

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

---

Институт кибернетики  
Направление подготовки 220400 «Управление в технических системах»  
Кафедра Автоматики и компьютерных систем

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Автоматизированная система пространственного позиционирования колесного робота</b> УДК 621.865.8.001:681.515.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8А21	Усольцев Денис Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Каф. менеджмента, Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Каф. ЭБЖ, Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	К.Т.Н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах»

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов) <b>Профессиональные компетенции</b>
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
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 образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт кибернетики

Направление подготовки (специальность) 220400 «Управление в технических системах»

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8А21	Усольцеву Денису Вячеславовичу

Тема работы:

Автоматизированная система пространственного позиционирования колесного робота

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 702/с от 04.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Аппаратная платформа Arduino Uno, контроллер Ardumoto L298P, колесная платформа, два коллекторных двигателя постоянного тока

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Исследование автоматизированных систем пространственного позиционирования движущихся объектов, разработка и сборка модели колесного робота, разработка алгоритмов и программы управления колесным роботом</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в формате *.pptx</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич Ольга Алексеевна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Николаенко Валентин Сергеевич</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Заключение</p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8A21	Усольцев Денис Вячеславович		

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

---

Институт кибернетики  
Направление подготовки 220400 «Управление в технических системах»  
Кафедра Автоматики и компьютерных систем

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)
01.06.2016г.	Основная часть	70
27.06.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
27.06.2016 г.	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8A21	Усольцеву Денису Вячеславовичу

<b>Институт</b>	<b>ИК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АиКС</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Управление в технических системах

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</li> <li>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</li> <li>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</li> </ol>	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос, наблюдение.</i></p>
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</li> <li>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</li> <li>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</li> </ol>	<p><i>Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.</i></p> <p><i>Формирование плана и графика разработки, формирование бюджета затрат на НИ.</i></p> <p><i>Анализ интегральных показателей эффективности.</i></p>
--	---

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Каф. менеджмента, Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8A21	Усольцев Денис Вячеславович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8А21	Усольцеву Денису Вячеславовичу

<b>Институт</b>	<b>ИК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АиКС</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Управление в технических системах

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>1. Колесный робот, оборудованный двумя коллекторными двигателями постоянного тока, питание которых осуществляется от литий-полимерной аккумуляторной батареи. Устройство может быть применено в системах стабилизации движения на производстве.</p>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата (СанПиН 2.2.4.548–96)</li> <li>– повышенный уровень шума (СН 2.2.4/2.1.8.562–96)</li> <li>– недостаточная освещенность (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03)</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных излучений (СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96)</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– опасный уровень напряжения электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека (ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ)</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	<p>2. Источники загрязнения окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– литий-полимерная аккумуляторная батарея</li> <li>– коллекторные двигатели постоянного тока</li> <li>– лампы осветительных приборов</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	3. Возможно ЧС техногенного характера: <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожар</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	4. Организация рабочего места осуществляется в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Каф. ЭБЖ, Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8А21	Усольцев Денис Вячеславович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 71 страницу, 18 рисунков, 19 таблиц, 22 литературных источника, 1 приложение.

Ключевые слова: колесный робот, движение по линии, система автоматического управления, Arduino UNO, Ardumoto Shield L298P, коллекторные двигатели постоянного тока, ПДД<sup>2</sup>-регулятор.

Объектом исследования является колесный робот на базе аппаратной платформы Arduino UNO.

Цель работы – разработка и исследование системы автоматизированного пространственного позиционирования колесного робота.

В процессе исследования проводился выбор основных компонентов устройства, проектирование и тестирование датчика линии, сборка и наладка аппаратной и программной частей колесного робота, экспериментальный подбор параметров ПДД<sup>2</sup>-регулятора.

В результате исследования были рассчитаны основные зависимости движения колесного робота, а так же был спроектирован и собран автоматизированный колесный робот, способный распознавать линию и корректировать относительно нее свое движение.

В будущем планируется модернизация колесного робота путем внедрения системы обнаружения препятствий, разработка более сложных алгоритмов прохождения трассы и реализация взаимодействия с другими колесными роботами.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ШИМ – Широтно-Импульсная Модуляция;

КПД – Коэффициент Полезного Действия;

USB – Universal Serial Bus или универсальная последовательная шина;

COM-порт – COMmunication port или последовательный порт;

GND – GrouND или заземление;

ИК – ИнфраКрасный;

ПИД – Пропорционально-Интегро-Дифференцирующий;

ПДД<sup>2</sup> – Пропорционально-Дифференциально-дважды-  
Дифференцирующий;

НТИ – Научно-Техническое Исследование.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖУЩИМИСЯ ОБЪЕКТАМИ.....	14
1.1. Существующие технические решения .....	14
1.2. Способы управления .....	16
2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ.....	18
2.1. Микроконтроллер .....	18
2.2. Платформа и двигатели.....	19
2.3. Управление двигателями .....	21
2.4. Датчик .....	22
2.5. Сборка устройства .....	23
3. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ .....	28
3.1. Расчет основных зависимостей .....	28
3.2. Выбор регулятора .....	30
3.3. Первичная обработка данных.....	31
3.4. Структурная схема.....	33
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ .....	35
Введение.....	35
4.1. Оценка перспективности проведения НТИ .....	35
4.2. Определение возможных альтернатив проведения НТИ .....	37
4.3. Планирование научно-исследовательских работ .....	39
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	39
4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	40
4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	41

4.3.4. Бюджет НТИ.....	45
4.3.4.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	46
4.3.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование .....	48
4.3.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы .....	48
4.3.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды.....	49
4.3.4.5. Накладные расходы .....	50
4.3.4.6. Формирование бюджета затрат НТИ.....	50
4.4. Определение ресурсоэффективности проекта .....	51
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	53
Введение.....	53
5.1. Производственная безопасность .....	53
5.1.1. Отклонение показателей микроклимата .....	54
5.1.2. Повышенный уровень шума .....	55
5.1.3. Недостаточная освещенность.....	56
5.1.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений .....	58
5.1.5. Опасный уровень напряжения.....	60
5.2. Экологическая безопасность .....	61
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	62
5.4. Организационные вопросы обеспечения безопасности .....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	65
CONCLUSION .....	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	69
Листинг программы.....	69

## ВВЕДЕНИЕ

Современное общество трудно представить без средств автоматизации. Системы автоматического управления нашли применение во многих сферах человеческой деятельности. Повсеместное внедрение таких систем в быту заметно повысило уровень жизни, а применение в промышленности позволило поднять производство на новый уровень и значительно повысить безопасность рабочих.

Системы автоматизации активно развиваются и становятся более доступными для простых людей. На рынке представлено множество микроконтроллеров обладающих низкой стоимостью. Все чаще микроконтроллеры применяются в учебных целях. В открытом доступе можно найти массу руководств, статей, учебных курсов.

В настоящее время в продаже можно встретить программируемые электронные конструкторы, такие как Lego Mindstorms, Arduino, Craftduino и другие. Используя такие конструкторы, можно собирать самые разнообразные устройства и проводить различные опыты, помогает понять основы теории автоматического управления, программирования и схемотехники.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы автоматизированного пространственного позиционирования колесного робота для последующего применения в учебном процессе.

Для достижения данной цели необходимо спроектировать и собрать колесного робота, рассчитать основные зависимости его движения, выбрать регулятор и написать программу.

# 1. СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖУЩИМИСЯ ОБЪЕКТАМИ

## 1.1. Существующие технические решения

В настоящий момент разработано множество решений, реализующих автоматизированное пространственное позиционирование и управление различными движущимися объектами. Большинство из них используются в учебных целях, но есть и практически полезные решения.

В данной работе рассматривается система пространственного позиционирования относительно линии. Разработка таких систем является неотъемлемой частью современных робототехнических соревнований. В большинстве своем на таких соревнованиях участвуют роботы, собранные на основе электромеханического конструктора Lego Mindstorms [1]. Данный конструктор состоит из набора специализированных блоков подключаемых к блоку контроллера. Составление программы сводится к построению цепочки функциональных блоков. Пример программы представлен на рисунке Рисунок 1 – Пример программы для управления колесным роботом в ПО MINDSTORMS EV3 Рисунок 1.

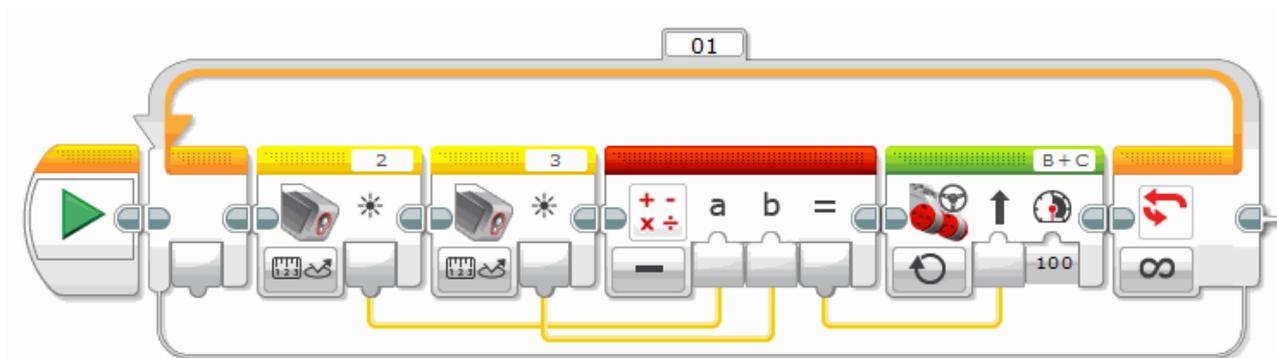


Рисунок 1 – Пример программы для управления колесным роботом в ПО MINDSTORMS EV3

Так же данная задача решается с помощью различных микроконтроллеров. Для данной задачи в большинстве случаев применяются

микроконтроллеры Atmega, например Atmega32 [2]. В виду простоты работы и отладки часто применяется аппаратная платформы Arduino, использующая в своей основе различные версии данного микроконтроллера. Это решение дает огромное количество вариантов решения проблемы. Чаще всего используется двухколесная платформа с коллекторными двигателями постоянного тока, управляемыми посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Пространственное позиционирование в большинстве случаев осуществляется с помощью инфракрасных датчиков линии. Программирование контроллера происходит на C-образном текстовом языке.

Пространственное позиционирование относительно линии может осуществляться при помощи видеокамеры, но в данном случае требуются значительные аппаратные мощности, которые не может обеспечить Arduino. В данном случае можно применить одноплатный компьютер Raspberry Pi, работающий на основе Linux-образных операционных систем. В данном случае Raspberry Pi может выступать в качестве блока обработки сигнала с видеокамеры. После сигнал с одноплатного компьютера может быть передан на микроконтроллер для дальнейшего управления [3].

Все вышеописанные решения применяются в учебных целях, но есть решения, которые применяются в производстве. Так например на заводе Porsche используются автоматизированные тележки, которые движутся по нарисованным на полу линиям и развозят детали до мест сборки. Некоторые тележки выступают в роли конвейеров, на которых движется собираемый автомобиль. В качестве датчиков на таких тележках используется видеокамеры. Пространственное позиционирование и управление осуществляется удаленно [4].

В данной работе рассматривается идеализированный случай пространственного позиционирования по линии – относительно одной из границ. В качестве датчиков рациональней использовать инфракрасные датчики линии в виду их простоты и отсутствия необходимости сложной обработки данных. В качестве контроллера была выбрана аппаратная

платформа Arduino UNO. Данная платформа обладает достаточной производительностью и обладает большим объемом библиотек и встроенных функций, достаточным для решения поставленной задачи.

## 1.2. Способы управления

Система пространственного позиционирования по линии является следящей системой, так как пытается скорректировать свое движение относительно заранее неизвестного задающего воздействия – линии. В качестве управляющего воздействия в большинстве случаев используется разность хода колес, при помощи которой осуществляется поворот. Реже в качестве управляющего воздействия применяется поворот колес, но данный способ не рационально применять для системы, реализуемой в данной работе, ввиду не идеальности двигателей. Точность определяется ошибкой, которой в данном случае является расстояние до границы линии. Чтобы обеспечить необходимую точность применяются различные виды регуляторов.

