

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система управления положением объекта в трехмерном пространстве
УДК 004.31:621.864:531.111-023.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5Б	Поваляев Павел Вадимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Фадеев Александр Сергеевич	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	К.Ф.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Евгений Иванович	К.Т.Н., доцент		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации.
P2	Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники
P3	Применять полученные знания (P1 и P2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами.
P5	Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами.
P6	Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими объектами.
P7	Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре
Универсальные компетенции	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	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 – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	75
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., ДОЦЕНТ		

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 – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Громаков Е. И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5Б	Поваляеву Павлу Вадимовичу

Тема работы:

Система управления положением объекта в трехмерном пространстве	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1095/с от 12.02.2019

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> – Техническая документация по отладочной плате Arduino UNO – Техническая документация по драйверу управления шаговыми двигателями L298N – Техническая документация по радиомодулю NRF24I01 – Техническая документация по шаговому двигателю Nema 17
---------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Компоненты системы управления положением объекта в трехмерном пространстве:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Оборудование для реализации системы • Виды передачи данных <p>Реализация системы управления положением объекта в трехмерном пространстве:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Создание структурной схемы • Реализация передача данных по радиоканалу • Создание мнемосхемы системы • Тестирование работоспособности системы
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация в формате *.ppt</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Меньшикова Екатерина Валентиновна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Винокурова Галина Федоровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Conclusion</p>	

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент ОИТ ИШИТР</p>	<p>Фадеев Александр Сергеевич</p>	<p>К.Т.Н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>8Т5Б</p>	<p>Поваляев Павел Вадимович</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5Б	Поваляеву Павлу Вадимовичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет – 137 021.67руб. Затраты на заработную плату – 56 602.25 руб. Прочие расходы – 675.12 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию 5,8 кВт/ч
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налог во внебюджетные фонды 27,1 Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 16%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Оценка потенциальных потребителей исследования, анализ конкурентных решений, SWOT – анализ.
2. Формирование календарного плана и бюджета инженерного проекта (ИП)	Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета.
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4.35 Интегральный показатель эффективности – 4.39 Сравнительная эффективность проекта – 1.08

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. График разработки и внедрения ИР
4. Материальные затраты
5. Инвестиционный план. Бюджет ИП
6. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5Б	Поваляев Павел Вадимович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5Б	Поваляеву Павлу Вадимовичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

Система управления положением объекта в трехмерном пространстве	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Объектом исследования и разработки является система управления положением объекта в трехмерном пространстве. В состав системы входят: шаговые двигатели, радиомодули, контроллер и драйвера. Рабочим местом является зона, включающая рабочий стол, пульт управления и монитор. Областью применения данной системы являются предприятия, использующие систему для перемещения грузов различной массы по цеху, складу, или же для перемещения между производственными помещениями с повышенной опасностью. Также данную систему можно использовать в телевидении для перемещения телевизионных камер в заданной области.</i>
<i>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</i>	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <i>специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i>	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 01.14.2019) – ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: <i>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</i>	– отклонение показателей микроклимата; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – движущиеся механизмы.
3. Экологическая безопасность:	– загрязнение атмосферы объектом исследования не выявлено; – загрязнение гидросферы объектом исследования не выявлено; – выявление загрязнения литосферы объектом исследования: утилизация оборудования и печатных плат.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– возникновение пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5Б	Поваляев Павел Вадимович		

Реферат

Пояснительная записка содержит 80 страниц, 19 рисунков, 17 таблиц, 31 источник.

Ключевые слова: шаговый двигатель, перемещение объекта, драйверы управления шаговыми двигателями, Arduino, радиоканал.

Данная работа посвящена разработке системы управления положением объекта в трехмерном пространстве в границах закрытого помещения.

Объектом исследования является разработка системы на базе платформы Arduino UNO.

Цель работы — разработка системы управления положением объекта в трехмерном пространстве в границах закрытого помещения.

Результатом работы является рабочий прототип системы.

Значимость работы заключена в создании системы, которая позволит производить съемку в закрытом помещении без ограничений в передвижении в пространстве. Также существует возможность ее применения в некоторых отраслях промышленности, требующих осуществления перемещения грузов.

В будущем планируется модификация системы: реализация управления системой при помощи пульта управления.

Содержание

Введение.....	12
1 Коммерческие тросовые системы свободного перемещения в пространстве.....	15
1.1 SkyCam.....	15
1.2 Роботизированный съемочный комплекс ROBYCAM.....	16
1.3 Выводы по главе 1.....	17
2 Проектирование системы управления положением объекта в трехмерном пространстве.....	18
2.1 Принцип работы системы.....	18
2.2 Подбор компонентов.....	20
2.2.1 Устройство управления.....	20
2.2.2 Исполнительное устройство.....	22
2.2.3 Модуль передачи данных.....	27
2.2.4 Гиросtabilизированный камеро-носитель.....	29
2.3 Вывод по главе 2.....	30
3 Реализация системы управления положением объекта в трехмерном пространстве.....	32
3.1 Реализация исполнительного устройства.....	32
3.2 Система передачи данных.....	35
3.3 Цифровая модель системы.....	39
3.4 Тестирование работы системы.....	41
3.5 Вывод по реализации системы.....	41
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43
4.1 Потенциальные конкуренты для результатов исследования.....	43

4.2 Анализ конкурентных технических решений	44
4.3 SWOT-анализ.....	45
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	47
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	47
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ	48
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	53
4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	53
4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы	55
4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	56
4.5.4 Отчисление во внебюджетные фонды.....	57
4.5.5 Прочие прямые затраты	57
4.5.6 Накладные расходы	58
4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	58
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	59
5 Социальная ответственность	62
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	63
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. ..	63
5.2 Производственная безопасность	64
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	64
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	65
5.3 Экологическая безопасность.....	69

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	71
5.4.1 Анализ вероятных ЧС.....	71
5.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.....	71
5.4.3 Разработка действий в случае возникновения ЧС.....	72
5.5 Вывод по разделу	73
Заключение	75
Conclusion.....	76
Список использованной литературы.....	77

Введение

В отраслях промышленности, где требуется выполнение таких технологических операций, как подъём, перемещение и укладка объекта в заданное место, используются грузоподъемные машины и механизмы, такие как краны, манипуляторы, домкраты, подъемники [1]. Такие работы производятся как в помещениях, так и на открытых площадках. Одна из таких систем нашла свое применение в современном телевидении.

Одной из особенностей в современном телевидении является использование системы для съемки — «камера-паук». «Камера-паук» — это система, которая позволяет телевизионной камере, подвешенной к системе тросов, перемещаться как по вертикали, так и по горизонтали в пределах заданной рабочей области, при этом положение гиостабилизированного камеро-носителя определяется натяжением этих тросов. Централизованное управление тросовыми лебедками осуществляется с помощью центрального вычислительного устройства на основе команд оператора.

Наибольшее применение системы «Камера-паук» получили в задачах организации видеотрансляций со спортивных мероприятий, проводимых на стадионах. Основу такого съемочного комплекса составляет система, состоящая из четырех тросов, натяжение которых регулируется при помощи моторизованных лебедок, расположенных в каждом углу у основания игрового поля стадиона [2]. Управляя намоткой и разматыванием кабелей, система позволяет камере достигать любого положения в трехмерном пространстве стадиона. Главный недостаток таких систем — это большие габариты, не позволяющие производить съемку в помещении.

Альтернативным устройством, позволяющим производить съемку движущейся камерой в трехмерном пространстве, часто выступают многороторные беспилотные летательные аппараты. Однако ввиду повышенного уровня шума, ограничений по продолжительности автономной работы и риска причинения вреда здоровью людей вследствие получения травм движущимися частями винтов, съемка спортивных мероприятий такими

устройствами весьма затруднена, а применение их в закрытых помещениях практически невозможно [3].

Современная съемка в помещении производится носимыми видеокамерами. В виду ограничений, связанных с планировкой и доступом в определенные зоны помещения, а также большого скопления людей, свободное передвижение видеооператора может быть затруднено, и может приносить дискомфорт зрителям, присутствующим на мероприятии.

Практически единственной системой, позволяющей управлять перемещением видеокамеры в трехмерном пространстве в закрытых помещениях, является система подвеса видеокамеры на управляемом кронштейне. Но высокая ее стоимость, сложность монтажа и эксплуатации, а также ограничения перемещения камеры, связанные с длиной выноса кронштейна, накладывают существенные ограничения на ее применение [4].

В рамках выполнения данной работы, в качестве альтернативы системе подвеса камеры на управляемом кронштейне, было принято решение создать недорогую, малогабаритную систему, для съемки мероприятий в закрытом помещении. При реализации системы был использован принцип работы «камера-паук».

Функционал системы не ограничивается съемкой, альтернативным применением такой системы является возможность ее применения в некоторых отраслях промышленности, требующих осуществления перемещения грузов в промышленных цехах и в складских помещениях. Но для нормальной эксплуатации системы требуется учитывать вес перемещаемого объекта, а также необходимо наличие свободного пространства и отсутствие препятствий в рабочей области для перемещения объекта, намотки или разматывания тросов.

Целью работы является создание системы управляемого перемещения объекта в трехмерном пространстве в границах закрытого помещения.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Выбор компонентов для построения системы.
2. Разработка схемы системы.
3. Выбор способа управления шаговыми двигателями.
4. Получение навыков управления шаговыми двигателями.
5. Реализация передачи данных команд управления с помощью радиомодулей.
6. Создание цифровой модели управления положением объекта.
7. Реализация управления системой по заданной траектории.

1 Коммерческие тросовые системы свободного перемещения в пространстве

В настоящее время существуют готовые решения, принцип работы которых заложен в разрабатываемой системы. Данные решения обладают схожим функционалом, а также имеют свои преимущества и недостатки. В данной главе приведен обзор готовых решений и технологий, которые в дальнейшем были использованы при создании системы.

1.1 SkyCam

SkyCam — это стабилизированная система камер с кабельным подвесом, управление которой производится компьютером. Система перемещается в трех измерениях в открытом пространстве, например, над игровой площадкой стадиона или арены с помощью системы кабельного привода с компьютерным управлением. Кабельный привод отвечает за доведение ракурсов. Камера весит менее 14 кг и может перемещаться со скоростью 13 м/с [5].

Система состоит из следующих компонентов:

- Моторизированные катушки, закрепленные по углам в наивысших точках стадиона или арены. Каждая катушка имеет двигатель мощностью 4.5 л.с. и дисковые тормоза.
- Кабели.
- Лонжерон, который содержит камеру, двигатель панорамирования и наклона, а также датчики стабилизации.
- Программное обеспечение, используемое оператором для управления камерой.

Данная компания работает только на американском рынке, поскольку не соответствует мировым стандартам безопасности. Аренда и установка данной системы на один день, для стадиона стоит в среднем 350 тысяч евро.

1.2 Роботизированный съемочный комплекс ROBYCAM

«Robycam» тросовая система свободного перемещения в пространстве компании «Мовиком». Система предназначена для съемки спортивных состязаний, различных развлекательных мероприятий, телешоу, сложных постановочных кадров для кинофильмов.

Система надежных синтетических тросов, установленная на четырех опорах, при помощи мощных, соединенных в единую роботизированную систему реального времени, электролебедок дает возможность свободно перемещать в трехмерном пространстве гиросtabilизированный камеро-носитель, позволяющий применять камеры с длиннофокусной оптикой и отслеживать объекты плавно, без «тряски». Специальный подвес камеро-носителя выдерживает большие ускорения, резкие торможения и гасит вибрации, возникающие при движении. Камеро-носителя дает возможность применять современные камеры для телевизионного вещания и записи в формате HD [6].

Комплекс «Robycam» также может применяться в 2D-варианте, обеспечивая свободное перемещение камеры в вертикальной плоскости.

Технические характеристики системы:

- Полная цифровая трехосевая стабилизация.
- Отдельный канал для подключения камеры к стандартным RCP или MSU.
- Оптоволоконный канал передачи видео и управления.
- Скорость перемещения до 10 м/с.
- Управление оператором с пульта.
- Поддержка траекторий, заданных в Autodesk Maya.
- Синтетические композитные тросы с не менее, чем 12-кратным запасом прочности.
- Рабочая зона 200 x 200 м.
- Масса подвеса 15 кг.

