данный проект является учебным стендом и планируется произвести только в одном экземпляре, то можно прибыль принять равной 20 % от полной себестоимости проекта. В данном случае, прибыль составит 86 663,48 рублей.

5.3.10 Расчёт НДС

НДС составляет 20 % от суммы затрат на разработку и прибыли. Для данной работы это $(433\,317,39 + 86\,663,48) * 0,2 = 103\,996,17$.

5.3.11 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС. Для данной работы составляет $C_{\text{НИР}} = 433\,317,39 + 86\,663,48 + 103\,996,17 = 623\,977,04$ рубля.

5.4 Оценка экономической эффективности проекта

Поскольку данный проект является студенческим стендом для обучения, то эффект от него будет дидактический и поэтому не представляется возможным оценить его экономическую эффективность.

6 Социальная ответственность

Данная работа включает в себя проектирование шагающего робота гексапода и выбор элементной базы, помимо этого, в работе также представлена разработка макета данного робота. В основном данная разработка применима в образовательной отрасли, поскольку создавалась как лабораторный стенд для реализации различных алгоритмов, однако применение данной разработки возможно и в других отраслях, таких как военная, к примеру робот-разведчик, или спасательная, к примеру удалённое исследование зон, опасных для человека. Пользоваться разработкой могут обучающиеся в образовательных учреждениях, военные и работники спасательных служб. Разработка выполнялась в лаборатории, в отделении автоматизации и робототехники, в Томском политехническом университете. Местом будущей эксплуатации разработки будет являться лаборатория, в которой производились работы, а также открытое пространство возле лаборатории, в связи с тем, что робот outdoor-типа.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Государственный надзор и контроль в организациях осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами [49]. К таким органам относятся Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда, Федеральная служба по труду и занятости населения, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др. Так же в стране функционирует Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), положение о

которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

6.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основными видами работ, проводимыми с роботом, будут работа на ПК и редко, работа с аппаратной частью робота, поэтому важно то, как будет скомпоновано рабочее место студента. Средством отображения информации является монитор ПК, а часто используемые органы управления — это мышь и клавиатура. Рабочее место оборудуется в соответствии требованиями [50]. Оно должно занимать площадь не менее 6 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Так же кресло, работающего за столом человека, должно соответствовать требованиям [51]. Помимо это рабочее место должно соответствовать гигиеническим нормам СанПиН [52].

6.3 Производственная безопасность

Таблица 18 – Основные опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра ботка	Изгот овлен ие	Экспл уатац ия	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
Превышение уровня шума	-	+	+	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Классификация. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ.
Повышенная напряжённость электрического поля	+	+	+	

Продолжение таблицы 18 – Основные опасные факторы

Поражение электрическим током	-	+	+	<p>Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.</p> <p>СП 52.13330.2016</p> <p>Естественное и искусственное освещение.</p> <p>Актуализированная редакция СНиП 23-05-95</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96</p> <p>Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (1 октября 1996 г. N 21).</p>
-------------------------------	---	---	---	---

ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ

6.3.1 Отклонение показателей микроклимата

В рабочем помещении на микроклимат могут влиять разные вещи, вентиляция, нагревательные батареи, температура за окном, а также количество включенной техники в лаборатории.

Микроклимат помещения, в котором человек находится длительное время, играет большую роль в работоспособности, а также возможности комфортно отдохнуть и расслабиться. Состояние внутренней среды здания может как плодотворно влиять на здоровье человека, так и оказывать

негативное воздействие. Микроклимат любых помещений характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения.

Исходя из требований СанПиН [53], были приведены, в таблицах 19 и 20 соответственно, оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата. По степени физической тяжести, работа инженера-программиста относится к категории 1а, категории лёгких работ.

Таблица 19 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1а (до 139)	23-25	21-25	40-60	0,1
Теплый	1а (до 139)	20-22	22-26	40-60	0,1

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В целях защиты, работающих от возможного перегрева или охлаждения, при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин, время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено.

Таблица 20 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Холодный	1а (до 139)	20,0-21,9	24,1-25	19-26	15-75	0,1	0,1
Теплый	1а (до 139)	21,0-22,9	25,1-26	20-29	15-75	0,1	0,2

6.3.2 Превышение уровня шума

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы, является шум. Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется

усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Длительное воздействие интенсивного шума (выше 80 дБ(А)) на слух человека приводит к его частичной или полной потере. Предельно допустимые уровни звукового давления представлены в таблице 3, исходя из источника [54].

Таблица 21 – Допустимые уровни звукового давления

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

Распространенные средства индивидуальной защиты от шума – это пробки, наушники, вкладыши (беруши) и шлемы.

Меры коллективной защиты могут включать в себя, в частности:

- Оценку риска потери слуха работником.
- Использование малошумных машин.
- Использование материалов и конструкций, препятствующих распространению шума и вибрации.
- Привлечение к работам лиц, не имеющих медицинских противопоказаний по шуму.
- Контроль правильности использования средств индивидуальной защиты.

При сборке макета использовался 3D-принтер, который является достаточно сильным источником шума, для предотвращения вышеописанных последствий от шума, 3D-принтер находится в соседней комнате.