В большинстве учебных реализаций применяются релейные регуляторы. Релейный регулятор изменяет управляющее воздействие скачком, при прохождении управляющего воздействия определенных порогов [5]. Такое решение является самой простой реализацией, и обеспечивается несколькими условиями в программе, но, в свою очередь, не отличается большой точностью. Как правило, данный регулятор применяется совместно с дискретными датчиками.

Для обеспечения большей точности используются регуляторы, основанные на определенных законах. Чаще всего для задач слежения по линии используются ПИД-регулятор. Данный регулятор состоит из трех частей – пропорциональной, интегральной и дифференциальной. Пропорциональная часть отвечает за реакцию на мгновенную ошибку регулирования. Интегральная часть содержит в себе накопленную ошибку регулирования, которая обеспечивает дополнительную скорость достижения заданной величины. Дифференциальная часть зависит от скорости изменения ошибки и

предназначена для противодействия резким отклонениям от заданной величины [6].

На основе ПИД-регулятора могут быть использованы его частные случаи, например П-регулятор, ПИ-регулятор, ПД регулятор.

П-регулятор изменяет управляющее воздействие пропорционально ошибке. Однако данный регулятор никогда не стабилизируется на значении в виду инерционности системы. В данном случае применяется ПИ-регулятор, который изменяет управляющее воздействие пропорционально ошибке и сумме предыдущих ошибок, что обеспечивает стабилизацию на заданной величине. ПД регулятор применяется для прогнозирования направления и величины изменения ошибки [7].

Так же могут быть применены и другие регуляторы, например ПИДД-регулятор, который помогает компенсировать инерционность управляемого объекта.

В данной работе применяются коллекторные двигатели постоянного тока, скоростью которых так же нужно управлять. Для данных целей используется резистивные и импульсные регуляторы. Резистивный регулятор представляют собой переменный резистор управляемый исполнительным механизмом и преобразующий избыточную мощность в тепло. Импульсный регулятор использует ШИМ, что обеспечивает более высокий КПД [8]. Исходя из этого условия, в данной работе для регулирования двигателей применен импульсный регулятор.

## 2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

### 2.1. Микроконтроллер

В качестве микроконтроллера было решено выбрать аппаратную платформу Arduino UNO. Этот выбор обусловлен функциональностью и простотой работы с данной платформой. Чаще всего данная платформа применяется в учебных целях, но может быть применена для решения задач автоматизированного управления. Внешний вид аппаратной платформы представлен на рисунке Рисунок 2.

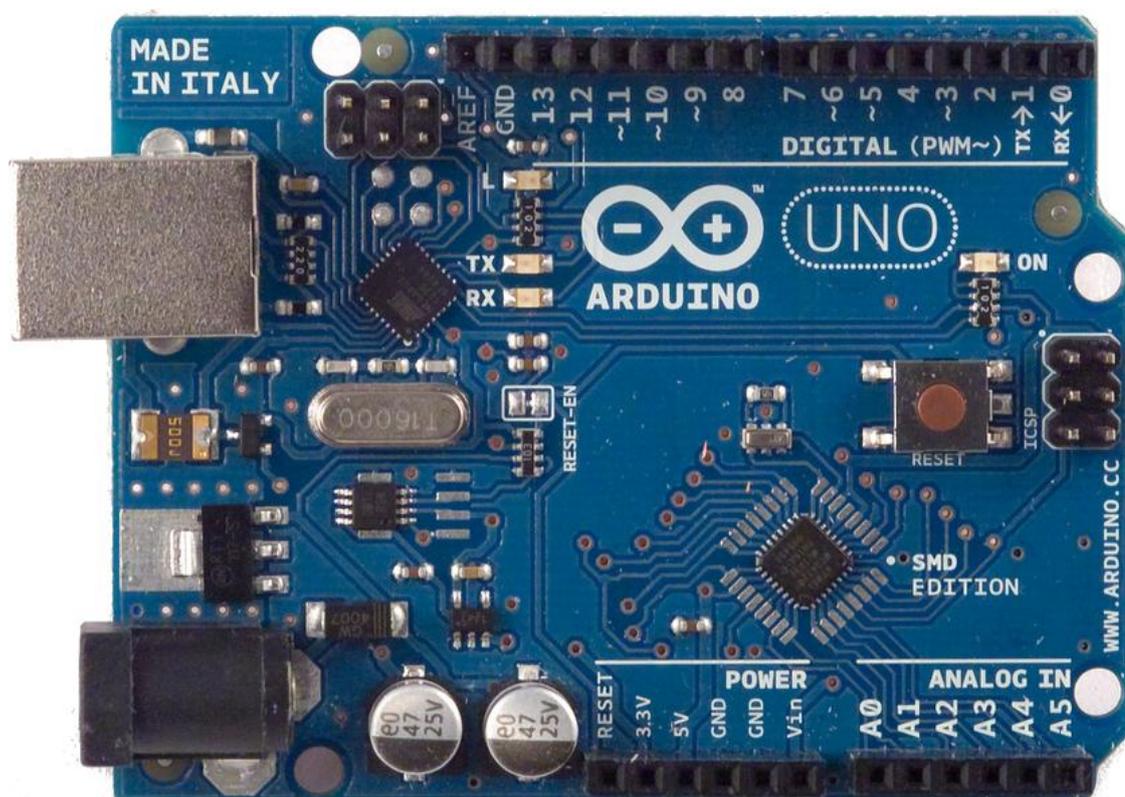


Рисунок 2 – Внешний вид платформы Arduino UNO

Данная платформа имеет следующие характеристики:

- микроконтроллер ATmega328;
- рабочее напряжение 5В;
- рекомендуемое входное напряжение 7-12 В;
- минимальное входное напряжение 6 В;
- максимальное входное напряжение 20 В;
- 14 цифровых входов/выходов, 6 из которых поддерживают ШИМ;

- 6 аналоговых входов с разрешением 10 бит;
- выходной ток 40 мА;
- 32 Кб flash-памяти, 0.5 Кб из которых заняты встроенным загрузчиком;
- 2 Кб оперативной памяти;
- частота встроенного тактового генератора 16 МГц [9].

Каждый цифровой вывод может быть назначен как выход или вход с помощью встроенных программных функций `pinMode()`, `digitalRead()`, `digitalWrite()`. Используя функцию `digitalWrite()`, выводы 3, 5, 6, 9, 10, 11 могут обеспечить ШИМ с разрешением 8 бит.

В платформу встроен загрузчик, который позволяет программировать микроконтроллер без использования сторонних программаторов. Программирование происходит в среде разработки Arduino, которая состоит из встроенного текстового редактора, окна вывода текста, области сообщений, панели инструментов, содержащей кнопки часто используемых команд и ряд меню. Язык программирования основан на языках C и C++. Связь с компьютером осуществляется посредством USB через виртуальный COM порт.

## **2.2. Платформа и двигатели**

В качестве платформы была выбрана двухколесная платформа с дополнительным стабилизирующим колесом в задней части робота. Два передних колеса управляются независимо и обеспечивают поворот платформы при вращении колес с разной скоростью.

В качестве двигателей используются коллекторные двигатели постоянного тока. Данные двигатели наиболее распространены и дешевы в производстве. Они применяются для задач, не требующих больших мощностей.

Коллекторный двигатель постоянного тока имеет высокий момент на низких оборотах и обеспечивает быстрый отклик на изменение напряжения, что позволяет точно управлять процессом движения колесного робота. Из недостатков стоит отметить то, что со временем двигатель теряет свои

характеристики вследствие размагничивания, но в рамках данного исследования можно пренебречь этим недостатком.

Устройство коллекторного двигателя постоянного тока представлено на рисунке Рисунок 3.

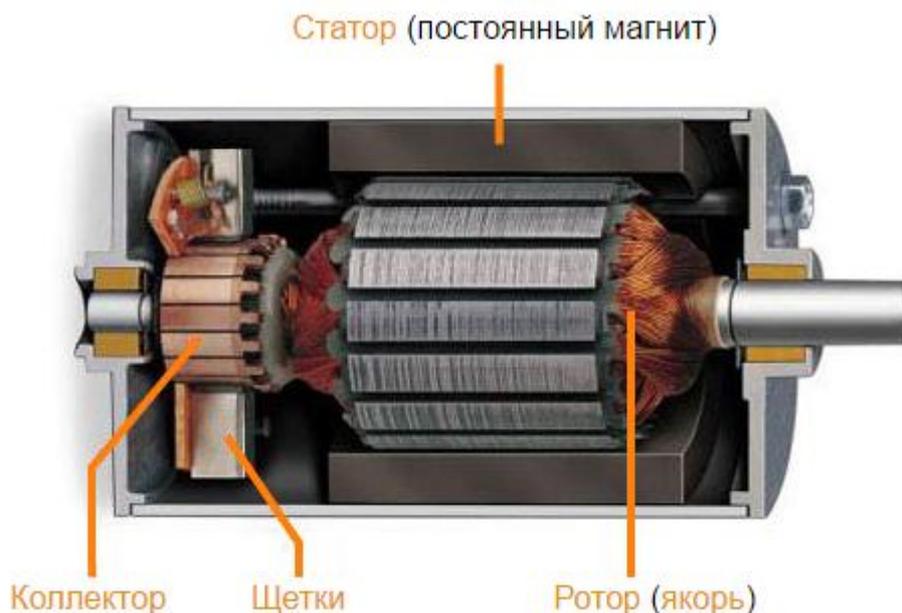


Рисунок 3 – Устройство коллекторного двигателя постоянного тока

Двигатель состоит из следующих частей:

- ротор (якорь) – вращающаяся часть двигателя, в которой индуцируется электродвижущая сила и протекает ток нагрузки;
- статор (индуктор) – неподвижная часть двигателя, создающая магнитный поток для создания момента, включает постоянные магниты;
- щетки – часть электрической цепи, по которой электрический ток передается к якорю от источника питания;
- коллектор – часть двигателя, соприкасающаяся со щетками [10].

Принцип действия коллекторного двигателя постоянного тока основан на следующем: ротор (якорь) помещается между двумя полюсами магнита, что позволяет начать вращаться ротору. Ток от источника питания поступает на щетки, которые соприкасаются с коллектором, от которого ток передается к ротору. Щетки производят непрерывное переключение тока в роторе через

каждые пол-оборота, что обеспечивает непрерывное вращение ротора в одном направлении. Направление вращения определяется направлением тока в роторе.

### 2.3. Управление двигателями

Нельзя напрямую управлять двигателями при помощи Arduino, так как выходной ток выводов данной платформы слишком мал. Для управления коллекторными двигателями постоянного тока был использован контроллер Ardumoto Shield L298P, внешний вид которого представлен на рисунке Рисунок 4.

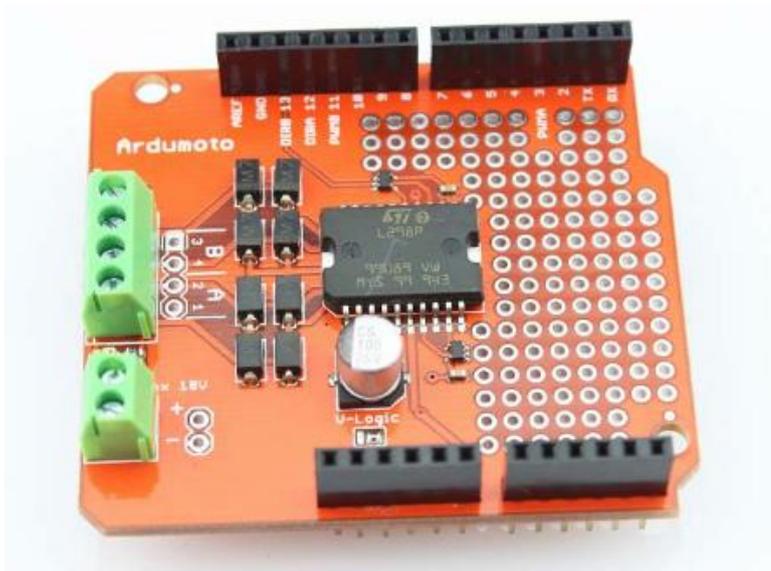


Рисунок 4 – Внешний вид контроллера Ardumoto Shield L298P

В контроллере используется двухканальный H-мост L298P, который способен управлять двумя коллекторными двигателями постоянного тока независимо друг от друга при входном напряжении 5-18 В и максимальном токе 2 А на канал. Контроллер способен изменять скорость и направление вращения двигателей [11].