- Продолжительность работы до 8 часов.

Основным недостатком данной системы является сложность оборудования, для обслуживания которого необходимо иметь специальную команду. Стоимость аренды системы составляет 400 тысяч евро.

1.3 Выводы по главе 1

В данной главе были рассмотрены основные аналоги систем перемещения объекта в трехмерном пространстве, использующие тросовую систему свободного перемещения в пространстве. В ходе анализа выявлено малое количество существующих решений, использующих такой принцип работы. Основными производителями тросовых систем являются фирмы SkyCam, Moviesom, а также SpiderCam.

В результате обзора существующих технологий и решений были выделены следующие особенности тросовых систем:

1. Сложность обслуживания системы.
2. Высокая стоимость создания, установки и обслуживания.
3. Возможность перемещения телевизионных камер над игровым полем.
4. Возможность расширения рабочей зоны.
5. Возможность свободного перемещения объекта в трехмерном пространстве.

Также были определены основные компоненты на основе которых происходит создание тросовой системы.

2 Проектирование системы управления положением объекта в трехмерном пространстве

В данной главе рассмотрен общий принцип работы проектируемой системы, который заложен в основу создания системы. Также произведен подбор компонентов для проектирования системы.

2.1 Принцип работы системы

Проектируемая система работает с помощью четырех моторизованных лебедок, расположенных в каждом углу у основания покрытой области, каждая из которых управляет кабелем, соединенным с гиросtabilизированным камеро-носителем [7]. Управляя намоткой и разматыванием кабелей, система позволяет камере достигать любого положения в трехмерном пространстве. Данная система представлена на рисунке 1.

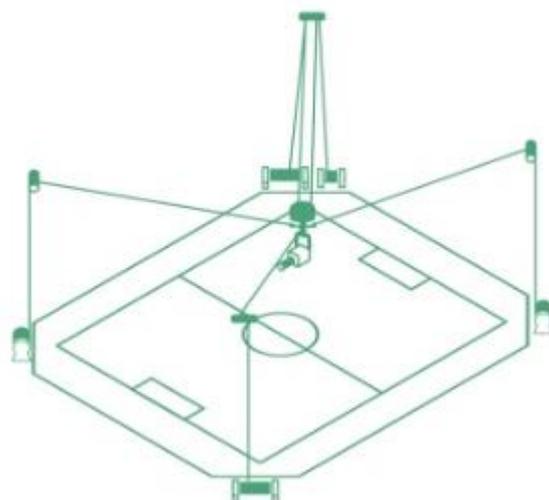
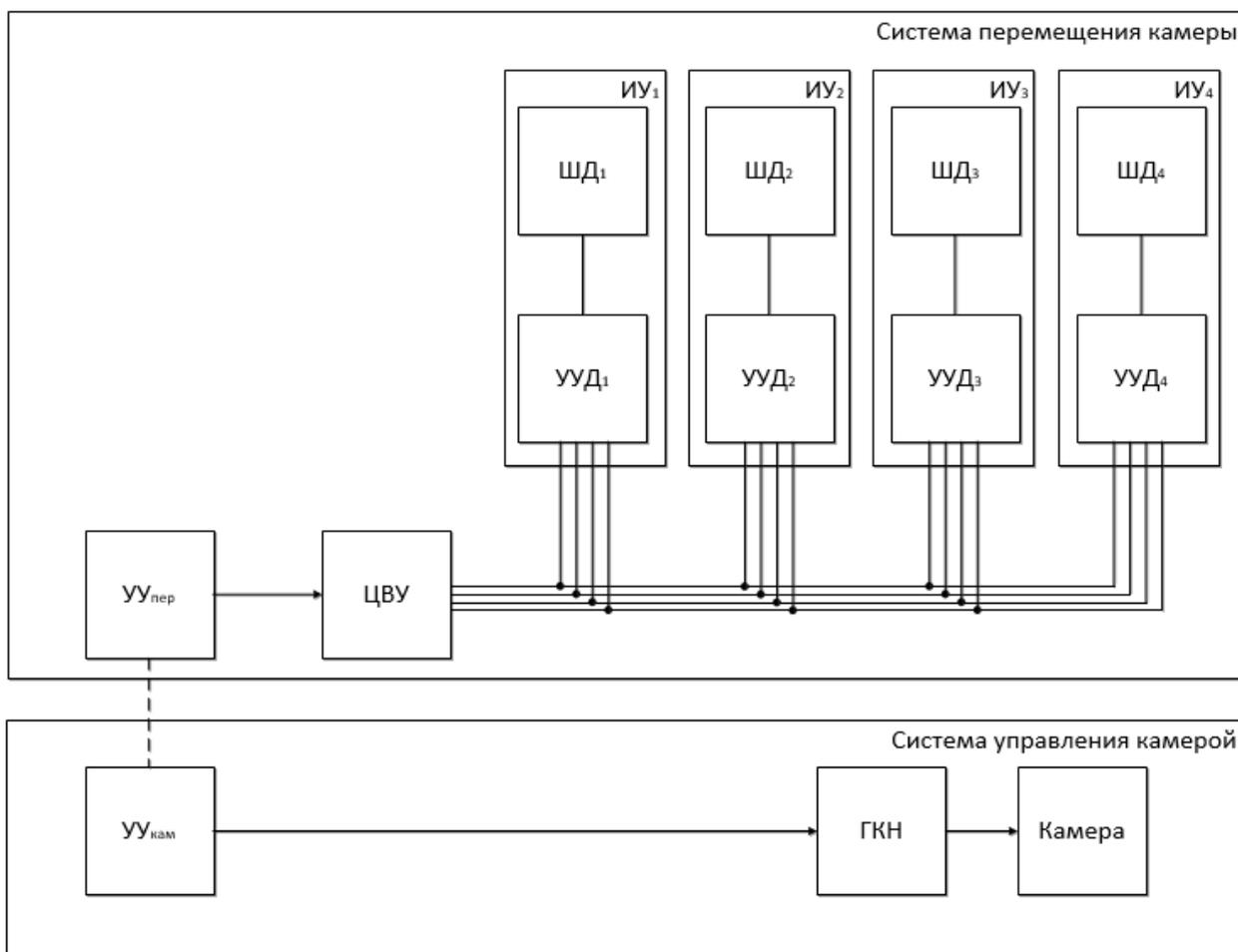


Рисунок 1 – Система «камера-паук»

Сигналы с управляющего устройства — пульта управления, отправляются в центральное вычислительное устройство, в котором происходит расчет скоростей двигателей, после их выполнения формируется управляющее воздействие, которое отправляется непосредственно на исполнительное устройство — моторизованную катушку, и вследствие намотки и разматывания лески происходит движения объекта. Используя

пульт управления, оператор перемещает камеру в пределах рабочей зоны и производит управление положением гиросtabilизированного камероносителя, а также оператор производит съемку события.

Именно такой принцип работы было решено использовать для построения системы управления перемещением объекта в трехмерном пространстве. Разрабатываемая система представлена на рисунке 2.



ГКН – гиросtabilизированный камеро-носитель; УУ_{пер} – устройство управления перемещением; УУ_{кам} – устройство управления камерой; УУД_п – устройство управления двигателем; ЦВУ – центральное вычислительное устройство; ШД_п – шаговый двигатель.

Рисунок 2 – Структурная схема системы перемещения объекта в трехмерном пространстве

На основе принципов работы системы были выделены основные элементы из которых состоит разрабатываемая система:

1. Устройство управления.
2. Исполнительное устройство.
3. Устройство передачи данных.
4. Гиросtabilизированный камеро-носитель.

2.2 Подбор компонентов

После изучения принципа работы системы и основных компонентов, необходимых для создания системы, произведен подбор компонентов.

2.2.1 Устройство управления

Для управления двигателями и все системой в целом произведен выбор управляющего устройства. В настоящее время существует множество различных устройств управления, в проектируемой системой этим устройством является микроконтроллер.

Для реализации устройства управления был произведен выбор среди следующих платформ:

1. Платформа Arduino UNO.

Arduino — это комбинация аппаратной и программной частей для простой разработки электроники. Аппаратная часть включает в себя большое количество видов плат Arduino со встроенными программируемыми микроконтроллерами, а также дополнительные модули [8].

Программная часть состоит из среды разработки, упрощенного языка программирования, огромного множества готовых функций и библиотек. Отладочная плата Arduino Uno представлена на рисунке 3.

Arduino обладает следующими достоинствами:

- открытые схемы оборудования и спецификации;
- открытый код программы;
- кроссплатформенность;
- низкая стоимость.



Рисунок 3 – Отладочная плата Arduino Uno

2. Микроконтроллер STM 32.

STM32 — это семейство микроконтроллеров, основанных на 32-битных ядрах Cortex [9]. Отладочная плата STM32F103C8T6 представлена на рисунке 4.

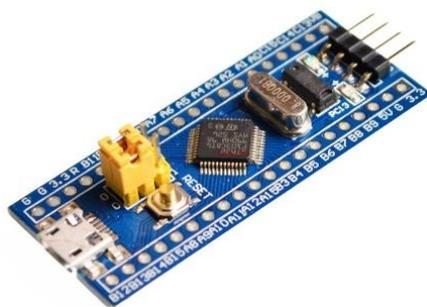


Рисунок 4 – Отладочная плата STM32F103C8T6

Достоинства STM 32:

- низкая стоимость;
- наличие выбора среды разработки;
- высокая производительность.

Недостатки STM 32:

- сложность в изучении и программировании микроконтроллера;
- высокий порог вхождения;
- нераспространенность библиотек;
- устаревшие библиотеки, необходимость создания

пользовательских библиотек.

Сравним технические характеристики данных платформ. Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики управляющих устройств

Характеристики	STM32F103C8T6	Arduino UNO
Рабочее напряжение, В	3.3	5
Частота контроллера, МГц	72	16
Флеш-память, Кбайт	512	32
ОЗУ, Кбайт	64	2
Количество входов/выходов	37	20
Интерфейсы	I2C, SPI, UART, CAN, USB, IrDA, LIN	I2C, SPI, UART
Стоимость, руб.	445	650

После выполнения сравнительного анализа, сделан вывод, что отладочная плата STM32F103C8T6 является наиболее оптимальным управляющим устройством для системы, имеющим наименьшую стоимость. Также стоит учитывать доступность готовых библиотек и сложность в программировании контроллера, в данном аспекте преимущество имеет платформа Arduino, имеющая невысокую стоимость, открытую среду разработки и готовые библиотеки, что значительно ускорит процесс разработки. Arduino UNO имеет достаточное количество вычислительных ресурсов, которое необходимо на данном этапе разработки.

2.2.2 Исполнительное устройство

В проектируемой системе исполнительным устройством является моторизированная катушка с леской. Для создания исполнительного устройства были определены его составляющие.

2.2.2.1 Катушка

Катушка, на которую в дальнейшем будет помещена леска, была спроектирована Autodesk Inventor, 3D модель катушки представлена на рисунке 5.

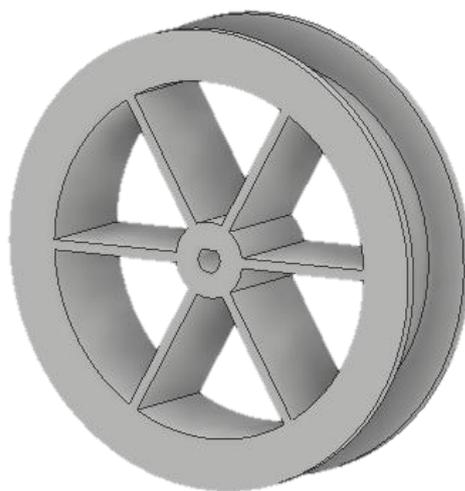


Рисунок 5 – 3D модель катушки

На рисунке 6 представлен чертеж катушки, с размерами, которые использовались при моделировании представленной выше модели.

