

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка сельскохозяйственного колесного мобильного робота для удаления сорняков

УДК 621.865.8-182.3:631.577:632.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Завгородний Ярослав Константинович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	применять глубокие естественнонаучные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем.
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P7	применять глубокие естественнонаучные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.
Универсальные компетенции	
P8	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду
P11	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки 15.03.06. Мехатроника и робототехника

Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Мамонова Т.Е.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8E51	Завгороднему Ярославу Константиновичу

Тема работы:

Разработка сельскохозяйственного колесного мобильного робота для удаления сорняков	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1096/с от 12.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Работа направлена на разработку колесного мобильного робота outdoor-типа, который должен осуществлять движение по грунту без проскальзываний и скашивать сорняки</i>
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Анализ предметной области, – анализ рынка сельскохозяйственной робототехники, – обзор аналогов, – обзор литературы и иных источников, – проектирование колесной платформы, – расчет параметров электропривода, – разработка системы тестирования для прямолинейного движения по грунту, – расчет и выбор комплектующих, – сборка первого прототипа, – тестирование прототипа в условиях внешней среды, – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, – социальная ответственность, – оформление конструкторской документации.
Перечень графического материала	– Чертежи колесного мобильного робота, – функциональная электрическая схема робота.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Фадеева Вера Николаевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
Нормоконтроль	Суханов Алексей Викторович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.01.19 г.
---	-------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР ТПУ	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		21.01.19

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Завгородний Ярослав Константинович		21.01.19

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки 15.03.06. Мехатроника и робототехника

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

19.06.2019

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
18.03.19	<i>Анализ предметной области</i>	10
08.04.19	<i>Проектирование колесного мобильного робота</i>	30
29.04.19	<i>Разработка системы управления</i>	20
13.05.19	<i>Сборка и тестирование прототипа</i>	15
22.05.19	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	15
27.05.19	<i>Социальная ответственность</i>	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО		
8Е51	Завгороднему Ярославу Константиновичу		
Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06. Мехатроника и робототехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад студента – 21760 руб., Оклад руководителя – 33664 руб., Затраты на материалы – 10310 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премияльный коэффициент руководителя 30 %; Коэффициент доплат и надбавок руководителя 20 %; Районный коэффициент 30 %; Коэффициент дополнительной заработной платы 12 %; Накладные расходы 16 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ; Сравнительная характеристика вариантов исполнения проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ, - определение трудоемкости работ, - создание диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на разработку: - материальные затраты, - заработная плата (основная и дополнительная), - социальные отчисления, накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки	Определение эффективности разработки

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИ
3. Расчет бюджетных и материальных затрат

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Завгородний Я.К.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е51	Завгороднему Ярославу Константиновичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является колесный мобильный робот для удаления сорняков. Рабочим местом для проектирования робота является компьютерный стол. Сборка прототипа робота производится на монтажном столе. Технологический процесс включает разработку робота, расчет приводов, пайку схемы, сборку прототипа и тестирование.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -специальные правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. Используемая нормативно-техническая документация: - ГОСТ 12.2.032-78 [1] - СанПиН 2.2.4.548-96 [2] - ГОСТ 12.2.032-78 [3]
2. Производственная безопасность	Анализ выявленных вредных факторов: - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Отклонение параметров микроклимата - Превышение уровня шума - Психофизические факторы - Напряженность магнитного поля Анализ выявленных опасных факторов: - Электрический ток в системе питания робота - Короткое замыкание - Статическое электричество
3. Экологическая безопасность	Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу отсутствует. Воздействие на литосферу происходит при утилизации ПК, используемого для разработки, а также утилизации аккумуляторов, электронных компонентов робота и ламп освещения
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможной чрезвычайной ситуацией при разработке программы является возникновение пожара на рабочем месте в связи с использованием паяльника, ПК или аккумулятора

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е51	Завгородний Я.К.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 81 с., содержит 29 рис., 35 табл., 24 источника, 2 прил.

Ключевые слова: КОЛЕСНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ РОБОТ, ЭЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ, УДАЛЕНИЕ СОРНЯКОВ.

Объектом исследования является платформа колесного мобильного робота.

Цель работы – разработать и протестировать прототип мобильного робота, который должен обеспечивать прямолинейное передвижение робота по грунту без проскальзываний и осуществлять удаление сорняков путем скашивания.

В работе представлены этапы проектирования колесного мобильного робота, расчет необходимых параметров электропривода, системы питания и параметров двигателя рабочего органа. На каждом этапе проектирования были представлены результаты расчетов. В ходе работы была спроектирована и протестирована четырехколесная платформа первого прототипа робота, имеющая два привода движения и рабочий орган.

Область применения: сельскохозяйственные предприятия, занимающиеся посадкой и размножением саженцев плодово-ягодных культур и винограда.

В дальнейшем планируется разработать алгоритм распознавания сорняков с помощью технического зрения, который должен обеспечить автономную работу робота. Также планируется усовершенствование колесной платформы, реализация корпуса и дизайнерское решения для робота.

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

Колесный мобильный робот; КМР.

Двигатель постоянного тока; ДПТ.

Широтно-импульсная модуляция; ШИМ.

Система координат; СК.

Оглавление

Введение.....	13
1. Анализ предметной области.....	15
1.1 Проблема и актуальность.....	15
1.2 Обзор аналогов	16
2. Разработка платформы колесного мобильного робота	19
2.1 Выбор платформы, эскизирование и создание 3D-модель КМР	19
2.2 Расчет приводов КМР.....	21
2.3 Выбор приводов для режущей кромки	28
2.4 Выбор аккумуляторов.....	29
3. Разработка системы управления колесным мобильным роботом	32
3.1 Математическая модель колесного мобильного робота.....	32
3.2 Реализация системы управления приводами робота.....	38
3.3 Алгоритм для тестирования платформы	41
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	45
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	45
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	45
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	48
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	49
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	50
4.2.4 Бюджет научно-технической разработки	53
4.2.4.1 Расчет материальных затрат	53
4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование	54

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	55
4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	57
4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	57
4.2.4.8 Накладные расходы	57
4.2.4.9 Формирование бюджета затрат проекта разработки.....	58
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки	58
Вывод по разделу	59
5 Социальная ответственность	61
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	62
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	63
5.2 Производственная безопасность	63
5.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	64
5.2.2 Превышение уровня шума	65
5.2.3 Отклонение параметров микроклимата.....	66
5.2.4. Нервно-психические нагрузки.....	67
5.2.5 Перенапряжение зрительных анализаторов.....	68
5.2.5 Статическое электричество.....	69
5.2.6 Электрический ток.....	70
5.2.7. Короткое замыкание	71
5.3. Экологическая безопасность	72
5.3.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду	72
5.3.2 Анализ жизненного цикла объекта исследования.....	73
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	74

5.5 Заключение по разделу	75
Заключение	76
Список литературы	77
Приложение А Код программы тестирования прямолинейного движения	80
Приложение Б Код программы тестирования поворота.....	81

Введение

Рост качества и уровня жизни населения, приход на отечественный рынок зарубежных компаний обостряют конкуренцию на продовольственном рынке и заставляют организации сельского хозяйства наращивать производство продукции, совершенствовать технологические процессы, снижать себестоимость продукции, повышать ее качество, искать новые принципы развития, непременным инструментом которого становится использование инноваций.

В то же время во многих регионах наблюдается острая нехватка кадров, продолжается отток населения из сельской местности. В этих условиях особое значение приобретают вопросы внедрения инновационной техники и технологий, в том числе робототехники, которая сберегает трудовые ресурсы и повышает творческую составляющую труда в сельском хозяйстве, тем самым закрепляя кадры на селе[1]. Однако внедрение робототехники в организациях сельского хозяйства затрудняется из-за отсутствия теоретических разработок по данной проблеме, недостаточной изученности целесообразности внедрения и эффективности использования робототехники по сравнению с традиционными технологиями ведения сельского хозяйства, отсутствия методических рекомендаций по внедрению данной техники, а также системной подготовки кадров, способных осваивать робототехнику в сельском хозяйстве. Поэтому возникает необходимость разработки мобильных роботов для решения ряда задач сельскохозяйственной отрасли.

В ходе данной бакалаврской работы разрабатывается колесный мобильный робот для удаления сорняков. В ходе проектирования на основе массо-габаритных показателей рассчитываются параметры электропривода движения робота, параметры двигателя рабочего органа и параметры аккумуляторных батарей. Также разрабатывается алгоритм тестирования прямолинейного движения и поворотов робота по мягкому грунту с учетом влияния препятствий.

В главе № 1 данной работы был проведен аналитический обзор аналогов.

Глава № 2 посвящена разработке первого прототипа мобильного робота, выбрана платформа, создана 3D-модель, рассчитаны и выбраны приводы и аккумуляторы.

В главе № 3 разработана система тестирования колесного мобильного робота.

Глава № 4 посвящена финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению.

В главе № 5 приведен раздел по социальной ответственности и безопасности на производстве.

После планируемого усовершенствования данного робота его можно внедрить на сельскохозяйственных предприятиях, которые занимаются выращиванием саженцев плодово-ягодных культур.

1. Анализ предметной области

1.1 Проблема и актуальность

К проблемам сельского хозяйства страны относится ряд социальных проблем, таких, как:

- высокий уровень урбанизации (рисунок 1.1)[1],
- негативные демографические процессы на селе (по данным Росстата численность сельского населения к 2020 году сократится до 35,5 млн, к 2030 году - до 32,3 млн.[1],
- низкая доля населения трудоспособного возраста (49-50%), возраст работающих в отрасли приближается к пенсионному[3],
- по данным Росстата лишь 16% людей, проживающих в сельской местности, работают в сельском хозяйстве. Остальные заняты на производстве, добыче полезных ископаемых, работают в сфере услуг[3].

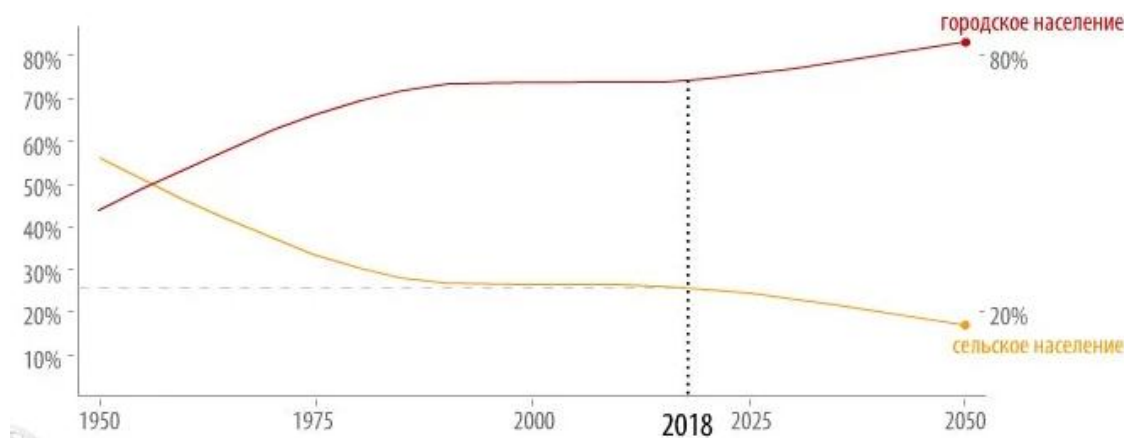


Рисунок 1.1 – Урбанизация в России по данным ООН

Развитые страны переходят к роботизированному сельскому хозяйству и полной замене человека в тяжелых условиях труда. По оценке международной федерации робототехники к 2020 году капитализация рынка сельскохозяйственных роботов достигнет \$125 млрд., что в 5 раз больше капитализации 2012 года. Согласно прогнозу фирмы Tractica к 2024 году годовой объем поставок агроботов составит около \$1 трлн. (рисунок 1.2) [4].



Рисунок 1.2 – График, показывающий развитие сельскохозяйственной робототехники

Сорняки наносят огромный вред сельскому хозяйству, поглощая влагу, питательные вещества, солнечный свет. Они резко снижают рост саженцев и урожая плодово-ягодных культур. К тому же, сорняки затрудняют процесс окулировки саженцев (искусственного размножения). Сорняки способствуют размножению вредителей и распространению болезней сельскохозяйственных растений.

1.2 Обзор аналогов

В ходе исследования мирового рынка робототехники в качестве ближайшего аналога был выбран робот, разработанный французской компанией, для удаления сорняков в посадках виноградников.

Vitirover — это робот, который предназначен для срезания травы и сорняков между виноградными лозами. Благодаря датчикам и GPS-трекеру маленький французский робот умеет отличать посадки винограда от других растений и может двигаться по полю без посторонней помощи. Предварительно настроить робота можно с помощью мобильного приложения. В общей

сложности, один робот может обработать 1 Га за 150 часов работы, работая даже ночью, благодаря установленной солнечной панели[5].



Рисунок 1.3 – Робот Vitirover

Параметры робота представлены в таблице 1[5].

Таблица 1. Параметры робота Vitirover

Параметр	Значение
Габариты, мм	750x380x280
Масса, кг	20
Скорость, км/ч	0,3
Потребляемая мощность, Вт	20
Ширина режущей кромки, мм	320

К наиболее известным производителям робототехники для сельского хозяйства можно отнести DeLaval (Швеция), Fullwood (Великобритания), Insentec (Голандия), Lely (Голландия), GEA FarmTechnologies (Германия). Данные компании разрабатывают роботов для борьбы с сорняками, сбора урожая и мониторинга почвы и её состава. С каждым годом данные компании наращивают производство новой, инновационной продукции.

По данным исследователей рынка робототехники, по состоянию на 2011 год сельскохозяйственная робототехника занимала 39% от всего рынка робототехники в Европе (рисунок 1.4)[4].



Рисунок 1.4 – Структура робототехники Европы

2. Разработка платформы колесного мобильного робота

Данная глава посвящена разработке прототипа КМР, расчету и выбору электроприводов движения, двигателей рабочего органа и аккумуляторов.

2.1 Выбор платформы, эскизирование и создание 3D-модель КМР

Для грунтовой поверхности оптимально будет использовать четырехколесную платформу с двумя приводами, расположенными диагонально (рисунок 2.1). Рулевое управление планируется реализовать переключением направлений вращения двух двигателей.