Контроллер Ardumoto Shield L298P устанавливается сверху на платформу Arduino UNO, ножки контроллера подключаются к соответствующим выводам Arduino. Внешние выводы контроллера Ardumoto дублируют выводы Arduino. Выводы 3, 11, 12, 13 Arduino зарезервированы контроллером и отвечают за управление скоростью и направлением вращения

двигателей. Каждый из перечисленных выводов отвечает за определенные функции:

- вывод 3 обозначается как PWM A и отвечает за контроль скорости вращения двигателя A;
- вывод 11 обозначается как PWM B и отвечает за контроль скорости вращения двигателя B;
- вывод 12 обозначается как DIR A и отвечает за контроль направления вращения двигателя A;
- вывод 13 обозначается как DIR B и отвечает за контроль направления вращения двигателя B.

На плате контроллера располагаются клеммные колодки для подключения внешнего питания и двигателей. Рядом с клеммными колодками подключения двигателей находится по паре светодиодов, которые служат индикаторами скорости и направления вращения двигателей.

В качестве источника автономного питания использован литий-полимерный аккумулятор с выходным напряжением 11.3 В.

#### 2.4. Датчик

Для пространственного позиционирования колесного робота относительно границы линии был разработан датчик, представляющий собой инфракрасный датчик линии. Принципиальная схема датчика представлена на рисунке Рисунок 5.

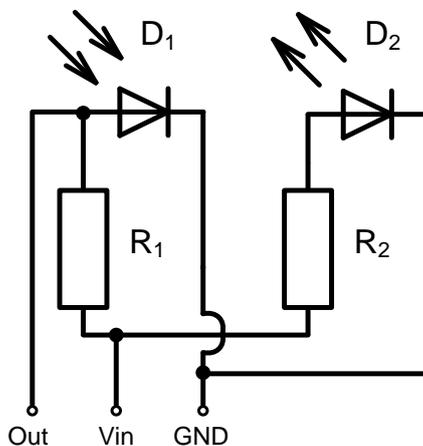


Рисунок 5 – Принципиальная схема датчика

В данной схеме присутствуют следующие обозначения:

- $D_1$  – ИК-фотодиод;
- $D_2$  – ИК-светодиод;
- $R_1, R_2$  – нагрузочные резисторы;
- Out – выход датчика;
- $V_{in}$  – вход датчика 5В;
- GND – заземление.

Принцип работы датчика основан на свойстве черного цвета, поглощать свет, в том числе ИК-излучение. ИК-излучение, вырабатываемое ИК-светодиодом  $D_2$ , отражается от поверхности и попадает на ИК-фотодиод  $D_1$ . Количество отраженного излучения зависит от цвета поверхности, чем темнее поверхность, тем больше излучения поглощается, и, следовательно, меньше отражается. Таким образом, для датчика граница линии будет выглядеть размытой, как это показано на рисунке Рисунок 6.



Рисунок 6 – Вид границы черной линии для датчика

Таким образом, отслеживая падение напряжения на  $D_1$ , можно точно позиционировать положение колесного робота относительно границы линии.

## 2.5. Сборка устройства

Таким образом, для аппаратной реализации автоматизированной системы пространственного позиционирования колесного робота по границе линии было решено использовать следующие компоненты:

- аппаратная платформа Arduino UNO;

- 2 коллекторных двигателя постоянного тока;
- контроллер Ardumoto Shield L298P;
- литий-полимерная аккумуляторная батарея с выходным напряжением 11.3 В и током 1.8 А;
- 6 нагрузочных резистора номиналом 10 кОм;
- 2 ИК-фотодиода;
- 2 ИК-светодиода;
- 2 сигнализирующих светодиода;
- потенциометр номиналом 10 кОм;
- платформа со стабилизирующим колесом для крепления двигателей и электроники.

Схема подключения устройства представлена на рисунке Рисунок 7.

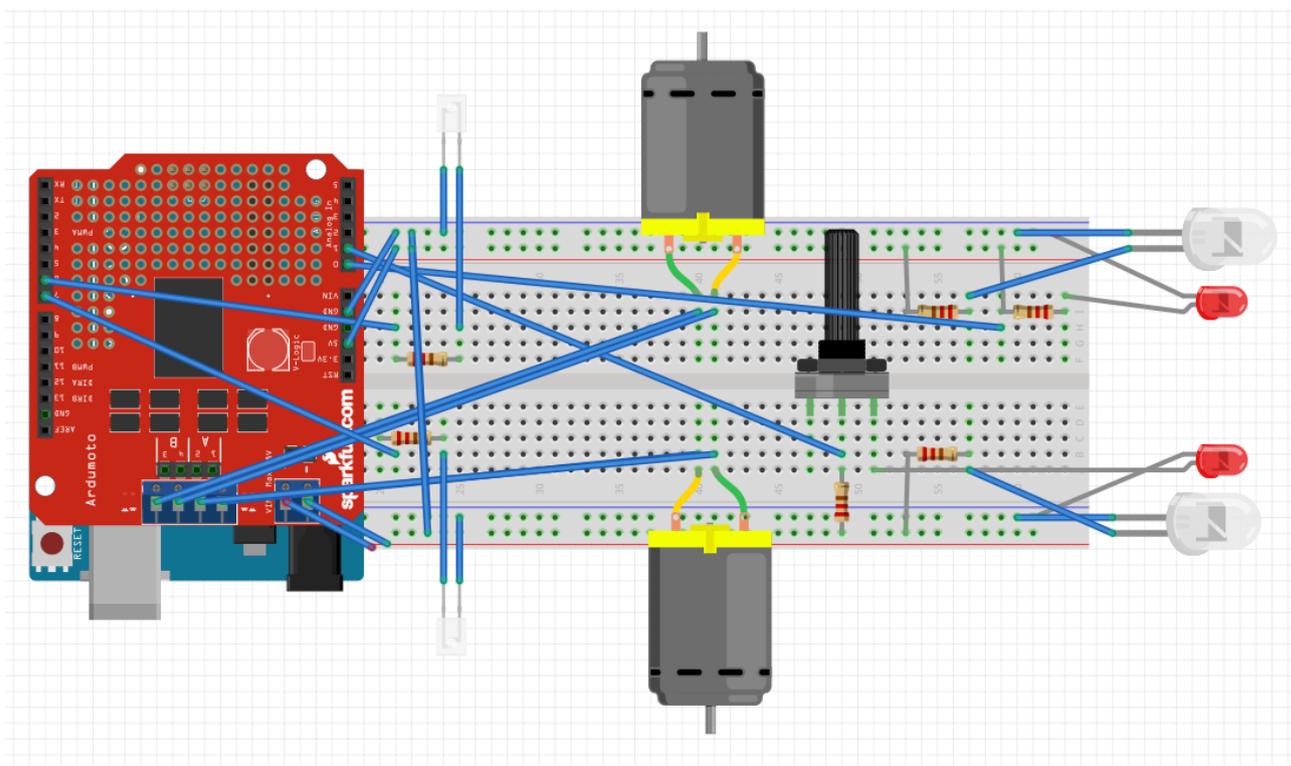


Рисунок 7 – Схема подключения устройства

Так же была составленная принципиальная схема устройства, представленная на рисунке Рисунок 8. Так как контроллер Ardumoto устанавливается поверх Arduino UNO и все выводы аппаратной платформы

совпадают с выводами контролера, то для обеспечения простоты и наглядности на схеме опущено изображение Arduino UNO.

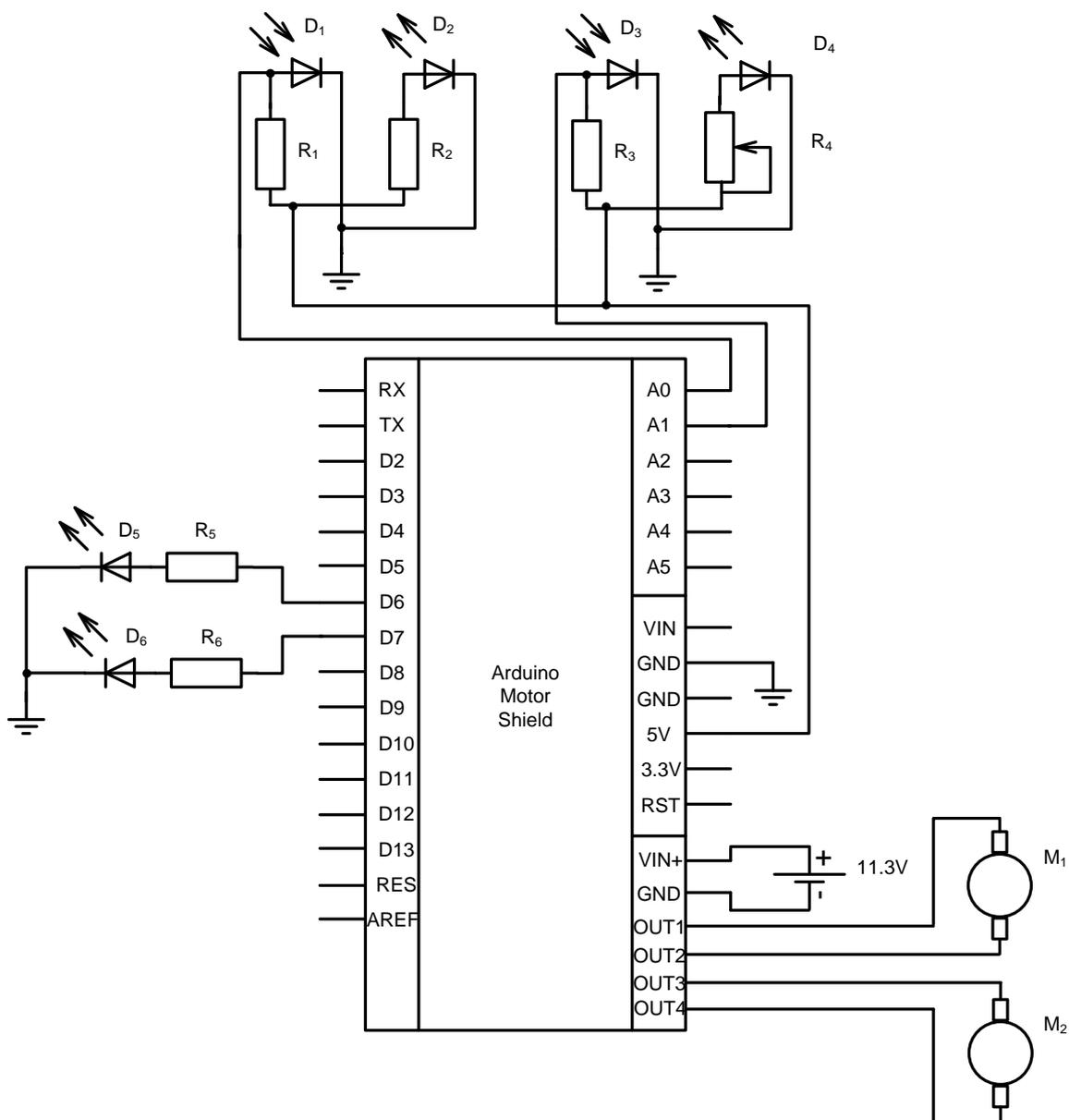


Рисунок 8 – Принципиальная схема устройства

Для того чтобы определить значение выхода датчика на границе линии нужно знать значения над линией и за ней, в таком случае искомое значение может быть найдено как полусумма. Для этого в устройстве было решено применить два датчика. Перед запуском колесный робот ставится так, чтобы один датчик находился над линией, а второй за ней. После для пространственного позиционирования используется лишь один датчик, а

найденная при запуске устройства полусумма значений датчиков используется в качестве уставки.