6.3.3 Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильное освещение помещений и рабочих зон одно из главных условий создания безопасных и благоприятных условий труда. В условиях работы в лаборатории ТПУ, могут возникать проблемы с поступлением естественного света. Согласно нормам освещенности [55] недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным фактором, который приводит к развитию утомления зрения, понижается общая работоспособность и производительность труда, возрастает количество брака, повышается опасность производственного травматизма, низкая освещенность способствует развитию близорукости. Средствами нормализации освещенности производственных помещений рабочих мест являются:

- источники света;
- осветительные приборы;
- световые проемы;
- светозащитные устройства;
- светофильтры;
- защитные очки.

В таблице 22 представлены регламентированные допустимые характеристики освещенности рабочих мест в учебных аудиториях в университете.

Для того что бы снизить влияние данного фактора на здоровье, необходимо соблюдать допустимое время нахождения перед монитором компьютера и делать перерывы в работе. Помимо этого, возможно использование дополнительных источников света, таких как настольные лампы.

Таблица 22 – Допустимые характеристики освещенности

Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
КЕО, %		КЕО, %		Освещенность, лк			Показатель диска форты, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	Все	От	и		
							го	общего
3,2	1,2	2,1	0,7	-	-	400	40	10

6.3.4 Повышенная напряженность электрического поля

Повышенная напряженность электрического поля может возникать в аудитории от работы электронных устройств, таких как мониторы и персональные электронно-вычислительные машины.

Повышенная напряженность электрического поля оказывает негативное воздействие на человека, которое выражается в виде торможения рефлексов, ухудшения работы головного мозга, нарушения памяти, понижения кровяного давления, замедления сокращений сердца, нарушений в печени и селезенке, помутнения хрусталика глаза. Для того что бы уберечь людей от получения хронических заболеваний при эксплуатации стенда существуют временные требования к пребыванию в электрическом поле.

Исходя из гигиенических требований к персональным электронно-вычислительным машинам [56] пребывание в электрическом поле напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня, а нахождение в поле напряженностью от 5 до 20 кВ/м допускается в течение одного часа. Необходимо отслеживать время, проведенное за работой, при необходимости осуществлять перерывы и проветривать помещение.

6.3.5 Поражение электрическим током

Поражение электрическим током возможно при контакте с силовыми цепями электродвигателя движителя робота. При работе с компьютером существует опасность поражения электрическим током:

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

Поражение электрическим током является наиболее опасным из всех видов вредного воздействия, по причине того, что электрический ток является невидимым для глаз человека. Действие электрического тока на организм человека носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действие.

Для того, чтобы избежать поражение электрическим током, помещение, где размещается рабочее место и разрабатываемое устройство, должно быть оборудовано защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Основными техническими средствами защиты, являются защитное заземление, как указывалось ранее, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности.

Перед началом работы с разрабатываемым роботом необходимо изучить правила электробезопасности, которые описаны в требованиях к электробезопасности [57].

6.4 Экологическая безопасность

В данном подразделе необходимо рассмотреть характер воздействия проектируемого робота на окружающую среду, а также выявить предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате изготовления робота.

6.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В процессе работы робота у него садится батарея, которую необходимо заряжать, при зарядке батареи зарядное устройство потребляет электроэнергию, в следствии чего наносится вред атмосфере. По сути, это всё, чем опасен, с экологической точки зрения, данный робот в момент его эксплуатации.

6.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

На этапе изготовления деталей, которые в дальнейшем будут использоваться для сборки разрабатываемого устройства, происходят выбросы вредных газов, к примеру при печати деталей на 3D-принтере происходит плавление пластика и выделяется едкий запах, поэтому 3D-принтер находится в отдельном помещении, в котором люди пребывают недолгое время и имеется вытяжка. Вместе с этим при сборке робота использовалось такое оборудование, как фрезерный станок, который потребляет электроэнергию, при выработке которой наносится вред окружающей среде.

6.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

По истечению срока эксплуатации, будет необходимо утилизировать составные компоненты, что повлечет возможное загрязнение литосферы. Поэтому нужно рассмотреть варианты утилизации деталей разрабатываемого устройства. Стенки, днище и крышка из оргстекла, макета, разработанного в рамках данной работы, подлежат переработке (переплавки) и могут вторично использоваться. Отходы органического стекла перерабатывать труднее, чем отходы полиэтилена, но эта переработка почти всегда целесообразна, так как вторичный материал имеет достаточно высокое качество. Для переработки отходов органического стекла их необходимо превратить в мелкую крупку или чешуйки. При переработке органического стекла оно, как правило, подвергается тепловым нагрузкам. При горячем формовании (вытяжке, прессовании) материал из стеклообразного состояния переходит в пластическое, а затем снова в стеклообразное. Помимо этого, переработке подлежат движители, изготовленные из пластика. В основном пластик имеет короткий жизненный цикл и сразу после использования попадает на свалку. Процесс переработки пластика включает в себя сбор, сортировку, очистку и непосредственно переработку. Для переработки пластик измельчается в порошок или в хлопья, которые затем, можно переплавить его и снова вытянуть нить для 3D-принтера. Так же требуется утилизировать электронные компоненты датчиков, исполнительных механизмов и информационных устройств.

6.5 Безопасность в ЧС

6.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

При эксплуатации робота может возникнуть возгорание, при коротком замыкании двух полюсов аккумуляторной батареи, помимо этого, поскольку данный робот будет управляться удалённо, злоумышленники смогут подменить управляющую программу и управлять им, что повлечёт диверсию.

6.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

При выполнении работ над изготовлением устройства, наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в лаборатории. Возникновение пожара в помещении, где установлена вычислительная и оргтехника, приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объёме.