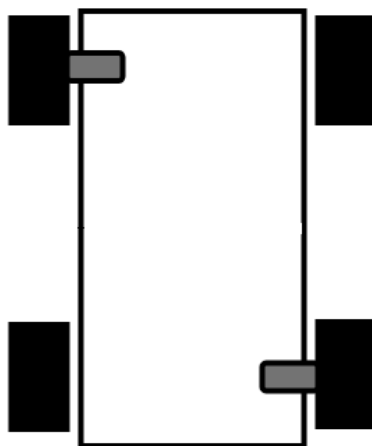


Рисунок 2.1 – Тип платформы КМР

Таблица 2. Ориентировочная масса КМР

Параметр	Значение
Ориентировочная масса приводов	2х(0,25 - 0,4) кг=0,5-0,8 кг
Ориентировочная масса аккумуляторов	2х(0,3 - 0,4) кг = 0,6-0,8кг
Масса колес	4х(0,25 - 0,3) кг = 1-1,2 кг
Масса электроники и радиаторов	0,3 кг
Масса корпуса и шасси	(1 - 1,3) кг
Ориентировочная масса узла среза травы	(0,4 - 0,6) кг
Итого	(3,8 - 5) кг

На рисунке 2.2. представлен эскиз КМР (вид сверху и спереди). По данным эскизам можно оценить габаритные показатели робота. Составные части, обозначенные цифрами, следующие: (1) – приводы, (2) – режущая кромка.

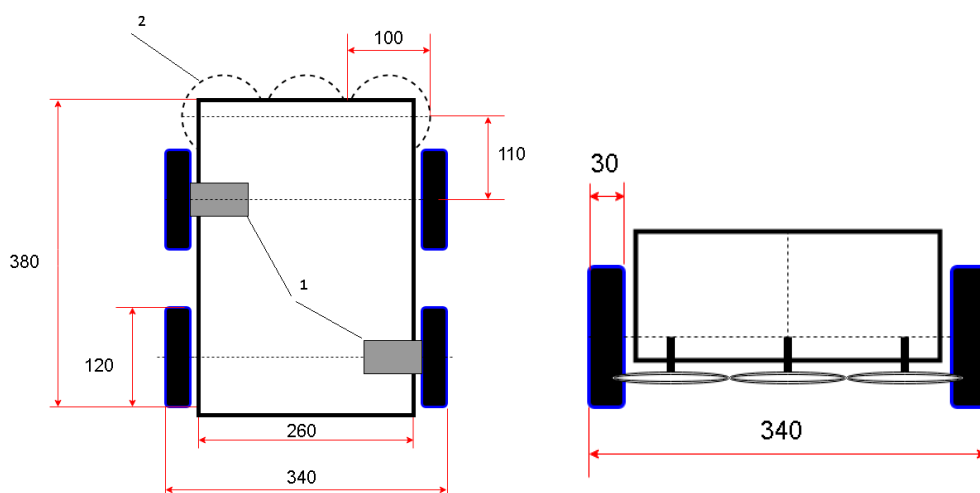


Рисунок 2.2 – Эскиз КМР (вид сверху и вид спереди)

Ширина колес составляет 3 см, диаметр – 12 см. Ширина режущей кромки составляет 300 мм (90% от ширины робота). Коробка с приводами от режущей кромки располагается спереди робота (рисунок 2.3).

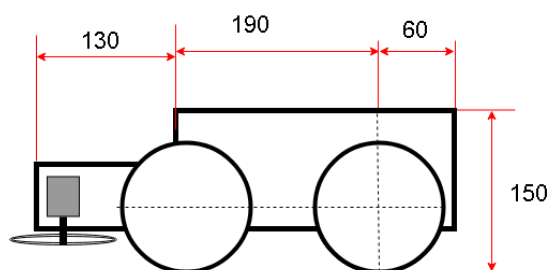


Рисунок 2.3 – Эскиз КМР (вид сбоку)

По данным эскизам была составлена первичная 3D-модель робота (рисунки 2.4-2.5).

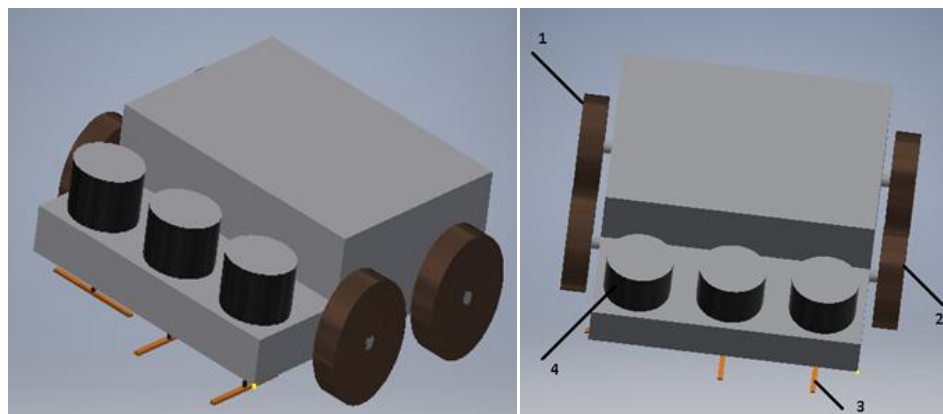


Рисунок 2.4 – 3D-модель робота

На рисунке 2.4 введены следующие обозначения: 1 – заднее приводное колесо, 2 – переднее приводное колесо, 3 – режущее лезвие (3шт), 4 – привод режущей кромки.

2.2 Расчет приводов КМР

Подбор приводов осуществляется из оптимальных характеристик «мощность-масса». Исходными данными для расчета являются масса (таблица 2.1), требуемая максимальная скорость робота (0,15 м/с), диаметр колес (0,12 м) и коэффициент трения качения. Рассчитаем характеристики привода.

Скорость вращения вала редуктора[2]:

$$n_p = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 0,15 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]}{3,14 \cdot 0,12 [\text{м}]} = 26 \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right], \quad (2.1)$$

где n_p – количество оборотов редуктора, об/мин;

D – диаметр колеса, м;

v – скорость робота, м/с.

Возможность движения КМР определяется следующим неравенством [6]:

$$F_T \geq \sum F_i, \quad (2.2)$$

где F_T – сила тяги всех двигателей КМР, Н;

$\sum F_i$ – сумма всех сил сопротивления, Н.

Рассмотрим задачу тягового расчета робота. Для этого расставим все силы, действующие на робота. Задача решается, т.к. модель колесного робота статически определима, если принять ряд допущений:

- 1) мобильный робот представляют собой твердую симметричную платформу,
- 2) колеса не деформируются и равноудалены от центра масс,
- 3) робот движется без проскальзывания.

В данном случае стоит рассмотреть плоскую задачу, взяв в расчет корпус и шасси робота: сила давления распределяется по четырем колесам, а сила тяги только по двум. Т.к. двигатели расположены диагонально (рисунок 2.1), рассмотрим вклад обоих.

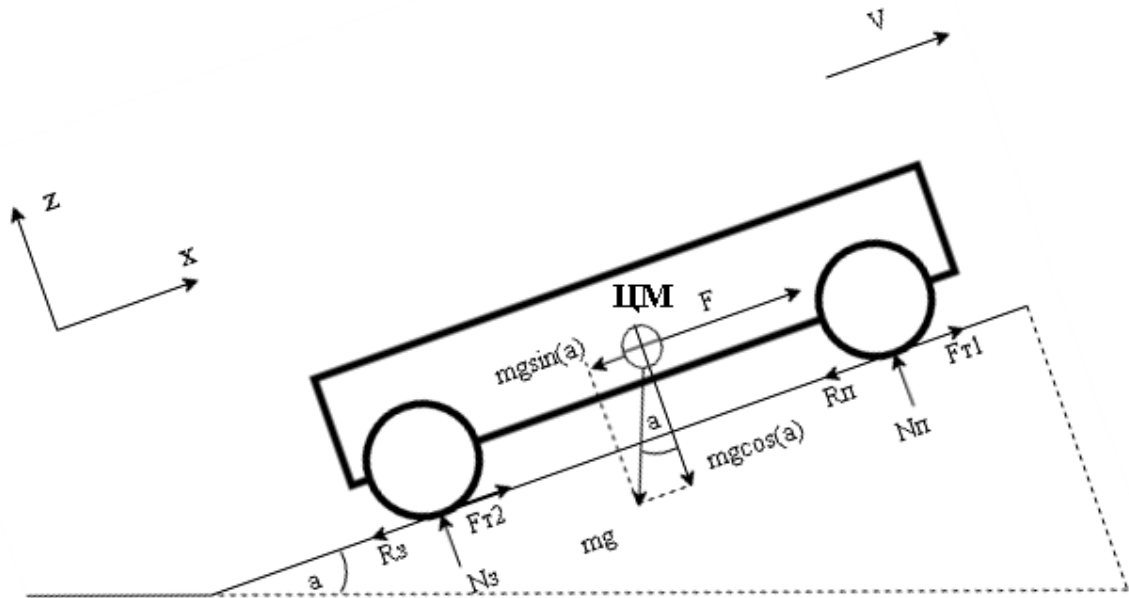


Рисунок 2.5 – Расстановка сил, действующих на робота (ЦМ – центр масс)

Запишем второй закон Ньютона для данной системы в проекции на ось Ох:

$$ma = F_{T1} + F_{T2} - 2R_{\Pi} - 2R_{З} - mgsin(\alpha) \quad (2.3)$$

где m – масса робота, кг;

a – ускорение робота, $м/с^2$;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

F_{T1}, F_{T2} – сила тяги первого и второго привода, Н;

$R_{\Pi}, R_{З}$ – сила трения качения переднего и заднего колеса, Н;

$N_{\Pi}, N_{З}$ – нормальная реакция опоры переднего и заднего колеса, Н.

α – угол наклона плоскости движения, °.

Исходя из формулы (2.3), механическая энергия, которая подводится к колесам робота, расходуется на преодоление сил сопротивления движению. К

ним относят сопротивление подъему, качению и воздуху[7]. Т.к. габариты робота невелики и он развивает скорость, несопоставимую со скоростями автомобиля, потерями на воздушное сопротивление можно пренебречь.

Рассмотрим силы, действующие на колесо (рисунок 2.6).

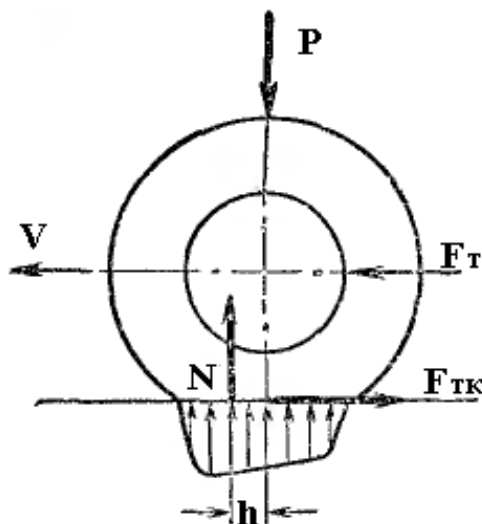


Рисунок 2.6 – Силы, действующие на колесо

На рисунке 2.6 видно, что на колесо действуют 4 силы:

- 1) P – вертикальная нагрузка, равная весу робота,
- 2) N – сила реакции опоры (пропорциональна силе давления)
- 3) $F_{ТК}$ – сила трения качения,
- 4) F_T - сила тяги привода.

При движении робота колеса продавливают грунт и на переднюю часть колеса действует большая сила реакции опоры, чем на заднюю, поэтому эпюра сил в передней части имеет большее значение (рисунок 2.6). Равнодействующая всех реакций N по модулю равна силе давления робота P . Суммарная реакция N создает момент $N \cdot h$, который противодействует качению колеса.

Из условия равновесия колеса:

$$N \cdot h = F_{ТК} \cdot r, \quad (2.4)$$

где r – радиус колеса, м.

Из (2.4) находим силу сопротивления качению:

$$F_{\text{Тк}} = N \frac{h}{r}, \quad (2.5)$$

Обозначим:

$$k = \frac{h}{r}. \quad (2.6)$$

Коэффициент k называют коэффициентом трения качения или коэффициентом трения второго рода. В таблице 3 приведены основные значения данного коэффициента для различных типов поверхностей[7].

Таблица 3. Значения коэффициента трения второго рода для различных типов поверхностей

Тип покрытия	Значение коэффициента трения второго рода	
	минимальное	максимальное
Асфальт	0,012	0,018
Гравий	0,004	0,07
Грунт	0,03	0,05
Песок	0,1	0,3

Сила сопротивления качению зависит от дорожных условий, материала колеса и скорости движения. Так как КМР движется в районе сельскохозяйственных посадок, где почва по большей части влажная, выберем коэффициент трения качения для песчаного покрытия. Данное значение коэффициента максимально в данной таблице и расчет обеспечит некоторый запас по силе трения качения для робота.

На сельскохозяйственных участках могут возникать дополнительные нагрузки при движении на спусках и подъемах, и это является дополнительной нагрузкой на приводы робота. Для расчета привода выберем крайний случай подъема в горку с уклоном в 15° . При этом робот будет испытывать дополнительное сопротивление подъему (рисунок 2.7).

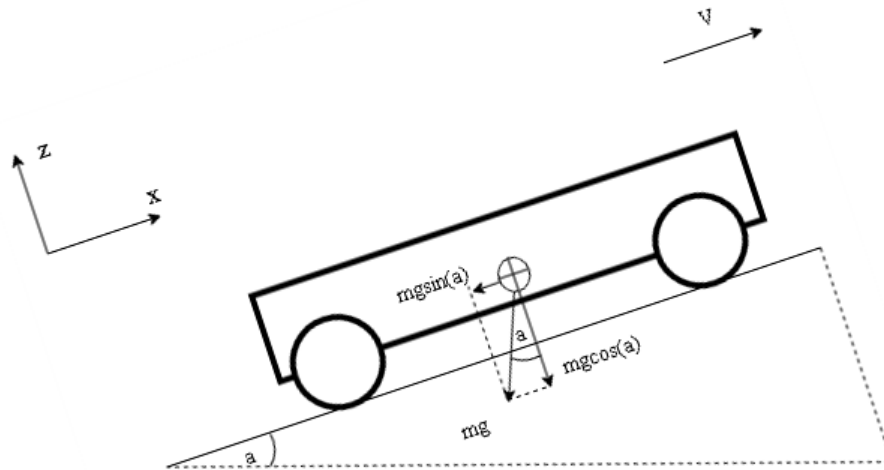


Рисунок 2.7 – Силы сопротивления подъему

Основной силой, препятствующей подъему КМР, является сила тяжести, которую можно разложить на две составляющие: сопротивление трению качения и сопротивление подъему, которые пропорциональны силе тяжести.