По приведенной в рисунке Рисунок 5 принципиальной схеме было собрано два датчика линии. Для каждого датчика были изготовлены корпуса, которые обеспечили надежную фиксацию каждого датчика и изоляцию ИК-фотодиодов  $D_1$  и  $D_3$  от находящихся рядом ИК-светодиодов  $D_2$  и  $D_4$ . Таким образом, датчик принимает только отраженное излучение. Питание датчиков осуществляется от выводов контролера 5V и GND. Значения датчиков снимаются аналоговыми входами A0 и A1.

В цепь одного из датчиков последовательно с ИК-светодиодом  $D_4$  был включен калибровочный потенциометр  $R_4$ , который помогает устранить разность в показаниях датчиков, и сигнализирующий светодиод  $D_5$ . Для настройки нужно поставить колесного робота так, чтобы оба датчика находились за линией или на ней, настроить потенциометр таким образом, чтобы загорелся светодиод  $D_5$ , сигнализирующий о равенстве значений. Условие равенства обрабатывается в цикле программы.

Так же был добавлен еще один сигнализационный светодиод  $D_6$ , показывающий знак разности скоростей вращения двигателей. Сигнализирующие светодиоды  $D_5$  и  $D_6$  подключаются к выводам D6, D7 и GND соответственно.

Все компоненты электроники были закреплены на макетной плате, которая в свою очередь, была закреплена на колесной платформе.

В итоге был собран колесный робот, внешний вид которого представлен на рисунках Рисунок 9 – Внешний вид реализованного устройства и Рисунок 10.

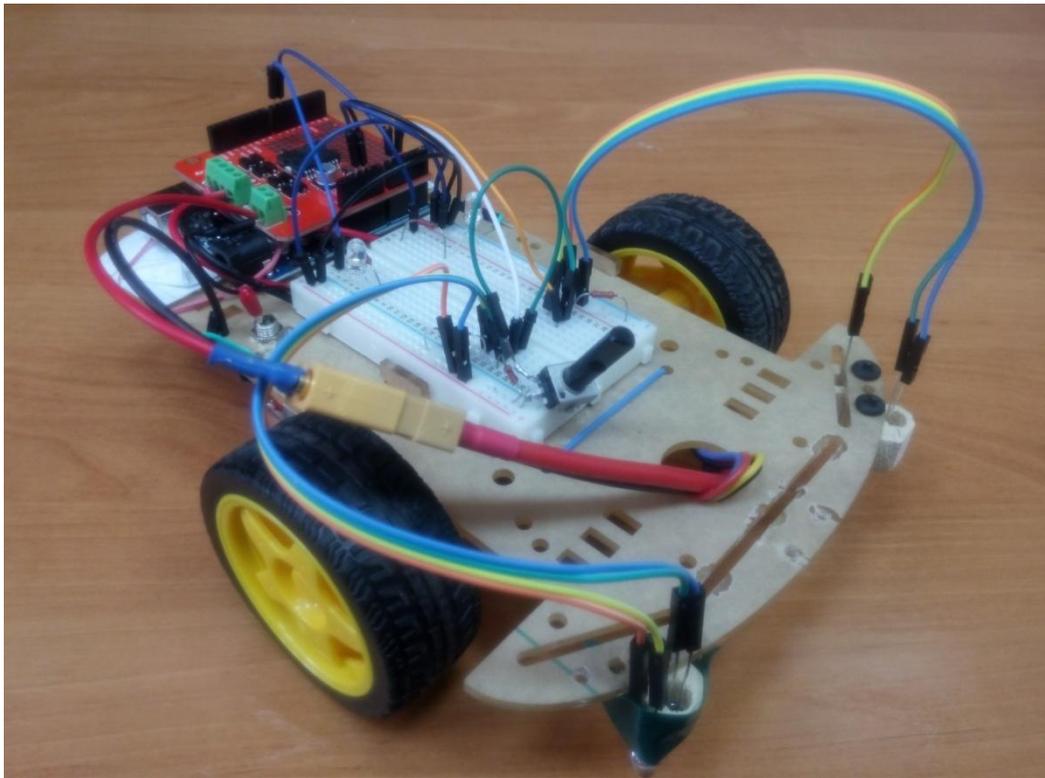


Рисунок 9 – Внешний вид реализованного устройства

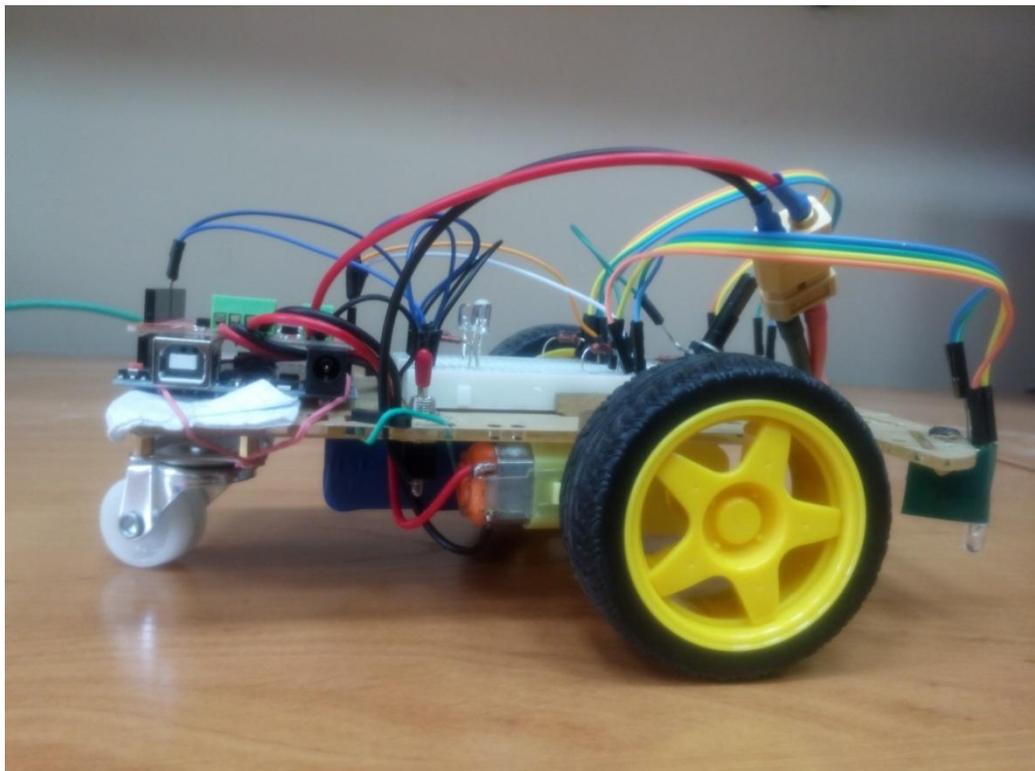


Рисунок 10 – Внешний вид устройства сбоку

### 3. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

#### 3.1. Расчет основных зависимостей

Колесный робот движется с постоянной скоростью  $v_0$ . Поворот осуществляется путем введения разницы скоростей вращения колес определяемой по формуле:

$$\Delta v = v_1 - v_2, \quad (1)$$

где  $v_1$  – скорость движения относительно первого колеса;

$v_2$  – скорость движения относительно второго колеса.

В таком случае скорость движения относительно первого колеса определяется формулой:

$$v_1 = v_0 + \frac{\Delta v}{2}, \quad (2)$$

а скорость движения относительно второго колеса определяется как:

$$v_2 = v_0 - \frac{\Delta v}{2}. \quad (3)$$

Направление поворота определяется знаком  $\Delta v$ . Если принять  $v_0 = 0$ , то движение робота можно представить как круговое вращение относительно точки, находящейся в центре на оси между колесами. Схематичное изображение движения колесного робота в данном случае представлено на рисунке Рисунок 11.

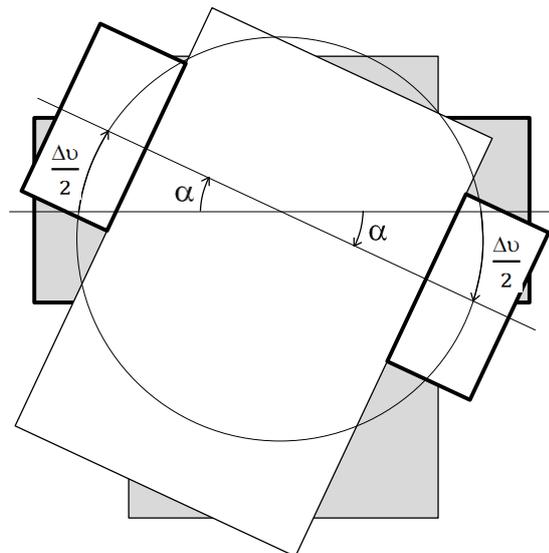


Рисунок 11 – Движение колесного робота при  $v_0 = 0$

Длина окружности, по которой движется робот, определяется как:

$$c = \pi \cdot d, \quad (4)$$

где  $d$  – расстояние между колесами робота. Делая полный круг, робот вращается на  $360^\circ$ , таким образом, при  $\Delta v = \text{const}$  угол поворота  $\alpha$  определяется как:

$$\alpha = 2\pi \cdot \frac{\Delta v \cdot t}{2 \cdot c} = \frac{\Delta v \cdot t}{d}, \quad (5)$$

где  $t$  – время поворота.

В случае, когда  $\Delta v \neq \text{const}$ , необходимо разбить время поворота  $t$  на множество бесконечно-малых интервалов  $\Delta t$ . В таком случае угол поворота определяется как:

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \sum_{k=0}^n \Delta v_k \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где  $\Delta v_k$  – значение разницы скоростей вращения колес в момент времени  $k \cdot \Delta t$ .

Обозначим  $\frac{1}{d}$  как  $K_a$ . Представив угол  $\alpha$  и разницу скоростей  $\Delta v$  как функции от времени и свернув формулу (6) в интеграл, получим конечное выражение для угла поворота:

$$\alpha(t) = \alpha_0 + K_a \cdot \int \Delta v(t) dt. \quad (7)$$

В случае, когда  $v_0 \neq 0$  и  $\alpha = \text{const}$ , робот отдаляется от границы линии. Схематичное движение робота в данном случае представлено на рисунке Рисунок 12.

Расстояние, на которое робот уедет от границы линии за время  $t$  может быть найдено как:

$$d = \sin(\alpha) \cdot v_0 \cdot t, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – угол между границей линии и направлением движения робота  $v_0$ .

В случае, когда  $\alpha \neq \text{const}$ , необходимо разбить время движения  $t$  на множество бесконечно-малых интервалов  $\Delta t$ . В таком случае расстояние  $d$  определяется как:

$$d = v_0 \cdot \sum_{k=0}^n \sin(\Delta \alpha_k) \cdot \Delta t, \quad (9)$$

где  $\alpha_k$  – значение угла между границей линии и направлением движения робота в момент времени  $k \cdot \Delta t$ .

