

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

Институт Юргинский технологический
 Направление подготовки Агроинженерия
 ООП Технический сервис в агропромышленном комплексе

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка конструкции работа-толкателя кормов с улучшенными ходовыми характеристиками для применения на животноводческой ферме

УДК: 621.865.12:631.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б81	Рашитов Владислав Ринатович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.т.н., доцент ОПТ	Проскоков Андрей Владимирович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Концепция стартап-проекта»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Лизунков В.Г.	к. пед. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Родионов П.В.	к. пед. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технический сервис в агропромышленном комплексе	Проскоков А.В.	к.т.н., доцент		

Рецензент

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов

УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У) -10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических и естественных наук с применением информационно-коммуникационных технологий
ОПК(У)-2	Способен использовать нормативные правовые акты и оформлять специальную документацию в профессиональной деятельности
ОПК(У)-3	Способен создавать и поддерживать безопасные условия выполнения производственных процессов
ОПК(У)-4	Способен реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способен участвовать в проведении экспериментальных исследований в профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен использовать базовые знания экономики и определять экономическую эффективность в профессиональной деятельности

ОПК(У)-7	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	
ПКО(У)-1	Способен осуществлять планирование механизированных сельскохозяйственных работ, технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники
ПКО(У)-2.	Способен организовать эксплуатацию сельскохозяйственной техники
ПКО(У)-3.	Способен организовать работу по повышению эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники
ПК(У)-1.	Способен обеспечивать эффективное использование сельскохозяйственной техники и технологического оборудования для производства сельскохозяйственной продукции
ПК(У)-2.	Способен осуществлять производственный контроль параметров технологических процессов, качества продукции и выполненных работ при эксплуатации сельскохозяйственной техники и оборудования
ПК(У)-3.	Способен обеспечивать работоспособность машин и оборудования с использованием современных технологий технического обслуживания, хранения, ремонта и восстановления деталей машин
ПК(У)-4.	Способен осуществлять производственный контроль параметров технологических процессов, качества продукции и выполненных работ при техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники и оборудования
ПК(У)-5.	Способен участвовать в проектировании предприятий технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники, машин и оборудования

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

Институт Юргинский технологический
 Направление подготовки Агроинженерия

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Проскоков А.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
10Б81	Рашитову Владиславу Ринатовичу

Тема работы:

<p style="text-align: center;">«Разработка конструкции робота-толкателя кормов с улучшенными ходовыми характеристиками для применения на животноводческой ферме»</p>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2022г. №32-3/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Робот-толкатель кормов с активным шнекоротором. 2. Режим работы: циклический. 3. Оснащен раздатчиком концентратов. 4. Перемещение в автоматическом режиме по управляющей программе. 5. Управление при помощи Bluetooth, а также через приложение для смартфона. 6. Система распознавания графических образов.
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Обзор аналогов. 2. Методика и алгоритмы расчета создания траектории движения, описание электронных компонент. 3. Конструкторская часть. Представление предлагаемой конструкции роботизированного толкателя кормов. 4. Концепция стартап-проекта 5. Социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Схема движения на ферме (один лист А1) 2. Конструкция робота-толкателя кормов с улучшенными ходовыми характеристиками. Чертеж общего вида, чертежи сборочных единиц. (1 лист А1 и 3 листа А2)</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лизунков В.Г.
Социальная ответственность	Родионов П.В.

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

Реферат

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Проскоков Андрей Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б81	Рашитов Владислав Ринатович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»**

Студенту:

Группа	ФИО
10Б81	Рашитову Владиславу Ринатовичу

Институт	ЮТИ ТПУ		
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	35.03.06 Агроинженерия

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)</i>	Данное устройство предназначено для регулярного подталкивания кормов на кормовом столе животным, находящимся на стойлом содержании на животноводческой ферме.
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Государственная регистрация программы для электронных вычислительных машин. Патент на полезную модель, промышленный образец.
<i>Объем и емкость рынка</i>	Объем рынка промышленных роботов в России в 2021 г. составил 2,92 млрд руб.
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	Происходит укрупнение фермерских хозяйств и сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства.
<i>Себестоимость продукта</i>	275 тыс. руб.
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	Прямых конкурентов нашему продукту нет.
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Потребителями нового робота будут являться фермерские хозяйства занимающиеся животноводством.
<i>Бизнес-модель проекта</i>	Бизнес-модель, содержащая 9 ключевых компонентов.
<i>Стратегия продвижения продукта на рынок</i>	План продвижения продукта на рынок включает в себя 2 основных этапа: 1. Стратегия «business to consumer» – начальный этап при отсутствии опытного образца и связей. 2. Стратегия «business to business» – последующий этап при появлении опытного образца и связей.
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы</i>	Бизнес-модель Остервальдера, матрица стратегического планирования SWOT.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Лизунков Владислав Геннадьевич	к.пед.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б81	Рашитов Владислав Ринатович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
10Б81	Рашитову Владиславу Ринатовичу

Институт	ЮТИ ТПУ	Направление	35.03.06 «Агроинженерия»
Уровень образования	Бакалавр	ООП	Технический сервис в агропромышленном комплексе

Тема ВКР

Разработка конструкции робота-толкателя кормов с улучшенными ходовыми характеристиками для применения на животноводческой ферме

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Объектом исследования является помещение лаборатории робототехники ЮТИ ТПУ г. Юрга.</p> <p>Габариты кабинета: длина 8м, ширина 6м, высота 3м</p> <p>Параметры световой среды – 2 класс, напряженность трудового процесса 1 класс. Итоговый класс условий труда – 2 класс</p> <p>Вентиляция помещения - естественная</p> <p>Вредные и опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - повышенный или пониженный уровень освещенности
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты 	<p>Физико-химическая природа вредного фактора, его связь с разрабатываемой темой;</p> <ul style="list-style-type: none"> - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).
--	---

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Экологическая безопасность примененных в производстве материалов. Робот имеет компоненты 4 и 2 класса опасности, которые должны утилизироваться в соответствии с ГОСТ 53691-2009</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Безопасность при возникновении ЧС. В случае несрабатывания автомата аварийного выключения следует надеть диэлектрические перчатки, отсоединить аппарат от источника тока и отойти на безопасное расстояние.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Родионов П.В.	к. пед. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б81	Рашитов Владислав Ринатович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 99 страниц машинописного текста, 10 - таблиц, 37 - рисунков. Представленная работа состоит из пяти частей, количество использованных источников – 19.

Графический материал представлен на 2 листах формата А1 и 3 листах А2.

Ключевые слова: разработка, проектирование, робот-толкатель, шнекоротор, раздача корма, система управления, схемотехника, системы позиционирования, алгоритм совершения движений, стартап, срок окупаемости, безопасность и экологичность.

Цель работы: разработать конструкцию робота-толкателя кормов, создать управляющую программу.

В аналитической части приведены основные характеристики роботизированных толкателей кормов для животноводческих ферм и их сравнение.

В технологической части представлены электронные компоненты для позиционирования робота-толкателя кормов и приведены необходимые расчеты для определения траектории движения робота.

В разделе «Конструкторская часть» выпускной квалификационной работы представлены чертежи компонентов робота-толкателя, компоновка, и приведены расчеты для определения параметров рабочих органов.

В разделе «Социальная ответственность» выявлены опасные и вредные факторы при создании и эксплуатации робота, определены мероприятия по их ликвидации, а также составлена техника безопасности.

В экономической части представлена концепция стартап-проекта для продвижения робота-толкателя кормов на рынке.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 и в комплексных системах автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, SolidWorks и представлена на компакт-диске CD-R (в конверте на обороте обложки).

Abstract

The final qualifying work consists of 99 pages of typewritten text, 10-tables, 37-figures. The presented work consists of five parts, the amount of literature used-the Graphic material is presented on 2 sheets of A1 format and 3 sheet of A2.

Keywords: development, engineering, robotic self-propelled platform, robot-pusher, auger, control system, positioning systems, algorithm for working out movements, circuitry, startup, cost, safety and environmental friendliness.

The purpose of the work: to develop the design of a feed pusher robot, writing a control program.

The analytical part describes the characteristics of self-propelled automated feed pusher robots and their comparison.

The technological part presents the program for controlling the unit, the necessary calculations for creating a trajectory.

In the design part of the final qualification work, a drawing of the developed design of the pushrod robot is presented.

The section "Social responsibility" identifies dangerous and harmful factors when creating and operating a robot, measures to eliminate them, as well as safety measures.

The economic part presents the concept of the starpat project to promote the feed pusher robot on the market.

The work was performed in the text editor Microsoft Word 2013 and in the integrated computer-aided design system COMPAS-3D, SolidWorks and is presented on a CD-R (in an envelope on the back of the cover).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	16
1 Аналитический обзор.....	18
1.1 Толкатель кормов VouMatic Ranger.....	19
1.2 Роботизированный пододвигатель кормов STALLBOY FEED	20
1.3 Рельсовый робот BUTLER SILVER	21
1.4 Кормоподталкивающий робот JOZ Moov	21
1.5 Пододвигатель кормов Butler Gold.....	22
1.6 Системы позиционирования и их применение.....	23
1.7 Глобальные навигационные системы.....	24
1.8 Позиционирование в сотовых сетях.....	25
1.9 WiFi позиционирование	25
1.10 Системы позиционирования с использованием пассивных радиочастотных идентификаторов (RFID).....	26
1.11 Позиционирование по технологии «ближнего поля»	26
1.12 Ultra Wideband (UWB) позиционирование	26
1.13 Локальные системы позиционирования	26
1.14 Система навигации Marvelmind.....	27
1.15 Система распознавания графических образов.....	30
2 Расчеты и аналитика.....	32
2.1 Общепринятая стратегия движения робота-толкателя.....	32
2.2 Алгоритм определения местоположения робота.....	36
2.3 Методика и алгоритм расчета создания траектории движения.....	38
2.4 Схемотехника и описание электронных компонентов	41
3 Конструкторская часть.....	51
3.1 Описание конструкции.....	51
3.2 Определение центра тяжести	55
3.3 Тяговый баланс агрегата.....	56

3.4 Движущая сила МГА.....	58
3.5 Крутящий момент колеса	60
3.6.1 Индуктивный датчик.....	62
3.6.2 Ультразвуковой датчик.....	63
3.6.3 Мотор-колесо.....	64
3.7 Расчет силы, действующей на колесную балку.....	64
3.8 Расчет момента, подаваемого на эксцентрик	66
3.9 Подбор электродвигателя	68
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
4.1 Продукт как результат научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.....	69
4.2 Способы защиты интеллектуальной собственности	70
4.3 Объем и емкость рынка	70
4.4 Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт.....	73
4.5 Себестоимость продукта	74
4.5.1 Затраты на комплектующие.....	74
4.5.2 Затраты на заработную плату	76
4.5.3 Отчисления на социальные нужды по заработной плате рабочих	77
4.5.4 Прочие затраты.....	78
4.5.5 Себестоимость продукта.....	78
4.6 Конкурентные преимущества создаваемого продукта и сравнение технико-экономических характеристик продукта с аналогами	78
4.7 Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта.....	79
4.8 Бизнес-модель проекта.....	79
4.9 Стратегия продвижения продукта на рынок	80
Выводы по разделу.....	81

5 Социальная ответственность.....	82
5.1 Описание рабочего места в лаборатории ЮТИ ТПУ	82
5.2 Анализ опасных факторов при эксплуатации агрегата	83
5.2.1 Безопасность механического оборудования	83
5.2.2 Безопасность элементов.....	84
5.3 Анализ вредных факторов проектируемого изделия.....	85
5.3.1 Механизация и автоматизация технологических операций	86
5.3.2 Безопасность органов управления	86
5.3.3 Безопасность средств защиты, входящих в конструкцию	87
5.3.4 Безопасность при монтажных и ремонтных работах.....	89
5.3.5 Безопасность при транспортировке и хранении.....	89
5.3.6 Безопасность при размещении оператора робота-толкателя	90
5.3.7 Требования безопасности к обслуживающему персоналу	90
5.3.8 Пожарная безопасность	90
5.4 Экологическая безопасность исходных материалов	91
5.4.1 Охрана окружающей среды.....	91
5.5 Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	91
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	92
5.7 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	92
Заключение	94
Список использованных источников	95

Введение

Подталкивание кормовой смеси - технологическая операция на животноводческих предприятиях, заключающаяся в предоставлении постоянного доступа к корму животным, содержащимся на стойловом содержании.