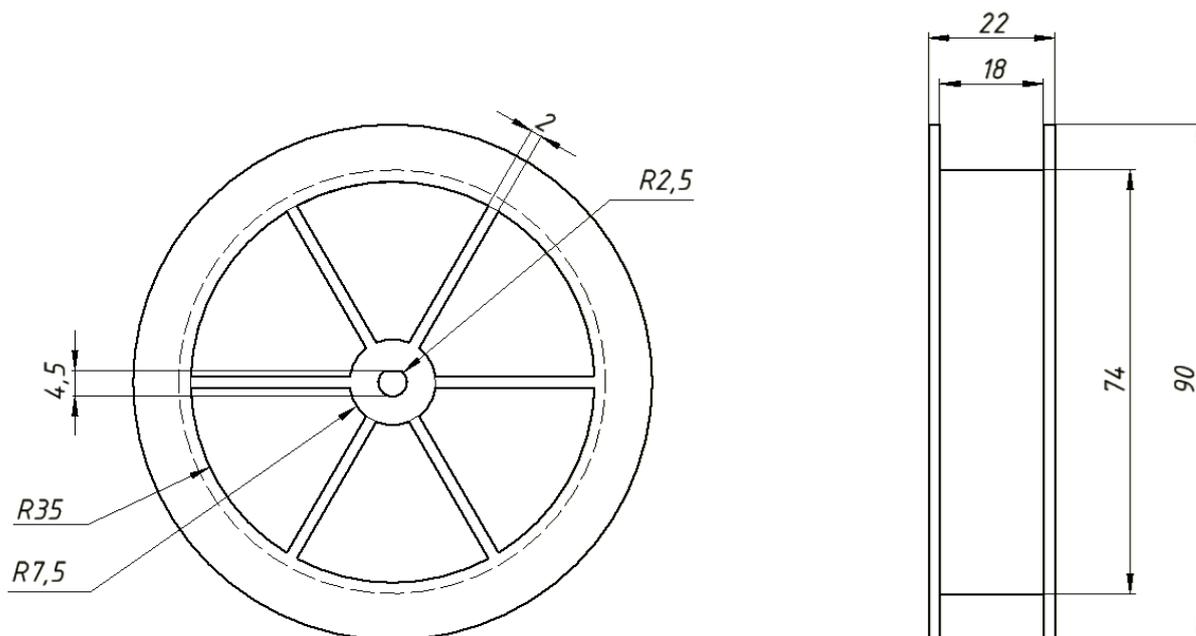


Рисунок 6 – Чертеж катушки

Затем была произведена печать созданной 3D модели катушки на 3D принтере, после чего была произведена намотка лески.

2.2.2.2 Двигатель

Был произведен подбор двигателя, при помощи которого будет осуществляться намотка и разматывание лески, и в следствии чего перемещение объекта. Для реализации проекта было решено использовать

шаговые двигатели. Выбор данного устройства обоснован следующими преимуществами двигателей такого типа:

- Работа при высоких нагрузках.
- Стандартизированные размеры двигателя и угол поворота.
- Простота в установке и использовании.
- Долгий срок эксплуатации.
- Наличие защиты от перегрева и сгорания двигателя при нагрузке, превышающей максимальный вращающий момент.
- Низкая стоимость устройства.

Для создания системы на данном этапе разработки был выбран шаговый двигатель Nema17 42BYGN47-401A, данный двигатель представлен на рисунке 7.

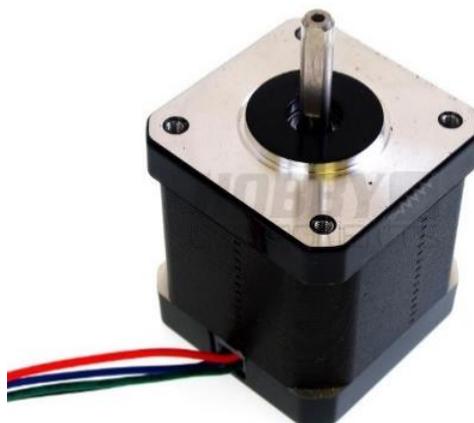


Рисунок 7 – Шаговый двигатель Nema17 42BYGN47-401A

Шаговый двигатель Nema17 42BYGN47-401A — это биполярный двигатель с высоким крутящим моментом 4.4 кг*см. Может поворачиваться на заданное число шагов. За один шаг совершает оборот на 1,8°, соответственно полный оборот на 360° осуществляет за 200 шагов [10].

Биполярный двигатель имеет одну обмотку в каждой фазе, которая для изменения направления магнитного поля должна переполюсовывается драйвером [11]. Всего биполярный двигатель имеет две обмотки и, соответственно, четыре вывода, схема обмоток двигателя представлена на рисунке 8.

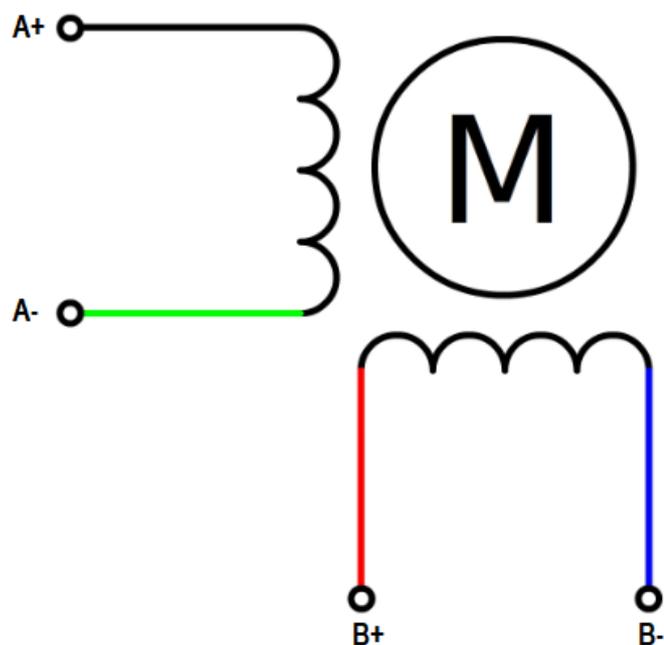


Рисунок 8 – Схема обмоток двигателя Nema17 42BYGH47-401A

Двигатель Nema17 42BYGH47-401A обладает следующими характеристиками:

- Число фаз: 2.
- Шаг: 1.8°.
- Напряжение питания: 24 В.
- Диаметр вала: 5 мм (для надежной фиксации катушки имеется прорезь).
- Ток: 1.5 А.
- Сопротивление фаз: 1.6 Ом / фаза.
- Момент удержания: 5.5 кг.
- Количество выводов: 4.
- Вес: 380 грамм.
- Размеры: 42.5 x 42.5 x 46 мм.
- Стоимость 860 руб.

2.2.2.3 Драйвер шагового двигателя

Для управления шаговым двигателем необходимо использовать специальное устройство — драйвер шагового двигателя, поэтому необходимо произвести анализ драйверов, имеющих на современном рынке. Наиболее популярными модулями являются драйвера A4988 и L298N.

1. Драйвер A4988.

Драйвер A4988 — предназначен для управления биполярным шаговым двигателем, работающим от напряжения 8 – 35 В и потребляющим до 2 А на каждую обмотку двигателя, драйвер представлен на рисунке 9.

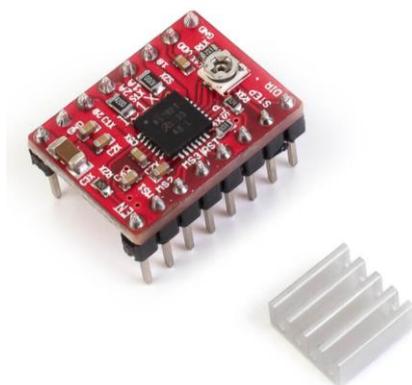


Рисунок 9 – Драйвер шагового двигателя A4988

Модуль A4988 имеет защиту от перегрузки и перегрева. Одним из параметров шаговых двигателей является количество шагов на один оборот 360°. Для шаговых двигателей Nema17, как уже описано ранее, это 200 шагов на оборот, то есть 1 шаг равен 1.8°. Драйвер A4988 позволяет увеличить это значение за счёт возможности управления промежуточными шагами и имеет пять режимов микрошага (1/1, 1/2, 1/4, 1/8 и 1/16) [12].

2. Драйвер L298N.

L298N — это полный мостовой драйвер для управления двунаправленными нагрузками с токами до 2 А и напряжением до 46 В, данный модуль позволяет управлять одним биполярным двигателем или двумя двигателями постоянного тока. Модуль L298N, представленный на рисунке 10, содержит разъем для подключения питания, ряд перемычек для

настройки модуля, два выхода А и В и разъем управления, которые регулируют скорость и направление вращения [13].

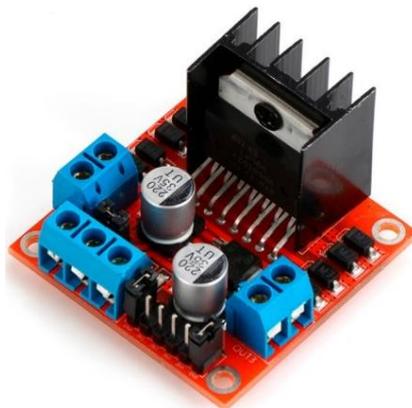


Рисунок 10 – Драйвер шагового двигателя L298N

Сравним описанные ранее драйвера, характеристики модулей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики драйверов шагового двигателя

Характеристики	A4988	L298N
Напряжение питания, В	(8 – 35)	(8 – 35)
Напряжение питания логики, В	(3 – 5.5)	5
Рабочий ток драйвера	1 А (без радиатора), 2 А (с радиатором)	2 А
Защита от перегрева	+	+
Размер, мм	20 x 15	43.5 x 43.2 x 29.4
Стоимость, руб	190	227

Исходя из данных приведенных в таблице 2, было выявлено, что параметры модулей схожи. Для работы с шаговыми двигателями был выбран драйвер L298N, данный выбор обоснован наличием стандартных библиотек Arduino для управления двигателями модулем L298N, что ускорит процесс создания системы.

2.2.3 Модуль передачи данных

При создании системы возникла необходимость в реализации дистанционного управления и передачи данных с центрального

вычислительного устройства управления. Передача управляющих воздействий осуществляется по радиоканалу. Выбор такой передачи связан с главным преимуществом беспроводных каналов связи, к которым относится радиоканал — отсутствие необходимости в прокладке кабелей и проводов, что упрощает монтаж и обслуживание проектируемой системы.

В качестве модуля передачи данных был выбран радиомодуль NRF24L01, представленный на рисунке 11.



Рисунок 11 – Радиомодуль NRF24L01

Данный модуль является одним из самых популярных и недорогих радиомодулей. NRF24L01 — это высокоинтегрированная микросхема с пониженным потреблением энергии (ULP) 2 Мбит/с для диапазона 2,4 ГГц. При помощи модуля можно связать несколько устройств для передачи данных по радиоканалу. Можно объединить до семи приборов в одну общую радиосеть на частоте 2,4 ГГц, один из модулей будет выступать в роли ведущего, остальные – ведомые.

Радиомодуль NRF24L01 обладает следующими характеристиками [14]:

- контроль доставки данных, приемник отправляет передатчику сигнал подтверждения приёма данных (без смены режима работы).
- низкие затраты энергии;
- скорость передачи данных 250 Кбит/с, 1 Мбит/с и 2 Мбит/с. Выше чем у шин I2C и UART;

- высокая помехозащищенность (данные в пакетах принимаются с проверкой CRC);
- возможность одновременной работы до 6 передатчиков на одном канале;
- полудуплексная связь (режим работы модулей можно менять в процессе их работы);
- напряжение питания: 3,3 В;
- дальность связи: до 1100 м;
- стоимость модуля: 418 руб.

2.2.4 Гиростабилизированный камеро-носитель

Для монтажа камеры в разрабатываемую систему и проведения съемки, был выбран специальный камеро-носитель. В качестве платформы для камеры было решено использовать готовый механизм, а именно трехосевой подвес на бесколлекторных моторах и металлической раме — HAKRC Storm32, представленный на рисунке 12.