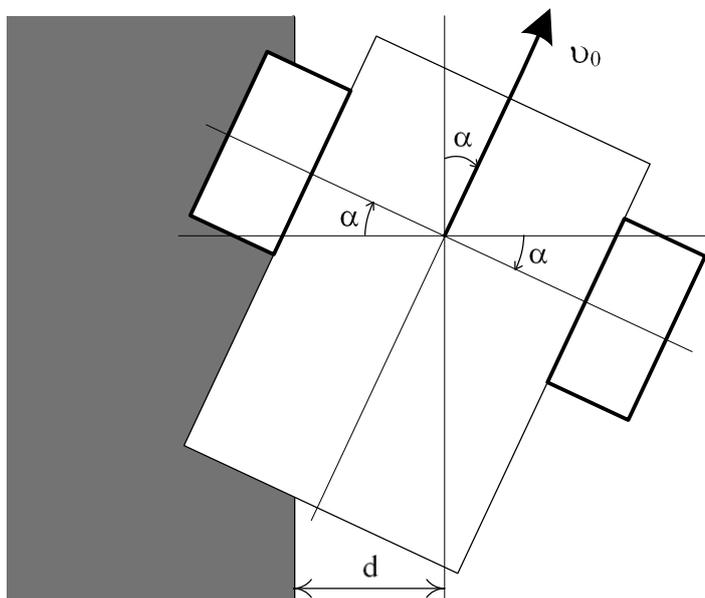


Рисунок 12 – Движение колесного робота при  $\alpha = \text{const}$

При малых значениях угла  $\alpha$  справедливо выражение:

$$\sin(\alpha) = \alpha. \quad (10)$$

Обозначим  $v_0$  как  $K_d$ . Применив формулу (10), представив расстояние  $d$  и угол  $\alpha$  как функции от времени и свернув формулу (9) в интеграл, получим конечное выражение для расстояния от границы линии:

$$d(t) = d_0 + K_d \cdot \int \alpha(t) dt. \quad (11)$$

### 3.2. Выбор регулятора

Для того чтобы колесный робот двигался точно вдоль границы линии, во время движения должно соблюдаться условие  $d(t)=0$ . Данное условие выполняется при:

- $\Delta d=0$ ;
- $\alpha(t)=0 \rightarrow \Delta \alpha=0$ ;
- $\Delta v = \text{const}$  (т.к. двигатели не идеальны)  $\rightarrow \Delta(\Delta v)=0$

Используя формулы (7) и (11) получим:

$$\Delta\alpha(t) = K_a \cdot \int \Delta(\Delta v(t))dt, \quad (12)$$

$$\Delta d(t) = K_a \cdot K_d \cdot \int \int \Delta(\Delta v(t))d^2t. \quad (13)$$

Управляющее воздействие напрямую влияет на  $\Delta v$ , а регулируемым параметром является получаемое с датчика расстояние до границы линии. Для того, чтобы выполнялись вышеописанные условия необходимо внести в систему регулятор, связывающий  $d$  и  $\Delta v$  через обратную связь и подобрать его параметры таким образом, чтобы компенсировать ошибку регулирования, которая в нашем случае состоит из:

- отклонения от границы линии;
- нарушения параллельности робота относительно линии;
- изменение разности скоростей двигателей.

Из (12) и (13) следует, что через обратную связь  $d$  должна влиять на  $\Delta v$  дважды дифференциально, а  $\alpha$  на  $\Delta v$  – дифференциально.

Исходя из этого был выбран ПДД<sup>2</sup>-регулятор (пропорционально-дифференциально-дважды-дифференцирующий регулятор). Данный регулятор представляет собой продифференцированный ПИД-регулятор (пропорционально-интегро-дифференцирующий регулятор) [12]. Используя в основе ПИД-регулятор, формула ПДД<sup>2</sup>-регулятора записывается как:

$$u(t) = K \cdot T_{d2} \cdot \frac{d \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_{d1} \cdot \frac{de(t)}{dt} \right]}{dt}, \quad (14)$$

где  $K$  – пропорциональный коэффициент,

$T_i$  – постоянная интегрирования,

$T_{d1}$  – первая постоянная дифференцирования,

$T_{d2}$  – вторая постоянная дифференцирования.

### 3.3. Первичная обработка данных

В выбранном регуляторе присутствует дифференциальная и дважды дифференциальная части. При наличии в системе шумов и наводок данные части могут внести в систему большие возмущения, что негативно скажется на качестве управления. Зашумленный сигнал с датчика при пересечении границы

линии представлен на рисунке 13, а на рисунке 14 представлен вырабатываемый управляющий сигнал с ПДД<sup>2</sup>-регулятора, все коэффициенты которого равны единице.

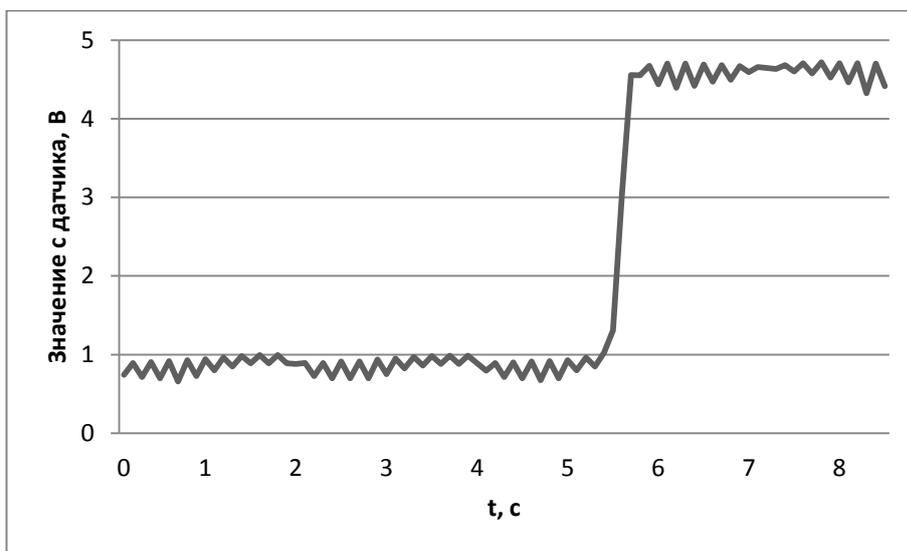


Рисунок 13 – Значения сигнала с датчика без фильтрации

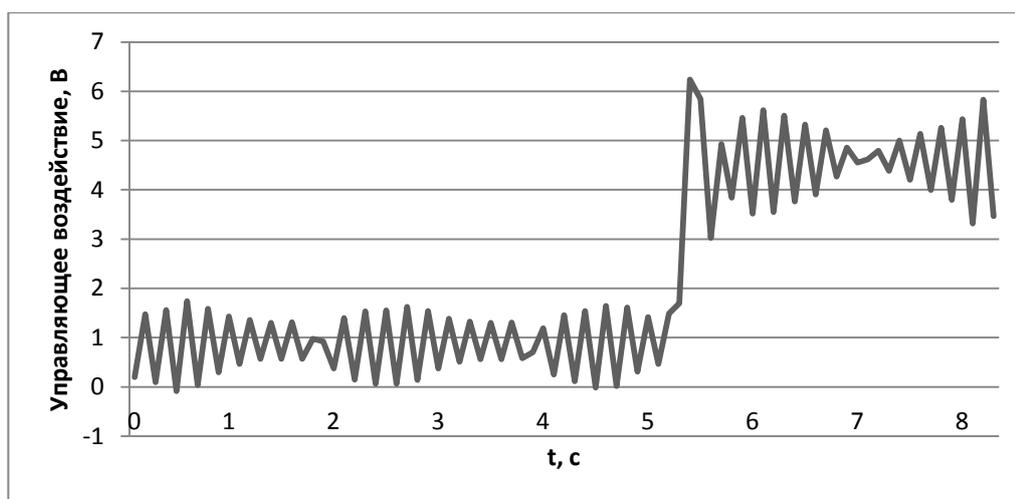


Рисунок 14 – Управляющее воздействие на сигнал с датчика без фильтрации

Для того чтобы исключить влияние внутренних и внешних шумов и наводок была реализована первичная обработка данных с помощью медианного фильтра. Выбор данного фильтра обусловлен его простотой и функциональностью. Отфильтрованный сигнал с датчика при пересечении границы линии представлен на рисунке 15. На рисунке 16 представлен вырабатываемый управляющий сигнал с ПДД<sup>2</sup>-регулятора, все коэффициенты которого равны единице.

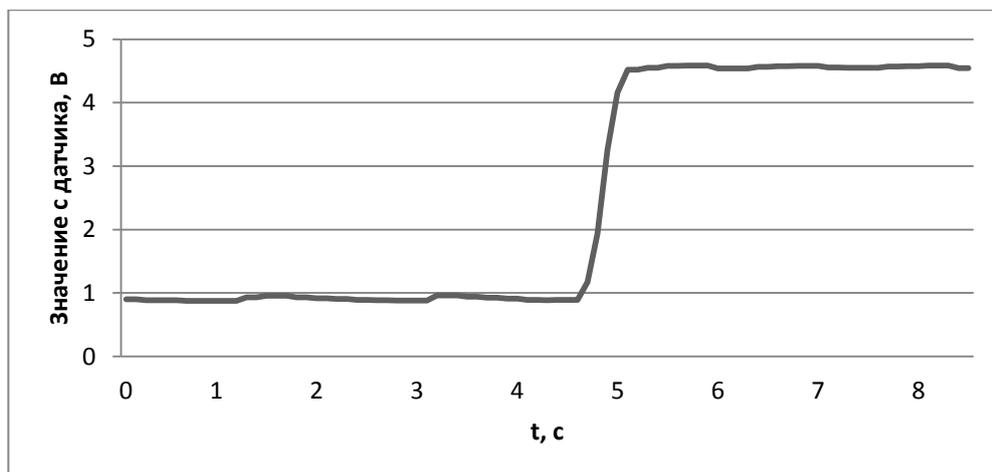


Рисунок 15 – Отфильтрованный сигнал с датчика

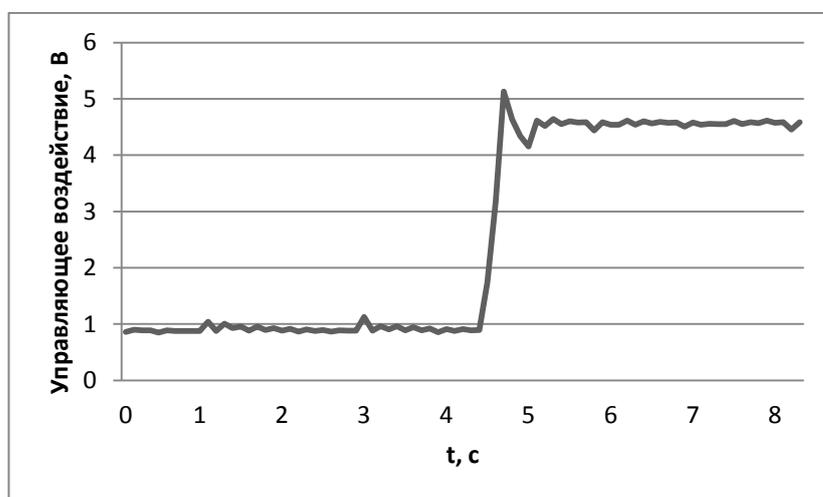


Рисунок 16 – Управляющее воздействие на сигнал с датчика с фильтрацией

### 3.4. Структурная схема

Используя выведенные ранее зависимости и выбранный регулятор, была построена структурная схема системы автоматического управления колесным роботом, представленная на рисунке Рисунок 117. При запуске устройства датчик  $d$  измеряет расстояние робота до границы линии  $d$ . Напряжение с датчика  $U_d$  поступает на фильтр  $\Phi$ . Отфильтрованное напряжение с датчика  $U_d^\Phi$  поступает на первый сумматор и сравнивается с уставкой  $U_s$ . Значение ошибки  $U_e$  поступает на вход ПДД<sup>2</sup>-регулятора. Регулятор состоит из трех звеньев соединенных параллельно:

- пропорциональное звено с коэффициентом  $K_P$ ;
- дифференциальное звено первого порядка с коэффициентом  $K_{Д1}$ ;

- дифференциальное звено второго порядка с коэффициентом  $K_{Д2}$ .