Во время потребления кормовой смеси, корова отталкивает часть корма от края кормового стола, также более высокоранговые коровы уменьшают зону потребления корма у субдоминантных особей, из-за чего последние зачастую получают недостаточное для них количество корма. Также, по причине ранее отодвинутого животными корма, им необходимо тянуться за ним, что увеличивает нагрузки на шею и передние копыта, что сказывается на здоровье животных. Вследствие вышеперечисленных факторов происходит уменьшение продуктивности животных и снижение удоев. При регулярном пододвигании корма с ворошением посредством применения активного шнекоротора происходит процесс обновления запахов кормовой смеси, что стимулирует коров к повышенному потреблению ранее отвергнутых частей корма, что уменьшает количество невостребованных остатков корма экономя таким образом финансовые издержки сельскохозяйственного предприятия.

Для осуществления круглосуточного своевременного подравнивания корма со стабильным качеством работы человеческий труд заменяют работой автоматизированных роботов-толкателей кормов. В результате чего корм находится в регулярном доступе у коров вне зависимости от времени суток.

Подталкивание корма человеком с помощью трактора способствует проявлению стресса у животных из-за шума двигателя и наличия выхлопных газов. Применение роботов-толкателей исключает данные негативные

факторы, у коров на приближение робота вырабатывается положительный условный рефлекс.

Цель работы – разработка конструкции робота-толкателя кормов с улучшенными ходовыми характеристиками обслуживающего до трех пролетов с животными.

Улучшение ходовых характеристик будет достигаться путем применения качающейся колесной балки, поднимаемой кулачковым механизмом и увеличивающей величину дорожного просвета для преодоления препятствий при проезде между кормовыми столами.

1 Аналитический обзор

В настоящее время рост сельского хозяйства подразумевает технологическое перевооружение, переход к "умному сельскому хозяйству" в котором будут применяться устройства, способные выполнять большинство работ в автоматическом режиме. Данные устройства позволяют снизить долю человеческого труда и осуществлять регулярную работу по составленному алгоритму, а также анализировать получаемую из внешней среды информацию и корректировать своё поведение.

Представителями таких устройств являются роботы, осуществляющие подталкивание кормов на животноводческих фермах.

Предполагаемая конструкция робота-толкателя призвана заменить аналогичную продукцию благодаря более совершенным характеристикам. Предполагается, что помимо повышенных ходовых характеристик, он будет оснащен системой позиционирования, которая будет определять его положение в пространстве в дополнение к ориентации по ультразвуковым и индуктивным датчикам. Также предполагается использование системы распознавания графических образов для распознавания человека и голосового ассистента для передачи команд робота.

Обслуживание робота-толкателя предполагает наполнение модуля раздачи концентрата, визуальный осмотр робота, нанесение смазочных материалов, обслуживание аккумуляторов, проверку давления в шинах.

Управление роботом будет осуществляться путём голосовой передачи команд, а также посредством передачи данных с использованием технологии Bluetooth и использования управляющих приложений смартфона.

1.1 Толкатель кормов BouMatic Ranger

BouMatic Ranger это самоходный робот-толкатель кормов, который перемещается по кормовому столу и сдвигает кормовую смесь к коровам с заданной оператором периодичностью. Смещение корма к краю пролета достигается методом сталкивания вращающимся цилиндром, который установлен на корпусе робота. Использование роботов-подравнителей на ферме даст возможность уменьшить трудовые затраты и положительно повлиять на производство молока. Повышение продуктивности с введением данного робота может достигать до 1 кг молока на корову в сутки. Данное устройство способно распределять такие смеси как сенаж и силос.

Автоматическое управление роботом представляет собой магнитную полосу которая монтируется в пол кормового стола коровника и индуктивный датчик. Робот оснащен четырьмя гелевыми аккумуляторами 60А/час 12В, что позволяет ему работать на протяжении 1 часа или 730 метров пути. Возможна установка промежуточных зарядных станций. Скорость робота составляет 12 м/мин. Вес: 492 кг. Робот способен работать по замкнутым и открытым контурам, а также пересекать свой путь [1].



Рисунок 1 Толкатель кормов BouMatic Ranger

1.2 Роботизированный пододвигатель кормов STALLBOY FEED

NETWIN STALLBOY FEED обеспечивает круглосуточную подачу свежего корма на кормовом столе.

Программное обеспечение FRESH FEED регулирует положение STALLBOY FEED автоматически. Каждые 2 часа, корм смещается на 5 см ближе к животным. Таким образом, свежий корм всегда в зоне досягаемости. Надежный привод, благодаря индивидуально управляемому транспортировочному барабану. Необходимость подогрева корма уменьшается за счет его ротации. Подходит для сена, силоса и зеленых кормов. Обеспечивает дополнительное внесение поверх основной кормовой смеси концентратов, минеральных веществ или других видов корма. В основании робота установлен бетонный блок, предоставляющий ему необходимые для перемещения кормовой смеси массовые характеристики

Выполняет до десяти рабочих циклов за сутки. Устройство обладает массой 620 кг и оснащено двумя аккумуляторами емкостью 80 А/ч. Ориентируется по ультразвуковым дальномерам и датчикам индукции. Способен хранить в памяти до четырех алгоритмов движения [2].



Рисунок 2 Роботизированный пододвигатель кормов STALLBOY FEED

1.3 Рельсовый робот BUTLER SILVER

Данный робот перемещается вдоль кормового стола опираясь на внешнее колесо и направляющий рельс, расположенный над кормовым забором, благодаря чему робот всегда точно следует установленному маршруту. Зарядка аккумуляторов производится от токосъемника соединённого с направляющим рельсом, вследствие чего робот не нуждается в прекращении движения для подзарядки двух аккумуляторных батарей ёмкостью 105 А/ч. Перемещение корма осуществляется вертикальным скреперным конвейером с верхним электроприводом. Вес робота: 580 кг. Модель способна поддвигать валки кормовых смесей высотой до 90 см.

Недостатком данного робота является ограниченная мобильность - для его работы необходимо прокладывать рельсовую трассу[3].



Рисунок 3 Рельсовый робот BUTLER SILVER

1.4 Кормоподталкивающий робот JOZ Moov

Робот JOZ Moov можно запрограммировать на неограниченное количество маршрутов. Система навигации состоит из транспондеров и гироскопа что позволяет роботу всегда проходить максимально точно свой

маршрут. Промышленный роутер, установленный на устройстве позволяет связываться с помощью беспроводного соединения со станции управления J-load, что позволяет управлять роботом на компьютере или смартфоне с помощью сервиса JOZ Management Service. Также возможно управление через пульт. Робот передвигается при помощи двух приводных колёс и одного опорного. Скорость движения составляет 12 м/мин. Диаметр барабана 1280 мм. Робот оснащен механизмом подъёма, что позволяет преодолевать неровности различного характера высотой до 3 см[4].



Рисунок 4 Кормоподталкивающий робот JOZ Моов

1.5 Пододвигатель кормов Butler Gold

Butler Gold предназначен для автономного перемещения корма посредством вращающегося шнекового транспортера, который помогает сохранять свежесть корма сохраняя его в непрессованном виде. Как отмечает производитель, это стимулирует животных более активно питаться. Для сохранения структуры корма шнек выполнен с двойной спиралью. Зарядка аккумуляторов производится на свободноразмещаемой напольной станции, которая выдерживает проезд по ней тракторной техники.

Butler Gold можно эксплуатировать даже при наклоне пола коровника (до 5 градусов), он способен работать в помещениях с различной шириной кормовых проходов, самостоятельно перемещаться не только по коровнику, но и между дворами. Навигация Butler Gold осуществляется по магнитам размером 5 мм установленным в бетонный пол на расстоянии 2 м друг от друга. Маршрут движения один раз программируется в блоке управления роботом.

Рабочее напряжение 24 В, емкость аккумуляторов 210 А/ч, вес – 700 кг.

С помощью блока с тач-дисплеем можно управлять траекторией перемещения Butler Gold. Также, присутствует мобильное приложение, для управления со смартфона. Отчеты о работе устройства приходят на электронную почту[5].



Рисунок 5 Пододвигатель кормов Butler Gold

1.6 Системы позиционирования и их применение

Применение систем идентификации и позиционирования материальных объектов – людей, подвижных механизмов, транспортных средств и различных предметов – особо актуальное направление

оптимизации технологических и бизнес процессов. Эти системы уже применяются в самых различных сферах деятельности. Начиная с контроля пациентов, работников, лекарств и оборудования в клиниках и заканчивая контролем местонахождения инструментов, сборочных единиц и рабочих на конвейере. Разнообразие областей и направлений использования породили множество технологий. Для позиционирования используются несколько групп технологий. Прежде всего, это спутниковые навигационные системы – ГЛОНАСС, GPS, и др. Самую многочисленную группу составляют радиочастотные технологии – RFID. Также можно выделить технологии инфракрасного и ультразвукового позиционирования [6]. Среди радиочастотных технологий можно выделить технологии, которые изначально были предназначены для оказания услуг связи, (Wi-Fi, Bluetooth, сотовая связь), и те, которые по физическим свойствам модуляции в наибольшей мере подходят для позиционирования – это CSS (Cascading Style Sheets), UWB (Ultra-Wide Band), NFER (Near-field electromagnetic ranging) и др.

1.7 Глобальные навигационные системы

Наилучшую точность на сегодня обеспечивает GPS, точность позиционирования которой не менее шести метров. А новейшее поколение спутников, запускаемых в настоящее время, обеспечит точность не менее 60-90 см.

Большой минус всех глобальных систем – зависимость от условий использования. Практически невозможно определять местонахождение внутри зданий, в подвалах или тоннелях, уровень сигнала сильно ухудшается даже при большой облачности. На прием сигналов GPS так же влияют и помехи от наземных источников.

1.8 Позиционирование в сотовых сетях

Позиционирование в сотовых сетях разработали одним из первых. Это объясняется широким распространением сотовой связи и относительной простотой метода Cell Of Origin – по местонахождению соты, к которой подключился абонент. Точность такого позиционирования определяется радиусом действия соты. Для более точного определения координат используют данные от нескольких базовых станций. Существует несколько таких методов.

Angle of arrival – направление на абонента. Местонахождение определяется на пересечении секторов нескольких станций. Обычно точность того метода не более 100-200 метров.

Time of arrival – время прибытия. При этом методе измеряется время прихода сигнала от абонента на минимум три базовые станции. Точность метода – около 100 метров.

1.9 Wi-Fi позиционирование

Простейший способ позиционирования в Wi-Fi сетях, подобно сотовым, по базовой станции, к которой подключен абонент. Способ используется для оказания различных видов услуг, в зависимости от типа подключенного устройства и его местонахождения. Радиус действия Wi-Fi точек доступа обычно составляет от 30 до 200 метров, чем определяется точность позиционирования, которая, к сожалению, не высока. В идеальных условиях она составляет в 3-5 метров, в реальных – 10-15 метров. Как и в сотовых сетях, в сетях Wi-Fi идентификация объекта возможна, но обычно такая задача не ставится.