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

Для предотвращения ЧС, связанного с возгоранием батареи, применяется аккумуляторная батарея с защитой от короткого замыкания, а также в лаборатории присутствует огнетушитель, с помощью которого можно будет потушить возгорание. Чтобы предотвратить ЧС в помещении при изготовлении робота, пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожарной опасности, анализируемое в данной работе помещение относится к категории В [58]. Основные источники возникновения пожара:

- Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях.
- Электрические приборы с дефектами.
- Перегрузка в электроэнергетической системе и короткое замыкание в электроустановке.

Человек, выполняющий работы в аудитории, в случае возникновения пожара или его признаков (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

- Немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную часть (при этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность и фамилию).
- Задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации людей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации.
- Принять по возможности меры по тушению пожара имеющимися в учреждении средствами пожаротушения и сохранности материальных ценностей.
- Известить о пожаре руководителя или другого работника.

Меры безопасности обеспечиваются системами предотвращения пожара и противопожарной защиты исходя из требований пожарной безопасности [59].

Средствами обеспечения пожаробезопасности являются:

- Огнетушитель, которым обеспечена аудитория, а также пожарный кран, находящийся в здании.
- Системы автоматической пожарной сигнализации.
- Средства организации эвакуации, в том числе технические.

Мероприятиями, обеспечивающими пожаробезопасность, являются:

- Обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям).

- Пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения.
- Обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

Перед началом работы необходимо пройти инструктаж и оставить свою роспись в журнале о прохождении инструктажа по пожарной безопасности.

6.6 Вывод

В данном разделе были проанализированы основные опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации устройства, представленного в ВКР. Были изучены государственные стандарты и нормы.

Заключение

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены виды конструкций шагающих роботов, формы корпусов и типы движителей. После обзора, в данной работе, было решено использовать гексапедальную конструкцию с продолговатой формой корпуса и дугowymi движителями. Спроектированы структурная и функциональная схемы, дерево вызова процедур мобильного робота повышенной проходимости, помимо этого, был разработан алгоритм движения робота. Произведён расчёт и выбор элементов системы. В месте с этим, был разработан и изготовлен физический макет проектируемого робота. Проведены испытания макета и сделаны заключения, о том, что при использовании шаговых приводов, необходимо применение датчика положения, в связи с пропуском шагов привода, либо применение редуктора, который бы предотвратил пропуск шагов.

Список используемых источников

1. Шагающие роботы – проблемы и перспективы // Инноватика и экспертиза, Москва, Издательство: Научно-исследовательский институт - Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы. Стр. 128-137.
2. Луцкий В.А. – ВКР «Исследование адаптивных алгоритмов передвижения шестиногого шагающего робота» // Москва, Издательство: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Факультет информационных технологий и вычислительной техники, 2013 год. Стр. 19-20.
3. Рудь М.Н. – Магистерская диссертация «Разработка системы управления для робота» // Томск, Издательство: Научно-исследовательский Томский политехнический университет, Кафедра интегрированных компьютерных систем управления, 2016 год. Стр. 18-20.
4. Edward Z. Moore. Leg Design and Stair Climbing Control for the RHex Robotic Hexapod. - Department of Mechanical Engineering McGill University, 2002. – 91с.
5. Xilun Ding, Zhiying Wang, Alberto Rovetta and J.M. Zhu. Locomotion analysis of hexapod robot. //Climbing and Walking Robots,2010, InTech.- 291-309 с.
<http://www.intechopen.com/books/climbing-and-walking-robots>
6. Васильев А.В. – Принципы построения и классификация шасси мобильных роботов наземного применения и планетоходов // Информатика, телекоммуникации и управление, Санкт-Петербург: Издательство: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.
7. RHex – Wikipedia URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rhex>
8. Summary of the RHex robot platform – URL: <https://www.rhex.web.tr/#capabilities>
9. The RHex hexapedal robot // KOD*LAB, a subsidiary of the Penn Engineering GRASP Lab, URL: <https://kodlab.seas.upenn.edu/past-work/rhex/>
10. EduBot // KOD*LAB, a subsidiary of the Penn Engineering GRASP Lab, URL: <https://kodlab.seas.upenn.edu/past-work/rhex/edubot/>

11. X-RHex // KOD*LAB, a subsidiary of the Penn Engineering GRASP Lab, URL: <https://kodlab.seas.upenn.edu/robots/rhex/xrhex/>
12. X-RHex Lite // KOD*LAB, a subsidiary of the Penn Engineering GRASP Lab, URL: <https://kodlab.seas.upenn.edu/robots/rhex/xrl/>
13. Legacy // Boston Dynamics, URL: <https://www.bostondynamics.com/legacy>
14. MiniRHex: A Small, Open-source, Fully Programmable Walking Hexapod // Mechanical Engineering Department, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 2019.
15. A Step-Climbing Strategy of Hexapod Robot with Eccentric Wheel Legs // 2018 IEEE 7th Data Driven Control and Learning Systems Conference, 2018.
16. Enhancing the Vertical Mobility of a Robot Hexapod Using Microspines // Cornell University, Computer Science, Robotics, 2019.
17. Кравченко Н. С., Твердохлебов С. И. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011 – 285 с. [9453–2011].
18. Таблица коэффициентов трения покоя (коэффициентов сцепления) для различных пар материалов (большая) // Электронный ресурс «Технические таблицы», URL: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionToVariousPairs/>
19. Коэффициенты трения качения // Электронный ресурс «Технические таблицы», URL: <https://tehtab.ru/guide/guidephysics/frication/frictionofrolling/>
20. P Series Nema 34 Bipolar 1.8deg 4.5 Nm(637.38oz.in) 6.0A 86x86x74mm 4 Wires // Электронный ресурс «STEPPERONLINE» URL: <https://www.omc-stepperonline.com/nema-34-stepper-motor/p-series-nema-34-bipolar-1-8deg-4-5-nm-637-38oz-in-6-0a-86x86x74mm-4-wires.html>
21. ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ST86-80 // Электронный ресурс «Darxton класс точности», URL: https://darxton.ru/catalog_item/dvigatel-shagovyy-bipolyarnyy-st86-80-flanets-nema34-86-mm/
22. E Series Nema 34 Stepper Motor Bipolar 1.8deg 4.8 Nm(679.87oz.in) 6.0A 86x86x80mm 4 Wires // Электронный ресурс «STEPPERONLINE» URL:

<https://www.omc-stepperonline.com/nema-34-stepper-motor/economic-nema-34-stepper-motor-bipolar-1-8deg-4-8-nm-679-87oz-in-6-0a-86x86x80mm-4-wires.html>

23. Что такое бесколлекторный двигатель постоянного тока и его принцип работы // Электронный ресурс «ASUTPP заметки электрика», URL: <https://www.asutpp.ru/что-такое-beskollektornyj-dvigatel-postoyannogo-toka-i-ego-princip-raboty.html>

24. BG42 with integrated controller // Электронный ресурс «Dunkermotoren», URL: <https://www.dunkermotoren.com/en/products/brushless-dc-motors/detail/885420600002/>

25. EC 45 flat Ø42.8 mm, brushless, 50 Watt, with Hall sensors // Электронный ресурс «Махон», URL: <https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/251601>

26. PLG 42 S // Электронный ресурс «Dunkermotoren», URL: <https://www.dunkermotoren.com/en/products/gearboxes/detail/8885901810/>

27. Planetary Gearhead GP 32 HP Ø32 mm, 4.0 - 8.0 Nm, Metal Version, High Power // Электронный ресурс «Махон», URL: https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/gear/planetary/gp32/326662?etcc_cu=onsite&etcc_med=Header%20Suche&etcc_cmp=mit%20Ergebnis&etcc_ctv=Layer&query=326662

28. L. Ojeda and J. Borenstein, FLEXnav: fuzzy logic expert rule-based position estimation for mobile robots on rugged terrain// Proc. 2002 IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (Cat. No.02CH37292), vol. 1, 2002.

29. L. Ojeda, G. Reina, and J. Borenstein, Experimental results from FLEXnav: An expert rule-based dead-reckoning system for Mars rovers// in IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2004, vol. 2. – P. 816–825.

30. Chris C. Ward and Karl Iagnemma, Speed-independent vibration-based terrain classification for passenger vehicles// Vehicle System Dynamics Vol. 47, No. 9, September 2009. – P. 1095–1113.

31. Chris C. Ward and Karl Iagnemma, Speed-independent vibration-based terrain classification for passenger vehicles// Vehicle System Dynamics Vol. 47, No. 9, September 2009. – P. 1095–1113.
32. NEO6 Datasheet // Электронный ресурс «Ublox», URL: [https://www.u-blox.com/en/ubx-viewer/view/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\)?url=https%3A%2F%2Fwww.u-blox.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fproducts%2Fdocuments%2FNEO-6_DataSheet_%2528GPS.G6-HW-09005%2529.pdf](https://www.u-blox.com/en/ubx-viewer/view/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005)?url=https%3A%2F%2Fwww.u-blox.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fproducts%2Fdocuments%2FNEO-6_DataSheet_%2528GPS.G6-HW-09005%2529.pdf)
33. ГНСС-модуль G7 // Электронный ресурс «Евромобайл», URL: <https://www.euromobile.ru/produkcija/glonass-gps-moduli/g7/>
34. EM-411 GPS Module // Электронный ресурс «GlobalSat Technology Corporation», URL: https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/EM411Product_Guide1_2.pdf
35. МСС ГЛОНАСС // Электронный ресурс, URL: <https://mssglonass.ru/articles/chem-otlichaetsya-glonass-ot-gps/>
36. Принцип действия датчиков силы // Электронный ресурс «Device search», URL: http://www.devicesearch.ru.com/article/datchiki_sily
37. Подключение датчиков силы нажатия к Arduino // Электронный ресурс «Амперкот», URL: <https://amperkot.ru/blog/force-sensitive-resistor-hookup-guide/>
38. A20-OLinuXino-LIME2-n8G, Одноплатный компьютер на базе процессора Allwinner A20 Dual Core Cortex-A7 1GB RAM and Gigabit Ether // Электронный ресурс «ChipDip», URL: <https://www.chipdip.ru/product/a20-olinuxino-lime2-n8gb>
39. Микрокомпьютер Raspberry Pi 4 Model B (4 ГБ памяти) // Электронный ресурс «Амперка», URL: <https://amperka.ru/product/raspberry-pi-4-model-b-4-gb>
40. ADLS15PC // Электронный ресурс «Embedded Solutions», URL: <https://www.adl-usa.com/product/adls15pc/>