Сила сопротивления подъему $F_{\text{сп}}$ – составляющая силы сопротивления, которая направлена параллельно поверхности движения. Её еще называют скатывающей силой. Она определяется следующим выражением:

$$F_{\text{сп}} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha), \quad (2.7)$$

Перпендикулярно вертикальной составляющей действует сила трения качения $F_{\text{тк}}$, которая зависит от коэффициента сопротивления качению и силы тяжести:

$$F_{\text{тк}} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha), \quad (2.8)$$

Т.к. силы действуют одновременно, можно записать суммарную силу сопротивления движению КМР:

$$F_{\text{сопр}} = F_{\text{тк}} \pm F_{\text{сп}}, \quad (2.9)$$

или:

$$F_{\text{сопр}} = m \cdot g \cdot (f \cdot \cos(\alpha) \pm \sin(\alpha)), \quad (2.10)$$

Знак «+» берется в случае движения в гору, а знак «-» при движении под уклон. При анализе движения КМР выражение в скобках называют коэффициентом сопротивления поверхности:

$$\psi = f \cdot \cos(\alpha) \pm \sin(\alpha), \quad (2.11)$$

тогда:

$$F_{\text{сопр}} = \psi \cdot m \cdot g. \quad (2.12)$$

Используя (2.2), (2.3) и (2.10) запишем уравнения тягового баланса[6] КМР для расчета мощности приводов:

$$F_T = F_{\text{сопр}}, \quad (2.13)$$

Отсюда следует, что сила тяги приводов КМР затрачивается на преодоление сил сопротивления движению робота. Зная массу робота, коэффициент сопротивления трению качения и угол подъема, найдем значение силы тяги на сопротивление подъему, используя (2.10) и (2.13):

$$F_T = 5 \cdot 9,8 \cdot (0,3 \cdot 0,97 + 0,26) = 27,4 \text{ Н} \quad (2.14)$$

Зная выражение для механической работы выразим мощность движения тела под действием силы:

$$N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{(\vec{F} * \Delta \vec{r})}{\Delta t} = (\vec{F} * \vec{v}), \quad (2.15)$$

где F – сила;

v – линейная скорость робота.

Считая, что масса равномерно распределяется по всем 4-м колесам и сила тяги создается двумя приводами, вычислим мощность, которую необходимо развивать одному движителю для преодоления силы сопротивления:

$$N = F_T \cdot v \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{\eta} = 27,4 \cdot 0,15 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{0,65} = 3,2 \text{ [Вт]} \quad (2.16)$$

где n – количество приводов;

η – КПД редуктора.

Необходимый момент, развиваемый на валу двигателя, вычисляется по формуле:

$$M = F_T \cdot r \cdot \frac{1}{n} = 27,4 \cdot 0,06 \cdot \frac{1}{2} = 0,82 \text{ [Н} \cdot \text{м]} \quad (2.17)$$

где r – радиус колеса.

В таблицу 4 сведены требуемые характеристики мотор-редуктора.

Таблица 4. Требуемые характеристики мотор-редуктора

Напряжение, В	Мощность, Вт	Скорость вращения вала, об/мин	Момент, Н·м	Рабочий ток, А
12	3,2	26	0,82	0,27

По данным таблицы 4 был выбран двигатель с червячным редуктором модели CNMAWAY-ZGY370 (рисунок 3.1).

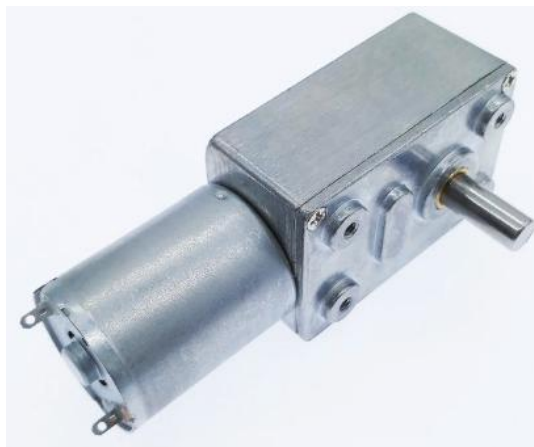


Рисунок 2.8 – Внешний вид двигателя с редуктором

Доступны модификации с частотой вращения вала редуктора 10, 20, 30 об/мин [8]. Для данного проекта решено выбрать частоту вращения в 30 об/мин близкую к расчетному значению в 26 об/мин. Рабочее напряжение – 12 В.

Технические характеристики мотор-редуктора по данным производителя[8] приведены в таблице 5.

Таблица 5. Технические характеристики мотор-редуктора двух комплектаций

Без нагрузки		Номинальная нагрузка				Предельная нагрузка (стан)		
Скорость, об/мин	Ток, мА	Скорость, об/мин	Ток, мА	Момент, Н·м	Выходная мощность, Вт	Момент, Н·м	Ток, А	Передаточное число редуктора
20	105	15	300	1,03	3,4	3	1	278
30	105	28	300	0,9	3,4	2,8	1	160

При номинальной нагрузке скорость вращения вала редуктора достигает 28 об/мин, выходная мощность составляет 3,4 Вт. Развиваемый момент на валу двигателя равен 1,03 Н·м. Данные характеристики оптимально подходят для работа массой в 5 кг. Заявленный КПД мотор-редуктора составляет 67,5%.

2.3 Выбор приводов для режущей кромки

Для режущей кромки характеристики приводов решено выбрать исходя из аналогичных характеристик триммера для стрижки газона марки BoshEasyGrassCut 12V. Характеристики устройства приведены в таблице 6[9].

Таблица 6. Характеристики триммера

Параметр	Значение
Ширина резки, мм	250
Время работы, ч	1,5
Скорость, об/мин	7000
Потребляемая мощность, Вт	12
Емкость аккумулятора, Li-Ion, мА*ч	2000

Такие триммеры использую в домохозяйствах для скашивания травы. Они обладают удобными габаритами, а двигатель в 7000 об/мин обеспечивает тщательную срезку травы. Данные триммеры питаются от аккумуляторов, аналогичных аккумуляторам шуруповёртов (12V). Исходя из потребляемой мощности триммера и скорости оборотов, было решено выбрать двигатель модели R380-2580 12V (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Модель двигателя R380-2580 12V

Из таких двигателей часто изготавливают мини-дрели для сверления плат с диаметром сверла 0,6-0,8 мм. Характеристики двигателя приведены в таблице 7[10].

Таблица 7. Характеристики привода модели R380-2580 12V

Параметр	Значение
КПД	68,9%
Ток, А	1,0
Скорость, об/мин	14380
Потребляемая мощность, Вт	11,93
Требуемая емкость аккумулятора, Li-Ion, мА*ч	2000
Развиваемый момент на валу, г*см	85

2.4 Выбор аккумуляторов

Для питания двигателей КМР, приводов режущей кромки и электроники необходимо выбрать аккумуляторные батареи, запаса энергии которых должно хватать на 1 час тестирования (таблица 8).

Таблица 8. Потребление тока комплектующих КМР

Потребитель	Потребление тока, А
Мотор редуктор, 2 шт	0,8
Электроника (контроллер, драйверы, датчики)	0,5
Двигатели режущей кромки, 3 шт	3
Итого с запасом	4,5

Для данного проекта было решено выбрать литий-ионную аккумуляторную батарею японского производителя модели NCR18650B. Данный тип аккумуляторов является самым перспективным из аккумуляторов, обладает высокими емкостными свойствами. Данные аккумуляторы широко применяются для питания бытовой техники и используются в автомобилях.

Характеристики батареи приведены в таблице 9[11].

Таблица 9. Потребление тока комплектующих КМР

Параметр	Значение
Емкость, мАч	3350
Напряжение (в скобках максимальное), В	4 (4,25)
Стандартный ток зряда, А	1,5
Время полного заряда, ч	4
Вес, г	46

Кривая разряда аккумулятора приведена на рисунке 2[10].

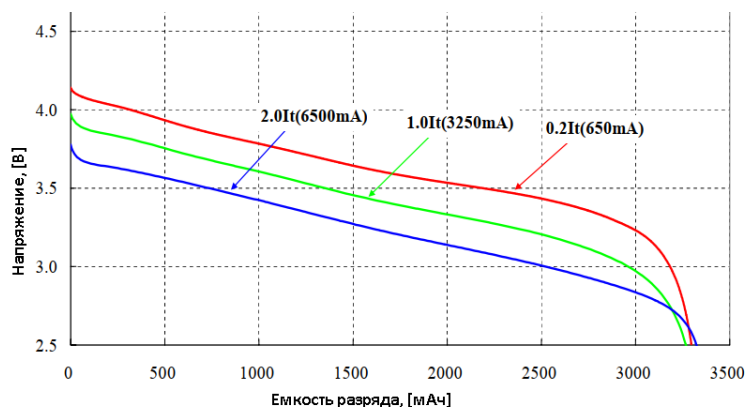


Рисунок 2.10 – Кривая разряда

Большинство литий-ионных аккумуляторов разряжаются до напряжения отсечки 3,0 В. Соответственно, если разряжать аккумулятор током в 2С (примерно 6,5 А) емкость просядет с 3,3 мАч до 2,5мАч. Кривые разряда представлены для нормальной температуры 20°.

Оптимальным током разряда для аккумулятора такого типа считается ток в 2А. Для обеспечения работы приводов (12 В) робота необходимо три аккумуляторных батареи, соединенных последовательно[13]:

$$U_{AB} = \sum_{n=1}^3 U_n = 3 * 4 = 12 \text{ [В]}, \quad (2.18)$$

где n — количество батарей.

U_{AB} — напряжение последовательного соединения;

Емкость соединенных последовательно аккумуляторных батарей остается неизменной:

$$C_{AB} = C = 3,3 \text{ А} \cdot \text{ч}, \quad (2.19)$$

где C — емкость аккумулятора.

Исходя из данных кривой разряда и расчетов по формулам (2.18) и (2.19) было решено выбрать две связки аккумуляторов по 3 батареи в каждой. Каждая связка выдает 12В (2.18) и имеет емкость 3,3 мАч (2.19). Исходя из таблицы 8 на каждую связку придется следующий ток разряда:

$$I_{\text{разр}} = \frac{4500}{2} = 2250 \text{ мА}. \quad (2.20)$$

По данным графика на рисунке 2.10, время работы аккумулятора до разряда составит 1 ч. Для тестирования первого прототипа КМР этого достаточно.

3. Разработка системы управления колесным мобильным роботом

3.1 Математическая модель колесного мобильного робота

Управление движением колесного мобильного робота является довольно сложной задачей, включающей в себя математический анализ объекта управления колесным мобильным роботом – электроприводом постоянного тока. В данном случае робота можно описать линейными и дифференциальными уравнениями для электропривода постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита. Рассмотрим математическую модель ДПТ с возбуждением от постоянного магнита для выбранного электропривода.

Электромагнитный момент $M_{дв}$ ДПТ с возбуждением от постоянного магнита прямо пропорционален току якоря $I_я$ [14]:

$$M_{дв} = c_m \cdot I_я, \quad (3.1)$$

где c_m – постоянная момента ДПТ, $\frac{Н \cdot м}{А}$.

При движении проводника в постоянном магнитном поле, в проводнике наводится электродвижущая сила. ЭДС, наводимая в катушках якоря, направлена против приложенного внешнего напряжения $U_я$, которое подводится к якору от источника питания. Эту силу называют противоЭДС и она зависит от угловой скорости вращения вала двигателя $\omega_{дв}$ [14]:

$$E = c_e \cdot \omega_{дв}, \quad (3.2)$$

где c_e – постоянная ЭДС двигателя, $\frac{В \cdot с}{рад}$.

Далее необходимо рассмотреть уравнения, которые объясняют все электромагнитные процессы в ДПТ. В цепи якоря протекает ток $I_я$, который является следствием приложенного напряжения от внешнего источника питания $U_я$ (рисунок 3.1).

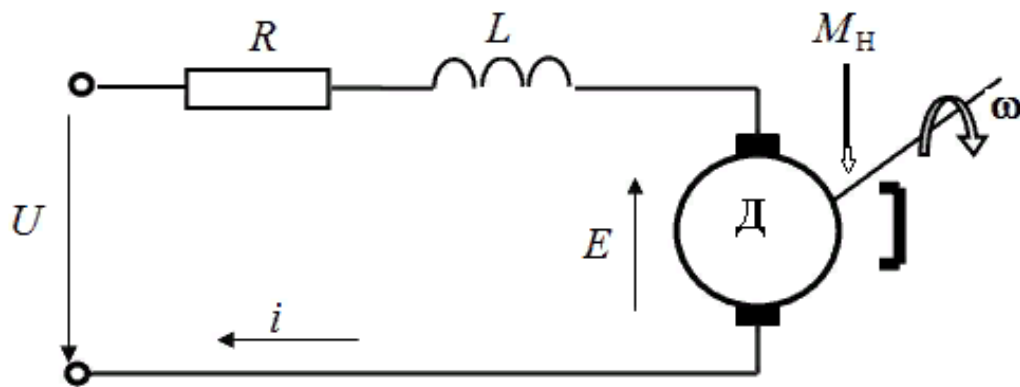


Рисунок 3.1 – Цепь двигателя постоянного тока с магнитоэлектрическим возбуждением

Якорная цепь ДПТ обладает активным сопротивлением $R_{\text{я}}$ на котором падает напряжение $R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$ и индуктивностью L , а ротор приводится в движение электромагнитным моментом $M_{\text{дв}}$, которому препятствует момент сопротивления на валу двигателя $M_{\text{с}}$. Пренебрегая относительно небольшим падением напряжения на щетках, по второму закону Кирхгофа запишем уравнение для ДПТ:

$$U_{\text{я}} - E = R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} + L \cdot \frac{dI_{\text{я}}}{dt}, \quad (3.3)$$

где $L \cdot \frac{dI_{\text{я}}}{dt}$ – ЭДС самоиндукции, возникающая в обмотке.