1.10 Системы позиционирования с использованием пассивных радиочастотных идентификаторов (RFID)

Основное назначение систем с пассивными RFID метками – идентификация. Они применяются в системах, традиционно использовавших штрих-коды или магнитные карточки – в системах распознавания грузов и товаров, опознавания людей. Стоимость систем с пассивными RFID метками выше стоимости систем с штрих-кодами или магнитными карточками, но использование пассивных RFID существенно разгружает операторов.

1.11 Позиционирование по технологии «ближнего поля»

Технология измерения расстояния в ближнем электромагнитном поле (NFER) использует метки-передатчики и один или несколько приемников. Точность позиционирования в реальных условиях составляет 1м на расстоянии до 30м. Радиоволны огибают препятствия, не отражаются. Поэтому NFER технология имеет преимущества в помещениях с большим количеством препятствий.

1.12 Ultra Wideband (UWB) позиционирование

Технология UWB использует короткие импульсы с максимальной полосой пропускания при минимальной центральной частоте. Технология используется в связи, радиолокации, измерении расстояний и позиционировании. Это обеспечивается передачей коротких импульсов, широкополосных по своей природе. Преимущества технологии: надежная работа, высокая точность, устойчивость к многолучевому затуханию.

1.13 Локальные системы позиционирования

Ультразвуковая локальная система позиционирования – система позиционирования для роботов, являющаяся близким аналогом спутниковых

систем навигации как в аппаратной, так и в программно-алгоритмической части.

Основным компонентом спутниковых систем позиционирования являются космические аппараты, которые имеют единую высоту и период вращения вокруг Земли. Организация данной системы в помещении не приведет к удовлетворительным результатам из-за малого расстояния между передатчиком и приемником, которое во много раз меньше расстояния между космическим спутником и приемником на Земле, а также, из-за огромной скорости радиоволны. Следовательно, в помещении уместнее использовать звук, так как он имеет меньшую скорость (~340 м/с). Оценивая скорость звука и его рабочий цикл, можно определить точное расстояние до предмета. Ультразвуковые датчики работают с пьезоэлектрическим преобразователем, который является как звуковым излучателем, так и приемником. Интегрируемый контроллер вычисляет расстояние по времени эха и скорости звука.

1.14 Система навигации Marvelmind

Система навигации внутри помещений «Marvelmind» - это готовая навигационная система, предназначенные для определения точных (± 2 см) данных о местоположении для автономных роботов, транспортных средств, и вертолетов. Именно эту систему мы решили установить на наш агрегат.

Ультразвуковые маяки обмениваются данными по радиоканалу, используя открытый нелицензируемый диапазон. Местонахождение мобильного маяка, установленного на роботе, тележке, коптере или человеке, рассчитывается с использованием трилатерации на основании задержки распространения ультразвукового сигнала к множеству стационарных ультразвуковых маяков. Проще говоря, маяки располагаются в заданных точках и по очереди испускают ультразвуковой сигнал. Соседний маяк принимает сигнал и рассчитывает разность времени приема сигналов от

каждого устройства. Такое “общение” маяков координирует по радио центральный роутер. Зная начальные координаты передатчиков, а также то, как быстро прошел от каждого из них ультразвуковой сигнал до другого, можно узнать координаты мобильного маяка. Каждый маяк включает в себя пять ультразвуковых датчиков, интегральную схему, антенну и литий-полимерный аккумулятор. Маяки нужно устанавливать в помещении на расстоянии до 50 м. При этом точность навигации составит 1-3% расстояния между маяками, до 1-2 см. Минимальное количество маяков для эффективной трилатерации – три. Базовая система, которая включает в себя четыре стационарных и один мобильный маяк, обеспечит эффективную навигацию в помещениях общей площадью до 1000 кв.м. Чтобы работать на более крупных объектах, потребуется больше маяков, система легко масштабируется. Вручную задавать координаты маяков не нужно – все происходит автоматически [7]. Ключевые требования к функциональности системы:

- Для 3D (x, y, Z) отслеживания – беспрепятственное прохождение сигнала на мобильный маяк с трех или более стационарных маяков одновременно.

- Для 2D (x, Γ) отслеживание – беспрепятственное прохождение сигнала на мобильный маяк двух или более стационарных маяков одновременно

- Расстояние между ближайшими маяками – не более 30 метров. В идеальных условиях – до 50 метров.

Технические характеристики «Marvelmind» представлены в таблице 1:

Таблица 1 Технические характеристики "Marvelmind"

Характеристика	Показатель
Расстояние между маяками	До 50 метров
Зона покрытия	До 1000 м ²
Точность определения местоположения	2см
Размер маяка	55x55x33 мм
Скорость обновления местоположения	0.05–45гц (можно установить вручную). Зависит от расстояния между мобильным и стационарным маяком, от количества мобильных маяков и в малой степени от количества стационарных маяков
Питание Внутреннее: Внешнее:	<p>Срок службы батареи зависит от интенсивности использования LiPo1 батарея 1000mah.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Стационарный радиомаяк со скоростью обновления 16 Гц до 72ч; • Стационарный радиомаяк со скоростью обновления 1hz – около 1 месяца; <p>Мобильный радиомаяк со скоростью обновления 8 Гц – 12ч;</p>

Сравнительные характеристики рассмотренных систем навигации приведены в таблице 2:

Таблица 2 Сравнительные характеристики систем навигации

Тип RTLS	Точность, м	Дистанция, м	Стоимость
Пассивные RFID	-/-	Менее 1	Низкая
ГЛОНАСС	10-15	-/-	Низкая

Продолжение таблицы 2

Сотовая связь	100-500	-/-	Низкая
Wi-fi	3-5	50	Средняя
Инфракрасное	0,1	3-10	Высокая
Ультразвуковое	0,1	3-10	Высокая
Активные RFID	1-3	20-100	Средняя
NFER	0,5	20-30	Низкая
UWB	0,1	10	Высокая
Marvelmind	0,02	50	Высокая

1.15 Система распознавания графических образов

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — это открытая библиотека для работы с алгоритмами компьютерного зрения, машинным обучением и обработкой изображений. Компьютерное зрение дает точную информацию о том, что изображено на картинке, с описанием, характеристиками и размерами (с определенной степенью достоверности).

Также библиотека работает с машинным обучением — отраслью, которая обучает алгоритмы действовать тем или иным образом[8].

Функции OpenCV:

- Работа со структурами данных. Для хранения и работы с изображениями OpenCV использует векторы и скаляры, матрицы и диапазоны. Они позволяют проводить математические преобразования, ориентироваться по изображению и выполнять множество других действий.
- Видоизменение изображений. С помощью OpenCV с картинкой можно работать как в графическом редакторе: обрезать, увеличивать или уменьшать, вращать. В основном программисты

используют эту возможность для предварительной подготовки картинки перед ее расшифровкой — например, обрезают ненужные части.

- Добавление эффектов. Картинку можно сделать в оттенках серого или полностью черно-белой. Это важно для алгоритмов распознавания, которые работают с обесцвеченными изображениями. Можно изменять цветовой тон, размывать, сглаживать или геометрически изменять картинку.
- Рисование поверх изображений. На картинку можно нанести линии и геометрические фигуры, сделать подпись, например, чтобы выделить найденное программой лицо. Часто это используется в мобильных приложениях для камеры: квадрат вокруг лица человека во время съемки означает, что программа распознала его.
- Распознавание объектов. Для распознавания элементов в OpenCV используются очертания объектов, сегментация по цветам, встроенные методы распознавания, которые можно настраивать в зависимости от объекта и чувствительности алгоритма.
- Работа с видеороликами. Новые версии библиотеки поддерживают работу не только с картинками, но и с видео. Они могут считывать ролики с использованием кодеков, анализировать происходящее в них, отслеживать движения и элементы. Это полезно, например, при программировании движущегося робота или создании ПО для камеры видеонаблюдения.

2 Расчеты и аналитика

В настоящее время современная самоходная техника работает на ферме без участия человека. Выполнение работ на ферме позволяет снизить затраты времени и физического труда человека.

Все известные системы автоматического пилотирования предполагают установку курсоуказателя, контроллера и приемника сигналов GPS [9].

Поэтому во всем мире проводятся интенсивные исследования по созданию технологий навигации роботов с использованием indoor технологий, которые реализуются с помощью сканирующего лазерного дальномера, беспроводных сетей, ориентиров, а также соответствия картам местности, и др. Подобные разработки ведутся как в России, так и за рубежом.

Ключевыми в данном вопросе являются:

- США – Карнеги Меллон (Carnegie Mellon University), Стэнфорд (Stanford University), Германии – Бонн (University of Bonn), Австралии – Сидней (The University of Sidney)

В России это:

- НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, НУЦ «Робототехника», ЦНИИ РТК, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

На основе данных, полученных от систем позиционирования, создаются подсистемы планирования маршрута и подсистемы управления движением робота.

2.1 Общепринятая стратегия движения робота-толкателя

Алгоритм движения описывает, как и по какому пути должен двигаться робот, чтобы полностью обработать участок кормовой полосы безопасно и эффективно в части затрат энергии и времени.

Колесные агрегаты большую часть времени находятся в криволинейном движении, при этом, траектория непрерывно изменяется. Маневренность движения обусловлена необходимостью совершать повороты в соответствии с задаваемой траекторией, а также отклонением агрегата от нее по причине действия внешних возмущающих сил. При движении на прямолинейных участках пределы изменения радиуса кривизны траектории небольшие, поэтому такое движение рассматривается условно как прямолинейное, что позволяет рассматривать эксплуатационные свойства отдельно как при прямолинейном, так и при криволинейном движениях.

Управляемость колесных машин – способность сохранять заданное направление движения, а при необходимости – изменять его по необходимой траектории. Соответственно, способность сохранять необходимое направление движения называется устойчивостью движения, а способность изменять направление по требуемой траектории – поворачиваемостью.

Машинные агрегаты перемещаются с определенной цикличностью. Циклично повторяющееся чередование рабочих ходов, поворотов и заездов называется способом движения машинного агрегата.

Все существующие на данный момент роботы-толкатели работают по челночному способу движения: толкатель начинает свое движение от зарядной станции вдоль кормового стола до конца пролета, где осуществляет разворот и движется в обратном направлении обслуживая другую половину кормового стола (См. рис.6).

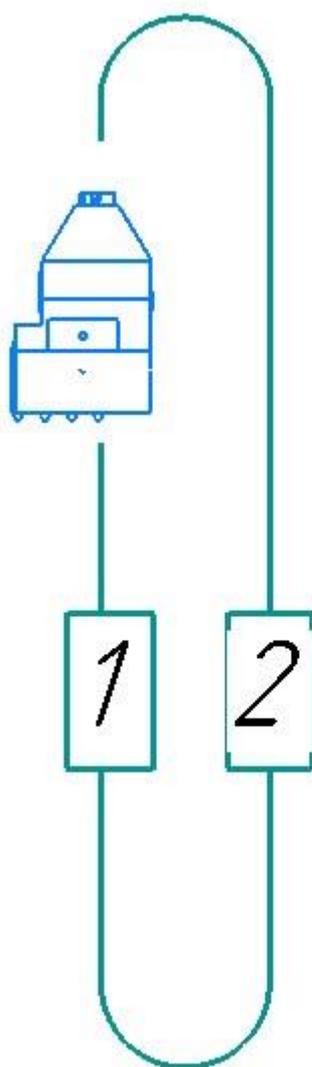


Рисунок 6 *Общепринятая схема движения роботов-толкателей*

У предложенной конструкции робота-толкателя кормов с улучшенными ходовыми характеристиками предполагается использование челночного способа движения с переездами между кормовыми столами (См. рис.7).