41. Микрокомпьютер HARDKERNEL ODROID-XU4 // Электронный ресурс «Xcom shop», URL: https://www.xcom-shop.ru/hardkernel_odroid-xu4_615686.html
42. Шилд прецизионного АЦП/ЦАП для Raspberry Pi от Waveshare // Электронный ресурс «Arduino.ua», URL: <https://arduino.ua/prod2534-raspberry-pi-high-precision-adda-expansion-board>
43. Rechargeable battery // Электронный ресурс «Wikipedia», URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery
44. J. Tarascon and M. Armand, “Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries,” Nature, vol. 414, no. 6861, pp. 359–367, 2001.
45. Цифровой вольтметр 3.2-30 В, красный без корпуса // Электронный ресурс «42unita.ru», URL: https://www.42unita.ru/catalog/prochie_ukazateli_napryazheniya/TSifrovoy_voltmetr_ZC21400R_16e?r1=yandext&r2=&gclid=Cj0KCQjwzZj2BRDVARIsABs3l9JLxtmeSAhUxmula_pqpWQuQ9A9bnqyoMsmGe1L8_DySU1vL9dCeccaApsqEALw_wcB
46. PW821, Понижающий DC/DC преобразователь напряжения 10А (XL4016) // Электронный ресурс «chipdip», URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8002091036>
47. Преобразователь DC-DC XL4005 5А // Электронный ресурс «MCU store», URL: https://mcustore.ru/store/moduli-pitaniya/preobrazovatel-dc-dc-xl4005-5a/?gclid=Cj0KCQjwzZj2BRDVARIsABs3l9LGfINNQEZ14yWeHoFj_Uqrpo2V-LpzoT8PdJxMDtFJHrBhrRavQV0aAnOoEALw_wcB
48. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для всех специальностей/ сост. В.Ю. Конотопский; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 29 с.
49. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).

50. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.2.032-78.
51. Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования ГОСТ 21889-76.
52. Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.
53. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96.
54. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ.
55. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
56. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.
57. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты ГОСТ 12.1.019-2017.
58. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности НПБ 105-03.
59. Пожарная безопасность. Общие требования ГОСТ 12.1.004-91.

Приложение А

(обязательное)

Техническое задание на разработку

Разработчик

Заказчик

Поберезкин Н.И.

Зав. отдел. ОАР Филипас А.А.

« » _____ 2020 г.

« » _____ 2020 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку мобильного робота повышенной проходимости

Шифр: Мобильный робот

Назначение: Мобильный робот предназначен для применения его в условиях динамически изменяющихся сред, исследования и применения алгоритмов передвижения шагающих робототехнических устройств.

Цель: Разработка программно-аппаратного комплекса, для проведения исследований в области передвижения шагающих робототехнических устройств.

Объект управления: Наземный шагающий мобильный робототехнический комплекс, который движется по изменяющемуся рельефу.

1. Робот должен иметь следующие технические характеристики:

- 1.1. Обладать габаритами, не более 500 мм х 350 мм х 150 мм в положении стоя.
- 1.2. Передвигаться со скоростью не менее 0.2 м/с в режиме хождения и не менее 0.7 м/с в режиме бега.
- 1.3. Обладать массой не более 6 кг.
- 1.4. Базироваться на шагающем шасси.

- 1.5. Работать без устройств подзарядки не менее 1 ч.
- 1.6. Иметь на борту камеру с разрешением не менее 640x480
2. *Робот должен обеспечивать выполнение следующих функций в автоматическом режиме:*
 - 2.1. Определение типа подстилающей поверхности.
 - 2.2. Определение препятствий, которые робот пройти не в состоянии и обход этих препятствий.
 - 2.3. Считывание показаний со следующих датчиков:
 - 2.3.1. Датчиков положения.
 - 2.3.2. Датчиков тока.
 - 2.3.3. Датчика глобальной навигации.
 - 2.3.4. Гироскопа, акселерометра.
 - 2.3.5. Датчиков расстояния.
 - 2.3.6. Датчиков давления.
 - 2.4. Диагностика работоспособности всех устройств системы.
 - 2.5. Контроль уровня напряжения.
 - 2.6. Отработка следующих алгоритмов передвижения в зависимости от выбора режима:
 - 2.6.1. Подъём.
 - 2.6.2. Движение вперёд.
 - 2.6.3. Движение назад.
 - 2.6.4. Поворот направо, налево.
 - 2.6.5. Опускание.
3. *Робот должен обеспечивать выполнение следующих функций в интерактивном режиме взаимодействия с пользователем:*
 - 3.1. Вывод изображения с камеры, по запросу оператора.
 - 3.2. Настройка:
 - 3.2.1. Желаемого направления движения.
 - 3.2.2. Желаемой скорости.

Параметры, предъявляемые к работе системы:

Время работы не менее 1 часа, без использования зарядного устройства.

Рабочее напряжение от 12 В до 24 В.

Требования к программной части системы:

Программная часть должна иметь интуитивно понятный интерфейс, содержащий основное окно с элементами управления для движения и элементы отображающие значения датчиков в реальном времени.

Требования к оборудованию:

Зарядное устройство для литий-ионной батареи – iMAX B6AC на 80 Вт, 6А.

В процессе выполнения технического задания может подвергаться изменению по согласованию сторон.

Приложение Б
(обязательное)
Принципиальные схемы

ФЮРА.468332.001

Листы примен.