Механические процессы в ДПТ можно охарактеризовать следующим дифференциальным уравнением[14]:

$$J \frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt} = M_{\text{дв}} - M_{\text{с}}, \quad (3.4)$$

где J – момент инерции ротора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент инерции ротора можно определить как момент инерции сплошного цилиндра:

$$J = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{р}} \cdot r_{\text{р}}^2, \quad (3.5)$$

где $m_{\text{р}}$ – масса ротора, кг ;

r_p – радиус ротора, м.

Для построения операторно-структурной схемы ДПТ с возбуждением от постоянного магнита, приведем уравнения (3.1), (3.3) и (3.4) в операторную форму:

$$\begin{cases} U_{\text{я}}(p) = c_e \cdot \omega_{\text{дв}}(p) + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(p) + L \cdot p \cdot I_{\text{я}}(p) \\ M_{\text{дв}}(p) = c_m \cdot I_{\text{я}}(p) \\ J \cdot \omega_{\text{дв}}(p) = M_{\text{дв}}(p) - M_c(p) \end{cases} \quad (3.6)$$

где p – оператор дифференцирования.

Далее в каждом уравнении необходимо выделить независимые переменные как выходные, и вынести их в левую часть:

$$\begin{cases} I_{\text{я}}(p) = \frac{1}{R_{\text{я}} + L(p) \cdot p} \cdot (U_{\text{я}}(p) - c_e \cdot \omega_{\text{дв}}(p)) \\ M_{\text{дв}}(p) = c_m \cdot I_{\text{я}}(p) \\ \omega_{\text{дв}}(p) = \frac{M_{\text{дв}}(p) - M_c(p)}{J(p)} \end{cases} \quad (3.7)$$

Систему уравнений (3.7) можно последовательно преобразовать в графическую форму (рисунок 3.2).

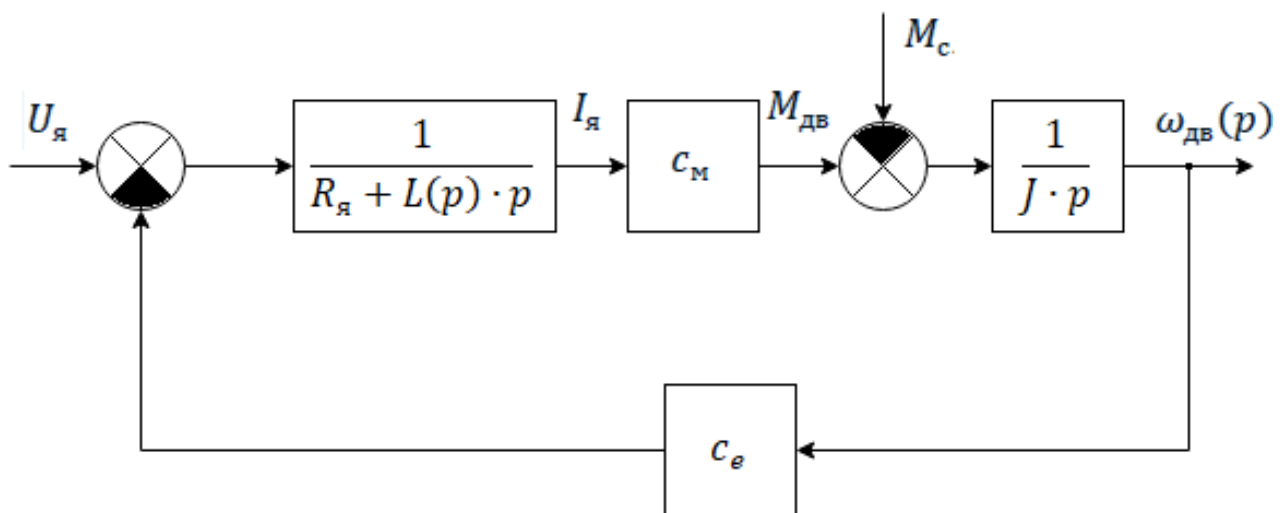


Рисунок 3.2 – Операторно-структурная схема ДПТ

Как видно из операторно-структурной схемы на рисунке 3.2. обратная связь по скорости вращения обеспечивается постоянной ЭДС двигателя.

Для моделирования переходного процесса и нахождения установившегося значения и времени переходного процесса, необходимо поставить численные значения в систему уравнений 3.7. Сопротивление якорной обмотки, измеренное с помощью мультиметра, составило 4,5 Ом. Приближенное значение индуктивности находится по следующей формуле[13].

$$L = \gamma \cdot \frac{U_{\text{я}}}{I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}} \cdot \frac{60}{2m \cdot \pi \cdot n_{\text{дв}}}, \quad (3.8)$$

где γ – экспериментальный коэффициент для ДПТ;

m – число пар полюсов ($m=2$ для данной марки ДПТ).

Для ДПТ без компенсационной обмотки коэффициент $\gamma = 0,63$.

Частоту вращения вала двигателя получим исходя из скорости вращения вала редуктора n_p и передаточного числа $\varepsilon = 160$ из таблицы 2.4:

$$n_{\text{дв}} = \sigma \cdot n_p = 160 \cdot 28 = 4480 \text{ об/мин}, \quad (3.9)$$

Подставив значения в (3.8) получим:

$$L = 0,63 \cdot \frac{12}{0,3 \cdot 4,5} \cdot \frac{60}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 4480} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (3.10)$$

ПротивоЭДС находится из следующего уравнения[14]:

$$E = U_{\text{я}} - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}, \quad (3.11)$$

Подставим значение питающего напряжения и номинального тока в (3.11) и получим:

$$E = 12 - 4,5 \cdot 0,3 = 10,65 \text{ В}, \quad (3.12)$$

Используя формулы (3.1) и (3.2) и соответствующие значения параметров определим конструктивные коэффициенты.

Постоянная момента на валу двигателя:

$$c_m = \frac{M_{дв}}{I_я} = \frac{0,9}{0,3} = 3, \quad (3.13)$$

Для вычисления постоянной ЭДС найдем угловую скорость вращения вала двигателя:

$$\omega_{дв} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{дв}}{60} = 468 \text{ рад/с}, \quad (3.14)$$

Тогда, постоянная ЭДС:

$$c_e = \frac{E}{\omega_{дв}} = \frac{10,65}{468} = 0,023, \quad (3.15)$$

Момент инерции для ротора приблизительно рассчитывается по формуле (3.5):

$$J = \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot 0,0125^2 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (3.16)$$

Подставив численные значения в операторно-структурную схему, приведенную на рисунке 3.2, получим операторно-структурную схему для моделирования переходных процессов (рисунок 3.3).

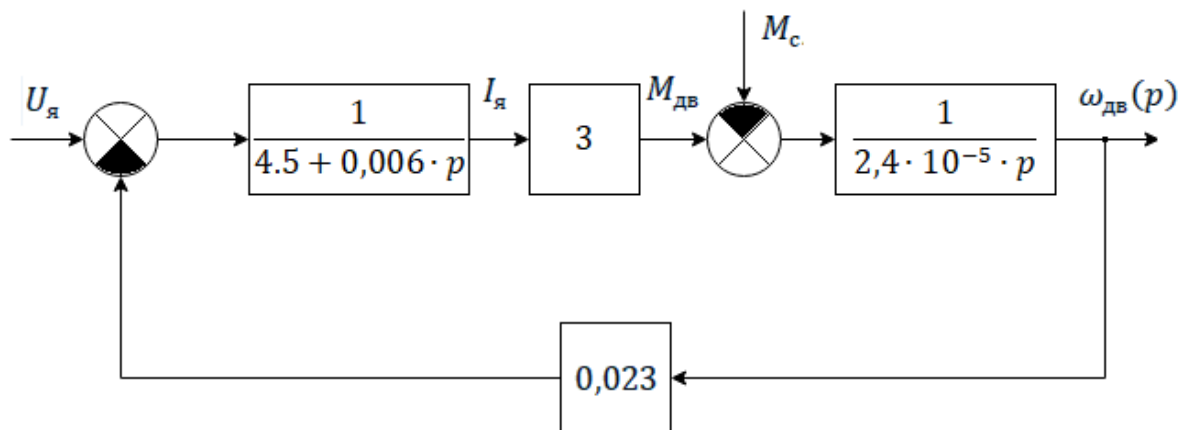


Рисунок 3.3 – Операторно-структурная схема ДПТ с числовыми параметрами

Построим и смоделируем схему в Matlab Simulink (рисунок 3.4).

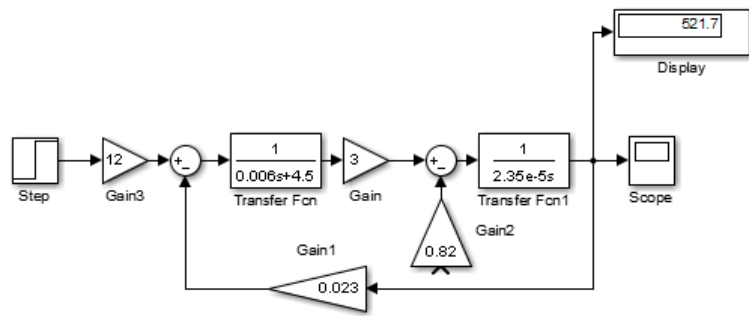


Рисунок 3.4 – Операторно-структурная схема в Matlab Simulink

Построим графики переходных процессов (рисунки 3.5-3.6).

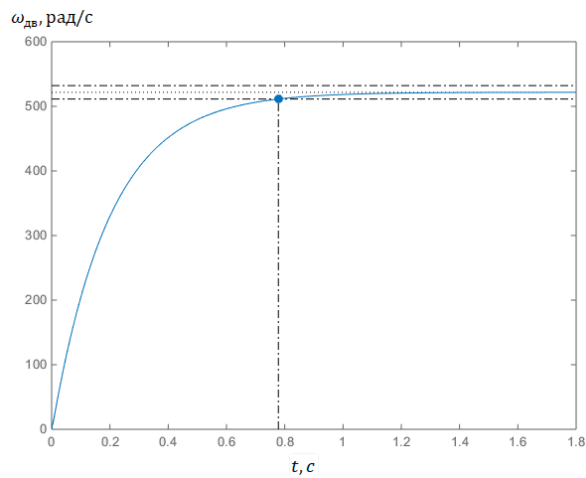


Рисунок 3.5 – График переходного процесса скорости при номинальной нагрузке

Из графика переходной характеристики для угловой скорости вращения вала двигателя видно, что установившийся режим наступает через 0,8 секунд после подачи напряжения на ДПТ. Перерегулирование в системе отсутствует.

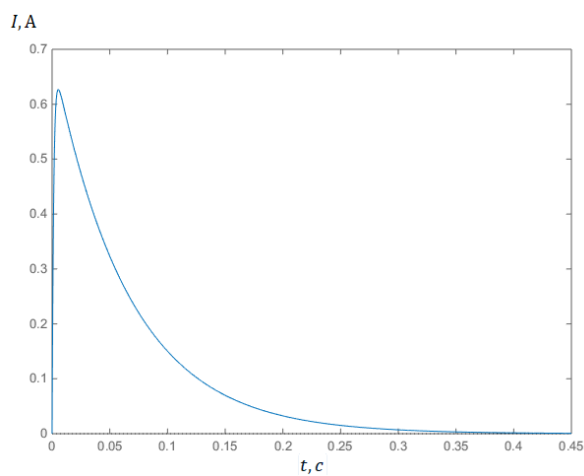


Рисунок 3.6 – График переходного процесса по току при номинальной нагрузке

3.2 Реализация системы управления приводами робота

В рамках данной бакалаврской работы необходимо реализовать систему тестирования движения колесного мобильного робота по мягкому грунту. Объектом управления является электропривод постоянного тока, на вход которого подается постоянное напряжение 12 вольт с аккумуляторной батареи. На выходе необходимо получать постоянную скорость вращения вала редуктора (26-28 об/мин).

Для управления электроприводами был выбран драйвер марки L-298N. Достоинством данного модуля является его дешевизна, двухканальная работа. Драйвер позволяет обеспечить гибкое управление двух электроприводов с потреблением тока до 2 А каждый при напряжении нагрузки от 4,5 до 36 В. Вся логика драйвера питается от напряжения в 5 В. Основная микросхема драйвера состоит из двух Н-мостов, предназначенных для управления мотором и изменением его направления вращения. Принцип работы Н-моста представлен на рисунке 3.7.

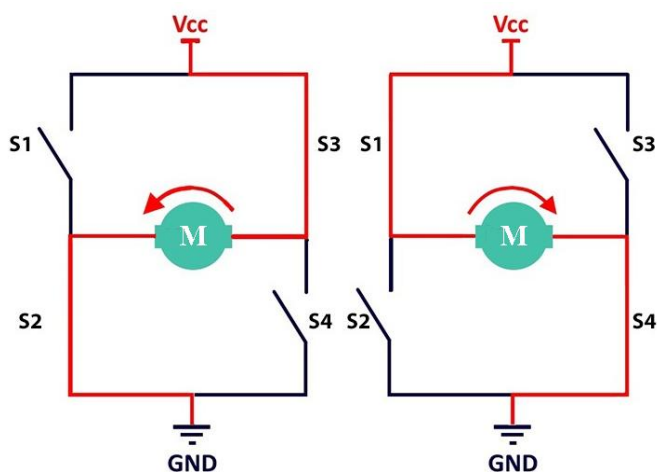


Рисунок 3.7 – Принцип работы Н-моста

Также с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) можно регулировать скорость вращения вала двигателя. Рисунок 3.8 демонстрирует принцип работы ШИМ.