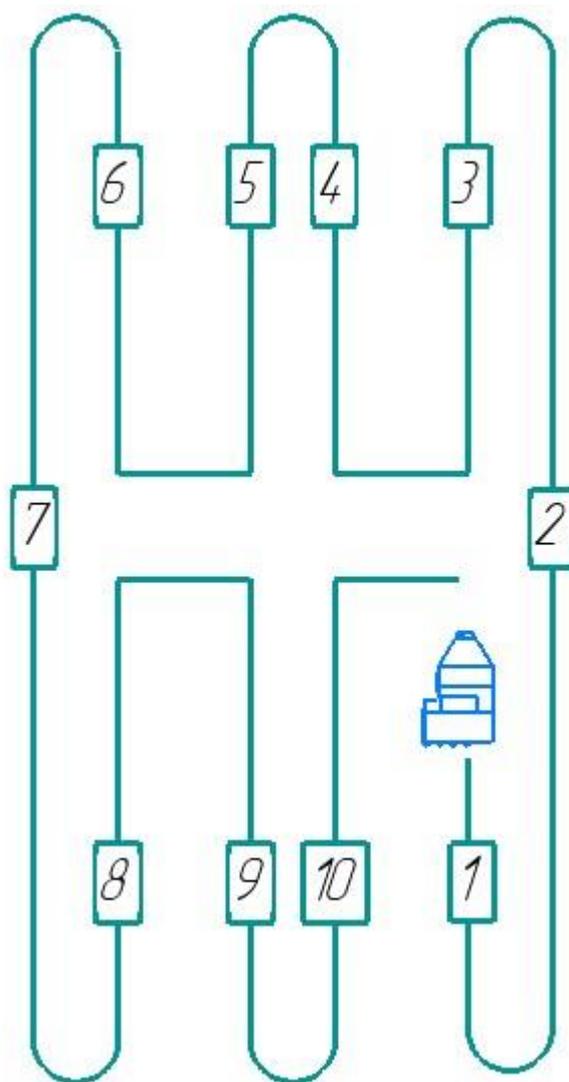


Рисунок 7 Схема движения робота-толкателя с улучшенными ходовыми характеристиками

Робот осуществляет движение от зарядной станции расположенной сразу после технологического коридора, соединяющего пролеты с животными. Робот движется ориентируясь на показания ультразвукового датчика, считывающего информацию о расстоянии до продольной полосы. В конце пролета располагается вмонтированная в бетонный пол стальная полоса, на которую реагирует индуктивный датчик расположенный в днище робота. Получив информацию от индуктивного датчика управляющая программа активирует алгоритм разворота робота.

При прохождении всего обслуживаемого пролета, робот въезжает в технологический коридор, движение по которому осуществляется по показаниям ультразвуковых маячков до въезда на очередной кормовой стол (См. рис.8).

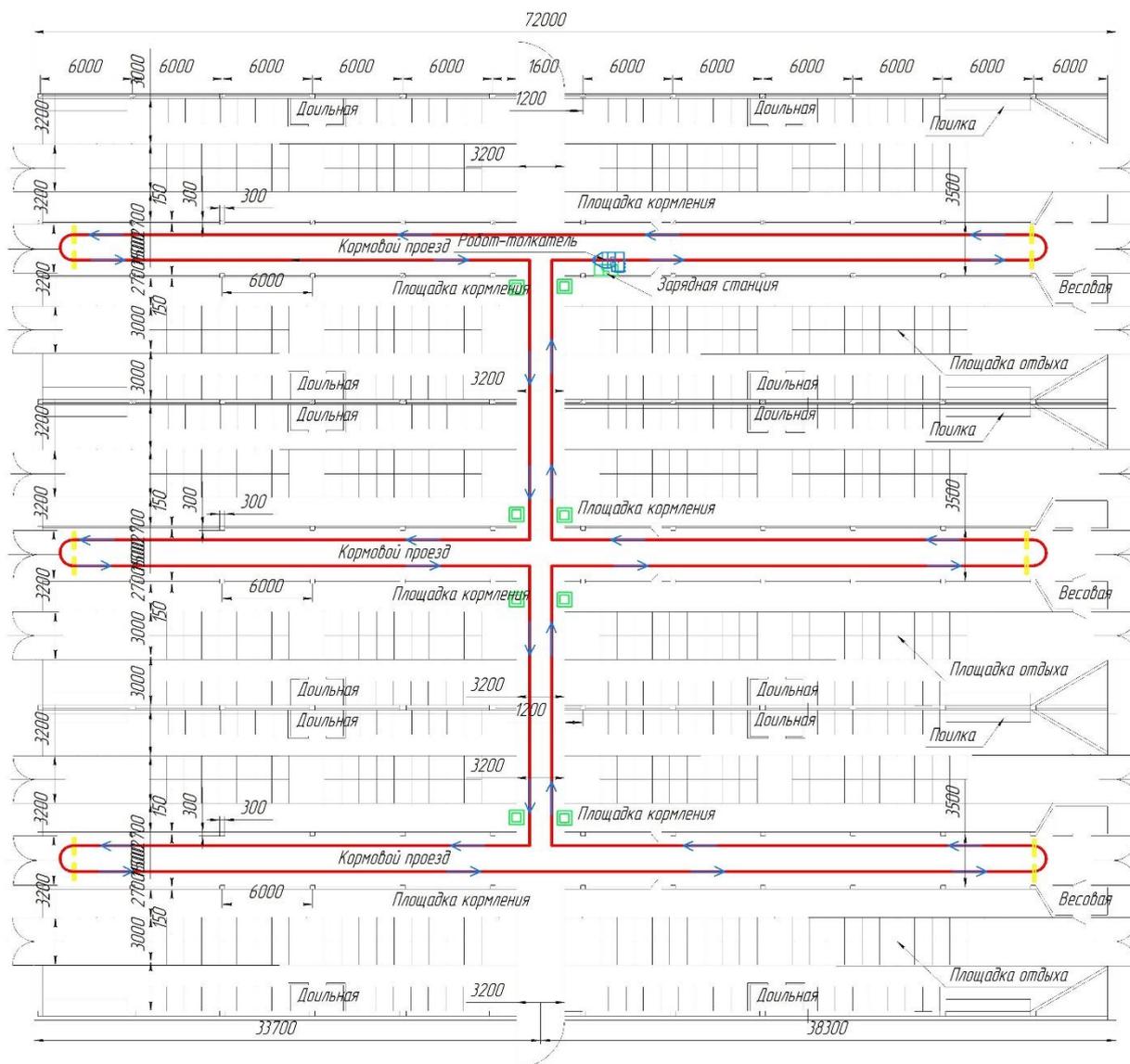


Рисунок 8 Движение робота по трехпролетному коровнику

2.2 Алгоритм определения местоположения робота

Для определения положения робота используется алгоритм трилатерации. Трилатерация – геометрический метод, который использует расстояние между тремя anchor-датчиками и одним неизвестным, для определения положения неизвестного [10].

Местоположение приёмника будет являться точкой начала координат $(0; 0)$, а Приёмники А и Б расположены взаимно перпендикулярно (См. рис. 9). Расстояние от Приёмника О до Приёмника А (обозначим как i) и от Приёмника О до Приёмника Б (обозначим как j) известно. С геометрической точки зрения задача трилатерации сводится к нахождению точки пересечения трех или четырех сфер, координаты центра которых известны (ими являются Приёмники О, А, Б), а радиусом которых является расстояние от центра каждой из сфер до робота [10].

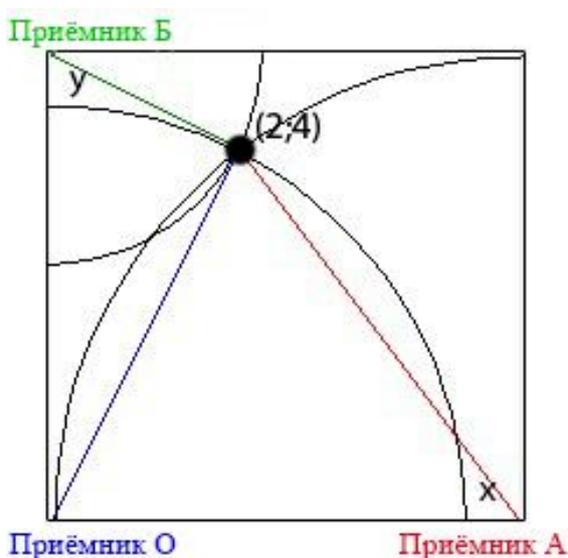


Рисунок 9 Алгоритм трилатерации

В сжатом виде алгоритм работы системы выглядит следующим образом:

1. Определение температуры
2. Расчет скорости звука
3. Отправка синхросигналов
4. Получение времени задержки Приёмника О
5. Отправка синхросигналов
6. Получение времени задержки Приёмников А, Б
7. Расчет расстояний до робота
8. Расчет координат робота

2.3 Методика и алгоритм расчета создания траектории движения

На сегодняшний день разрабатываются различные методы решения задачи определения положения мобильного робота, позволяющие не только получить оценки текущих скоростей и положения робота, но и характер рельефа. В каждом случае необходимо аналитически исследовать все параметры и в комплексе решать задачу прокладки маршрута.

Для создания траектории движения газонокосилки по участку известны различные способы маневрирования, приведенные выше [11]. С учетом известного было решено внедрить собственный способ расчета траектории.

Алгоритм работы разработанной системы управления следующий:

1. сначала в ручном режиме с помощью телеметрии определяется периметр участка, на котором планируется скашивание газонной травы;
2. во время движения робота система позиционирования отслеживает координаты точек по периметру с необходимым шагом;
3. система позиционирования фиксирует координаты в программе виде массива данных.

После фиксирования координат необходимо подвести робота на стартовую координату.

Для автоматического управления сначала определим текущие координаты положения и зададим движение машины в течение двух, трех секунд. После чего определим новые координаты положения и рассчитаем скорость движения робота и угол, на который машина должна повернуться, чтобы попасть в точку старта программы.

Для примера возьмем координаты точек и покажем математическую модель в системе MathCad:

$$\begin{aligned}
 x &:= (0 \ -8.4 \ 3.12 \ 25.86 \ 53.36 \ 81.22 \ 82 \ 108.2 \ 111.38 \ 99.34 \ 67.29 \ 14 \ 5)^T \\
 y &:= (0 \ 30 \ 68.11 \ 82.7 \ 87.9 \ 82.7 \ 62.7 \ 49.4 \ 30.8 \ 5.5 \ 4 \ -4 \ -1)^T
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Координаты (1) опорных точек покажем на графике рис. 10:

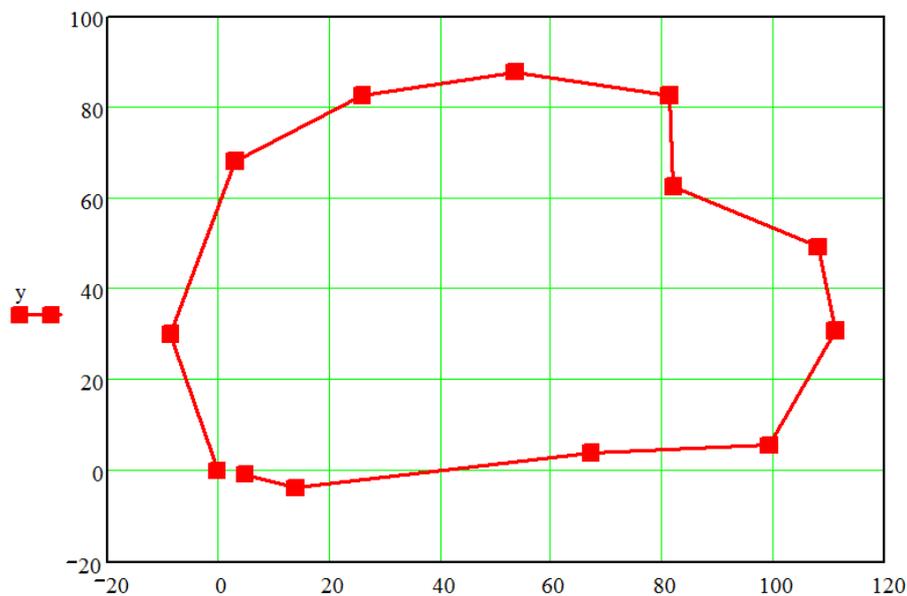


Рисунок 10 График координат периметра внешнего контура

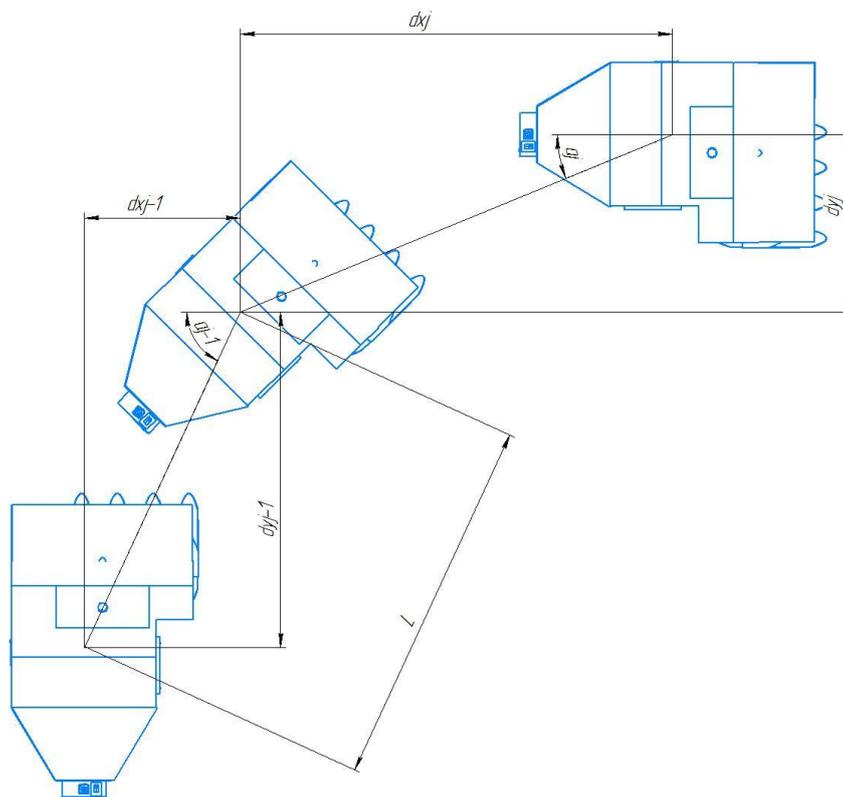
Для расчета угла поворота машины воспользуемся формулой для вычисления косинуса угла между двумя векторами на плоскости.

$$\cos(\widehat{\vec{a}, \vec{b}}) = \frac{a_x b_x + a_y b_y}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2} \sqrt{b_x^2 + b_y^2}}
 \tag{2}$$

Чтобы найти числовое значение угла, необходимо вычислить длины векторов через координаты трех точек и скалярного произведения значений векторов.

Для расчета направления поворота необходимо рассчитать определитель матрицы разницы между координатами.

Далее на рис. 11 показан фрагмент программы MathCad для расчета угла поворота. Здесь предполагается, что робот уже имеет направление по оси Y.



$$\begin{aligned}
 \text{Angle } j &:= \begin{cases} dx_j \leftarrow x_j - x_{j-1} \\ dy_j \leftarrow y_j - y_{j-1} \\ \alpha_j \leftarrow \arccos \left[\frac{(dx_{j-1} \cdot dx_j) + (dy_{j-1} \cdot dy_j)}{\sqrt{(dx_j)^2 + (dy_j)^2} \cdot \sqrt{(dx_{j-1})^2 + (dy_{j-1})^2}} \right] \\ A_j \leftarrow \begin{pmatrix} dx_{j-1} & dy_{j-1} \\ dx_j & dy_j \end{pmatrix} \\ \alpha_j \leftarrow -\alpha_j \text{ if } |A_j| > 0 \\ \alpha_1 \leftarrow \text{atan} \left(\frac{dx_1}{dy_1} \right) \text{ if } dy_1 > 0 \\ \text{otherwise} \\ \left| \begin{aligned} \alpha_1 &\leftarrow -\text{atan} \left(\frac{dy_1}{dx_1} \right) + \frac{\pi}{2} \text{ if } dx_1 > 0 \\ \alpha_1 &\leftarrow \text{atan} \left(\frac{dy_1}{dx_1} \right) + \frac{\pi}{2} \text{ otherwise} \end{aligned} \right. \\ \alpha_j \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рисунок 11 Фрагмент блока программы расчета углов поворота

Расчеты для координат (1) показали следующие значения углов:

$$\frac{180}{\pi} \cdot \text{Angle} =$$

	0
0	0
1	-15.6422
2	32.4614
3	40.4966
4	21.9766
5	21.2801
6	77.1941
7	-60.8527
8	53.3842
9	35.1512
10	61.8711
11	-5.858
12	26.9725

Рисунок 12 Рассчитанные значения углов

2.4 Схемотехника и описание электронных компонентов

В данной работе была применена система фирмы Marvelmind Robotics, изображенная на рис 13. Эта система включает в себя не менее четырех ультразвуковых маяков, установленных по периметру участка и одного центрального маяка, установленного на движущееся средство. Система позволяет определять координаты робота с точностью до 2 см с площадью покрытия до 1000м²



Рисунок 13 Комплект ультразвуковых датчиков Marvelmind Robotics

Управление ходовыми моторами робота осуществляется контроллером Arduino Mega на базе ATmega 2560 и усилительным блоком управления моторами «Dual Motor Drive». Arduino – это электронное устройство, состоящее из одной печатной платы, которое способно управлять разными датчиками, электродвигателями, освещением, передавать и принимать данные. Arduino - это целое семейство устройств разных размеров и возможностей [12].

Arduino – это микроконтроллер семейства Atmega. Микроконтроллер представляет из себя микропроцессор с памятью и различными периферийными устройствами, реализованный на одной микросхеме. Фактически это однокристальный микрокомпьютер, который способен выполнять относительно простые задачи.

Arduino позволяет подключать к нему различные периферийные устройства. Среди них, например:

- кнопки;
- светодиоды;
- микрофоны и динамики;
- электродвигатели и сервоприводы;
- ЖК дисплеи;
- считыватели радиометок (RFID и NFC);
- ультразвуковые и лазерные дальномеры;
- bluetooth, WiFi и Ethernet модули;
- считыватели SD карт;
- GPS и GSM модули. А также десятки различных датчиков.

Для упрощения процесса общения с микроконтроллером разработана специальная программная среда – Arduino IDE. В её состав включены десятки примеров хороших, работающих программ.

Что же касается Arduino Mega 2560 (См. рис. 14), то этом устройстве максимальное из всех плат семейства Arduino количество пинов и

расширенный набор интерфейсов. Также у Arduino Mega больше встроенной памяти. Основные характеристики платы приведены в таблице 3.

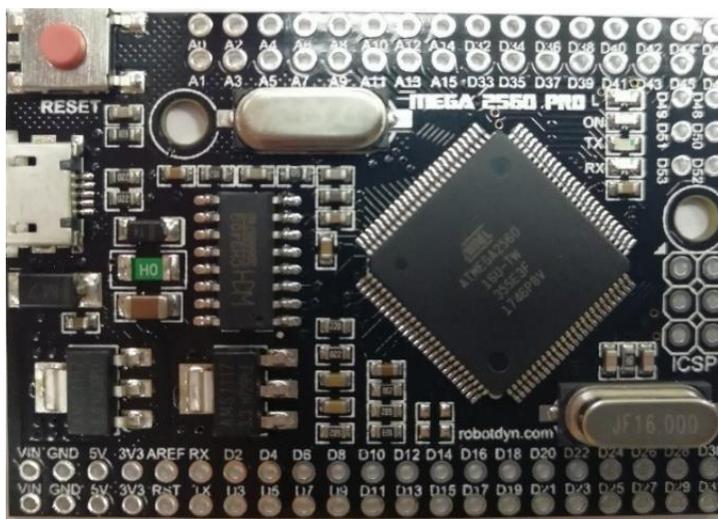


Рисунок 14 Arduino Mega 2560

Таблица 3 Характеристики Arduino Mega 2560

Микроконтроллер	ATmega2560
Рабочее напряжение	5В
Аналоговые входы	16
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	54 (из которых 15 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	256 КБ из которых 8 КБ используются загрузчиком
SRAM	8 КБ

Продолжение таблицы 3

EEPROM	4 КБ
Тактовая частота	16 МГц

Блок управления мотор-редукторами движения платформы «Dual Motor Drive» (См. рис. 15) принимает логические команды от контроллера и преобразует выходные маломощные сигналы дискретной логики в усиленные сигналы, достаточные для управления двумя-четырьмя мотор-редукторами платформы.

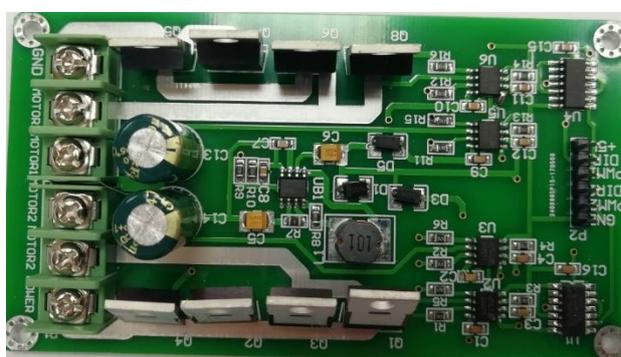
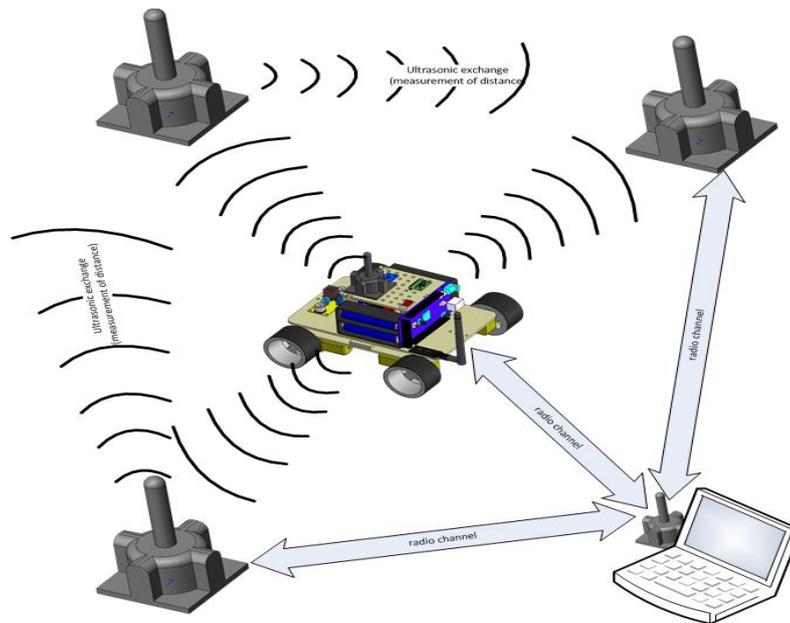


Рисунок 15 Dual Motor Drive

С целью обеспечения стабильной связи между роботом и базовым компьютером на расстоянии до одного километра, связь робота с управляющим компьютером выполнена через радио модули NRF24L01 с усилителем радиоканала на частоте 2.4 ГГц. К компьютеру, на котором установлен блок принятия решений через COM порты, реализованные через USB разъем подключены радио-модем Marvelmind Robotics и радио модуль NRF24L01, соединенный с компьютером через контроллер Arduino Mini. Маяки, по команде радио-модема обмениваются ультразвуковыми сигналами (См. рис. 16). Время отправки и время приема ультразвуковых меток фиксируется, рассчитывается расстояние между маяками, в результате управляющим компьютером формируются данные о геометрии участка и положении робота на участке.