Рисунок 12 – Трехосевой подвес HAKRC Storm32

Подвес HAKRC Storm32 обладает следующими характеристиками [15]:

- процессор: STM32F103;
- гироскоп и акселерометр: MPU6050;

- драйвера моторов: DRV8313;
- размер крепежной площадки: 60 x 60 мм;
- полная высота подвеса: 120 мм;
- вес: 197 грамм;
- напряжение питание подвеса: (10 – 18) В;
- наличие входов для подключения радиоаппаратуры;
- стоимость: 3384 руб.

2.3 Вывод по главе 2

В настоящей главе был описан принцип работы системы, а как следствие были определены основные составляющие системы. Был произведен подбор и анализ компонентов.

Управляющим устройством выбрана плата Arduino UNO, обладающая достаточное количество вычислительных ресурсов для реализации системы управления перемещением объекта в трехмерном пространстве, а также данная имеет открытую среду разработки и готовые библиотеки, что значительно ускоряет процесс разработки системы.

В качестве исполнительного устройства в ходе подбора оборудования было решено использовать моторизированную катушку. Катушка для лески была спроектирована в Autodesk Inventor и в дальнейшем напечатана на 3D принтере. Вращение катушки, а, следовательно, намотка и разматыванием леска, осуществляется двигателем. После проведения анализа решено использовать биполярный двигатель nema 17, отличающийся своими характеристиками: высоким крутящим моментом, составляющим 4.4 кг*см и низкой стоимостью.

Для реализации дистанционного управления и передачи данных по радиоканалу был выбран радиомодуль NRF24L01. Данный модуль имеет низкую стоимость, высокую дальность связи в 1100 метров, что в дальнейшем позволит увеличить рабочую зону разрабатываемой системы, также одним из

главных преимуществ модуля можно отметить полудуплексную связь, позволяющую реализовать обратную связь, тем самым облегчив процесс проектирования системы, а также поиска возможных ошибок и проблем в работе устройства.

При выборе камеро-носителя решено использовать готовое техническое решение. В качестве платформы для камеры выбран трехосевой подвес HAKRC Storm32. Данный подвес имеет низкую стоимость, достаточно малый вес 197 грамм, что важно при эксплуатации системы, так как при низкой нагрузке на двигатели обеспечивается плавность и соответственно поддерживается нормальная работа системы. Также имеется возможность управление наклоном подвеса с пульта управления, который работает с использованием радиоканала, что дает дополнительные возможности при проведении съемки.

3 Реализация системы управления положением объекта в трехмерном пространстве

При создании системы и изучении функционала используемого оборудования реализация системы была разделена на следующие этапы:

1. Реализация исполнительного устройства.
2. Реализация передачи данных.
3. Визуализация системы.
4. Тестирование работы системы.

3.1 Реализация исполнительного устройства

Управляющим с устройством в реализуемой системе является катушка, управляемая двигателем. Поэтому первым шагом разработки системы является получение навыков управления шаговыми двигателями.

Управление системой выполняется при помощи платы Arduino UNO со встроенным микроконтроллером ATmega328P. В системе, согласовано с контроллером, работает драйвер шагового двигателя типа L298N, питающий моторизованную катушку, оснащенную двигателем Nema 17 [16]. Для регулирования времени шага двигателя в схему, представленную на рисунке 13, введен джойстик KY-023.

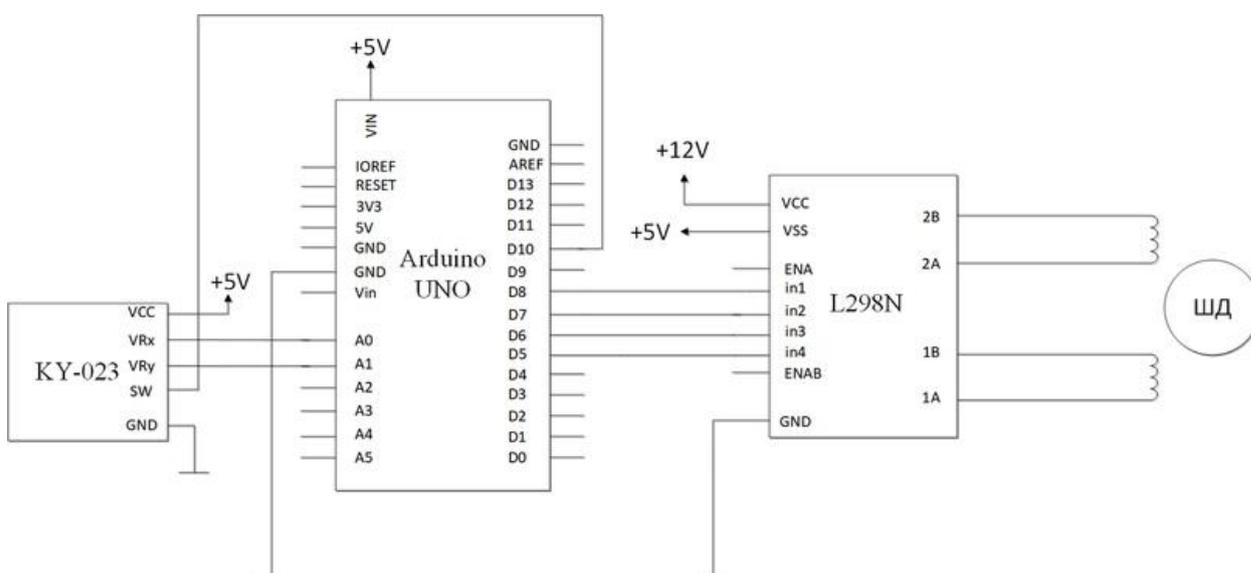


Рисунок 13 – Принципиальная схема исполнительного устройства

Для управления шаговым двигателем в среде разработки arduino существует стандартная библиотека Stepper.h для разработанная программ шаговых двигателей [17]. После подключения шаговых двигателей к плате arduino, было произведено тестирование работы двигателей, код написанный для запуска двигателей, был создан с использованием функций библиотеки Stepper.h. В ходе опытной эксплуатации библиотеки было выявлено, что Stepper.h имеет ограниченный функционал и не позволяет запустить несколько двигателей одновременно. Для решения этой проблемы было принято решение использовать пользовательскую библиотеку, которая обладала бы нужными функциями. В тоже время было добавлено регулирование скорости при помощи джойстика, время шага при таком подключении обратно пропорционально считываемым координатам. Для переноса значений скорости из диапазона значений получаемых с джойстика в диапазон, заданный вручную, в соответствии с максимальной и минимальной скоростью, использовалась функция map ().

Была предпринята попытка использовать пользовательскую библиотеку AccelStepper. Данная библиотека имеет следующие преимущества:

- поддержка ускорения и замедления;
- поддержка одновременной работы нескольких шаговых двигателей;
- независимая работа каждого двигателя;
- неблокирующие функции;
- поддержка различных типов шаговых двигателей и микрошаговых режимов;
- поддержка малых скоростей.

Библиотека AccelStepper полностью удовлетворяет требованиям системы, работа над управлением шаговыми двигателями была продолжена. AccelStepper имеет множество функций, благодаря которым можно управлять

двигателем, как требует того система [18]. Были задействованы следующие функции данной библиотеки:

1. Функции определения и конфигурация моторов:

- `AccelStepper mystepper (4, pinA1, pinA2, pinB1, pinB2)` – использовалась для определения и конфигурации двигателя, задав параметры мы указываем номера входов, к которым подключен мотор, а также вид двигателя, в данном случае двигатель гибридный;

- `mystepper.setMaxSpeed (stepsPerSecond)` использована для установки максимальной скорости, так как по умолчанию скорость очень низкая, скорость была переопределена.

2. Функции управления скоростью:

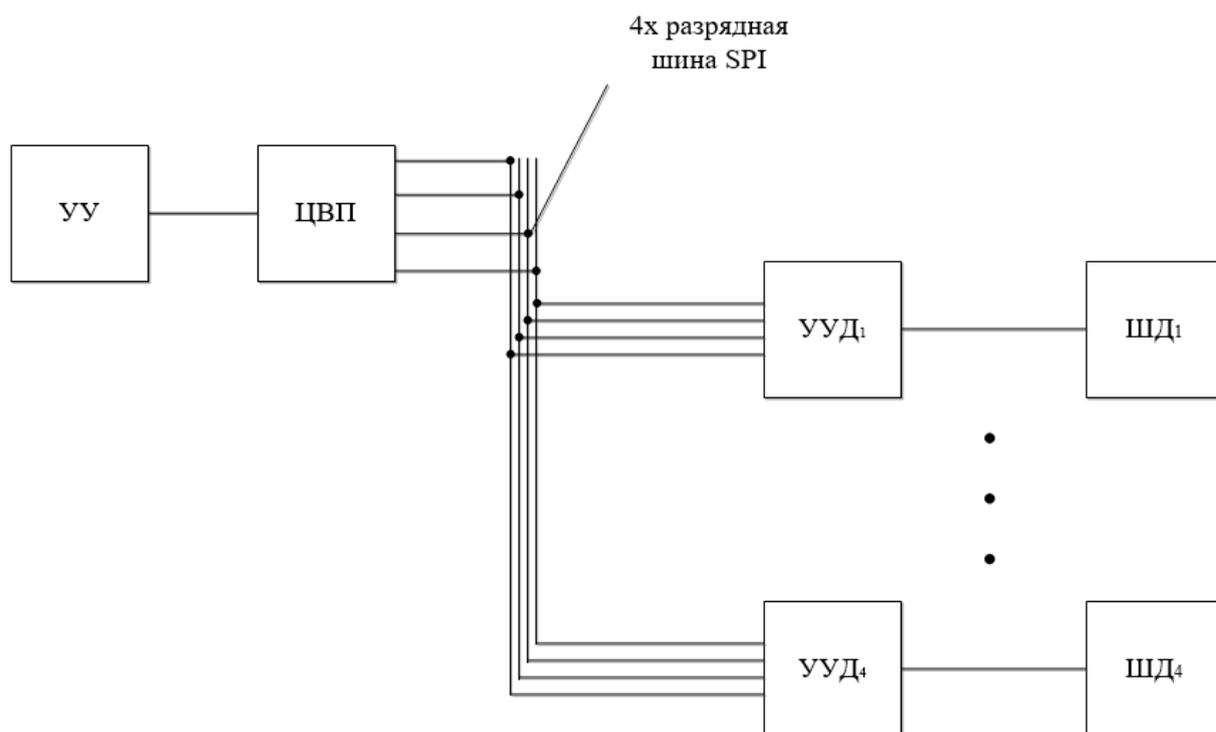
- `mystepper.setSpeed (stepsPerSecond);` данная функция устанавливает скорость в шагах за секунду;

- `mystepper.runSpeed ()` функция для запуска движения.

В процессе тестирования системы с данной библиотекой была вычислена максимальная скорость двигателя `mystepper.setMaxSpeed (85)`. В связи с тем, что функция `runSpeed ()`, для старта работы двигателя, всегда должна вызываться в жестком цикле, чтобы не препятствовать нормальной работе двигателя, выявлена следующая проблема. Так как максимальная скорость, которую можно установить с использованием драйвера L298N, составляет 85 оборотов в секунду, то соответственно функцию `runSpeed ()` необходимо вызывать 85 раз в секунду, но в то же время при подключении дополнительных функций таких как вывод значений на монитор, либо же запуск самого монитора, требуют ресурсы и соответственно плата не имеет возможности вызвать данную функцию нужное количество раз в данном временном интервале, тем самым время шага увеличивается, что препятствует нормальной работе двигателя.