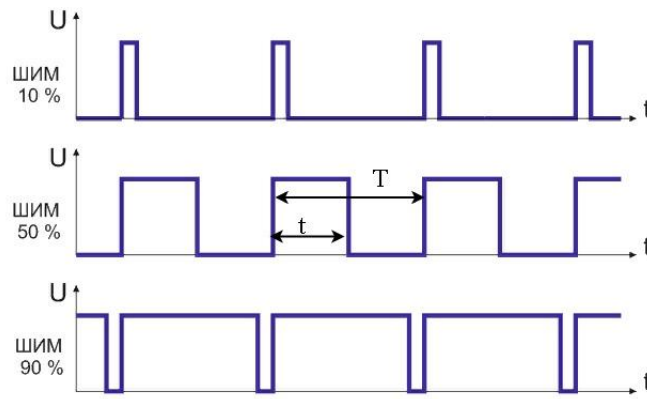


Рисунок 3.8 – Широтно-импульсная модуляция

Из рисунка 3.8 можно выделить такие составляющие импульсов, как T – период импульса и t – длительность импульса. Регулируя длительность импульса можно управлять скоростью вращения вала двигателя. Охарактеризовать ШИМ-сигнал можно с помощью коэффициента заполнения D :

$$D = \frac{t}{T} \cdot 100\%. \quad (3.17)$$

При данном типе управления скоростью скорость вращения вала двигателя будет прямопропорциональна коэффициенту заполнения.

Рассмотрим входы и выходы драйвера и выберем из них необходимые для работы робота. Внешний вид драйвера L-298N приведен на рисунке 3.9.

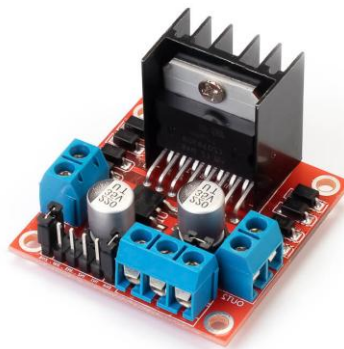


Рисунок 3.9 – Драйвер L-298N

Выводы драйвера и их назначение приведены в таблице 10[15].

Таблица 10. Выводы драйвера L-298N

Вывод	Назначение вывода
Vss	Питание для электроприводов от 4,5 до 36 В
GND	Вывод заземления
Vs	Питание логики драйвера 5 В
ENA-перемычка	Управление скоростью электропривода № 1
ENB-перемычка	Управление скоростью электропривода № 2
IN1, IN2	Управление направлением вращения электропривода № 1
IN3, IN4	Управление направлением вращения электропривода № 2
OUT1, OUT2	Разъемы для подключения электропривода № 1
OUT3, OUT4	Разъемы для подключения электропривода № 2

Для данного робота необходимо поддерживать постоянную скорость движения. Поэтому для алгоритма тестирования КМР с помощью ШИМ будет задано два значения скорости – максимальная и половина от максимальной для определения потребляемого приводами тока и возможного проскальзывания колес. Функциональная электрическая схема первого прототипа робота изображена на рисунке 3.10.

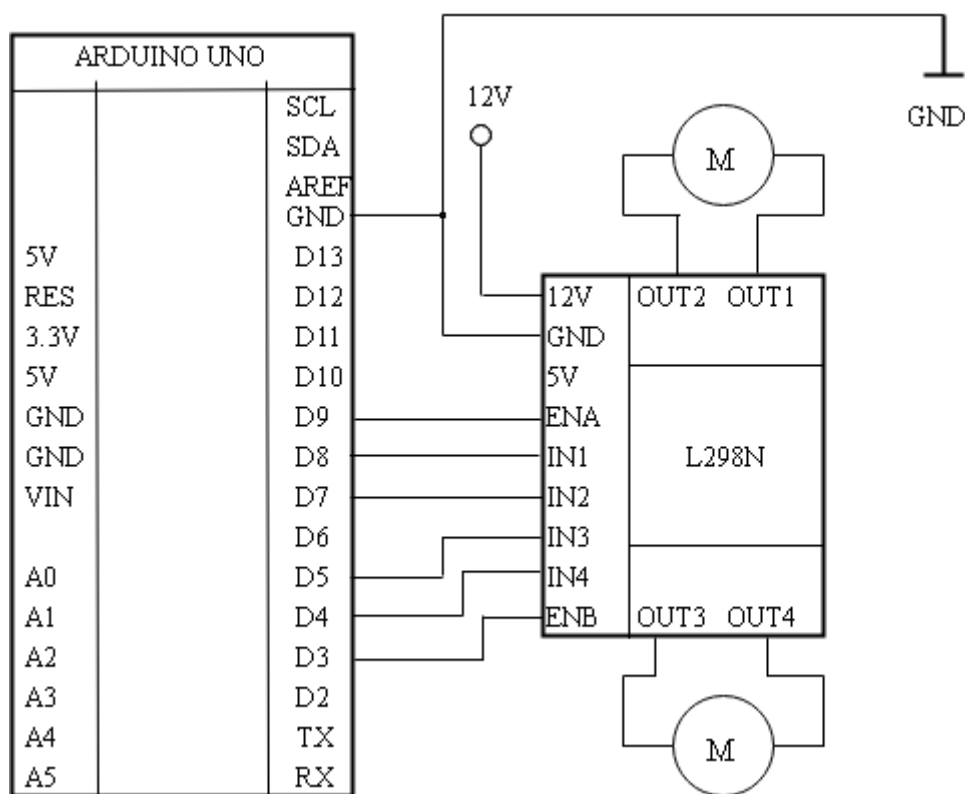


Рисунок 3.10 – Функциональная электрическая схема первого прототипа

Управление драйвером двигателя осуществляется с помощью платы Arduino Uno (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Arduino Uno

Данная плата основана на контроллере AtMega 328 и широко используется в робототехнике для реализации несложных алгоритмов. Основные характеристики платы представлены в таблице 11[16].

Таблица 11. Характеристики платы Arduino Uno

Параметр	Значение
Рабочее напряжение, В	5
Цифровые входы, шт	14 (6 – для ШИМ)
Аналоговые входы, шт	6
Флэш-память, кБ	32
Постоянный ток через вывод, мА	40

3.3 Алгоритм для тестирования платформы

Рассмотрим кинематическую модель робота. Который приводится в движение двумя ведущими независимыми колесами, которые расположены симметрично относительно центра масс робота (точки С) (рисунок 3.11).

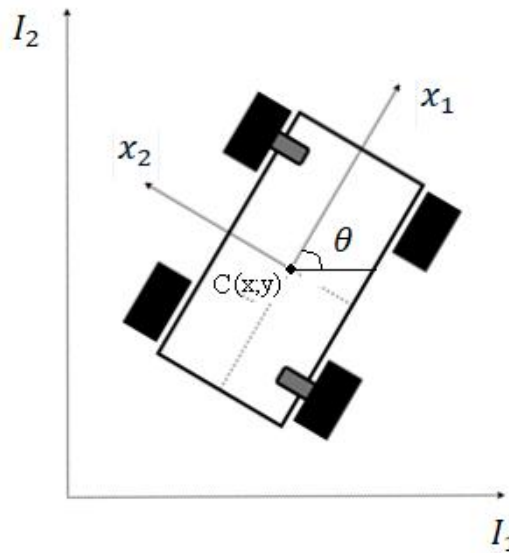


Рисунок 3.11 – Кинематическая схема робота

Координаты робота можно описать как абсолютной СК $I = (I_1, I_2)$, так и в относительной СК $x = (x_1, x_2)$. В таком случае линейную скорость робота V можно разделить на две составляющие[2]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = V \cdot \cos(\theta) \\ \dot{x}_2 = V \cdot \sin(\theta) \end{cases} \quad (3.18)$$

В случае прямолинейного движения значения скоростей на правом и левом двигателе одинаковы и сонаправлены, т.к. величина и полярность напряжения совпадают на обоих двигателях. Поэтому задача управления заключается в одновременной подаче напряжения одной полярности на оба двигателя при прямолинейном движении. Для реализации поворота на заднем двигателе меняется полярность питающего напряжения, что заставляет его вращаться в противоположную сторону, тем самым осуществляя поворот. Обозначим управляющие переменные:

U1 – для первого двигателя,

U2 – второго двигателя.

Алгоритм 30-секундного тестирования платформы при прямолинейном движении представлен на рисунке 3.13.

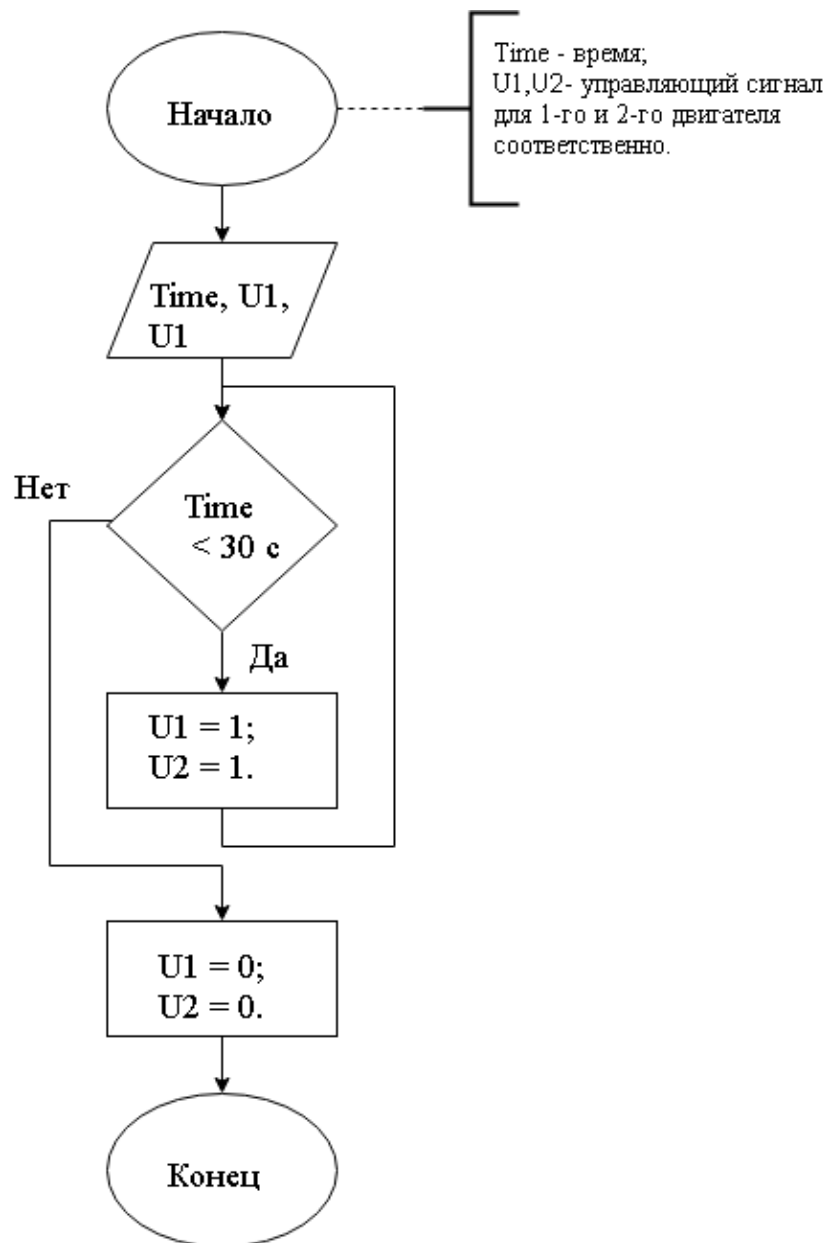


Рисунок 3.13 – Алгоритм прямолинейного движения

Код программы для Arduino представлен в приложении А.

Для данной кинематической схемы поворот выполняется переключением полярности питающего напряжения на правом двигателе. Алгоритм схож с алгоритмом прямолинейного движения, однако вал заднего двигателя вращается в противоположную сторону (рисунок 3.14).

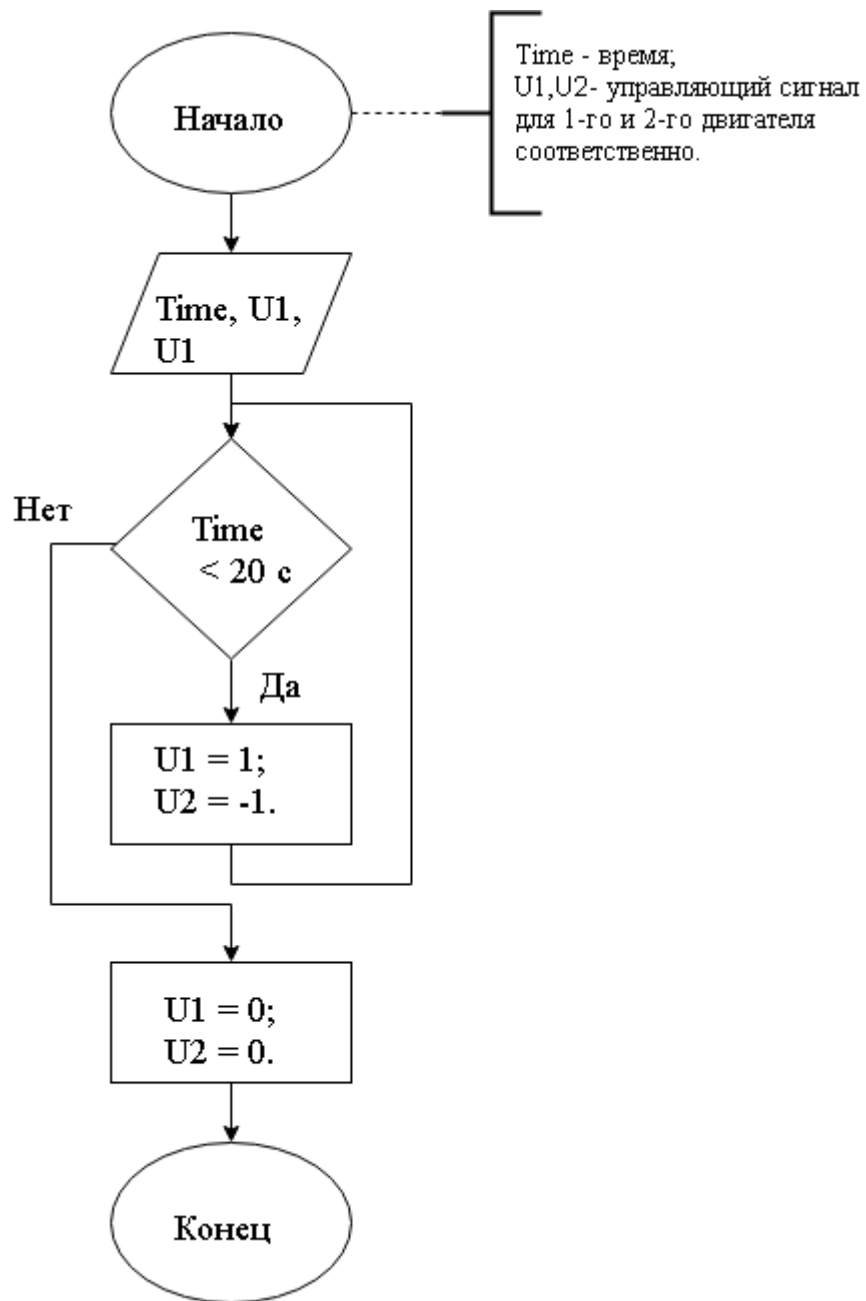


Рисунок 3.14 – Алгоритм поворота

Код программы по алгоритму поворота для Arduino представлен в приложении Б.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время робототехника активно внедряется в производство, научную деятельность, медицину и сельское хозяйство. Для России целесообразно применение роботов в сельском хозяйстве, т.к. страна обладает огромными площадями для сельскохозяйственных посадок. Особенно тяжелым является ручной труд по удалению сорняков.