*Рисунок 16 Схема взаимодействия датчиков системы
позиционирования*

С помощью специальной программы, написанной для разработанного комплекса управления вся полученная информация и координаты робота фиксируются. Затем определяется вектор, который задает траекторию движения.

Требования к управляющему компьютеру: наличие как минимум двух USB-портов для подключения радиомодема NRF24L01; возможность подключения графического дисплея с разрешением не ниже 800x600 точек; установленная система Windows не ниже XP или Linux.

В данном проекте в качестве управляющего компьютера применен микрокомпьютер Raspberry Pi3 (См. рис. 17), так как он минимально соответствует предъявляемым требованиям и имеет небольшую стоимость.

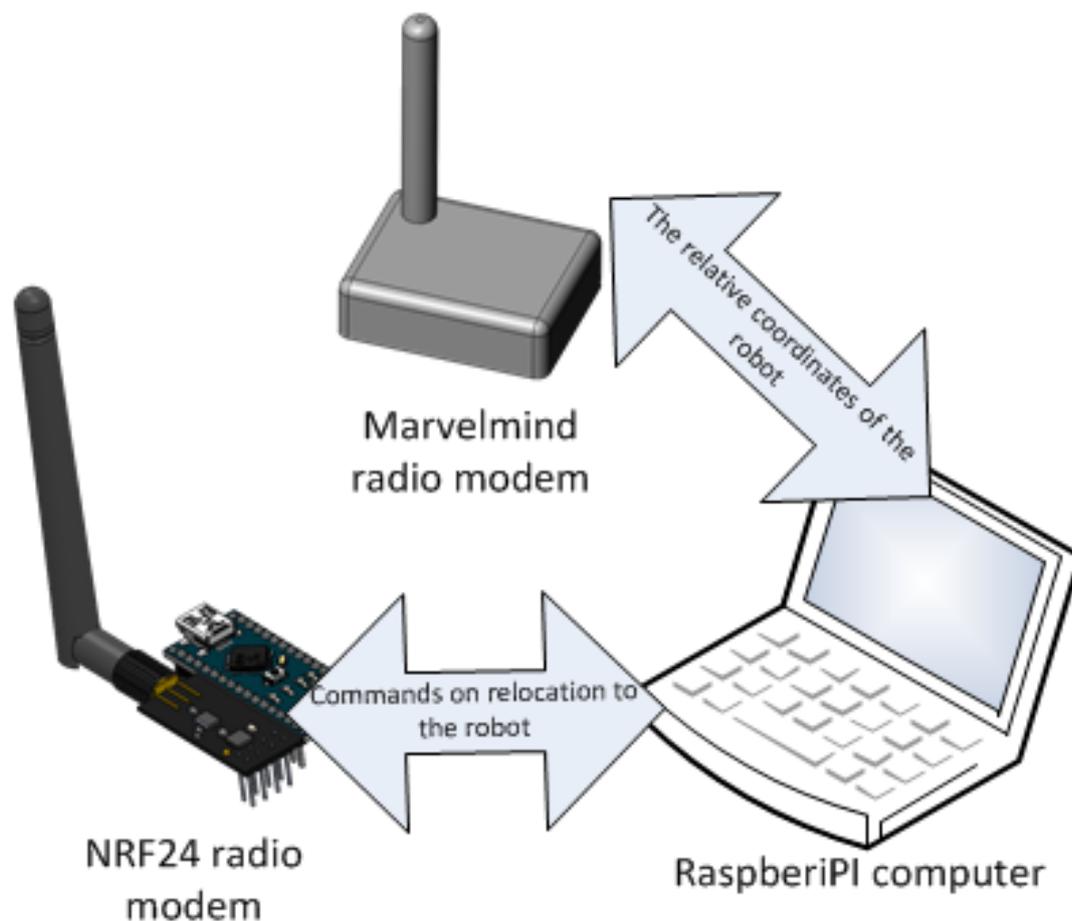


Рисунок 17 Набор передатчиков для управления газонокосилкой

Для корректировки текущего направления робот также оснащен электронным гироскопом, акселерометром и электронным компасом, которые размещены в микросхеме модуля MPU6050 от RobotClass (См. рис. 18). Эти приборы позволяют сохранять прямолинейное направление движение робота в случае проскальзывания ведущих колес с грунтом или несоответствия скоростей вращения колес [13].

Характеристики модуля MPU6050 ROC:

- напряжение питания: от 3,5 до 6 В;
- потребляемый ток: 500 мкА;
- ток в режиме пониженного потребления: 10 мкА при 1,25 Гц, 20 мкА при 5 Гц, 60 мкА при 20 Гц, 110 мкА при 40 Гц;
- диапазон: $\pm 2, 4, 8, 16g$;
- разрядность АЦП: 16;
- интерфейс: I2C (до 400 кГц).

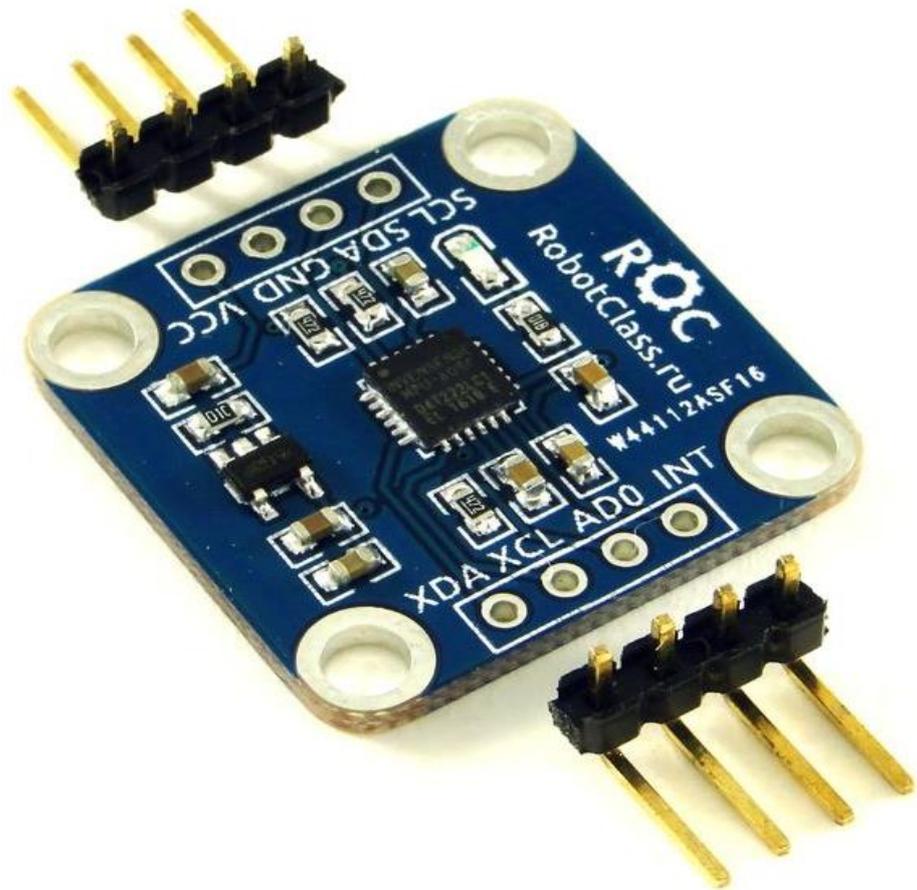


Рисунок 18 Модуль MPU6050

С целью предотвращения столкновения с возможными преградами на обрабатываемой площади робот оснащен ультразвуковыми сенсорами (См. рис. 19).

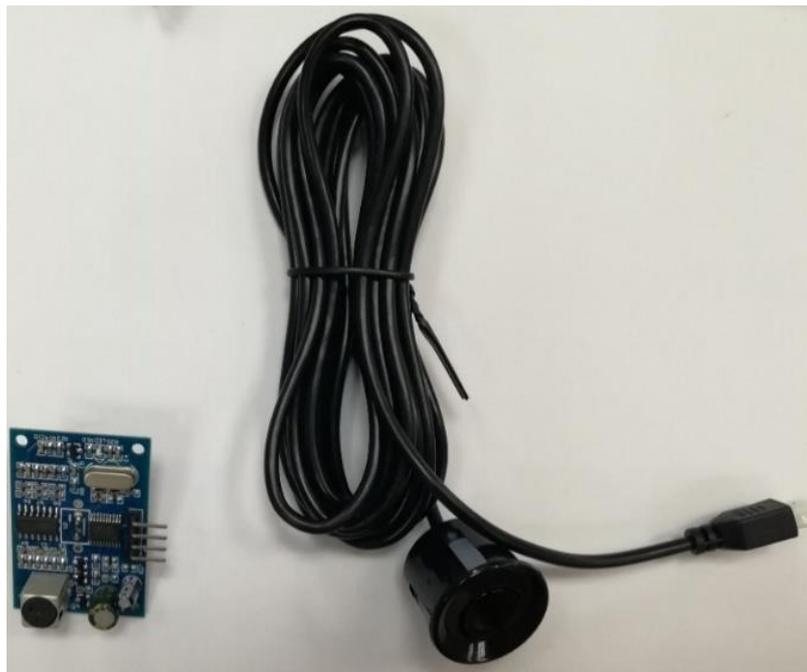


Рисунок 19 Ультразвуковой сонар

Конструктивно ультразвуковой сонар представляет собой ультразвуковой радар, датчики которого являются одновременно излучателями и приемниками. От количества датчиков зависит точность и чувствительность системы. Одна часть датчика испускает ультразвуковой сигнал, вторая часть - улавливает отраженный от предмета сигнал и разницу во времени передает на головной прибор. По разнице между выпущенным и принятым сигналом и определяется расстояние до объекта.

Информация от этих датчиков также передается на управляющий компьютер и служит для корректировки вектора движения с целью объезда препятствий.

Технические спецификации и особенности сонара:

- Измерение расстояния в диапазоне от 10 до 400 см
- Точность измерения до +/- 1 см
- Если ультразвуковой сигнал распознан, датчик возвращает логическое значение «Истина»
- Автоматическая идентификация производится программным обеспечением микрокомпьютера EV3
- Напряжение питания: 5 В.
- Потребление в режиме тишины: 2 мА
- Потребление при работе: 15 мА
- Максимальная частота опроса датчика: 20 Гц (Период опроса 50 мс)
- Частота ультразвука: 40 кГц
- Дальность обзора: 2 см – 4 м
- Разрешение (градация выходного сигнала): 0,3 см
- Эффективный угол наблюдения: 15°
- Рабочий угол наблюдения: 30°
- вес — 8,28 грамм

- Размеры: 45*20*15 мм. ДхШхГ (Ш — без учета контактов подключения)

Для отслеживания работы самоходной автоматизированной платформы на нее была установлен передатчик TS83, который служит для передачи видео сигнала с камеры (См. рис. 20). Он работает на частоте 5.8Ghz с возможностью выбора одного из 32 каналов. Данный частотный диапазон (5645 - 5880 Mhz) позволяет получать видеосвязь хорошего качества и разрешения. На передатчике есть цифровой индикатор выбранного канала.



Рисунок 20 Передатчик TS832

Мощность передатчика TS832 составляет величину 600 mW, что позволяет получить уверенный прием сигнала на расстоянии до 1500 - 2000 метров с качественными антеннами. Вес передатчика TS832, несмотря на большую величину излучаемой мощности, всего 21 грамм.

Особенности:

- 32 канала: диапазоны А, В, Е и F.
- Две кнопки для переключения диапазона и канала.
- Отображение 2-х цифр для диапазона и канала.
- Вывод 2-х независимых сигналов: аудио и видео.