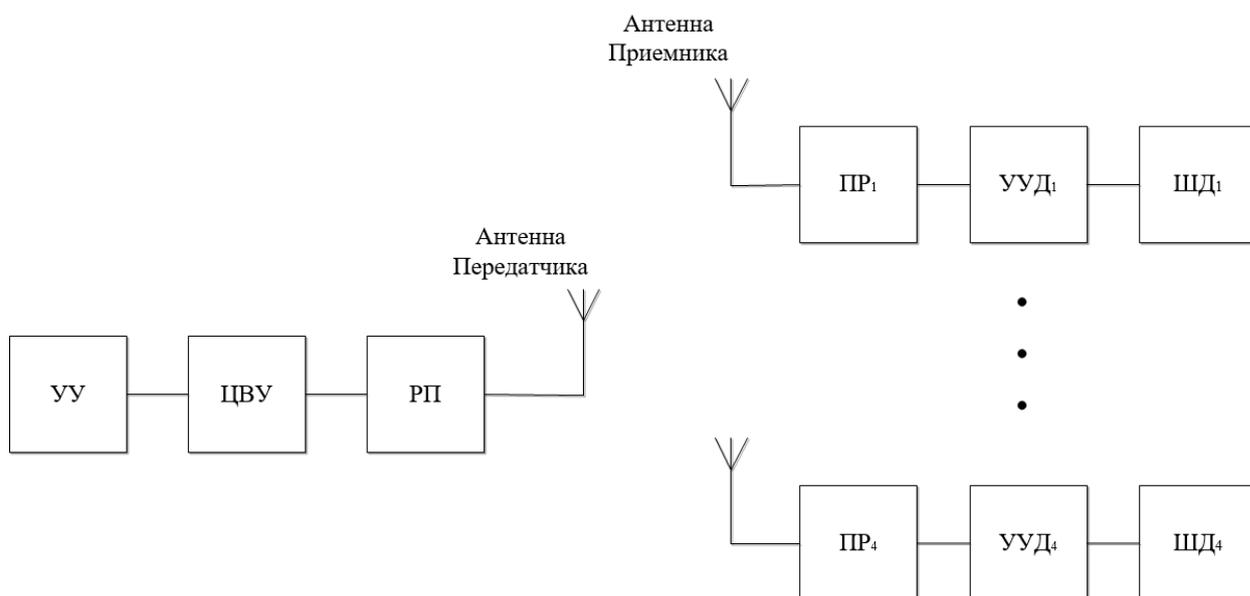
3.2 Система передачи данных

В связи с недостатком вычислительных ресурсов платы Arduino UNO, было принято решить проблему путем перенесения всех операций, не относящихся к управлению двигателями на отдельную плату. Данный способ заключается в том, что на отдельной плате производятся все необходимые вычисления, затем управляющее воздействие при помощи шины SPI, либо же радиомодуля NRF24L01, отправляется на четыре отдельных платы для управления двигателями, реализация передачи данных по SPI и радиоканалу представлена на рисунках 14 и 15 соответственно. При использовании данного способа управления двигателями не происходит затраты ресурсов на дополнительные функции, что дает возможность в полной мере установить двигателям нужную скорость, не нарушая нормальную работу двигателей.



УУД_n – устройство управления двигателем; УУ – устройство управления;
ЦВУ – центральное вычислительное устройство; ШД_n – шаговый двигатель.

Рисунок 14 – Передача данных с использованием шины SPI



ПР – приемник радиосигнала; РП – радиопередатчик; УУД_n – устройство управления двигателем; УУ – устройство управления; ЦВУ – центральное вычислительное устройство; ШД_n – шаговый двигатель.

Рисунок 15 – Передача данных с использованием радиомодуля NRF24L01

Для реализации передачи данных в системы было решено использовать передачу данных при помощи радиоканалов. К платам Arduino UNO были подключены радиомодули, схемы подключения модулей для приемника и передатчика представлены на рисунках 16 и 17. Затем были настроены радиомодули, модуль подключенный к центральной вычислительной плате является передатчиком, модули, подключенные к платам с шаговыми двигателями, являются приёмниками. Далее указываем параметры для модулей: номер канала, скорость передачи, мощность передачи и идентификатор трубы. При старте работы модулям присваивается режим работы, в зависимости от настроек – передача данных или прием данных.

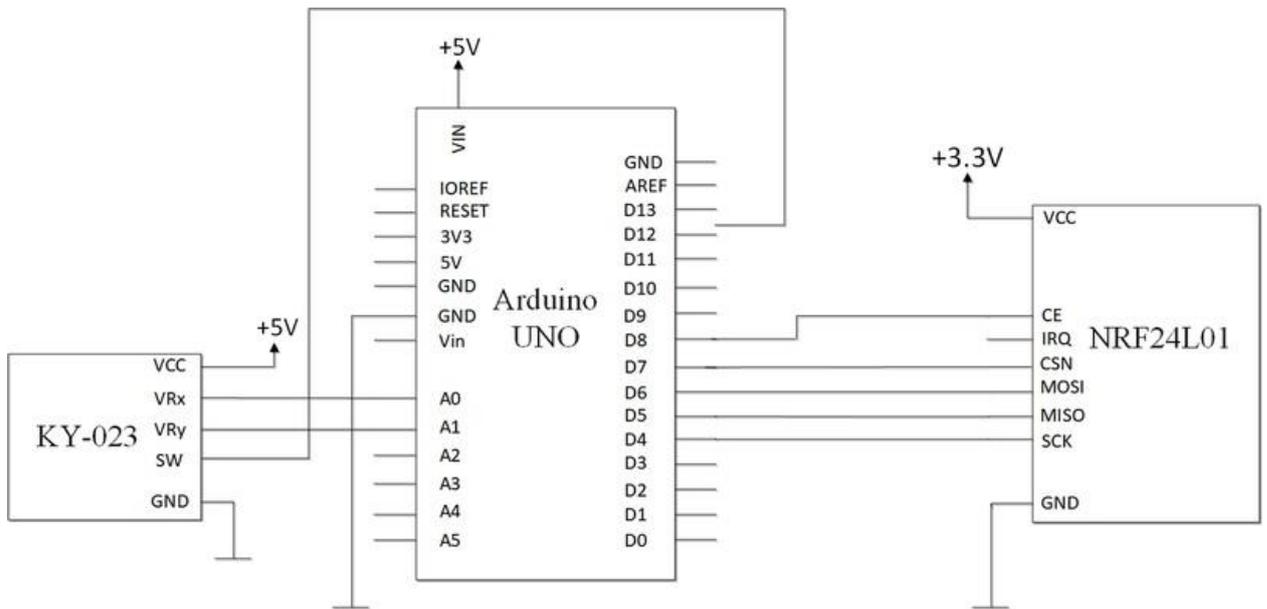


Рисунок 16 – Принципиальная схема передатчика

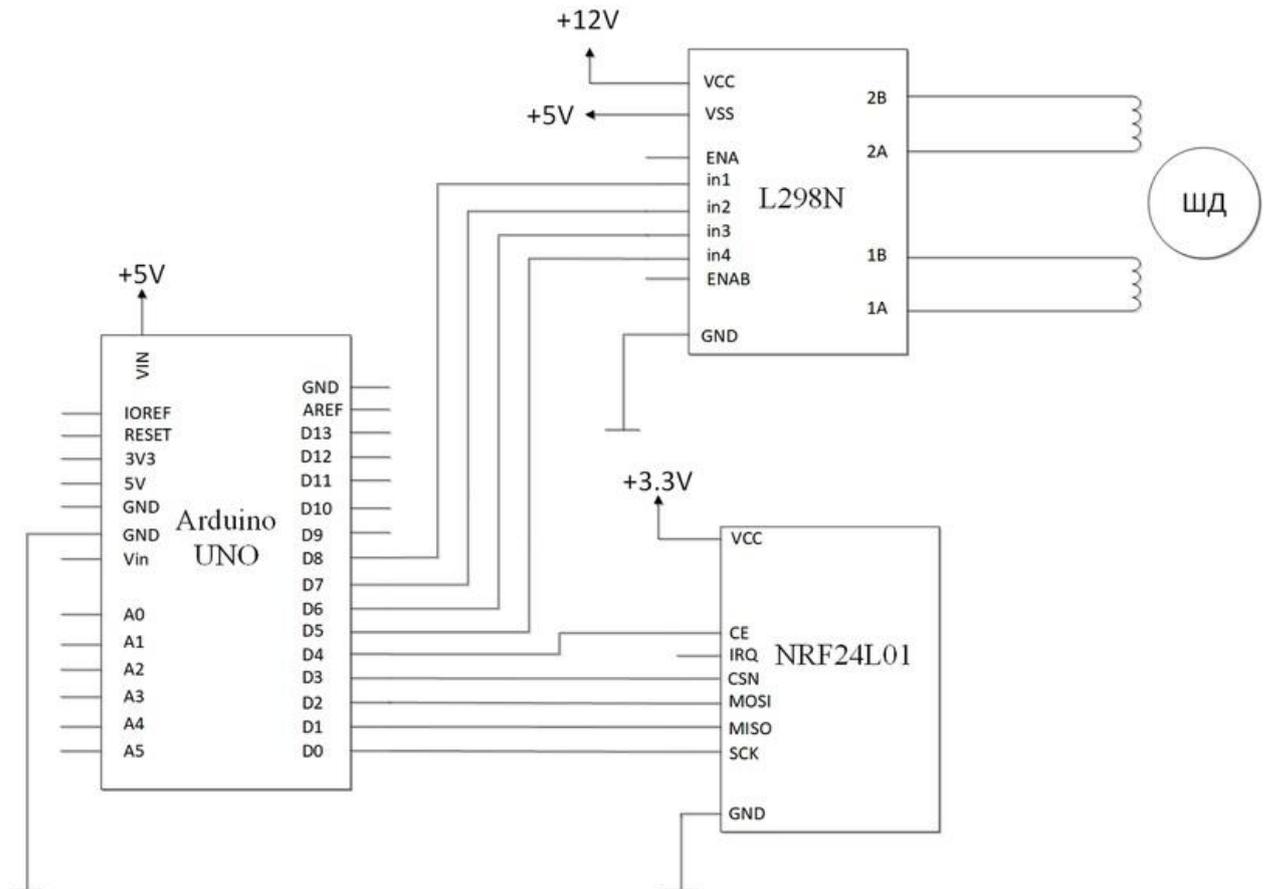


Рисунок 17 – Принципиальная схема приемника

При первом запуске модулей передача данных не осуществлялась. Данная проблема заключена в работе модулей в радиочастотном диапазоне ISM 2,4 ГГц, на котором работают WiFi и Bluetooth устройства, создающие помехи на каналах, что препятствует нормальной передаче. Для решения

данной проблемы была разработана методика подбора радиоканала с наименьшим зашумлением. Был написан код, который при загрузке программы в контроллер выводил в монитор порта список каналов, и степень их зашумленности. Затем для удобства работы с модулями был реализован алгоритм автоматического поиска чистого канала, данный алгоритм заключается в проверке каналов на наличие шумов, если в ходе проверки встречается не зашумлённый канал, определяется номер этого канала. Номер чистого канала помещается в функцию `radio.setChannel()`, которая используется для задания канала передачи данных, алгоритм поиска не зашумлённого канала представлен на рисунке 18. После указания не зашумленного канала передача осуществлялась без задержек и потерь данных.