Целью данной работы является разработка сельскохозяйственного мобильного робота для удаления сорняков на посадках саженцев плодово-ягодных культур и винограда.

Цель данного раздела – провести детальный анализ проекта по критериям конкурентоспособности и ресурсоэффективности. Оценить перспективность проекта, определить трудоемкость и график работ, а также рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности и затраты на разработку.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Перед планированием работы, определением ресурсного и экономического потенциала разработки колесного мобильного робота, следует уделить особое внимание оценке коммерческого потенциала и перспективности новой разработки в целом, дать характеристику и определить сегмент рынка, на который будет ориентироваться компания, при продаже своей продукции.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Колесный мобильный робот может применяться на сельскохозяйственных предприятиях, которые занимаются выращиванием и размножением саженцев плодово-ягодных культур.

4.1.2 SWOT-анализ

На основе анализа рынка была составлена матрица SWOT анализа, которая показывает сильные и слабые стороны проекта, потенциальные возможности и угрозы для разработки. Матрица SWOT анализа представлена в таблице 12.

Таблица 12 – SWOT анализ

Внешние факторы		Внутренние факторы	
		Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
		- С1. Универсальность колесной платформы, - С2. Низкая стоимость производства, - С3. Снижение затрат на восполнение потерь урожая от сорняков. - С4. Простота и компактность корпуса.	- Сл1. Отсутствие востребованности на российском рынке, - Сл2. Наличие только бюджетного финансирования, - Сл3. Длительный срок поставок комплектующих, - Сл4. Быстрый износ приводов.
	Возможности: - В1. Появление спроса на робота, - В2. Получение внебюджетных грантов на развитие проекта, - В3. Выход на международный рынок сельскохозяйственных роботов, - В4. Участие в конференциях и конкурсах.		
	Угрозы: - У1. Невостребованность робота в России, - У2. Появление новых конкурентов, - У3. Несвоевременное финансирование разработки, - У4. Низкая надежность комплектующих прототипа.		

В таблице 4.1 приведен первый этап анализа – описание сильных и слабых сторон проекта, а также обнаружение возможностей и угроз для реализации проекта. Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон

разработанного проекта условиям окружающей среды. Этап нужен для выявления необходимости стратегических изменений.

Знак «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, «-» – слабое соответствие, «0» – в случае сомнений. Интерактивные матрицы приведены в таблицах (13 – 16).

Таблица 13 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	+	0	+
	B2	-	+	-	-
	B3	0	+	+	0
	B4	+	-	-	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	+	+	0
	B2	0	-	-	-
	B3	0	+	-	-
	B4	-	+	-	-

Таблица 15 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	+	+	+	-
	У2	0	+	-	+
	У3	-	0	-	-
	У4	0	+	-	+

Таблица 16 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	-	-
	У2	+	-	-	-
	У3	0	+	+	+
	У4	-	-	+	+

Третий этап включает в себя составление итоговой матрицы SWOT-анализа на основе полученной таблицы SWOT-анализа и интерактивных таблиц (таблица 17).

Таблица 17 – Итоговая матрица SWOT-анализа

Внешние факторы		Внутренние факторы	
		Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
		- С1. Универсальность колесной платформы, - С2. Низкая стоимость производства, - С3. Снижение затрат на восполнение потерь урожая от сорняков. - С4. Простота и компактность корпуса.	- Сл1. Отсутствие востребованности на российском рынке, - Сл2. Наличие только бюджетного финансирования, - Сл3. Длительный срок поставок комплектующих, - Сл4. Быстрый износ приводов.
	Возможности: - В1. Появление спроса на робота, - В2. Получение внебюджетных грантов на развитие проекта, - В3. Выход на международный рынок сельскохозяйственных роботов, - В4. Участие в конференциях и конкурсах.	- В1С1С2. Возможность применения бюджетной колесной мобильной платформы для других задач робототехники, - В3С2С3. Занятие устойчивой ниши на мировом рынке сельскохозяйственных роботов.	- В1Сл1Сл2Сл3. В случае появления спроса необходимо создать конкурентоспособного и доступного робота в нескольких экземплярах, имея необходимый запас деталей. - В4Сл2. Поиск спонсоров на выставках и конкурсах.
	Угрозы: - У1. Невостребованность робота в России, - У2. Появление новых конкурентов, - У3. Несвоевременное финансирование разработки, - У4. Низкая надежность комплектующих прототипа.	- У1С1С2. Возможность применения колесной платформы в других задачах робототехники, - У2С2С4. Преимуществ в стоимости и простоте - У4С2С4. Возможность простой и дешевой замены вышедших из строя элементов	- У1Сл1Сл2. Совершенствовать систему, участвовать в конкурсах и выставках для продвижения робота на рынке. - У3У4Сл3Сл4. Создать запас комплектующих на случай экстренных ситуаций.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для организации и систематизации работы выпускника был сформирован план работ. Данный этап обеспечил своевременное и эффективное выполнение задания выпускной квалификационной работы.

Для осуществления разработки, был сформирован ряд работ и назначены должности исполнителей для каждого этапа работы (таблица 18).

Таблица 18 – Перечень работ по проекту

№ работы	Наименование работы	Исполнители работы
1	Выбор научного руководителя бакалаврской работы	Завгородний Я.К.
2	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Мамонова Т.Е., Завгородний Я.К.
3	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Мамонова Т.Е.
4	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Завгородний Я.К.
5	Анализ предметной области	Завгородний Я.К.
6	Проектирование колесного мобильного робота: создание эскизов и 3D-модели	Завгородний Я.К.
7	Проектирование колесного мобильного робота: расчет механики и кинематики, выбор приводов и исполнительных звеньев	Завгородний Я.К.
8	Разработка алгоритма тестирования колесного мобильного робота	Завгородний Я.К.
9	Проектирование системы управления	Завгородний Я.К.
10	Оформление чертежей и электрических схем	Завгородний Я.К.
11	Сборка и тестирование прототипа робота	Завгородний Я.К.
12	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Мамонова Т.Е., Завгородний Я.К.
13	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Завгородний Я.К..
14	Подведение итогов, оформление работы	Завгородний Я.К.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для того чтобы определить трудоемкость работ, используются следующие показатели:

- Ожидаемое значение трудоемкости,
- Продолжительность каждой работы,
- Продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях,
- Коэффициент календарности.

Расчет ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ осуществляется согласно формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

где t_{min} – минимально возможная трудоемкость i -ой работы, чел.-дни,

t_{max} – максимально возможная трудоемкость i -ой работы, чел.-дни.

Далее определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика, осуществляется перевод длительности каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2019 году 365 календарных дней, из них 66 выходных или праздничных дней, следовательно, $k_{кал} = 1,22$. Расчеты по трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 8. Диаграмма Ганта, построенная по рассчитанным показателям, представлена на рисунке 4.1.

Таблица 19 – Временные показатели осуществления разработки

№	Наименование работы	Исполнители работы	Трудоемкость работ, чел.-дни			Длительность работ, дни	
			t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	T_p	T_k
1	Выбор научного руководителя бакалаврской работы	Завгородний Я.К.	1	2	1,4	1	1
2	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Завгородний Я.К.	3	4	3,4	2	2
		Мамонова Т.Е.	3	4	3,4	2	2
3	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Мамонова Т.Е.	2	4	2,8	3	4
4	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Завгородний Я.К.	5	8	6,2	6	7
5	Анализ предметной области	Завгородний Я.К.	8	11	9,2	9	11
6	Проектирование колесного мобильного робота: создание эскизов и 3D-модели	Завгородний Я.К.	12	16	13,6	14	17
7	Проектирование колесного мобильного робота: расчет механики и кинематики, выбор приводов и исполнительных звеньев	Завгородний Я.К..	12	16	13,6	14	17
8	Разработка алгоритма тестирования колесного мобильного робота	Завгородний Я.К.	15	18	16,2	16	20
9	Проектирование системы управления	Завгородний Я.К.	14	17	15,2	15	18
10	Оформление чертежей и электрических схем	Завгородний Я.К.	7	10	8,2	8	10
11	Сборка и тестирование прототипа робота	Завгородний Я.К.	14	17	15,2	15	18
12	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Завгородний Я.К.	3	5	3,8	2	2
		Мамонова Т.Е.	3	5	3,8	2	2
13	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Завгородний Я.К.	5	7	5,8	6	7
14	Подведение итогов, оформление работы	Завгородний Я.К.	3	4	3,4	3	4

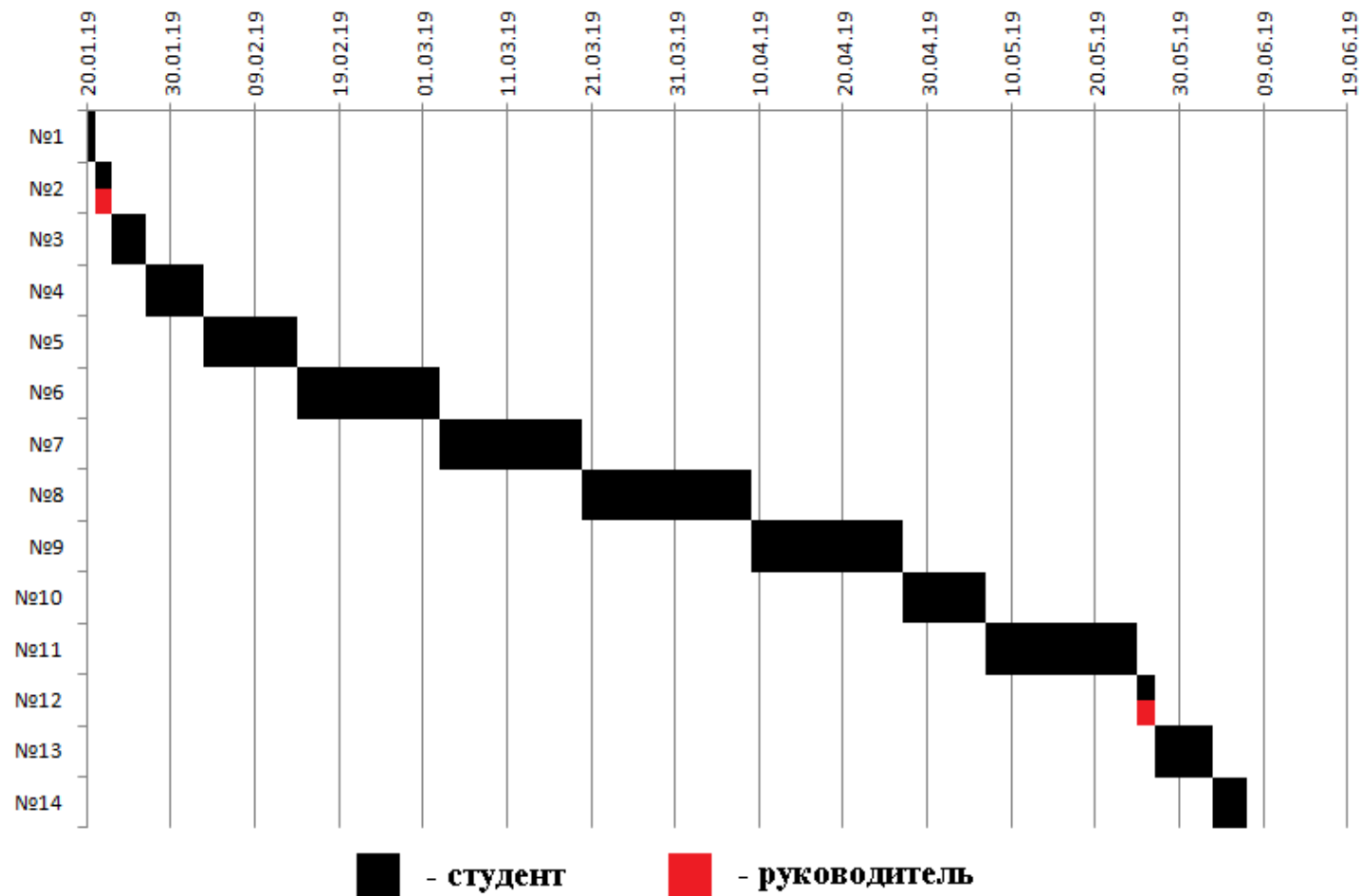


Рисунок 4.1 – Диаграмма Гантта: этапы выполнения работ (сверху), загруженность исполнителей (снизу)

4.2.4 Бюджет научно-технической разработки

4.2.4.1 Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.5)$$

где $З_m$ – материальный затраты (руб.);

k_T – коэффициент учета транспортных и заготовительных расходов (15%);

m – количество видов материальных ресурсов;

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг и т.д.);

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида.