Характеристики:

- Входное напряжение: 7,4-16 В (3S Lipo / ~ 12 В)

- Выходное напряжение: соответствует входному напряжению
- Мощность передатчика: 600 мВт
- Антенна: 2 дБ
- Рабочий ток: 220 мА при 12 В
- Ширина канала под видео – 8 МГц
- Ширина канала под аудио - 6,5 МГц
- Вес: 21 гр.
- Размеры: 54x32x10 мм (без антенны)
- Поддерживаемые форматы видео: NTSC / PAL
- Антенна: SMA

Чтобы вывести изображение с камеры на экран смартфона, был приобретен приемник видеосигнала USV 5.8G 150CH. С его помощью возможно наблюдать за действиями робота удаленно. Приемник работает на частоте 5.8Ghz с возможностью выбора одного из 32 каналов.

3 Конструкторская часть

3.1 Описание конструкции

Конструкция робота-толкателя разрабатывалась в учебной версии SolidWorks. С использованием функционала CAD системы произведены конструирование и расчет элементов робота-толкателя. Проектировались детали устройства, осуществлялась узловая и общая сборка устройства, с применением надстройки анимации движения модели рассматривались основные движения робота-толкателя.

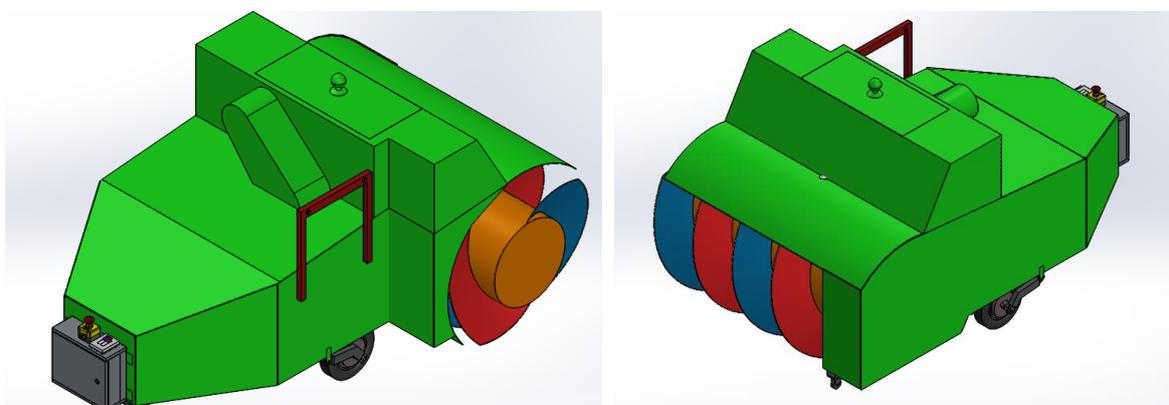


Рисунок 21 Общий вид робота-толкателя

Робот-толкатель конструктивно состоит из пространственной рамы (См. рис 25), качающейся колесной балки (См. рис 23) и навесного устройства с активным шнекоротором и бункером для концентратов (См. рис. 24)

Колесная балка крепится к пространственной раме через кронштейны с установленными в них сайлентблоками. К вилкам колесной балки крепятся мотор-колеса (См. рис. 24). Пространственная рама робота располагается над колесной балкой и выполнена из профильной трубы и уголка. К пространственной раме справа крепится планка с ультразвуковыми датчиками для считывания информации о расстоянии до края кормового стола.

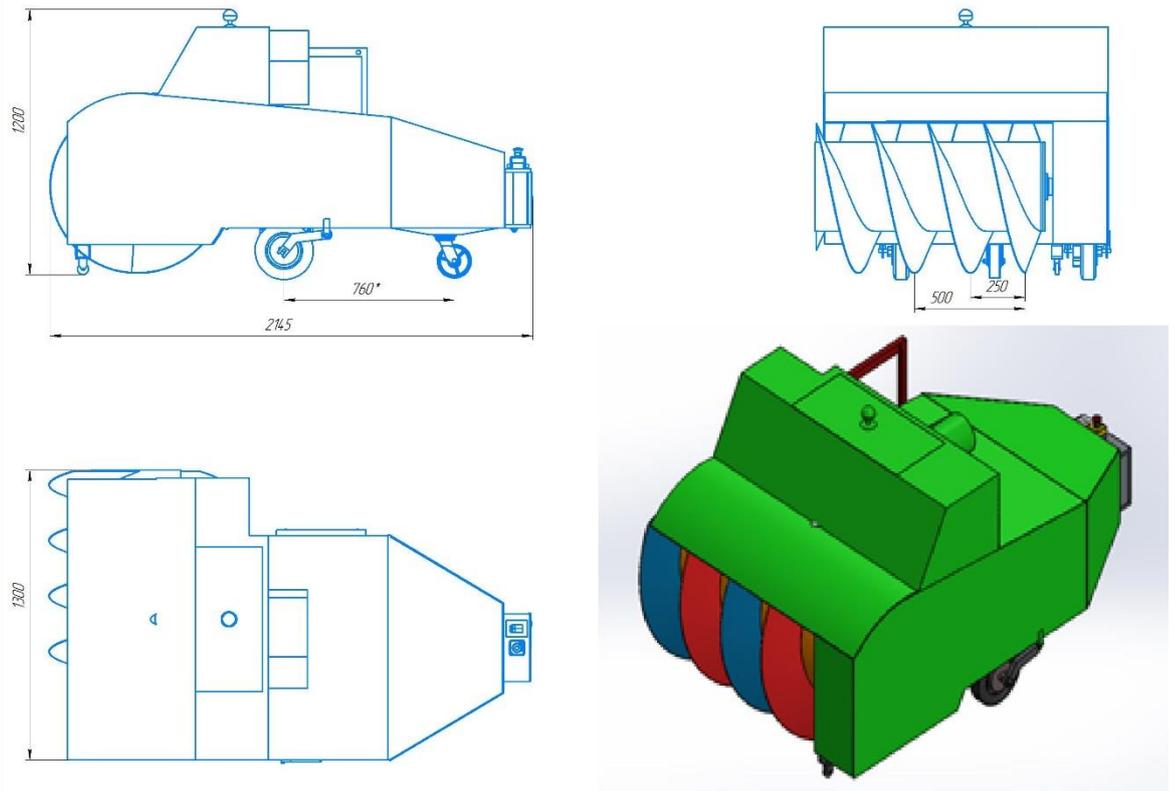


Рисунок 22 Общий вид робота-толкателя

Подъемный механизм представляет собой 2 сборочные единицы, состоящие из шаговых двигателей, передающих крутящий момент через червячные редукторы на валы, соединенные с эксцентриками на которые закреплены шарикоподшипники, опирающиеся на колесную балку. Подъемный механизм способен поднимать робота-толкателя с установленной на него навеской и засыпанным в бункер концентратом, что составляет 450 кг.

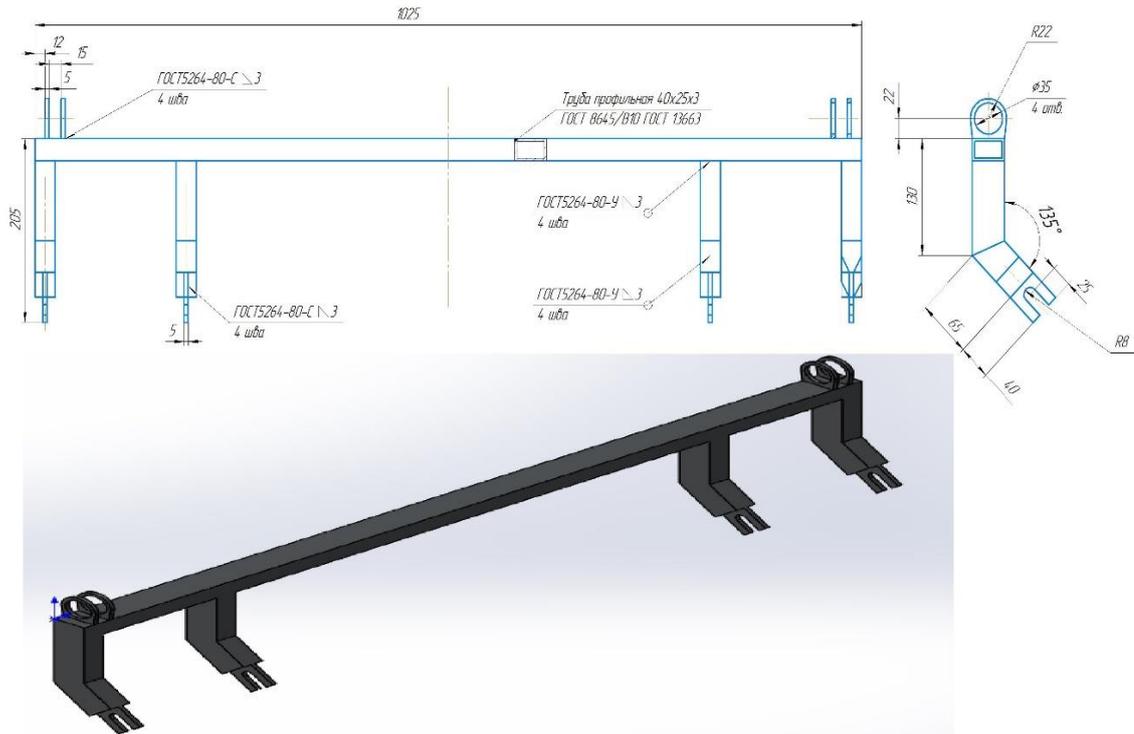


Рисунок 23 Колесная балка

Вся электроника платформы запитана от трех аккумуляторных батарей с напряжением в сети 36В и электроемкостью 180А*ч (См. рис. 24). Гелевые аккумуляторные батареи позволяют производить около 300 циклов глубокого разряда. Заряд аккумуляторных батарей робота-толкателя производится в начальной точке маршрута от зарядной станции.

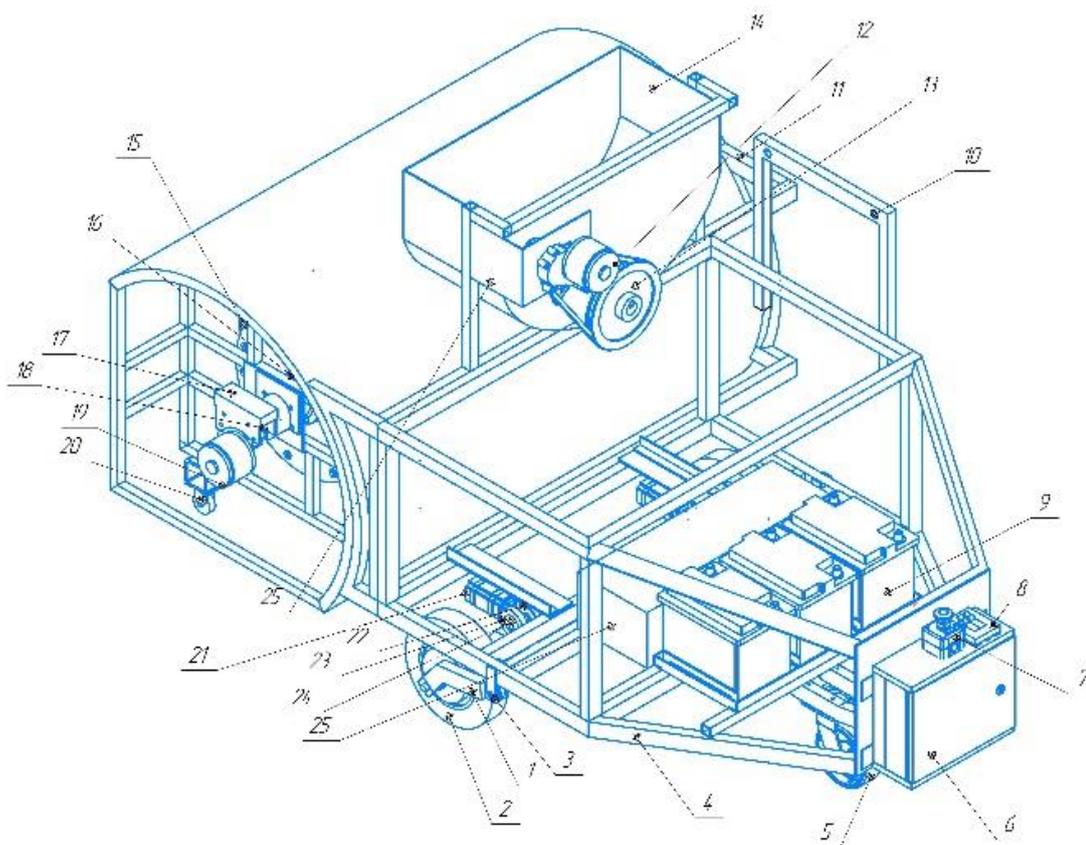


Рисунок 24 Компоновка робота-толкателя

Электромонтажный шкаф с электронными компонентами, установлен в задней части робота. Наружу выведены автоматические выключатели и кнопка аварийной остановки.