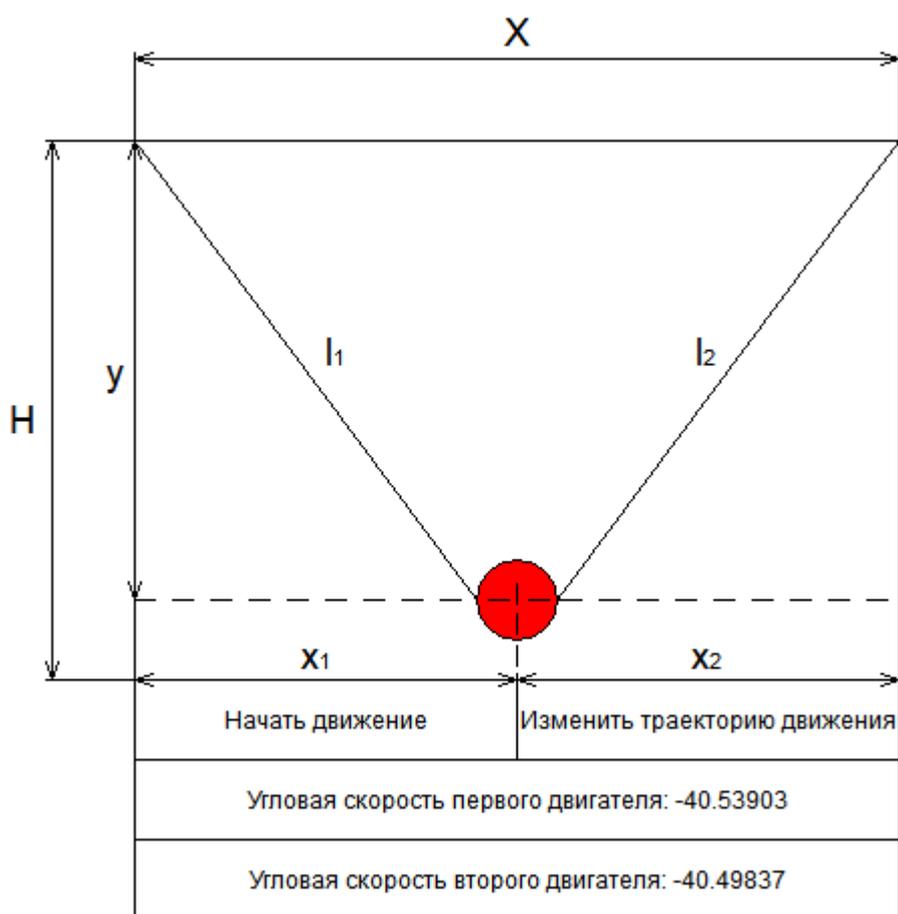
Рисунок 18 – Алгоритм поиска канала без шумов

Также немаловажным этапом передачи данных было определение типа переменных передатчиком и определение полученных переменных приемником. При использовании радиомодуля NRF24L01 и соответствующей библиотеки данная задача решается при помощи команды `sizeof()`.

При разделении системы на несколько устройств, появилась необходимость передачи данных к каждому из устройств по отдельному каналу. Данная проблема решена путем присвоения к каждому из управляемых устройств своего идентификатора, и соответственно отдельного канала, по которому будет производиться управление каждым из двигателей.

3.3 Цифровая модель системы

Средствами визуализации программного пакета CoDeSys была разработана мнемосхема системы, представленная на рисунке 19 [18].



H – высота наивысшей точки системы; l_n – длина нити катушки; X – расстояние между наивысшими точками системы; x_n – расстояние расположения объекта до крайней точки; y – расстояние от объекта до наивысшей точки системы;

Рисунок 19 – Мнемосхема системы

Расчет длин нитей происходит по формулам (1) и (2):

$$l_1 = \sqrt{y^2 + x_1^2}, \quad (1)$$

$$l_2 = \sqrt{y^2 + (x - x_2)^2}, \quad (2)$$

где y – расстояние от объекта до наивысшей точки системы;

x_n – расстояние расположения объекта до крайней точки;

l_n – длина нити катушки.

После расчёта длины нити рассчитать разницу между предыдущим значением длины и текущим, чтобы определить на какую величину необходимо произвести намотку/размотку нитей. Затем производится расчет угловой скорости двигателей, по формуле 3:

$$w = \frac{\Delta l}{R}, \quad (3)$$

где w – угловая скорость двигателя

Δl – это разница между предыдущим и текущим значением длины нитей

R – радиус катушки.

С использованием формул, приведенных выше, был реализован алгоритм подсчета основных параметров системы, а именно угловой скорости, которую необходимо задать двигателям, для нормального функционирования системы. Также присутствует возможность отработки определенных траекторий движения, которые задает пользователь.

В мнемосхеме присутствует возможность изменения траектории движения объекта, и визуализация работы системы. Создание мнемосхемы позволяет наглядно эмулировать динамику системы и поведение при заданных параметрах, что дает возможность отладки системы, экономии ресурсов и времени, также произвести серии отладочных экспериментов при введении новых функций.

3.4 Тестирование работы системы

Создание визуализации системы и алгоритма вычисления скоростей в программном пакете CoDeSys позволяет воспроизвести движение объекта в реальной системе, используя при этом траектории движения из CoDeSys. Данные эксперименты необходимы для анализа поведения системы в реальных условиях, выявления ошибок при работе системы и отклонений параметров от заданных значений.

Алгоритм созданный с помощью программного пакета CoDeSys был интегрирован в основной код программы вычислительного устройства. Скорости, получаемые в результате расчетов через радиоканалы, отправляются непосредственно двигателям.

Был произведен тестовый запуск системы, в качестве стартовой траектории движения для объекта было выбрано движение по прямой, изначально объект перемещался по вертикальной оси, затем по горизонтальной. Перемещение реального объекта происходило согласно заданной траектории без отклонений. Однако при задании более сложной траекторий движения, отсутствует плавность работы двигателей, что приводит к отклонениям движения объекта от заданной траектории.

3.5 Вывод по реализации системы

В данной главе рассмотрена реализация системы управления положением объекта в пространстве, а именно этапы разработки системы. Были изучены основные способы управления шаговыми двигателями, что ускоряет процесс создания исполнительного устройства. В ходе работы, в связи с введением центрального управляющего устройства, были изучены способы передачи данных, а также реализована передача данных по радиоканалу при помощи радиомодулей, что повышает мобильность и безопасность системы.

Также была разработана цифровая модель системы в программном пакете CoDeSys, которая позволяет моделировать и отлаживать новые технические решения.

Заключительным этапом разработки является объединение всех комплектующих в единую систему. Также произведена отработка созданного алгоритма для расчёта основных параметров, и траекторий движения, заданных пользователем.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные конкуренты для результатов исследования

Для анализа существующей конкуренции необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Объектом разработки является система управления объектом в трехмерном пространстве. Группу потребителей могут составить предприятия, где необходимо перемещение объекта в трехмерном пространстве составления в заданной области. Сегментирование рынка произведено по следующим критериям: размер компании-заказчика и область применения. Карта сегментирования приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Карта сегментирования

		Область применения			
		Киностудии	Промышленные предприятия	Фотостудии	Спортивные организации
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Согласно карте сегментирования, можно выбрать следующие сегменты рынка: разработка систем управления объектом в трехмерном пространстве для мелких промышленных предприятий и киностудий, а также для средних и мелких спортивных организация и фотостудий.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Среди производителей рассматриваемой системы можно выделить следующих: SkyCam (конкурент 1), «Robuscam» (конкурент 2). Анализ приведен в таблице 4.

Skycam является ведущим разработчиком, производителем и оператором систем мобильной аэрофотосъемки. Компания «Мовиком» является создателем первой в России тросовой системы свободного перемещения в пространстве «Robuscam». Система предназначена для съемки спортивных состязаний, различных развлекательных мероприятий, телешоу, сложных постановочных кадров для кинофильмов.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Плавность работы	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
2. Время отклика	0.1	5	5	5	0.5	0.5	0.5
3. Грузоподъемность	0.07	3	4	5	0.21	0.28	0.35
4. Удобство управления	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
5. Масштабируемость	0.1	5	4	3	0.5	0.4	0.3
6. Модульность	0.05	5	2	2	0.25	0.1	0.1
7. Помехоустойчивость	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
8. Уровень шума	0.03	3	4	5	0.09	0.12	0.15
Экономические критерии оценки эффективности							

Продолжение таблицы 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1. Конкурентоспособность	0.05	4	5	5	0.2	0.25	0.25
2. Уровень проникновения на рынок	0.05	4	2	2	0.2	0.1	0.1
3. Цена	0.1	4	2	2	0.4	0.2	0.2
4. Послепродажное обслуживание	0.1	4	2	2	0.4	0.2	0.2
5. Доступность	0.1	4	1	1	0.4	0.1	0.1
Итого	1	54	50	47	4.2	3.5	3.5

Согласно критериям ресурсоэффективности слабыми сторонами проекта можно считать: грузоподъемность, помехоустойчивость и уровень шума. В то же время, продукт конкурентоспособен по остальным техническим критериям. Из сильных сторон можно выделить модульность и масштабируемость.

Для оценки экономической эффективности были выбраны следующие экономические критерии: конкурентоспособность продукта, уровень проникновения на рынок, цена, послепродажное обслуживание, доступность. Результаты анализа выявили, что созданный продукт имеет наибольшую конкурентоспособность в условиях существующего рынка по сравнению с конкурентами.

4.3 SWOT-анализ

Для исследования внутренней и внешней среды проекта был проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта – SWOT-анализ. Итоговая матрица SWOT-анализа, полученная в результате реализации всех этапов исследования, приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Низкая стоимость. С2. Простота эксплуатации. С3. Модульность проекта. С4. Замена компонентов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Неустойчивость к помехам. Сл2. Малая грузоподъемность Сл3. Недостаточная плавность работы системы. Сл4. Недостаток вычислительных ресурсов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Осваивание новых отраслей. В2. Выход на иностранный рынок. В3. Повышение стоимости разработок конкурентов. В4. Появление бюджетных аналогов использующихся компонентов.</p>	<p>За счёт модульности проекта существует возможность осваивания новых отраслей и расширения функционала. Простота эксплуатации позволяет уменьшить затраты на обучение персонала, а также дает возможность использования проекта иностранными клиентами. Появление бюджетных аналогов использующихся компонентов обеспечит низкую стоимость проекта, что дает возможность повысить спрос на проект при повышении стоимости разработок конкурентов.</p>	<p>При осваивании новых отраслей и выходе на иностранный рынок возможно появление и увеличение клиентской базы. Увеличение стоимости разработок конкурентов приведет к появлению новых клиентов. Осваивание новых отраслей повлечет за собой замену комплектующих, что приведёт к устранению неустойчивости к помехам.</p>

Продолжение таблицы 5 – Матрица SWOT-анализа

Угрозы: У1. Направленность продукта на определенную группу потребителей. У2. Увеличение стоимости ресурсов. У3. Появление на рынке наиболее совершенных систем от конкурентов. У4. Уменьшение спроса на данный проект.	Снижение стоимости проекта при повышении цен на ресурсы за счет замены комплектующих бюджетными аналогами. Наличие многих комплектаций и вариантов продукта для различных отраслей, позволит сохранить спрос на продукт.	Увеличение функционала и мощности системы позволит конкурировать проекту с другими системами от конкурентов. При увеличении стоимости ресурсов возможно увеличение количества клиентов так как в проекте используются бюджетные комплектующие, что практически не отразится на цене продукта.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Таким образом, с использованием сильных сторон проекта имеется перспектива реализации возможностей. Низкая стоимость, простота эксплуатации и модульность проекта позволяют в полной мере использовать все возможности для развития проекта. Но слабые стороны и наличие угроз снижают конкурентоспособность продукта.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для реализации проекта необходимы исполнители в лице руководителя и инженера. Перечень этапов, работ и исполнителей приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Теоретические исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Изучение существующих систем	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
	5	Подбор компонентов для реализации системы	Инженер
Проведение ОКР			
Разработка и проектирование системы	6	Сборка системы	Инженер
	7	Создание программной части	Инженер
	8	Тестирование и отладка работы системы	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка полученных результатов	Руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	Инженер
	11	Составление пояснительной записки	Инженер

4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Представим ленточный график в форме диаграммы Ганта. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (6)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1.22 \quad (7)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Полученные данные сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы						Длительность работы в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работы в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	2		6		3.6		3.6		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		10		7		7		9
Изучение существующих систем		3		5		3.8		3.8		5
Календарное планирование работ по теме	2	2	3	3	3	3	1.5	1.5	2	2
Подбор компонентов для реализации системы		2		6		3.6		3.6		4
Сборка системы		8		14		10.4		10.4		13
Создание программной части		5		10		7		7		9
Тестирование и отладка работы системы	3	3	5	5	3.8	3.8	1.9	1.9	2	2
Оценка полученных результатов	2		6		3.6		3.6		4	
Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта		6		15		9.6		9.6		12
Составление пояснительной записки		8		13		10		10		12
Итого							10.6	54.8	12	68