Все расчеты по данной формуле приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет материальных затрат

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена аз единицу, руб.	Затраты на материалы ($З_m$), руб.
Корпус	Шт.	1	2500	2500
Мотор-редуктор	Шт.	2	800	1600
Двигатель постоянного тока	Шт.	3	400	1200
Arduino Uno	Шт.	1	500	500
Ультразвуковой датчик	Шт.	2	120	240
Драйвер двигателя L-298N	Шт.	3	120	360
Мультиметр	Шт.	1	600	600
Аккумуляторы	Шт.	6	200	1200
Провода	м	2	50	100
Припой	г	100	3	300
Преобразователь напряжения	Шт.	2	80	160
Колеса	Шт.	4	250	1000
Нож для резки травы	Шт.	3	100	300
Wifi-модуль для Arduino	Шт.	1	100	100
Амперметр	Шт.	1	150	150
Итого				10310

Таким образом, общая сумма материальных затрат составляет 10310 руб.

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 21.

Таблица 21. Затраты на специальное оборудование

№ п/п	Наименование	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Стоимость оборудования, руб.
1	Персональный компьютер	1	19000	19000
2	Паяльник	1	1000	1000
3	Мультиметр	1	800	800
4	Шурупверт	1	1500	1500
Итого				22300

Расчет амортизации персонального компьютера, используемого при написании работы: первоначальная стоимость персонального компьютера составляет 19000 рублей; срок полезного использования для офисных машин – 3 года; планируется использовать персональный компьютер для написания ВКР в течение 6 месяцев. Тогда:

- норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,33 \%, \quad (4.6)$$

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_r = 19000 \cdot 0,33 = 6333 \text{ руб.}, \quad (4.7)$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{6333}{12} = 528 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 528 \cdot 6 = 3168 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Проведем аналогичный расчет для паяльника, шуруповерта и мультиметра и результаты расчетов сведем в таблицу 22.

Таблица 22. Результаты расчета амортизации оборудования

	Персональный компьютер	Паяльник	Мультиметр	Шурупверт	Итого
Первоначальная стоимость, руб.	19000	1000	800	1500	
Срок полезного использования, месяцы	36	48	48	36	
Планируемый срок использования, месяцы	6	1	2	1	
$A_n, \%$	33,33	25	25	33,33	
A_r , руб.	6333	250	224	495	
A_m , руб.	528	20,83	18,67	41,25	
A , руб.	3168	20,83	37,34	41,25	3267,42

Таким образом, итоговая сумма амортизации составила 3267,42 рубля.

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Месячный оклад руководителя ТПУ с должностью доцента и степенью кандидата наук составляет 33664 рубля (без учета районного коэффициента, но с учетом премиальных и надбавок), для студента был взят оклад ассистента без научной степени – 21760 рублей.

В таблице 23 показаны количества календарных, нерабочих и праздничных дней, дней, пришедшихся на потерю рабочего времени, и действительный годовой фонд рабочего времени F_d .

Таблица 23 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	243

Количество месяцев работы без отпуска принимается за $M = 10,4$ (с учетом длительности отпуска в 48 дней). Тогда, зная месячную заработную плату, можно рассчитать среднедневную заработную плату:

$$z_{\text{рук}}^{\text{рук}} = \frac{z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33664 \cdot 10,4}{243} = 1441,76 \text{ руб.}, \quad (4.10)$$

$$z_{\text{студ}}^{\text{студ}} = \frac{z_m \cdot M}{F_d} = \frac{21760 \cdot 10,4}{243} = 931,29 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

Расчет основной заработной платы с учетом рассчитанных значений представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет основной заработной платы

№ раб	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Завгородний Я.К.	2	931,29	1862,58
2	Завгородний Я.К.	4	931,29	3725,16
	Мамонова Т.Е.	4	1441,76	5767,04
3	Завгородний Я.К.	4	931,29	3725,16
4	Завгородний Я.К.	8	931,29	7450,32
5	Завгородний Я.К.	11	931,29	10244,19
6	Завгородний Я.К.	16	931,29	14900,64
7	Завгородний Я.К.	16	931,29	14900,64
8	Завгородний Я.К.	18	931,29	16763,22
9	Завгородний Я.К.	17	931,29	15831,93
10	Завгородний Я.К.	10	931,29	9312,9
11	Завгородний Я.К.	17	931,29	15831,93
12	Завгородний Я.К.	5	931,29	4656,45
	Мамонова Т.Е.	5	1441,76	7208,8
13	Завгородний Я.К.	7	931,29	6519,03
14	Завгородний Я.К.	4	931,29	3725,16
Итого				142425,2

Расчет основной заработной платы осуществляется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_p, \quad (4.12)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.,

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

$K_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент,

$K_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок,

K_p – районный коэффициент.

Результаты соответствующих расчетов приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{д}}$	K_p	T_p	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Студент	931,29	0,3	0,2	1,3	114	207025,77
Научный руководитель	1441,76	0,3	0,2	1,3	4	11245,73
Итого						218271,50

4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Зная основную заработную плату, можно рассчитать дополнительную заработную плату в размере 12 % от основной:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4.13)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительная заработная плата,

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата.

Таблица 26– Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$З_{\text{осн}}$, руб.	$З_{\text{доп}}$, руб.
Студент	0,12	207025,77	24843,09
Научный руководитель	0,12	11245,73	1349,49
Итого			26192,58

4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются как:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.14)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент внебюджетные фонды; в 2019 г., в соответствии с Федеральным законом для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, используется пониженная ставка – 30%,

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата,

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Таблица 27 – Расчет страховых отчислений

Исполнители	$k_{\text{внеб}}$	$З_{\text{доп}}$	$З_{\text{осн}}$	$З_{\text{внеб}}$
Студент	0,30	24843,09	207025,77	69560,66
Научный руководитель	0,30	1349,49	11245,73	3778,56
Итого				73339,22

4.2.4.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д.:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма статей расходов}), \quad (4.15)$$

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

Таблица 28 – Расчет накладных расходов

Статьи затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	10310
Затраты на амортизацию	3267,42
Затраты на основную заработную плату	218271,50
Затраты на дополнительную заработную плату	26192,58
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	73339,22
Накладные расходы	53020,91

4.2.4.9 Формирование бюджета затрат проекта разработки

Рассчитанные величины затрат научно-исследовательской работы являются основой для формирования бюджета затрат проекта. Результаты составления итогового бюджета разработки представлены в таблице 4.18.

Таблица 29 – Бюджет затрат на разработку

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	10310	2,22
Затраты на амортизацию	3267,42	0,70
Затраты на основную заработную плату	218271,50	56,78
Затраты на дополнительную заработную плату	26192,58	6,81
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	73339,22	19,08
Накладные расходы	53020,91	13,79
Общий бюджет	384401,63	100

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки

В ходе осуществления оценки конкурентной и бюджетной эффективности разработки было установлено, что разработанная система обладает высоким уровнем конкурентоспособности; общая длительность разработки составляет 133 календарных дня (период с 21.01.2019 по 06.06.2019); общий бюджет был оценен в 384401,62 рубля.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

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

$$I_{pi} = \sum a_i b_i, \quad (4.16)$$

где, I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки, a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки, b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 30 приведена сравнительная характеристика между разработкой автора, французским роботом «Vitirover» и швейцарским роботом-культиватором «Oz».

Таблица 30. Сравнительная характеристика ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта.

Критерии	Важность	Весовой коэффициент	Vitirover	OZ	Разработка студента
1. Удобство использования, габариты	5	0,26	4	5	7
2. Стоимость	5	0,26	3	1	10
3. Универсальность колесной платформы	4	0,21	5	7	9
4. Автономность	3	0,16	5	5	4
5. Потребность в вычислительных и энергетических ресурсах	2	0,11	3	4	5
Итог	19	1	4,00	4,26	7,53

В результате расчетов были получены следующие интегральные показатели ресурсоэффективности по 10-бальной шкале:

$$I_{\text{студента}} = 7,53; \quad (4.17)$$

$$I_{\text{OZ}} = 4,26; \quad (4.18)$$

$$I_{\text{Vitirover}} = 4,00. \quad (4.19)$$

Вывод по разделу

Разработанный колесный мобильный робот может применяться для прополки сорняков на посадках саженцев в агрохолдингах и частных

предпринимательств, занимающихся сельскохозяйственной деятельностью. Колесный мобильный робот значительно ускорит процесс удаления сорняков и упростит ручной труд.

Выводы в цифрах:

- Затраты на разработку: 384401,63 рубля,
- Время на выполнение ВКР: 114 дней,
- Интегральный показатель ресурсоэффективности: 7,53.

5 Социальная ответственность

С развитием технологий особую роль стала играть безопасность жизнедеятельности на производстве. По требованиям безопасности была создана специальная наука – БЖД, целью которой является обеспечение безопасности человека на производстве и предотвращение воздействия опасных производственных факторов на организм человека. Современные робототехнические проекты требуют больших умственных, эмоциональных и временных затрат человека на разработку устройств, а эксплуатация робототехнических систем должна проводиться в соответствии с нормами безопасности.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка сельскохозяйственного мобильного робота для удаления сорняков. В ходе работы была спроектирована модель колесной платформы, рассчитаны приводы и двигатели рабочего узла, написана программа управления роботом и собран прототип для испытаний.

В данном разделе ВКР необходимо проанализировать все вредные и опасные факторы на рабочем месте в соответствии с действующими нормативными документами и исследовать меры по защите работника от возможного негативного воздействия среды.

Прототип включает в себя шасси с двумя редукторами постоянного тока, аккумуляторную батарею, корпус, микроконтроллер, ультразвуковой датчик, мультиметр.

Рабочим местом является компьютерный стол с персональным компьютером, а также монтажный стол для сборки прототипа.

Были выделены и рассмотрены следующие факторы, воздействующие на разработчика программы:

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны
2. Отклонение параметров микроклимата
3. Превышения уровня шума

4. Нервно-психические перегрузки.
5. Напряженность магнитного поля.

К опасным факторам при работе с персональным компьютером относятся высокое напряжение и возможность короткого замыкания, влекущего за собой опасность поражения разработчика электрическим током. Рассмотрены вопросы правового регулирования трудовых отношений, связанных с использованием разработанной системы.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами. Согласно трудовому кодексу РФ:

- продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю;
- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения.

Существуют также специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения существующих правил и норм.

К таким органам относятся:

- Федеральная инспекция труда;
- Государственная экспертиза условий труда Федеральной службы по труду и занятости населения;
- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и др.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

5.2 Производственная безопасность

Вредные и опасные факторы, воздействующие на сотрудника, устанавливаются согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программы:

Таблица 31. Вредные и опасные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Разработка программы определения эмоционального состояния группы людей на ПК	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте 3. Отклонение параметров микроклимата на рабочем месте. 4. Нервно-психические перегрузки. 5. Перенапряжение зрительных анализаторов. 6. Повышенный уровень электромагнитных излучений.	1. Электрический ток (использование ПК и аккумуляторов работа) 2. Возможность короткого замыкания. 3. Повышенный уровень статического электричества.	Освещение, шум, статическое электричество, психофизиологические факторы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [21] ТОИ П-45-084-01 [22] Микроклимат: СанПиН 2.2.4.548-96 [23] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Электрический ток, короткое замыкание: «Правила устройства электроустановок» утвержденные Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.1979 г. [24]

Продолжение таблицы 31:

			ГОСТ 12.1.033-81 [25] «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденные приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. №6 «Межотраслевые правила охраны труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» (ПОТ РМ 016-2001), утвержденные Постановлением Минтруда России от 05.01.2001 г №3
--	--	--	--

5.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

На время проектирования работа за персональным компьютером к негативным факторам можно отнести повышенные уровни излучения, а также увеличенную нагрузку на зрительные органы.

Требования к освещению установлены в СНиП 23-05-95 (таблица 32).

Таблица 32. Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Характеристика зрительной работы		очень высокой точности
Наименьший или эквивалентный размер объекта различия, мм		от 0,15 до 0,3
Разряд зрительной работы		A
Подразряд зрительной работы		2
Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %		менее 70
Естественное освещение	освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	300-500
	цилиндрическая освещенность, лк	100
	показатель дискомфорта M	не более 15
	коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$, %	10
Искусственное освещение	КЕО e_n , %, при	верхнем или боковом
		3,5 1,2

5.2.2 Превышение уровня шума

Повышенный уровень шума характерен не только для промышленных предприятий, но и для бытовых приборов. Шумовой фон в современных городах сопоставим с допустимым максимумом.

Интенсивность шума – главная характеристика. Она тождественна громкости и измеряется в децибелах (дБ).

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлены допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого ПЭВМ (таблица 33).

Таблица 33. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

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

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм и приводит к неблагоприятным изменениям в его органах и системах. Длительное воздействие шума способно привести к потере слуха, болезням сердечно-сосудистой системы, артериальной гипертензии, нарушениям в работе нервной системы и т.д.

5.2.3 Отклонение параметров микроклимата

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

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

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Содержание вредных химических веществ в производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы

вычислительной техники и др.), не должно превышать предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест в соответствии с действующими гигиеническими нормативами.

Также указывается, что в помещениях с ПЭВМ должна ежедневно проводиться влажная уборка.

Уставленные гигиенические нормативы для помещений с ВДТ и ПЭВМ для категории работы 1б приведены в таблице 34.

Таблица 34. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений категории 1б (СанПиН 2.2.4.548-96).

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1б (140-174 Вт)	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый		22-24	21-25	40-60	0,1

5.2.4. Нервно-психические нагрузки

Среди причин, ведущих к тяжелым заболеваниям, нужно указать на нервные перегрузки, отрицательные психологические раздражители.

Перегрузки возникают при неравномерном распределении времени при работе и отдыхе. Это приводит к утомлению, что является реакцией организма на физические и нервно-психические перегрузки. Вследствие накопления усталости постепенно развивается переутомление, что относится к состоянию предболезни. Если не принять мер по снижению нагрузок, то последствия выразятся в развитии профессионального или производственно обусловленного заболевания в связи со снижением сопротивляемости организма.

Суммарное время регламентированных перерывов при работе с ПК зависит от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену. В таблице 35 приведено суммарное время отдыха для каждой категории работ.

Таблица 35. Суммарное время перерывов в зависимости от категории работы и нагрузки

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене, мин
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, часов	
I	До 20000	До 15000	До 2	50
II	До 40000	До 30000	До 4	70
III	До 60000	До 40000	До 6	90

При разработке программы уровень нагрузки относился к группе В, категория работы III. Согласно таблице, суммарное время перерывов необходимо установить не менее 90 минут. По типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере ТОО Р-45-084-01 для данной категории работ требуется установить перерывы по 15 минут каждый трудовой час.