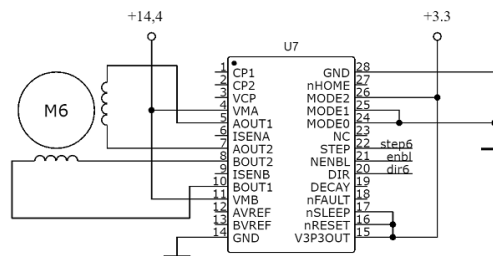
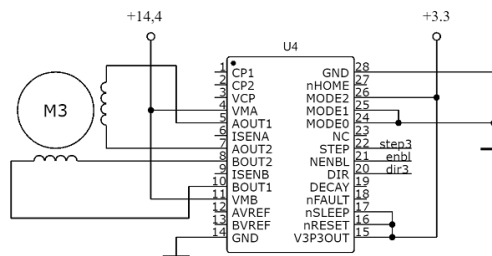
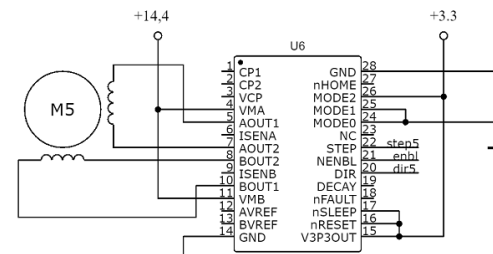
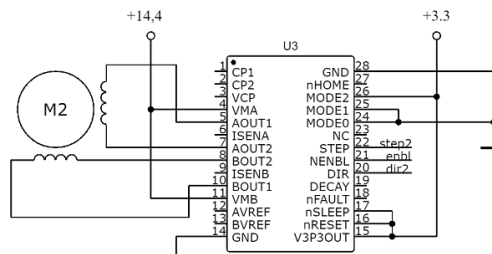
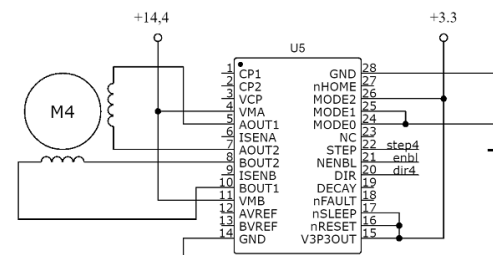
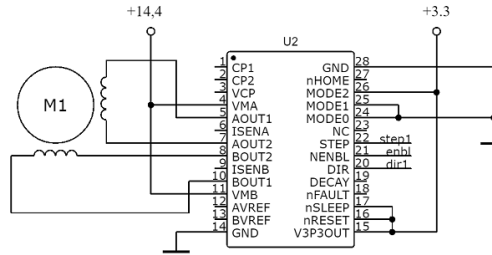
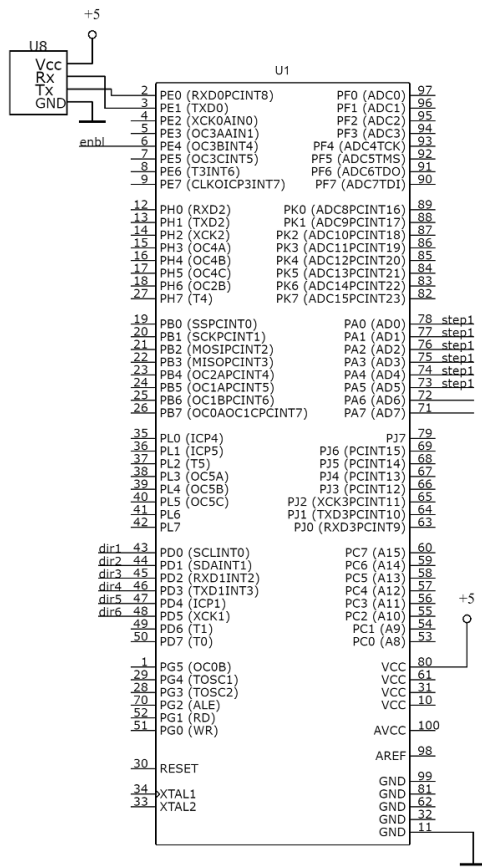
Сторона №

Полн. и данн.

Взаминд №

Полн. и данн.

Инд № подл.