На основе полученной таблицы 7 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Календарный план-график выполнения проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				Янв.			февр.			март			апр.			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4				▨														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9				■														
3	Изучение существующих систем	Инженер	5					■													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	2					▨	■												
5	Подбор компонентов для реализации системы	Инженер	4						■												
6	Сборка системы	Инженер	13							■	■	■									
7	Создание программной части	Инженер	9									■									
8	Тестирование и отладка работы системы	Руководитель, инженер	2									▨	■								
9	Оценка полученных результатов	Руководитель	4										▨								
10	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта	Инженер	12										■	■	■						
11	Составление пояснительной записки	Инженер	12												■	■					

▨ - руководитель ■ - инженер

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расч\ i}, \quad (8)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расч\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 9 сведены данные о материальных затратах на научное исследование.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Системный блок PANDU	Шт.	1	16 000	16 000
Монитор LG FLATRON E2040	Шт.	1	2 500	2 500
Клавиатура SVEN	Шт.	1	450	450
Мышь A4Tech F4	Шт.	1	1 599	1 599
USB-разветвитель SVEN HB-401	Шт.	1	499	499
Контроллер Arduino Uno	Шт.	5	1 700	8 500

Продолжение таблицы 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Модуль беспроводной связи nRF24L01+	Шт.	5	240	1 200
Шаговый двигатель УН42ВУGH47-401А	Шт.	4	1 490	5 960
Двухканальный драйвер шагового двигателя L298N	Шт.	4	303	1 212
Соединительные провода папа-мама (40шт)	Шт.	1	64	64
Соединительные провода папа-папа (40шт)	Шт.	1	64	64
Соединительные провода мама-мама (40шт)	Шт.	1	64	64
Блок питания NES-150-24	Шт.	2	2 520	5 040
Леска плетенка Spike (100м)	Шт.	4	250	1 000
Уголок крепежный ROCK 80x80x80	Шт.	4	37	148
Всего за материалы				44 300
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				1 329
Итого				45 629

4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (9)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от основной).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (10)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{он}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле:

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней -выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (12)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Расчет основной платы представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад	k_{np}	k_d	k_p	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33 664	-	-	1.3	43 763.2	1 813.3	10.6	19 220.98
Инженер	12 664	-	-	1.3	16 463.2	682.14	54.8	37 381.27
Итого:								56 602.25

4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (13)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (0,12 – 0,15).

Получим:

$$З_{\text{Доп НР}} = 0.12 * 19\ 220.98 = 2\ 306.52$$

$$З_{\text{Доп И}} = 0.12 * 37\ 381.27 = 4\ 485.75$$

4.5.4 Отчисление во внебюджетные фонды

В данной статье отражаются обязательные отчисления по установленным законодательствам Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (14)$$

где $k_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений	Отчисления
Руководитель	19 220.98	2 306.52	0.271	5 833.95
Инженер	37 381.27	4 485.75		11 345.96
Итого				17 179.91

4.5.5 Прочие прямые затраты

К данному виду затрат относятся затраты на электроэнергию. Для юридических лиц стоимость 1 кВт·ч составляет 5,8 рублей. При умеренном пользовании стационарный компьютер средней мощности потребляет 180 Вт в час в среднем, а также использование монитора приводит к потреблению 40 Вт, используемое оборудование потребляет в сумме 168 Вт в час. В день на работу затрачивается 6 часов, всего на работу с компьютером и оборудованием затрачивается 50 дней. Тогда затраты на электроэнергию составят:

$$З_{\text{эн}} = 0.388 \cdot 50 \cdot 6 \cdot 5,8 = 675.12 \text{ руб.}$$

4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, 16 %.

Получим:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (56\,602,25 + 6\,792,27) = 10\,143,12 \text{руб.}$$

4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат приведено в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты НТИ	45 629
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	56 602.25
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6 792.27
4. Отчисление во внебюджетные фонды	17 179.91
5. Прочие расходы	225.04
5. Накладные расходы	10 143.12
6. Бюджет затрат НТИ	137 021.67

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального финансового показателя, определяемого по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (16)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Φ_{max} зависит от сложности проекта для которого разрабатывается АСУ.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{137\,021.67}{138\,058.99} = 0,99$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{138\,058.99}{138\,058.99} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (17)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Сравнительный анализ приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1	Исп. 2
1. Плавность работы	0.2	4	5
2. Время отклика	0.2	5	5
3. Грузоподъемность	0.1	3	4
4. Удобство управления	0.05	5	5
5. Масштабируемость	0.1	5	4
6. Модульность	0.2	5	2
7. Помехоустойчивость	0.05	4	5
8. Уровень шума	0.1	3	4
Итого	1	34	34

$$I_{p-исп1} = 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5 + 0.1 \cdot 3 + 0.05 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.2 \cdot 5 + 0.05 \cdot 4 + 0.1 \cdot 3 = 4.35$$

$$I_{p-исп2} = 0.2 \cdot 5 + 0.2 \cdot 5 + 0.1 \cdot 4 + 0.05 \cdot 5 + 0.1 \cdot 4 + 0.2 \cdot 2 + 0.05 \cdot 5 + 0.1 \cdot 4 = 4.05$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} \quad (15)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (16)$$

Результаты расчета показателей сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработок

Показатель	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель	0.99	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.35	4.05
Интегральный показатель эффективности	4.39	4.05
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.08	

Исходя из полученных данных сравнения финансовой и ресурсной эффективности различных вариантов исполнения, несколько более эффективным является первый вариант исполнения.

5 Социальная ответственность

В разделе рассматриваются правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производится анализ опасных и вредных производственных факторов, оказывающих влияние на производственную деятельность обслуживающего персонала, а также поднят вопрос влияния объекта исследования на окружающую среду.

Объектом исследования и разработки является система управления положением объекта в трехмерном пространстве. В состав системы входят: шаговые двигатели, радиомодули, контроллер и драйвера.

Потенциальными потребителями проектного решения являются предприятия, использующие систему для перемещения грузов различной массы по цеху, складу, или же для перемещения между производственными помещениями с повышенной опасностью. Также данную систему можно использовать в телевидении для перемещения телевизионных камер в заданной области. Управление перемещением объекта в пространстве должно осуществляться за счет намотки или разматывания тросов на четырех катушках, оснащенных шаговыми двигателями, управление системой производится с помощью специального пульта.

Сборка системы производилась в лабораторных условиях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В подразделе рассмотрены специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Также тезисно приводятся основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды.

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно «Трудовому кодексу Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 01.04.2019), рабочее время - время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации относятся к рабочему времени (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ) [20].

В компании, где предполагается использование разрабатываемой системы, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда (часть третья введена Федеральным законом от 22.07.2008 N 157-ФЗ) [20].

Работодатель обязан вести учет времени, фактически отработанного каждым работником.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Управление разрабатываемой системой предполагает наличие оператора, который взаимодействует с ней через пульт управления в положении сидя.

Поэтому рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований [21]:

Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

Выполнение трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают мужчины и женщины - общие средние показатели мужчин и женщин.

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15°.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представлены в таблице 16 [22].

Таблица 16 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Вид работы	Нормативные документы
1.Отклонение показателей микроклимата	Эксплуатация оператором системы управления объектом в трехмерном пространстве	1. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. 3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки". 4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий". 5. ГОСТ 12.1.030-81 (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны		
3.Повышенный уровень шума на рабочем месте		
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		
5.Движущие механизмы		

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

1. Микроклимат

Основные виды работ, выполняемыми оператором, по степени физической тяжести, можно отнести к категории легких работ. В таблице 17 приведены оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для оператора [23].

Таблица 17 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, С ⁰	Температура поверхностей, С ⁰	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(21 – 23)	(20 – 24)	(40 – 60)	0,1
Теплый	(23 – 25)	(22 – 26)	(40 – 60)	0,1

Профилактика перегрева организма работника в нагревающем микроклимате включает следующие мероприятия:

- нормирование верхней границы внешней термической нагрузки на допустимом уровне применительно к восьмичасовой рабочей смене;
- регламентация продолжительности воздействия нагревающей среды для поддержания среднесменного теплового состояния на опти-мальном или допустимом уровне;
- использование специальных средств коллективной и индивидуальной защиты, уменьшающих поступление тепла извне к поверхности тела человека и обеспечивающих допустимый тепловой режим.

Защита от охлаждения осуществляется посредством:

- одежды, изготовленной в соответствии с требованиями государственных стандартов.
- использования локальных источников тепла, обеспечивающие сохранение должного уровня общего и локального теплообмена организма.
- регламентации продолжительности непрерывного пребывания на холоде и продолжительности пребывания в помещении с комфортными условиями.

2. Производственное освещение

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов [24].

Требования к освещению [25]:

- Требования к освещению предусматривают применение в качестве источников света люминесцентных ламп типа ЛБ. При местном освещении разрешается использовать лампы накаливания.

- Требования к освещению запрещают использование светильников без рассеивателей и экранирующих решеток.

- В зоне углов излучения от 50 до 90 градусов (с вертикалью в поперечной и продольной плоскости), яркость светильников общего освещения не должна превышать 200 кд/кв.м., защитный угол светильников - не менее 40 градусов.

- Для светильников местного освещения необходим непросвечивающий отражатель с защитным углом 40 градусов или больше.

- Осветительные установки общего освещения должны обладать Кз (коэффициентом запаса) равным 1,5.

- Применение газоразрядных ламп в светильниках с ВЧ ПРА позволяет не превышать значение минимально допустимого коэффициента пульсации 5 %, для любых типов светильников.

- Требования к освещению обязывают совершать проведение чистки стекол оконных рам и светильников как минимум два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп светильников для обеспечения указанных выше нормированных значений освещенности помещений.

К средствам нормализации освещения относятся [26]:

- источники света;
- осветительные (световые) приборы;
- световые приборы;
- светозащитные устройства;
- светофильтры.

К средствам индивидуальной защиты глаз – защитные очки и к СИЗ лица и глаз – щитки.

3. Шум

Шум – это совокупность различных шумов, возникающих в процессе производства и неблагоприятно воздействующих на организм. Шум может привести к нарушениям слуха (в случае постоянного нахождения при шуме

более 85 децибел(dB)), а также может быть фактором стресса и повысить систолическое кровяное давление. Дополнительно, он может способствовать несчастным случаям, маскируя предупреждающие сигналы и мешая сконцентрироваться.

Шум может взаимодействовать с другими факторами угрозы на производстве, увеличивая риск для работников.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, в производственных помещениях при выполнении основных и вспомогательных работ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. При напряженности труда легкой степени предельно допустимые уровни звука составляют 80 дБА [27].

Снизить уровень шума можно при помощи звукопоглощающих материалов, предназначенных для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создается за счет использования занавесок из плотной ткани.

4. Электрический ток

В соответствии с п.1.1.13 главы 1.1 раздела 1 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) по опасности электропоражения помещение, в котором проводятся работы, относится к помещениям без повышенной опасности. Это обусловлено отсутствием высокой влажности, высокой температуры, токопроводящей пыли и возможности одновременного соприкосновения с заземленными предметами и металлическими корпусами оборудования. Во время нормального режима работы оборудования, опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями [28].

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению

технических средств защиты. В соответствии с главой 1.7 ПУЭ к основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

- основная изоляция токоведущих частей;
- защитное заземление или зануление;
- автоматическое отключение питания;
- защитное электрическое разделение цепей;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей.

5. Движущиеся механизмы

В объекте исследования шаговые двигатели представляют собой механическую опасность.

Основные последствия механических опасностей для данного объекта исследования:

- порезы;
- попадание под удар.

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) в соответствии с ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ относятся [29]:

- оградительные устройства;
- блокировочные устройства;

При разработке системы исследователь имеет непосредственный контакт с работающим механизмом. В экстренном случае необходимо обеспечить остановку аппарата путем его обесточивания.

5.3 Экологическая безопасность

Объект исследования не оказывает воздействия на атмосферу и гидросферу. Присутствует воздействие на литосферу в виде отходов, возникающих при замене устаревшего или неисправного оборудования (печатные платы, компьютеры, двигатели, датчики). Если используемое

оборудование по каким-либо причинам выйдет из строя, и не подлежит ремонту, то его необходимо будет утилизировать. Пластмассовые, железные детали, можно пустить на переработку. Для сохранения окружающей среды необходимо обратиться в утилизирующие компании.