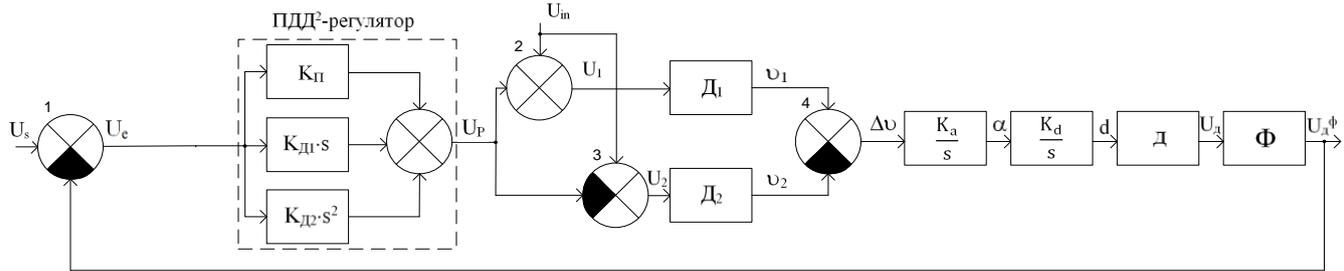


Рисунок 17 – Структурная схема системы

Напряжение с регулятора  $U_P$  поступает на второй сумматор с положительным знаком и на третий сумматор с отрицательным. Так же на входы второго и третьего сумматоров поступает входное напряжение  $U_{in}$ . Со второго и третьего сумматоров на двигатели  $D_1$  и  $D_2$  поступают напряжения  $U_1$  и  $U_2$  соответственно, в результате чего они начинают вращение со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ . Данные скорости подаются на четвертый сумматор с противоположными знаками, тем самым вычисляется разница вращения колес  $\Delta v$ . В соответствии с формулой (7),  $\Delta v$  влияет на угол поворота  $\alpha$  по интегральному закону с коэффициентом  $K_a$ . Колесный робот поворачивается относительно границы линии на угол  $\alpha$ . В соответствии с формулой (11) угол влияет на расстояние до линии  $d$  по интегральному закону с коэффициентом  $K_d$ . Расстояние от робота до границы линии становится равным  $d$ . Это значение вновь поступает на датчик. После процесс повторяется.

В соответствии со структурной схемой системы была написана программа в программной среде Arduino. Уставка вычисляется при запуске устройства. ПДД<sup>2</sup>-регулятор используется в виде дифференцированного ПИД-регулятора. Реализована первичная обработка данных датчика с помощью медианного фильтра с настраиваемой шириной окна и возможностью отключения. С текстом программы можно ознакомиться в приложении А.

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Введение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

#### **4.1. Оценка перспективности проведения НИИ**

Оценка перспективности разработанного в данной работе устройства может быть произведена по технологии QuaD. Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных

средств в научно-исследовательский проект. Показатели, используемые для оценки качества и перспективности новой разработки, подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации. Согласно технологии QuaD каждый из показателей оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 100 – наиболее сильная позиция, а 1 – наиболее слабая позиция. Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка приведена в табличной форме, предоставленной в таблице 1.

Таблица 1 – Оценочная карта конкурентной технической разработки

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Повышение производительности труда пользователя	0.07	95	100	0.95	6.65
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.12	92	100	0.87	11.04
3. Помехоустойчивость	0.03	88	100	0.9	2.64
4. Энергоэкономичность	0.11	92	100	0.9	10.12
5. Надежность	0.06	97	100	0.97	5.82
6. Уровень шума	0.03	75	100	0.8	2.25
7. Безопасность	0.01	85	100	0.8	0.85
8. Потребность в ресурсах памяти	0.02	75	100	0.75	1.5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.04	80	100	0.85	3.2
10. Простота эксплуатации	0.04	98	100	0.98	3.92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0.05	96	100	0.96	4.8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.06	100	100	1	6

Продолжение таблицы 1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0.04	90	100	0.9	3.6
2. Уровень проникновения на рынок	0.04	70	100	0.7	2.8
3. Цена	0.1	82	100	0.65	8.2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.07	95	100	0.95	6.65
5. Послепродажное обслуживание	0.03	90	100	0.9	2.7
6. Финансирование научной разработки	0.05	78	100	0.78	3.9
7. Срок выхода на рынок	0.03	71	100	0.71	2.13
8. Наличие сертификации разработки	0.04	80	100	0.8	3.2
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>91.97</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле (15).

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0.07 \cdot 95 + 0.12 \cdot 92 + \dots + 0.04 \cdot 80 = 91.97, \quad (15)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности конкурентной технической разработки;

$B_i$  – вес  $i$ -го показателя;

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  получилось равным 91.41, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

#### 4.2. Определение возможных альтернатив проведения НТИ

Определение возможных альтернатив разработанному устройству произведено согласно с морфологическим подходом. Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения

(морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Морфологическая матрица для разработанного устройства предоставлена в таблице 2.

Таблица 2 – Морфологическая матрица для колесного робота

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
А. Аппаратная платформа	Arduino UNO	Raspberry PI	Без микроконтроллера
Б. Датчик	Датчик линии	Камера	Без датчика
В. Двигатели	Коллекторные двигатели постоянного тока	Вентильные двигатели	Без двигателей
Г. Питание платы	Литий-полимерный аккумулятор	Питание от USB	Без питания
Д. Управление	Аналоговое	Дискретное	

Возможные варианты решения поставленной проблемы с позиции ее функционального содержания и ресурсосбережения:

A1B1B1Г1Д1 – аппаратная платформа Arduino UNO; датчик линии; коллекторные двигатели постоянного тока; питание платы при помощи литий-полимерного аккумулятора; аналоговое управление.

A2B2B2Г1Д1 – аппаратная платформа Raspberry PI; камера в качестве линии; вентильные двигатели; питание платы при помощи литий-полимерного аккумулятора; аналоговое управление.

A1B1B1Г2Д2 – аппаратная платформа Arduino UNO; датчик линии; коллекторные двигатели постоянного тока; питание платы при помощи USB; дискретное управление.

В данном исследовании рациональней использовать аппаратную платформу Arduino UNO из соображений экономичности и достаточной и

необходимой функциональности. Датчик линии, в отличие от камеры, позволяет получить конкретные данные без необходимости дополнительной обработки. Коллекторные двигатели постоянного тока более просты в управлении и их стоимость на порядок ниже по сравнению с вентильными двигателями. Литий-полимерный аккумулятор обеспечивает необходимую автономность и мобильность. Аналоговое управление позволяет в полной мере использовать потенциал аппаратной части и датчиков и обеспечивает более точное позиционирование колесного робота.

### **4.3. Планирование научно-исследовательских работ**

#### **4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ по разработке автоматизированной системы пространственного позиционирования колесного робота организовано в следующем порядке:

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

Для выполнения данного научного исследования была сформирована рабочая группа, в состав которой входит научный сотрудник и студент – дипломник. По каждому виду запланированных работ были установлены соответствующие должности исполнителей.

Перечень работ и этапов в рамках проведения научного проекта и распределение исполнителей по видам работ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор способа решения задачи	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы устройства	Руководитель, студент
	6	Выбор компонентов устройства	Руководитель, студент
	7	Разработка датчиков	Студент
	8	Сборка устройства	Студент
	9	Оптимизация аппаратной части	Студент
	10	Оптимизация программной части	Студент
	11	Тестирование устройства	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13	Технико-экономические расчеты	Студент
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Студент
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

#### 4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости работ каждого из участников исследования может считаться крайне важным моментом, так как трудовые затраты по большей части образуют основную часть стоимости разработки.

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  $t_{ож}$  используется формула (15).

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (15)$$

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

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

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

Для выполнения перечисленных в таблице работ требуются специалисты: студент, научный руководитель. Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, по формуле (16) определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (16)$$

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

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

#### **4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования**

Наиболее удобным и наглядным построением графика проведения научного исследования является диаграмма Ганта, которая представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датам начала и окончания выполнения научных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой (17).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (17)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле (18).

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (18)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни ( $T_{\text{кал}} = 365$ );

$T_{\text{вых}}$  – выходные дни ( $T_{\text{вых}} = 116$ );

$T_{\text{пр}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{пр}} = 14$ ).

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.

Пример расчета (составление и утверждение технического задания) предоставлен в формулах (19), (20), (21) и (22).

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней}; \quad (19)$$

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня}; \quad (20)$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553; \quad (21)$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}. \quad (22)$$

Таблица 4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент				
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Выбор способа решения задачи	3	3	4	4	4	4	4	4	7	7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы устройства	4	4	9	9	6	6	6	6	10	10
Выбор компонентов устройства	4	4	9	6	6	5	6	5	10	8
Разработка датчиков		2		4		8		8		12
Сборка устройства		2		4		3		3		5
Оптимизация аппаратной части	3		6		5		5		8	
Оптимизация программной части		4		8		6		6		10
Тестирование устройства	5	5	8	8	7	7	7	7	11	11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

Следующим этапом является построение календарного плана-графика на основании данных в таблице 4. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научно-технического исследования. При этом работы на графике выделяем

различной штриховкой в зависимости от исполнителей. Штриховкой для научного руководителя и сплошным цветом для студента. Календарный план-график приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	11														
3	Выбор способа решения задачи	Руководитель, студент	7														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7														
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы устройства	Руководитель, студент	10														
6	Выбор компонентов устройства	Руководитель, студент	8														
7	Разработка датчиков	Студент	12														
8	Сборка устройства	Студент	5														
9	Оптимизация аппаратной части	Студент	3														
10	Оптимизация программной части	Студент	10														
11	Тестирование устройства	Руководитель, студент	11														

Продолжение таблицы 5

12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	
13	Технико-экономические расчеты	Студент	8	
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Студент	8	
15	Составление пояснительной записки	Студент	4	
	Общее время на проект		111	
	Время работы студента		98	
	Время работы руководителя		49	

#### 4.3.4. Бюджет НТИ

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

#### 4.3.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов. Расчет материальных затрат осуществляется по формуле (24).

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi}, \quad (24)$$

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента  $k_T$ , отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

В таблице 6 представлены данные о материальных затратах:

Таблица 6 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Платформа Arduino UNO	1000	1	1000
Контроллер Ardumoto L298P	900	1	900
Фотодиод	50	2	100
ИК-диод	30	2	60
Плата расширения	100	1	100
Набор гибких проводников	200	1	200
Li-Po аккумулятор	2400	1	2400
<b>Итого:</b>			<b>4760</b>

#### **4.3.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ:**

В данную статью включаются все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого в данной работе, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

<b>Наименование</b>	<b>Цена за ед., руб.</b>	<b>Количество</b>	<b>Сумма, руб.</b>
Паяльная станция	12000	1	12000
Персональный компьютер	20000	1	15000
Мультиметр	1500	1	1500
<b>Итого:</b>			<b>18500</b>

#### **4.3.4.3. Основная заработная плата исполнительской темы**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, 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.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (25).

$$\text{Дневная з/плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}}, \quad (25)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в **Ошибка! Источник ссылки не найден.**таблице 8. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня. Также был принят во внимание коэффициент  $K = K_{\text{ЛР}} \times K_{\text{РК}}$ , который учитывает коэффициент по премиям  $K_{\text{ЛР}} = 0,3$  и районный коэффициент  $K_{\text{РК}} = 0,3$ .

В таблице 8 представлены затраты на основную заработную плату.

Таблица 8 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад руб/мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Кoeffи циент	Фонд з/п, руб.
Научный руководитель	30000	1191.89	49	1.69	98700.41
Студень	15000	595.95	98	1.69	98701.23
Итого:					<b>197401.64</b>

#### 4.3.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (26).

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (26)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27.1%.

В таблице 9 представлены данные об отчислениях во внебюджетные фонды.

Таблица 9 – Отчисления во внебюджетные фонды

<b>Исполнитель</b>	<b>Основная заработная плата, руб.</b>	<b>Дополнительная заработная плата, руб.</b>
Руководитель	98700,41	–
Студент	98701,23	–
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{\text{внеб}} = 27,1\%$	
<b>Итого:</b>	<b>53495.84</b>	

#### 4.3.4.5. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по формуле (27).

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \times k_{\text{нр}}, \quad (27)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Расчет накладных расходов предоставлен в формуле (28).

$$Z_{\text{накл}} = (53495.84 + 197401.64 + 18500 + 4760) \cdot 0.16 = 43865.09. \quad (28)$$

#### 4.3.4.6. Формирование бюджета затрат НИИ

Рассчитанная 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 на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	4760
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	18500
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	197401.64
Отчисления во внебюджетные фонды	53495.84
Накладные расходы	43865.09
<b>Бюджет затрат НТИ</b>	<b>318021.94</b>

#### 4.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя (29).

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (29)$$

где  $I_{фин}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 11. В качестве конкурентных технических решений использованы варианты предоставленные в разделе 4.2.