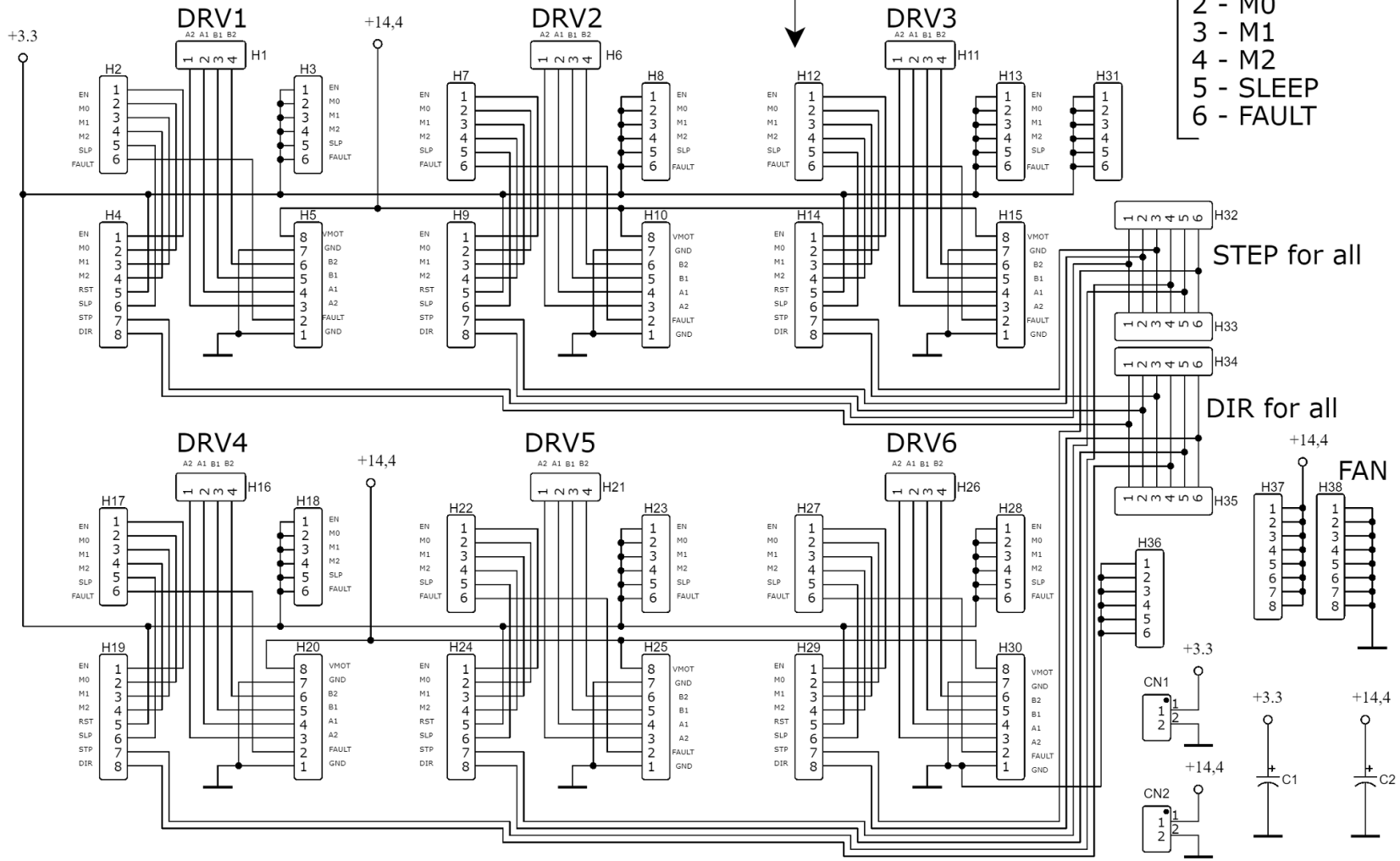


				ФЮРА.468332.001					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Подключение устройств Схема электрическая принципиальная	Лит.	Масса	Масштаб	
Разработ	Предержин	НИИ		17.04.20		У	7,8	1:1	
Проб.	Беляев А.С.					Лист	1	Листов	1
Т.контр.						ТПУ		ИШИТР	
Н.контр.						ОАР		зр.8Е62	
Утв.									

Копировал

Формат А3

ФЮРА.468332.002



- 1 - ENABLE
- 2 - M0
- 3 - M1
- 4 - M2
- 5 - SLEEP
- 6 - FAULT

STEP for all

DIR for all

FAN

МНДН модн
 Модн. и. в.а.ма
 ВзаимодН
 МНДН д.д.дн
 Модн. и. в.а.ма

Изм	Лист	1	5.05.20	ФЮРА.468332.002	Лист
		№ докум	Дата		2

Копирован

Формат А3

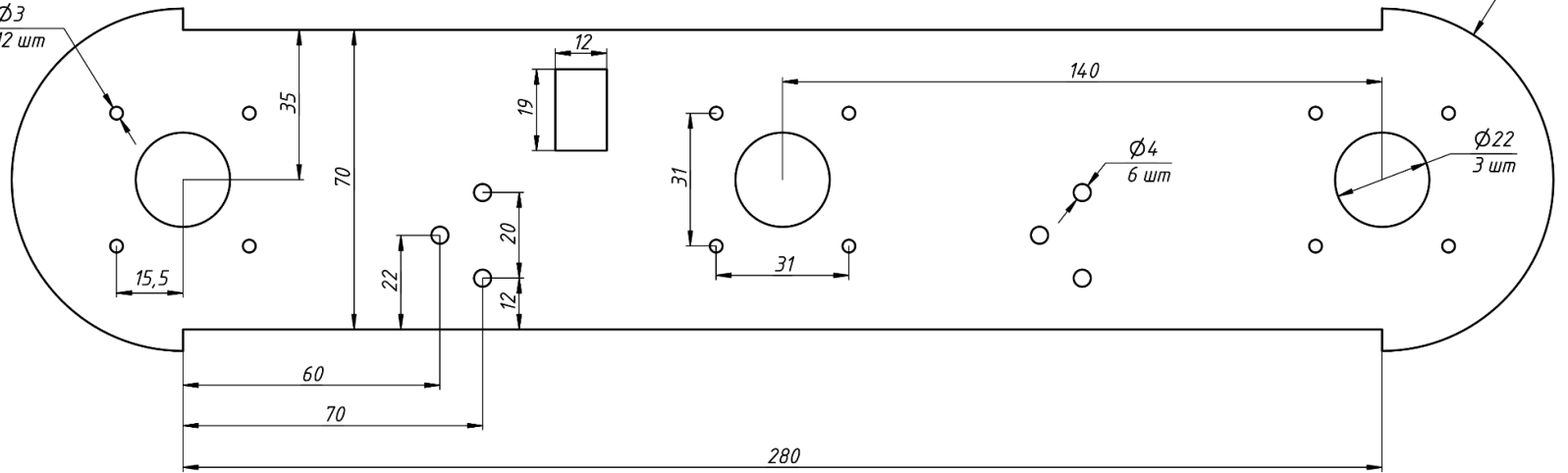
Приложение В

(обязательное)

Чертежи корпуса разрабатываемого макета

ФЮРА.684376.001

$\varnothing 3$
12 шт



Перв. примен.