При переработке утилизирующая компания производит разбор техники. Определяет содержащиеся в ней компоненты и материалы, которые подлежат переработке в сырье для изготовления новой техники.

Большую часть отходов при создании системы составляют печатные платы, вышедшие из строя. Утилизация печатных плат – дорогостоящая технологичная процедура. Сложность утилизации печатных плат состоит в том, что их состав включает множество компонентов разных свойств, например, по плотности и электропроводности [30]. Для эффективного разделения на части используют два вида обработки:

- механическая;
- гидromеталлургическая.

Механическая утилизация снижает затраты на труд и включает этапы:

- измельчение ножами, вращающимися на высокой скорости, в контейнере;
- извлечение черных металлов с помощью сильных магнитов;
- передача плат в шаровую мельницу для получения порошка, просеивание;
- рециркуляция с помощью электростатики;
- повторное измельчение;
- пиролитическая переработка бесполезных компонентов.

Гидрометаллургия — выделение золота с контактным разъемом.

Очистка проводится одним из следующих способов:

- растворение меди на подложках в кислоте,
- применение растворов с цианидом для получения электролитического осадка.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС

Чрезвычайная ситуация – это состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и природной среде.

Наиболее типичной ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения является пожар. Он может возникнуть вследствие причин электрического и неэлектрического характеров. К причинам электрического характера можно отнести короткое замыкание, искрение, статическое электричество. К причинам неэлектрического характера относится неосторожное обращение с огнём, курение, оставление без присмотра нагревательных приборов.

5.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС

Пожарная безопасность – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара [31].

Наиболее типичной ЧС для нашего объекта является пожар. Данная ЧС может произойти в случае замыкания электропроводки оборудования, обрыву проводов, не соблюдению мер пожаробезопасности.

По пожарной и взрывопожарной опасности, согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», помещения производственного и складского назначения, независимо от их функционального назначения, подразделяют на следующие категории:

- повышенная взрывопожароопасность (А);

- взрывопожароопасность (Б);
- пожароопасность (В1— В4);
- умеренная пожароопасность (Г);
- пониженная пожароопасность (Д).

В операторной присутствуют лишь горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), категория производственного помещения – Г (умеренная пожароопасность).

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара, средствами связи, должна быть исправна электрическая проводка осветительных приборов и электрооборудования.
- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи, а также помнить номера телефонов для сообщения о пожаре и уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо проводить следующие профилактические работы, направленные на устранение возможных источников возникновения пожара:

- периодическая проверка проводки;
- отключение оборудования при покидании рабочего места;
- проведение с работниками инструктажа по пожарной безопасности.

5.4.3 Разработка действий в случае возникновения ЧС

Каждый работник, обнаруживший пожар или его признаки (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

1. немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную часть (при этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения

пожара, а также сообщить свою должность, фамилию и номер своего телефона);

2. задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации детей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;

3. известить о пожаре руководителя образовательного учреждения или заменяющего его работника;

4. организовать встречу пожарных подразделений, принять меры по тушению пожара имеющимися в учреждении средствами пожаротушения.

5.5 Вывод по разделу

Таким образом, в разделе социальная ответственность были рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и особенности трудового законодательства применительно к условиям проекта.

Также проанализированы основные вредные и опасные факторы, которые могут возникать в процессе исследований в лаборатории, при разработке и эксплуатации проекта, а именно: отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека и движущие механизмы. Были описаны мероприятия по снижению уровней воздействия данных факторов.

Рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. В процессе выполнения работы было выявлено, то что объект исследования не оказывает влияния на гидросферу и атмосферу, но может оказывать влияние на литосферу. Во избежание загрязнения среды были предложены мероприятия по утилизации отходов, а также способы их утилизации.

Произведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций, возникновение которых возможно при разработке или эксплуатации

проектируемого решения. Были разработаны превентивные меры по предупреждению возникновения чрезвычайных ситуаций, а также разработан порядок действий при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Требования, мероприятия, указанные в работе, могут применяться при внедрении проектного решения на производстве, порядок действий при чрезвычайных ситуациях также может быть задействован на производстве.

Заключение

В процессе выполнения работы была спроектирована система управления перемещением объекта в двумерном пространстве в границах закрытого помещения, на базе платы Arduino UNO.

Были изучены основные способы управления шаговыми двигателями, а также выявлены преимущества и недостатки каждого из них. В связи с недостатком вычислительных ресурсов, основные вычислительные операции были перенесены на отдельную плату управления, передача данных с управляющего устройства на исполнительное была реализована с помощью радиопередачи. Для корректной работы радиомодулей, а именно передачи и приема данных был разработан алгоритм определения степени зашумленности канала, и автоматического выбора чистого канала для передачи данных.

Была построена цифровая модель системы, позволяющая наглядно эмулировать динамику системы и поведение при заданных параметрах, также введена возможность ручного задания траектории движения. Также был реализован алгоритм расчета основных параметров системы. В процессе проектирования системы данный алгоритм был интегрирован в основной код программы вычислительного устройства, после чего произведена серия тестов системы.

На данном этапе работы управление объектом осуществляется с использованием траектории движения заданной пользователем через код, данный способ позволяет определить корректность работы алгоритма расчета основных параметров системы. Однако, в дальнейшем планируется подключения пульта управления к системе, для перемещения объекта в необходимую для пользователя точку.

Также планируется усовершенствование системы, путем увеличения плавности работы и возможности перемещения объекта в трехмерном пространстве.

Conclusion

A control system for the movement of the object in two-dimensional space in a room based on the Arduino UNO Board was designed.

The main methods of stepper motor control were studied, as well as the advantages and disadvantages of each of them. Due to the lack of computing resources, the main computing operations were transferred to a separate control Board, data transfer from the control device to the Executive was implemented using radio. The algorithm for the correct operation of the radio modules was developed to determine the degree of noise of the channel, and automatic selection of a clean channel for data transmission.

A digital model of the system, which allows to visually emulate the dynamics of the system and the behavior under the specified parameters was built. An algorithm for calculating the main parameters of the system was also implemented. In the process of designing the system, this algorithm was integrated into the main program code of the computing device, after which a series of tests of the system was performed.

At this stage, the control object is carried out using the trajectory specified by the user through the code, this method allows you to determine the correctness of the algorithm for calculating the basic parameters of the system. However, in the future it is planned to connect the control panel to the system to move the object to the desired point for the user.

It is also planned to improve the system by increasing the smoothness of work and the ability to move the object in three-dimensional space.

Список использованной литературы

1. Научная электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс] / Анализ погрузочно-разгрузочных операций // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-pogruzochno-razgruzochnyh-operatsiy-pri-provedenii-avariyno-spasatelnyh-rabot-i-razrabotka-mehanizirovannogo-sposoba-ottsepki> — Дата обращения 19.05.2019.
2. Мир спутниковых технологий [Электронный ресурс] / Spidercam: паук над стадионом // URL: <http://www.sputres.ru/?p=1762> — Дата обращения 19.05.2019.
3. Спорт Экспресс [Электронный ресурс] / Горные лыжи // URL: <https://www.sport-express.ru/alpine-skiing/news/951185/> — Дата обращения 19.05.2019.
4. Today Production [Электронный ресурс] / Кран для съемок // URL: http://todayproduction.ru/kran_dlya_semok/ — Дата обращения 19.05.2019.
5. SKYCAM [Электронный ресурс] / INTERNATIONAL LEADER // URL: <http://skycam.tv.s28625.gridserver.com/sample-page-2/feat-of-engineering/> — Дата обращения 20.05.2019.
6. MOVICOM [Электронный ресурс] / Роботизированный съемочный комплекс ROBYCAM // URL: <https://www.movicom.ru/ru/products/robyscam.html> — Дата обращения 20.05.2019.
7. Профессиональная фото, видео, и аэросъемка [Электронный ресурс] / Подвесная камера паук/Spidercam // URL: <http://www.olegfrolov.pro/spidercam> — Дата обращения 20.05.2019.
8. Arduino [Электронный ресурс] URL: <https://all-arduino.ru/> — Дата обращения 20.05.2019.
9. Микроконтроллер STM32 [Электронный ресурс] / Обзор STM32 // URL: <https://www.compel.ru/lib/ne/2011/2/3-stm32-epoha-32-bitnyih-mikrokontrolerov-nastupila> — Дата обращения 20.05.2019.

10. Электроника и робототехника [Электронный ресурс] / Двигатель шаговый NEMA17 42BYGH47-401A // URL: <https://fastnvr.ru/NEMA17-42BYGH47-401A> — Дата обращения 20.05.2019.
11. Емельянов А.В. Шаговые двигатели / Емельянов А.В., Шилин А.Н. — Учебное пособие. ВолгГТУ, Волгоград, 2005. – 48 с.
12. 3DiY [Электронный ресурс] / Драйвер шагового двигателя A4988 // URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drajver-shagovogo-dvigatelya-a4988/> — Дата обращения 21.05.2019.
13. Arduinomaster [Электронный ресурс] / Драйверы двигателя L298N // URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/drajver-dvigatelya-i-motor-shield-arduino/> — Дата обращения 21.05.2019.
14. Arduinomaster [Электронный ресурс] / Подключение Arduino nrf24L01 модуля // URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/arduino-nrf24l01-podkluchenie/> — Дата обращения 24.05.2019.
15. MYSCU [Электронный ресурс] / Трехосевой подвес Storm32 // URL: <https://pluspda.ru/blog/china-stores/47816.html> — Дата обращения 24.05.2019.
16. Arduino-DIY [Электронный ресурс] / Драйвер шагового двигателя и двигателя постоянного тока L298N и Arduino // URL: <http://arduino-diy.com/arduino-drayver-shagovogo-dvigatelya-i-dvigatelya-postoyannogo-toka-L298N> — Дата обращения 24.05.2019.
17. Eро3d [Электронный ресурс] / Шаговый мотор 42BYGH47-401A // URL: <https://epo3d.com/shagovuj-motor-nema-17-42bygh47-401a.html> — Дата обращения 24.05.2019.
18. Hobbytech [Электронный ресурс] / Arduino: библиотека AccelStepper для шагового двигателя // URL: <http://hobbytech.com.ua/arduino-библиотека-accelstepper-для-шагового-двигателя> — Дата обращения 24.05.2019.
19. Первые шаги с CoDeSys [Электронный ресурс] // URL: http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/e/EFIMOV/Academic/tutorials/Tab/First_Steps_with_CoDeSys_RU%5B1%5D.pdf — Дата обращения 24.05.2019.

20. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12. 2001 г. № 197–ФЗ (ред. от 01.04.2019 г.). – М., 2015. – 123 с.
21. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.
22. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Взамен ГОСТ 12.0.003 — 74; введ. 2017 – 03 – 01. – Москва Стандартиформ, 2016. – 9 с.
23. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – введ. 1996 – 10 – 01. – Москва Минздрав России, 2001. – 20 с.
24. Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Саха (Якутия) [Электронный ресурс] / Влияние освещенности на организм человека // URL: <http://fguz-sakha.ru/portfolio-view/osveshenie> — Дата обращения 28.05.2019.
25. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. введ. 2014 – 07 – 01. – Москва Стандартиформ, 2016. – 19 с.
26. ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – Взамен ГОСТ 12.4.011-87; введ. 1990 – 06 – 30. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2004. – 7 с.
27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – введ. 2003 – 06 – 30. – Москва Минздрав России, 2003. – 54 с.
28. Кодекс. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) — Издательство «Норматика», 2019. – 464 с.
29. ГОСТ 12.4.125-83 Система стандартов безопасности труда. Средства коллективной защиты работающих от воздействий механических факторов. Классификация. введ. – 1984 – 01 – 01. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2002. – 4 с.

30. ООО «Московская утилизирующая компания» [Электронный ресурс] / Утилизация печатных плат и электроники // URL: <https://www.fpk-service.ru/utilizaciya-plat.html> — Дата обращения 28.05.2019.

31. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения. введ. – 1982 – 06 – 30. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.