Таблица 11 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{max}$ , руб.	$\Phi_{pi}$ , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$ , о.е.
A1B1B1Г1Д1	11500	4760	0.414
A2B2B2Г1Д1		11500	1.000
A1B1B1Г2Д2		2760	0.240

Третий вариант имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, но в то же время имеет недостаточную функциональность.

Определение ресурсоэффективности различных технических решений можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности выраженного формулой (30).

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (30)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности различных технических решений предоставлен в таблице 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	A1B1B1Г1Д1	A2B2B2Г1Д1	A1B1B1Г2Д2
1. Надежность	0.2	5	3	5
2. Цена	0.3	4	2	5
3. Функциональность	0.4	4	5	2
4. Энергосбережение	0.1	5	2	5
Итого:	1.00	4.2	3.4	3.8

Показатель ресурсоэффективности варианта A1B1B1Г1Д1 имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования данного технического решения.

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### Введение

В данной работе представлена разработка устройства, реализующего автоматизированное пространственное позиционирование колесного робота. Управление осуществляется посредством аппаратно-вычислительной платформы Arduino UNO совместно с контроллером Ardumoto L298P. Робот оборудован двумя коллекторными двигателями постоянного тока, питание которых осуществляется при помощи литий-полимерной аккумуляторной батареи. Разработка программной и аппаратной частей устройства проходит в аудитории 10-го корпуса ТПУ. Данная разработка может быть применена на производстве для автоматической стабилизации колесных роботов с целью предотвращения аварийных ситуаций.

### 5.1. Производственная безопасность

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. Используя ГОСТ 12.0.003-74 [13], можно выделить ряд факторов, приведенных в Таблица 3. Так же приведены источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора.

Таблица 13 – Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источник фактора	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Наладка программной части за персональным компьютером	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Повышенный уровень шума 3. Недостаточная освещенность	1. Опасный уровень напряжения электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1. СанПиН 2.2.4.548–96 [14] 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [3] 3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [4] 4. СНиП 23-05-95 [5] 5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [6]
2. Сборка и тестирование устройства	4. Повышенный уровень электромагнитных излучений		6. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 [7] 7. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [8]

Для каждого фактора должны быть внедрены мероприятия по защите исследователя от их влияния.

### 5.1.1. Отклонение показателей микроклимата

Разработка программного обеспечения устройства производится за персональным компьютером. Согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [14] работа инженера-программиста относится к категории легких работ (А1). Категория А1 относится к работам с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

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

Оптимальный микроклимат на рабочем месте обеспечивает ощущение теплового комфорта в течение работы при минимальном напряжении механизмов терморегуляции человека, не вызывает отклонений состояния здоровья, обеспечивает условия для высокого уровня работоспособности и является предпочтительным на рабочем месте.

Допустимые значения показателей микроклимата для категории А1 приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Допустимые значения показателей микроклимата по СанПиН 2.2.4.548–96

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

Допустимые значения показателей обеспечиваются с помощью систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путем. В помещения, оснащенные персональными компьютерами, должны подаваться достаточные объемы свежего воздуха, нормы которых приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Нормы подачи свежего воздуха по СанПиН 2.2.4.548–96

<b>Характеристика помещения</b>	<b>Объемный расход подаваемого в помещение, свежего воздуха м<sup>3</sup> /на одного человека в час</b>
объем до 20 м <sup>3</sup> на человека	Не менее 30
объем 20...40 м <sup>3</sup> на человека	Не менее 20
более 40 м <sup>3</sup> на человека	Естественная вентиляция

Разработка устройства происходит в помещении, в котором имеется естественная вентиляция, при которой воздух поступает и удаляется через окна, двери и щели. При таком типе вентиляции воздух, поступающий в помещение, не проходит предварительную очистку и нагрев. В рассматриваемом помещении не выполняется требование относительно объема воздуха на одного человека, поэтому необходимо применение механической вентиляции.

### **5.1.2. Повышенный уровень шума**

В конструкции устройства применяются коллекторные двигатели постоянного тока, которые имеют высокий уровень шума. Так же увеличению уровня шума способствует активная система охлаждения персональных компьютеров.

Шум является важным фактором, влияющим на организм человека и на качество выполняемой им работы. В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [15] уровень шума на рабочем месте, оборудованном персональным компьютером, не должен превышать 50 дБ. Уровень шума системы охлаждения используемого персонального компьютера в целом соответствует нормам и составляет 30 дБ. В то же время уровень шума используемых в устройстве

коллекторных двигателей постоянного тока доходит до 60 дБ, что не соответствует нормам.

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. Также уровень шума может быть снижен путем очистки или замены системы охлаждения персонального компьютера.

### **5.1.3. Недостаточная освещенность**

Требования к освещению рабочих мест, оборудованных персональными компьютерами, определяются характером зрительной работы сотрудников [16]. Особенность таких рабочих мест заключается в необходимости одновременной работы с разными информационными носителями: на бумаге и на экране монитора. Экранное изображение в отличие от бумажного является светящимся, что оказывает воздействие на зрительную работоспособность и утомляемость. Дополнительной нагрузкой на органы зрения служит необходимость постоянной адаптации при переносе взгляда с экрана монитора на бумажный носитель.

Сложные зрительные задачи часто сочетаются с необходимостью анализа поступающей информации, принятием решением в условиях с ограничением по времени и недопустимости ошибок, что приводит к психофизическому и эмоциональному напряжению человека. Основной причиной физического дискомфорта у сотрудников, работающих за персональным компьютером, являются неоптимальные условия рабочего места, значительную роль в этом играет освещение.

Освещение помещений с персональными компьютерами характеризуется следующими требованиями:

- обеспечение необходимых уровней освещенности в горизонтальной плоскости в зоне бумажного носителя и клавиатуры;

- исключение засветки изображение на экране монитора путем ограничения освещенности вертикальной плоскости экрана монитора;
- обеспечение надлежащего распределения яркости в центральном поле зрения пользователя;
- снижение прямой и отраженной блескости;
- ограничение глубины пульсации освещенности.

Требования к освещению рабочих мест, оборудованных персональными компьютерами, изложены в документах: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [16], СНиП 23-05-95 [17] и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [18].

Для общего освещения помещений следует использовать лампы со световой отдачей не менее 55 лм/Вт. Для освещения помещений, оборудованных персональными компьютерами, следует применять систему общего освещения. Также допускается применение комбинированного освещения с целью дополнительного освещения бумажного носителя при исключении засветки от экрана монитора.

В таблице 16 приведены нормативные значения освещенности в горизонтальной плоскости.

Таблица 16 – Нормативные значения освещенности в горизонтальной плоскости по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Характер текста на бумажном носителе	Освещенность при системе освещения		
	Общее освещение, лк	Комбинированное освещение	
		Всего, лк	От общего, лк
Шрифт с высотой буквы менее 1,5 мм и средним контрастом	500	600	400
Шрифт с высотой буквы менее 1,5 мм и большим контрастом	400	500	300
Шрифт с высотой буквы менее 1,5 мм	300	400	200

Освещенность нормируется в точках ее минимального значения на рабочей поверхности. Изменение освещенности в сторону увеличения считается допустимым. Из таблицы 16 следует, что за норму может быть принято любое значение не менее 300 лк.

Освещенность, обеспечиваемая осветительными приборами, соответствует нормам, если ее значение отвечает критериям, представленным в таблице 17.

Таблица 17 – Критерии оценки уровня освещенности по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03

Условия измерения	Критерии оценки
При приеме к эксплуатации	$E_{\text{изм}} = 0,9E_{\text{н}}K_3$
В процессе эксплуатации без предварительной подготовки	$E_{\text{изм}} = E_{\text{н}}$

Где  $E_{\text{изм}}$  - измеренное значение освещенности,  $E_{\text{н}}$  - нормативное значение освещенности,  $K_3$  - коэффициент запаса, который учитывает старение и загрязнение ламп и светильников.

При наличии пульсации освещенности от осветительных установок утомляемость зрения и организма возрастает. Поэтому в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 коэффициент пульсации освещенности не должен превышать 5%.

Для искусственного освещения следует применять осветительные приборы, имеющие повышенный защитный угол:

- защитный угол для светильников общего назначения должен составлять 30-40°;
- для местного освещения необходимо применять светильники, имеющие непросвечивающие отражатели и защитный угол не менее 40°.

#### **5.1.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Основным источником электромагнитных излучений при разработке устройства является персональный компьютер. Электромагнитное поле,

которое создается персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц.

Требования к допустимым уровням электромагнитных излучений и времени воздействия на человека, изложены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [16] и СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 [19].

Допустимые уровни напряженности электромагнитного поля персонального компьютера в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

<b>Параметры воздействия, частота излучения</b>	<b>Допустимые значения</b>
Статическое поле	20 000 В/м
На расстоянии 50 см вокруг - диапазон частот 5 Гц – 2кГц - диапазон частот 2 – 400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Переменное поле на расстоянии 50 см вокруг	0,25 А/м
Магнитная индукция не более - диапазон частот 5 Гц – 2кГц - диапазон частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не более	500 В

Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 энергетическая экспозиция электромагнитного излучения в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц определяется как произведение квадрата напряженности электрического или магнитного поля на время воздействия на человека. Энергетическая экспозиция за рабочий день не должна превышать значений, указанных в таблице 19.

Таблица 19 – предельно допустимые значения энергетической экспозиции по СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция	
	По электрической составляющей, $(В/м)^2 \times ч$	По магнитной составляющей, $(А/м)^2 \times ч$
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0
3 - 30 МГц	7000,0	Не разработаны
30 - 50 МГц	800,0	0,72
50 - 300 МГц	800,0	Не разработаны

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может привести к дыхательной, нервной и сердечнососудистой систем, головным болям, утомляемости. Для обеспечения меньшего уровня электромагнитного излучение использован жидкокристаллический монитор. Необходимо чтобы компьютер был заземлен, а так же необходимо по возможности сокращать время работы за компьютером.

### 5.1.5. Опасный уровень напряжения

Электрический ток относится к категории опасных факторов. В помещении, где производится разработка устройства, присутствует большое количество аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц, в том числе персональный компьютер за которым происходит наладка программного обеспечения. Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [20], по опасности электропоражения данное помещение 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.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаземленного от земли человека к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению технических средств защиты. К основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

- изоляция токопроводящих частей;
- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- предупредительная сигнализация и блокировки.

## **5.2. Экологическая безопасность**

Согласно ГОСТ 30772-2001 [21] к отходам относятся остатки продуктов или дополнительный продукт, образующиеся в процессе или по завершении определенной деятельности и не используемые в непосредственной связи с этой деятельностью.

В данной работе выявлены следующие источники загрязнения окружающей среды:

- литий-полимерная аккумуляторная батарея;

- коллекторные двигатели постоянного тока;
- лампы осветительных приборов.

Их составные части требуют специальной утилизации, поэтому эти источники загрязнения окружающей среды необходимо утилизировать по истечении срока службы.

Под утилизацией отходов понимается деятельность, связанная с использованием отходов на этапах их технологического цикла, и/или обеспечение повторного (вторичного) использования или переработки списанных изделий [21].

Перед утилизацией металлические составные части необходимо отсортировать по видам металла, удалить неметаллические части. Утилизация ламп осветительных приборов производится в специальных пунктах приема на утилизацию.