Справ. №

A

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

					ФЮРА. 684376.001			
					Боковая стенка корпуса робота			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.	Подрезкин Н.И.			22.05.2020	У	0,3	1:1	
Пров.	Беляев А.С.				Лист 1 / Листов 2			
Т. контр.								
Нач.отд.								
Н. контр.								
Утв.								
					Оргстекло		ТПУ ИШИТР ОАР грВБ62	

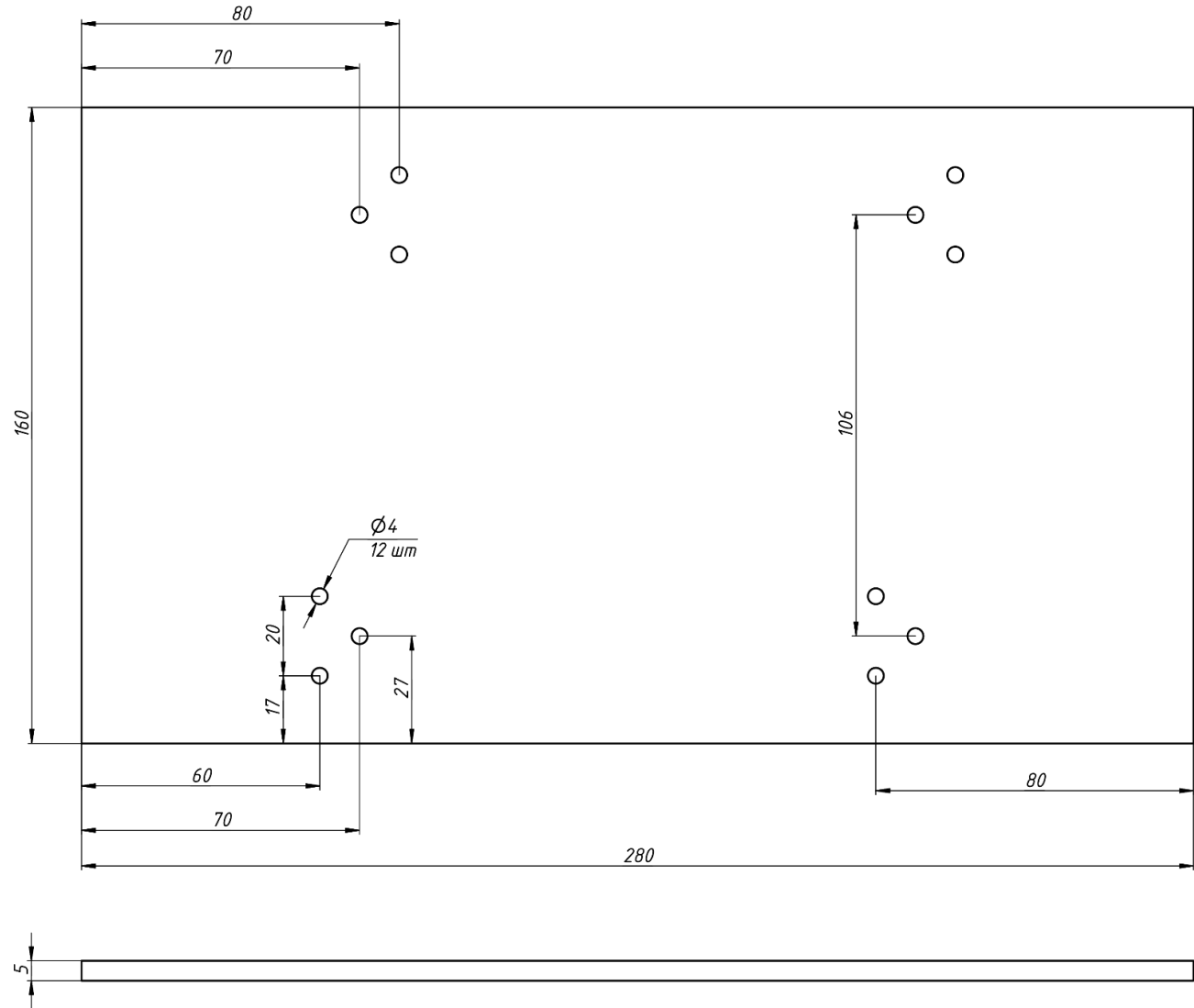
2

1

Копировал

Формат А3

ФЮРА.684376.001



Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дудл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
	2			

ФЮРА.684376.001

Лист
2

1 Копировал Формат А3

Application G
(обязательное)
Conclusion

Conclusion

In the course of this work, the types of walking robot structures, the shapes of the body, and the types of propulsors were considered. After the literature review, it was decided to use a hexapedal construction with an elongated body shape and arc propulsors for this work. In addition, an algorithm for robot movement was developed. Calculation and selection of the system elements were carried out. In this part, a physical prototype of the designed robot was developed and manufactured. Tests of the prototype were made and conclusions were drawn that when using step drives it is necessary to apply the position of the sensor or use the gearboxes that will maintain the throughput.