5.2.5 Перенапряжение зрительных анализаторов

При работе за ПК оператор читает текст в прямом свете, его глаза смотрят на источник света. При работе за дисплеем возникает следующая проблема: экран имеет высокую фоновую яркость, при ее понижении уменьшается контрастность изображения, что создает проблему для считывания информации. Поэтому пользователю приходится повышать яркость, что приводит к увеличению интенсивности вредных излучений и к утомлению глаз.

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

В связи с этим параметры безопасности компьютерной техники указаны в соответствующих нормативных документах. После длительной нагрузки необходим период восстановления и отдыха. Если полного восстановления возможностей зрительного аппарата не происходит, то в детском и юношеском возрасте зрительная усталость приводит к нарушениям в аккомодационном

механизме глаза, а в дальнейшем – к близорукости. В зрелом возрасте создаются предпосылки к развитию хронических глазных заболеваний

5.2.5 Статическое электричество

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновении персонала к любому из элементов ПЭВМ. Такие разряды опасности для человека не представляют, однако кроме неприятных ощущений могут привести к выходу оборудования из строя.

Для предотвращения образования и защиты от статического электричества в помещении используются нейтрализаторы и увлажнители, а полы имеют антистатическое покрытие в виде поливинилхлоридного антистатического линолеума.

Также в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлен максимальный допустимый электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.

В качестве мер уменьшения влияния вредных факторов на пользователя используются защитные фильтры для мониторов, увлажнители воздуха. Должны использоваться розетки с заземлением. Требуется проводить регулярную влажную уборку.

Необходимо заземление металлических электропроводных элементов оборудования, установка нейтрализаторов статического электричества (индукционных, высоковольтных, жидких и др.), увеличения поверхностей и объемной проводимости диэлектриков, что приводит к уменьшению генерации электростатических зарядов или их отвод с наэлектризованного материала.

Для эффективной защиты также нужно обеспечить увеличение относительной влажности воздуха до 65-75 %, когда это возможно по условиям технологического процесса. Антистатическую обувь, антистатический халат, заземляющие браслеты применяют обычно в качестве индивидуальной защиты.

5.2.6 Электрический ток

К опасностям использования электрического тока относятся возможность поражения электрическим током, а также воспламенения электронных устройств из-за воздействия различных условий – попадания влаги или нарушения изоляции. Поражение электрическим током может привести к ожогам, судорогам, повреждению нервной системы, а также смерти. Возникновение пожара может привести к последствиям, описанным в ГОСТ 12.1.033-81.

Во избежание негативных эффектов необходимо соблюдать правила пожарной и электрической безопасности. Подготовка к возникновению данных ситуаций должна производиться до начала работы.

Требования безопасности при эксплуатации электрооборудования регламентируются следующими нормативными актами:

- Правилами устройства электроустановок (издание шестое с отдельными разделами и главами в издании седьмом), утвержденными Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.19 г.
- Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей, утверждёнными Приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. №6;
- Межотраслевыми правилами охраны труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ 016-2001), утвержденными Постановлением Минтруда России от 05.01.2001 г. №3.

Согласно им:

- Электрооборудование, имеющее контакты для подключения заземления, должно быть заземлено, а помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации оборудования;
- Все крышки и защитные панели должны находиться на своих местах (при отсутствии крышки или защитной панели эксплуатация электрооборудования не допускается);

- При работе с электрооборудованием не допускать попадания влаги на поверхность электрооборудования, а также запрещается работать на электрооборудовании влажными руками;
- Вентиляционные отверстия электрооборудования не должны быть перекрыты находящимися вплотную стенами, мебелью, посторонними предметами;
- Выдергивание штепсельной вилки электроприбора необходимо осуществлять за корпус штепсельной вилки, при необходимости придерживая другой рукой корпус штепсельной розетки;
- подключение и отключение разъемов компьютеров и оргтехники должно производиться при отключенном питании (за исключением подключения и отключения USB-устройств);
- Удаление пыли с электрооборудования должно производиться в отключенном от электрической цепи состоянии
- Перед использованием электроприборов необходимо проверить надёжность крепления электророзетки, свериться с номиналом используемого напряжения;
- Корпуса штепсельных розеток и выключателей не должны содержать трещин, оплавлений и других дефектов, способных снизить защитные свойства или нарушить надёжность контакта;
- Кабели (шнуры) электропитания не должны содержать повреждений изоляции, сильных изгибов и скручиваний;

5.2.7. Короткое замыкание

Короткое замыкание – это соединение двух точек с разным потенциалом с последующим увеличением тока и выделением большого количества тепла. Вследствие чего короткое замыкание может стать причиной пожара в помещении, при коротком замыкании от электрического тока могут пострадать люди, находящиеся в непосредственной близости от источника возникновения.

На рабочем месте короткое замыкание может быть вызвано либо неисправностью в проводке, либо при работе с компьютером/паяльным оборудованием, когда внутри корпуса создается разность фаз и ток может так же повредить всю электросеть.

Для защиты электрической сети от короткого замыкания предусмотрены устройства защитного отключения (УЗО), оснащенные устройствами автоматического отключения – автоматами и предохранителями. Кроме того, в помещении установлены датчики дыма, которые при возникновении возгорания, вызванного коротким замыканием, оповещают все здание о начавшемся пожаре. Таким образом, рабочее место полностью защищено от возможного короткого замыкания.

5.3. Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду

Для проектирования мобильного робота необходим компьютер, потому воздействие на литосферу происходит исключительно при утилизации компьютера. В ходе разработки возможно повышение температуры ПК, при этом он является источником электромагнитного и ионизирующего излучения, а также шума. Для защиты здоровья сотрудников, работающих с программным обеспечением, рекомендуется соблюдать необходимую дистанцию при работе с компьютером (от 0.5 до 1 м), а также использовать эффективные охлаждающие системы и наиболее современное и эффективное оборудование.

Прототип мобильного робота в ходе работы на открытой местности (движение по грунту) оказывает воздействие на окружающую среду электромагнитным излучением, но наиболее опасны для литосферы его отходы при утилизации. Поэтому в окончании жизненного цикла робота его компоненты необходимо утилизировать по принципу утилизации компьютерной техники.

Федеральный закон № 89 от 1998г. «Об отходах производства и потребления» [24] запрещает юридическим лицам самовольно избавляться от

опасных отходов. Этим видом деятельности, согласно постановлению Правительства РФ № 340 от 2002 г. [25], могут заниматься только специализированные структуры. В их число входят и фирмы, которые занимаются утилизацией электронных отходов.

Обращение с отходами регламентируется ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами» [18].

Поэтому, при необходимости утилизировать вышедшую из употребления электронику наиболее безопасным для окружающей среды способом необходимо обращаться в специализированную компанию по утилизации. Такие компании действуют на всей территории Российской Федерации, в том числе и в Томской области.

5.3.2 Анализ жизненного цикла объекта исследования

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

Процесс утилизации робота будет аналогичен процессу утилизации компьютерной техники. Изначально необходимо составить акт списания. Если техника не подлежит ремонту и эксплуатации, это подтвердит технический осмотр и выведенное на основании его результатов экспертное заключение. Затем техника будет разобрана на мелкие компоненты.

После происходит переработка. Она производится для того, чтобы полученные в ходе нее чермет и цветмет снова стали сырьем, как и пластик, прошедший перед этим сортировку по видам и по цветам. Утилизация вычислительной техники также имеет еще 1 особенность – в составе такой техники находится много драгоценных металлов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при разработке алгоритма является пожар на рабочем месте. В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

- В помещении должны находиться средства тушения пожара, средства связи;
- Электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;
- Все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения и уметь ими воспользоваться, средств связи и номера экстренных служб.

Связи с возможностью возникновения пожара разработан следующий план действий:

- В случае возникновения пожара сообщить о нем руководителю, постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств пожаротушения (огнетушитель порошковый, углекислотный О-1ПО (з)-АВСЕ);
- Привести в действие ручной пожарный извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся;
- Сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 01 или 101, сообщить адрес, место и причину возникновения пожара;
- Принять меры по эвакуации людей и материальных ценностей;
- Встретить пожарную охрану, при необходимости сообщить всю необходимую информацию и оказать помощь при выборе наилучшего подхода к очагу возгорания.
- Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация и средства связи.

5.5 Заключение по разделу

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться человек, разрабатывающий колесный мобильный робот для удаления сорняков.

Установлено, что рабочее место удовлетворяет требованиям безопасности. Выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма. Освещение на рабочем месте соответствует нормам – используются энергосберегающие лампы. Уровни шума находятся в допустимых пределах – источником шума при эксплуатации ПК являются системы охлаждения. Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования. В виду того, что корпус ПК является токонепроводящим, необходимость в мерах против статического электричества отсутствует. Во время работы осуществляются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических перегрузок. Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности. Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация.

Заключение

В ходе данной работы была выделена целесообразность применения мобильной робототехники в задаче удаления сорняков. Также в ходе данной работы был проанализирован рынок сельскохозяйственной робототехники Европы и выбран аналог для работы.

В проектной части были приведены эскизы робота, выбрана кинематическая схема, создана 3D-модель, рассчитаны и выбраны приводы. Также были выбраны двигатели для режущей кромки робота и посчитан ток потребления всех составляющих, по значению которого были выбраны аккумуляторные батареи.

В экспериментальной части была приведена математическая модель двигателя постоянного тока и создана модель системы управления приводами.

По результатам расчетов было собрано шасси для первого прототипа и проведены испытания на выполнение целевой функции: прямолинейное движение по грунту и поворот. В ходе испытаний было проанализировано потребление тока приводами.

Внедрение робототехники в сельское хозяйство позволяет повысить эффективность и качества производства, заменить человека в некоторых тяжелых видах работы.

Список литературы

1. Скворцов Е.А. Повышение эффективности роботизации сельского хозяйства, диссертация, Екатеринбург, 2017.
2. В.Х. Пшихопов, М.Ю. Медведев, «Проектирование роботов и робототехнических систем», Учебное пособие, Ростов-на-Дону, 2014.
3. Росстат, «Статистический ежегодник», 2018
4. Tractica, Agriculture robots, [электронный ресурс]. URL: <https://www.tractica.com/research/agricultural-robots/> (дата обращения: 15.01.2019).
5. Vitirover, [электронный ресурс]. URL: <https://www.vitirover.fr/en-robot> (дата обращения: 21.02.2018).
6. В.В. Селифонов, В.В. Ломакин, «Теория автомобиля», Москва, 2007.
7. Теория и конструкция автомобиля. Кленников В. М., Кленников Е. В. - 1967
8. Мотор-редуктор «Zgy370 DC 12V» [электронный ресурс]. URL: <https://grabcad.com/library/zgy370-dc-12v-gear-reduction-motor-1> (дата обращения: 25.02.2019).
9. Характеристики триммера [электронный ресурс]. URL: <https://market.yandex.ru/product--trimmer-bosch-easygrasscut-12-230-0-600-8a8-105/1722835889/spec?track=tabs> (дата обращения: 22.03.2019).
10. Электродвигатель R380-2580 12V, характеристики [электронный ресурс]. URL: <http://myowndevise.ru/index.php/virtmart/cat2/электродвигатель-r380-2580-12v-detail> (дата обращения: 26.03.2019).
11. Литий-ионные аккумуляторы NCR18650B, характеристика [электронный ресурс]. URL: <https://mysku.me/blog/china-stores/62134.html> (дата обращения: 11.04.2019).
12. Зависимость времени разрядки литий-ионного аккумулятора от тока потребления [электронный ресурс]. URL: <https://planetcalc.ru/2283/> (дата обращения: 12.04.2019).
13. Немцов В.М., Касаткин А.С., «Электротехника», 2005.

14. Харьков К.А., Харьков А.К. «Электромеханические системы управления», Том. Издательство ТПУ, 1999.
15. Обзор драйверов моторов L298N [электронный ресурс]. URL: <http://robotchip.ru/obzor-drayvera-motora-na-l298n/> (дата обращения: 15.05.2019).
16. Arduino Uno (характеристики) [электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (дата обращения 21.05.19).
17. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения: 22.04.2019).
18. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений // Техноэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 22.04.2019).
19. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования // Техноэсперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 22.04.2019).
20. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 // Техноэсперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 24.04.2019).
21. ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере // Техноэсперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030047/> (дата обращения: 24.04.2019).
22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года) // Техноэсперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 24.04.2019).
23. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения (с Изменением N 1) // Техноэсперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003841/> (дата обращения: 24.04.2019).

24.Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей // Техноэсперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901839683> (дата обращения: 24.04.2019).

Приложение А Код программы тестирования прямолинейного движения

```
//Двигатель передний
int ENA = 9;
int IN1 = 8;
int IN2 = 7;
//Двигатель задний
int ENB = 3;
int IN3 = 5;
int IN4 = 4;
//Время
int time = millis()/1000;
int timing;
void setup()
{
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  pinMode(ENB, OUTPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, LOW);
  digitalWrite(IN3, LOW);
  digitalWrite(IN4, LOW);
}

void loop()
{
  if(time - timing >30)
  {
    timing = time;
    // Установка скорости двигателей (0 ... 255)
    analogwrite(ENA, 125);
    analogwrite(ENB, 125);
    // Движение робота вперед
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
  }
}
```

Приложение Б Код программы тестирования поворота

```
//двигатель передний
int ENA = 9;
int IN1 = 8;
int IN2 = 7;
//двигатель задний
int ENB = 3;
int IN3 = 5;
int IN4 = 4;
//Время
int time = millis()/1000;
int timing;
void setup()
{
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  pinMode(ENB, OUTPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, LOW);
  digitalWrite(IN3, LOW);
  digitalWrite(IN4, LOW);
}

void loop()
{
  if(time - timing >30)
  {
    timing = time;
    // установка скорости двигателей (0 ... 255)
    analogwrite(ENA, 255);
    analogwrite(ENB, 255);
    // движение робота вперед
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    digitalWrite(IN3, LOW);
    digitalWrite(IN4, HIGH);
  }
}
```