### **5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятным чрезвычайными ситуациями при разработке устройства являются пожар на рабочем месте. Потенциальное возникновение пожара связано с возможным накоплением токоведущей пыли внутри компьютера, что может привести к короткому замыканию, возгоранию пыли и, если не будет принято никаких мер, распространению пожара. В связи с возможной угрозой возникновения пожара был разработан план действий согласно с ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ [22]:

- в случае обнаружения возгорания необходимо сообщить руководителю и попытаться потушить очаг возгорания своими силами с помощью средств первичного пожаротушения такими как: огнетушитель (порошковый, углекислотный);
- в случае если потушить очаг возгорания не удастся, привести в действие ручной пожарный извещатель;

- немедленно сообщить о чрезвычайной ситуации в пожарную охрану по телефону 01 (сотовый 010), назвать адрес объекта, место и причины возникновения пожара;
- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;
- приступить к тушению пожара, отключив электроэнергию;
- встретить подразделения пожарной охраны и, при необходимости, оказать помощь при выборе наилучшего пути для подхода к очагу пожара.

План эвакуации предоставлен на рисунке Рисунок 18.

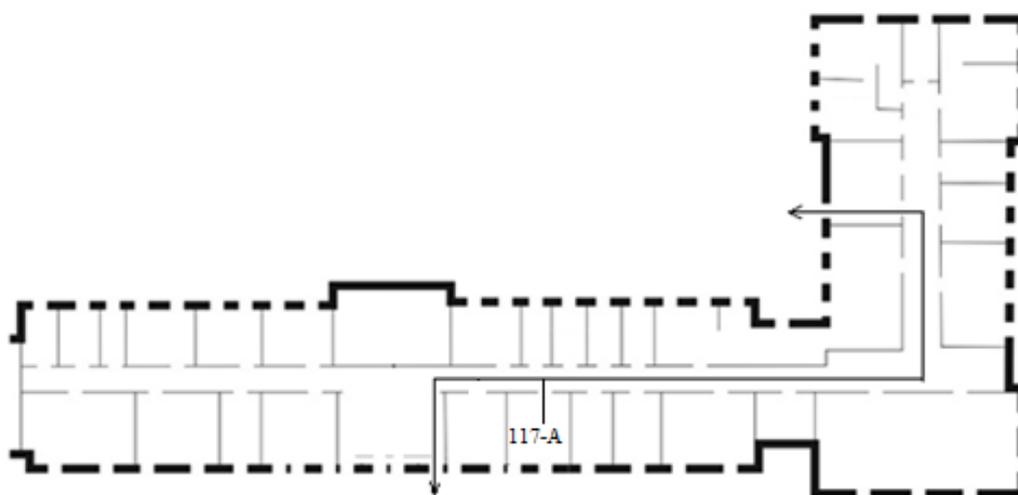


Рисунок 18 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2, 1-й этаж

#### **5.4. Организационные вопросы обеспечения безопасности**

Рабочие места, оборудованные персональными компьютерами, должны располагаться по отношению к световым проемам таким образом, чтобы естественный свет падал с боковой стороны, преимущественно слева.

Расстояние между боковыми поверхностями мониторов должно составлять не менее 1,2 м, расстояние между экраном монитора и задней частью другого монитора – не менее 2 м.

Рабочий стол может быть любой конструкции, которая отвечает современным требованиям эргономики и позволяет удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и

характера выполняемой работы. Целесообразно применение столов, имеющих отдельную от основной столешницы специальную рабочую поверхность для размещения клавиатуры. В случае, когда используется стол с нерегулируемой высотой рабочей поверхности, его высота должна быть в пределах от 680 до 800 мм. Глубина рабочей поверхности стола должна составлять 800 мм, ширина – 1600 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм, на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула или кресла должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы работника и позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины. Рабочий стул или кресло должны быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 - 300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной поверхности, отделенной от основной столешницы.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм [14].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проектирования выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система пространственного позиционирования колесным роботом на базе аппаратной платформы Arduino UNO.

В процессе разработки системы были подобраны основные составляющие. Произведена сборка и тестирование датчиков, их калибровка. Испытана работа коллекторных двигателей постоянного тока с различными источниками питания.

Были рассчитаны основные зависимости движения колесного робота, на основе которых был выбран ПДД<sup>2</sup>-регулятор. Написана программа, включающая автоматическую настройку при включении, первичную обработку данных, программную реализацию ПДД<sup>2</sup>-регулятора и возможность отладки и контроля параметров через персональный компьютер. Настройки регулятора производились экспериментально.

В результате был спроектирован и собран автоматизированный колесный робот, способный распознавать линию и корректировать относительно нее свое движение.

В будущем планируется модернизация колесного робота путем внедрения системы обнаружения препятствий, разработка более сложных алгоритмов прохождения трассы и реализация взаимодействия с другими колесными роботами. Данная разработка может использоваться как учебный стенд, позволяющий изучать и настраивать ПДД<sup>2</sup>-регулятор.

## CONCLUSION

Automated system for spatial positioning of wheeled robot based on Arduino UNO hardware platform was developed in the design process of the final qualification work.

The principal components were selected in the process of the system development. Sensors were constructed, tested and calibrated. Brushed DC motors were tested with different power sources.

The basic formulas of motion of the wheeled robot were calculated, and on its base PDD<sup>2</sup> regulator were selected. Program was written, it includes automatic configuration on start, initial data processing, software implementation of PDD<sup>2</sup> regulator and the ability to debug and control settings via a personal computer. Regulator settings were founded experimentally.

As the result, automated wheeled robot was engineered and built, which can recognize and adjust its movement relative to the line.

In the future it is planned to upgrade the wheeled robot by integrate a system of collide detection, to develop more complicated algorithms and to realize interactions with other wheeled robots. This development can be used as a training stand that allows to exam and to configure PDD<sup>2</sup> regulator.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Движение по линии с двумя датчиками освещенности [Электронный ресурс]  
URL: <http://nttm.ouhmao.ru/index.php/metodicheskoe-obespechenie/iz-opytaraboty/item/105-dvizhenie-po-linii-s-dvumya-datchikami-osveshchennosti/105-dvizhenie-po-linii-s-dvumya-datchikami-osveshchennosti>
2. Robot - Line Follower [Электронный ресурс] URL:  
<http://www.instructables.com/id/Robot-Line-Follower/>
3. Робот на RaspberryPi, Arduino и RaspiCam + OpenCV [Электронный ресурс]  
URL: <https://geektimes.ru/post/255090/>
4. ULTIMATE FACTORIES | PORSCHE PANAMERA [Электронный ресурс]  
URL: <http://channel.nationalgeographic.com/ultimate-factories/galleries/ultimate-factories-porsche-panamera-pictures/at/an-automated-experience-21977/>
5. РЕЛЕЙНЫЙ РЕГУЛЯТОР [Электронный ресурс] URL:  
<http://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/7906/РЕЛЕЙНЫЙ>
6. ПИД-регулятор. Общие принципы [Электронный ресурс] URL:  
<http://www.owen.ru/17029976>
7. ПИД-регулятор. Частные случаи (П, ПД, ПИ) [Электронный ресурс] URL:  
<http://www.owen.ru/17029976>
8. Электронный регулятор хода [Электронный ресурс] URL:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронный\\_регулятор\\_хода](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронный_регулятор_хода)
9. Arduino UNO SMD | Overview | Summary [Электронный ресурс]  
URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUnoSMD>
10. Коллекторный электродвигатель постоянного тока [Электронный ресурс]  
URL: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/>
11. SparkFun Ardumoto - Motor Driver Shield [Электронный ресурс]  
URL: <https://www.sparkfun.com/products/9815>
12. ПРИМЕНЕНИЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ [Электронный ресурс]  
URL: [http://www.amursu.ru/attachments/article/13719/14\\_91-98.pdf](http://www.amursu.ru/attachments/article/13719/14_91-98.pdf)

- 13.ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- 14.СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
- 15.СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».
- 16.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
- 17.СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
- 18.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».
- 19.СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 . «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)»
20. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
21. ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения».
22. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования».

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

### Листинг программы

```
#define CW 0
#define CCW 1
#define MOTOR_A 0
#define MOTOR_B 1
//настройка двигателей
#define Vconst 50 //скорость в покое
#define Vmin 15 // минимальная
//настройка датчиков
#define window 0 //настройка фильтра (0 - выключен)
//настройка регулятора
#define P 0.15
#define D1 0.02
#define D2 100000
// выходы зарезервированные Ardumoto
const byte PWMA = 3; // PWM control (speed) for motor A
const byte PWMB = 11; // PWM control (speed) for motor B
const byte DIRA = 12; // Direction control for motor A
const byte DIRB = 13; // Direction control for motor B
double Setpoint, Input, Output,avrM>window, avrT>window, avrR,
avrI, fA, fB,preValue,mem,preValue2,mem2,dt,p,d1,d2;
long tmb,tma;

void setup()
{ tmb=millis();
  pinMode( A0, INPUT );
  pinMode( A1, INPUT );
//setup ardumoto
  // All pins should be setup as outputs:
  pinMode(PWMA, OUTPUT);
  pinMode(PWMB, OUTPUT);
  pinMode(DIRA, OUTPUT);
  pinMode(DIRB, OUTPUT);
  // Initialize all pins as low:
  digitalWrite(PWMA, LOW);
  digitalWrite(PWMB, LOW);
  digitalWrite(DIRA, LOW);
  digitalWrite(DIRB, LOW);
//setup ardumoto
  Serial.begin(9600);
  Setpoint = (analogRead(A0)+analogRead(A1))/2;
  Input = Setpoint;
}
```

```

void loop()
{
//чтение с датчика А
fA=analogRead(A1);
// чтение и фильтрация с датчика В
if (window!=0){
avrI=analogRead(A0); //вх. значение
  for (int i=0; i <= window-2; i++){
    avrM[i]=avrM[i+1]; avrT[i]=avrM[i];}
  avrM>window-1]=avrI;
  avrT>window-1]=avrM>window-1];
  for (int i=0; i <= window-1; i++){
    for (int j=i; j <= window-1; j++){
      if (avrT[j]>avrT[i])
        {
          int temp = avrT[j]; avrT[j]=avrT[i]; avrT[i]=temp;}}
  if (window%2==1)
    {avrR=avrT[round(window/2)-1];};
  if (window%2==0)
    {avrR=(avrT>window/2]+avrT>window/2-1])/2;};
  fB=avrR; }else
  if (window==0) {
fB=analogRead(A0);}

//калибровка датчиков
if (fA>fB)
  {digitalWrite(6, HIGH);}
else
  if (fA<=fB)
    {digitalWrite(6, LOW);};

//сигнальный диод границы
Input=fB-Setpoint;
if (Setpoint<fB)
  {dir=1; digitalWrite(7, LOW);};
  if (Setpoint>=fB)
    {dir=-1; digitalWrite(7, HIGH);};

//ПДД2-регулятор
p=P*Input;
tma=micros();
dt=(tma-tmb);
mem=Input;
d1=D1*(preValue-Input)*1000000/dt;
mem2=d1;
d2=D2*(preValue2-d1)/dt;
preValue=mem;
preValue2=mem2;
tmb=tma;
Output=p+d1+d2;

```

```

// Управление двигателями
driveArdumoto(MOTOR_A, CCW, constrain(Vconst-Output,Vmin,255));
driveArdumoto(MOTOR_B, CW, constrain(Vconst+Output,Vmin,255));

/*
// тестирование
Serial.print( "    dif - ");
Serial.print( dif );
Serial.print( "    p - ");
Serial.print( p );
Serial.print( "    d1 - ");
Serial.print( d1 );
Serial.print( "    d2 - ");
Serial.print( d2 );
Serial.print( "    ----- ");
Serial.print( "    out - ");
Serial.print( Output );
//Serial.print( "    to motor A - ");
//Serial.print( constrain(Vconst-Output,Vmin,255) );
//Serial.print( "    to motor B - ");
//Serial.print( constrain(Vconst+Output,Vmin,255) );
Serial.print( "    set - ");
Serial.print( Setpoint );
Serial.println( "    ***** ");
*/
}

void driveArdumoto(byte motor, byte dir, byte spd)
{
    if (motor == MOTOR_A)
    {
        digitalWrite(DIRA, dir);
        analogWrite(PWMA, spd);
    }
    else if (motor == MOTOR_B)
    {
        digitalWrite(DIRB, dir);
        analogWrite(PWMB, spd);
    }
}

void stopArdumoto(byte motor)
{
    driveArdumoto(motor, 0, 0);
}

```