Рисунок 25 Сварная рама робота-толкателя

3.2 Определение центра тяжести

С помощью инструментов анализа массовых характеристик программного комплекса SolidWorks был определен центр тяжести агрегата. После чего была проведена проекция силы тяжести из центра масс на опорную поверхность и определена область контакта опорных колес. Проекция силы тяжести не попала в область контакта, следовательно, конструкция робота-толкателя не является устойчивой.

Для придания устойчивости конструкции и улучшения сцепления колес с рабочей поверхностью было принято разместить на раме робота бетонный блок массой 75кг. После установки бетонного блока были повторно рассчитаны массовые характеристики и определена проекция силы тяжести на опорную поверхность. Проекция попала в область контакта опорных колес, таким образом конструкция стала устойчивой (См. рис. 26).

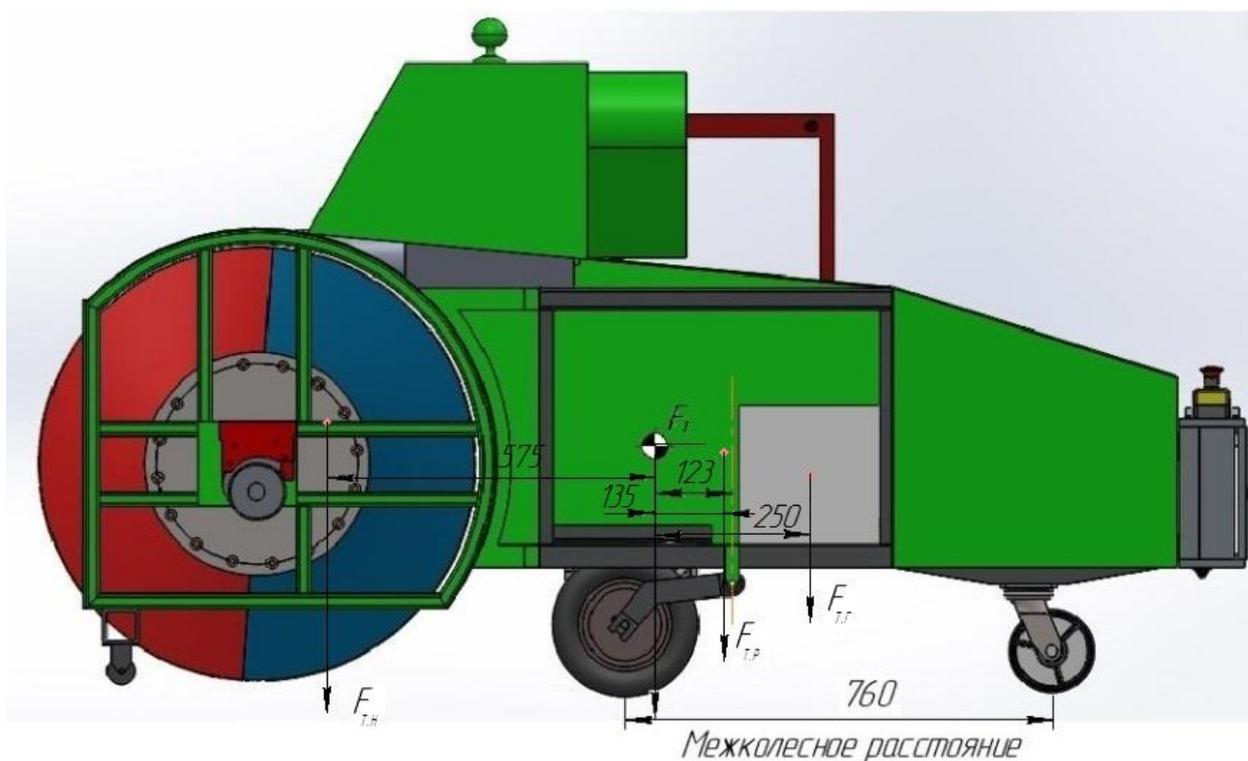


Рисунок 26 Положение центра тяжести с установленным бетонным блоком

3.3 Тяговый баланс агрегата

При конструировании движущейся техники одним из основных параметров является мощность, которая должна быть обеспечена на приводе колес. С учетом веса агрегата, условий сцепления с колесами и рельефа местности. Основная методика расчета сводится к определению тягового баланса. Она подробно описана в литературе для расчета сельскохозяйственной техники [14].

Почти все практические расчеты по определению состава и работе агрегатов проводится с использованием опытных данных, полученных при установившемся движении, когда $dV / dt = 0$, и скорость $V = const$. В этом случае:

$$P_{\text{дв}} = \sum P_C + R_M \quad (3)$$

Сумма сил сопротивления $\sum P_C$ состоит из силы сопротивления качению агрегата P_f , сопротивления при движении агрегата на подъем либо спуск ($\pm P_a$) и лобового сопротивления воздушной среды P_w , т.е.:

$$\sum P_C = P_f \pm P_a + P_w.$$

Подставляя это выражение в уравнение (7), получим:

$$P_{\text{дв}} = P_f \pm P_a + P_w + R_M.$$

При скоростях движения современных МТА сопротивлением воздушной среды можно пренебречь ($P_w = 0$), тогда в окончательном виде:

$$P_{\text{дв}} = P_f \pm P_a + R_M \quad (4)$$

Уравнение (4) определяет тяговый баланс работа при его установившемся движении, из него следует, что движущей силой работа преодолеваются силы сопротивления движению работа-толкателя и сопротивление машины.

В практических расчетах силу P_f принимают пропорциональной весу агрегата. При движении по горизонтальной поверхности:

$$P_f = f_f G_f$$

где G_f - коэффициент пропорциональности.

$$\text{Отсюда } P_f = 0.1 \cdot 1200 = 1.2 \text{ Н}$$

В теории трактора его называют коэффициентом сопротивления качению и численные значения приводят в справочных данных, которые зависят от типа контактной поверхности.

Составляющие сопротивления движению робота P_f и $\pm P_a$ при установившемся движении на подъем с углом склона α определяется в соответствии со схемой (См. рис. 27).

Сила сопротивления качению агрегата при движении на подъем:

$$P_f = f_T G_T \cos \alpha .$$

Сила сопротивления движению агрегата на подъем:

$$P_a = \pm G_T \sin \alpha \quad (5)$$

С учетом принятых на рис. 27 обозначений отношение $h/l = \operatorname{tg} \alpha = i$ которое при расчетах представляют либо дробным числом, либо в процентах, называют подъемом (спуском) рабочего участка поля.

Учитывая, что углы подъема (спуска) в условиях дачных участков не превышают $\alpha = 25^\circ$, а при этих значениях то уравнение (5) можно записать в виде:

$$P_a = \pm G_T \operatorname{tg} \alpha \approx \pm G_T i \approx \pm G_T \frac{i}{100} .$$

В окончательном виде уравнение тягового баланса агрегата при движении на подъем (спуск) примет вид:

$$P_{\text{ог}} = (f_T G_T \cos \alpha \pm G_T \frac{i}{100}) + R_M$$

Отсюда находим:

$$P_{\text{дв}} = (0.1 \cdot 1200 \cdot \cos 25^\circ \pm 1200 \cdot \frac{\text{tg} 25^\circ}{100}) + 3 = 140.34H .$$

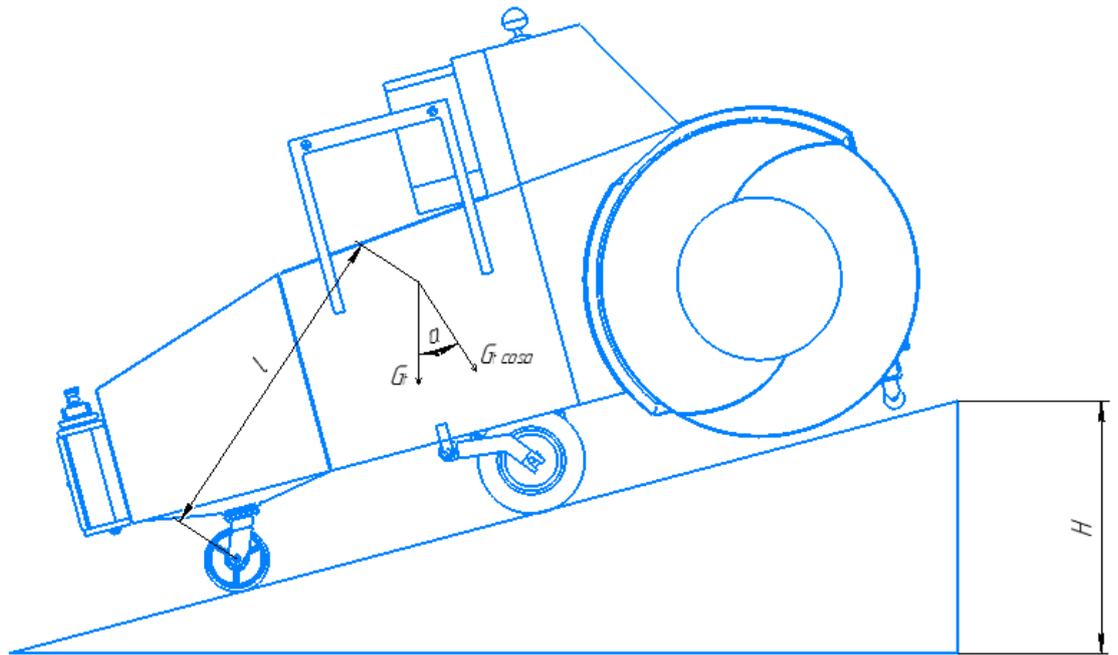


Рисунок 27 К расчету сил сопротивления при движении роботизированной платформы на подъем.

3.4 Движущая сила МТА

Из уравнения тягового баланса агрегата следует, что важнейшая величина в нем – движущая сила, источником которой является мотор агрегата. В двигателе электроэнергия преобразуется в механическую и снимается в виде крутящего момента M_e .

Крутящие моменты M_e и M_k являются внутренними силовыми факторами и не могут вызвать движения агрегата, тогда как возникновение движущей силы должно быть обусловлено внешним силовым фактором.

Рассмотрим механизм ее возникновения на ведущем колесе агрегата (См. рис. 28). При этом принимаем следующие допущения:

- радиус колеса равен радиусу качения r_k ;

- опорная поверхность является жесткой, т.е. качение происходит без образования следа от прохода колеса.

На колесо действуют часть веса агрегата $G_{\text{сц}}$, называемая сцепным весом, и вертикальная реакция почвы R .

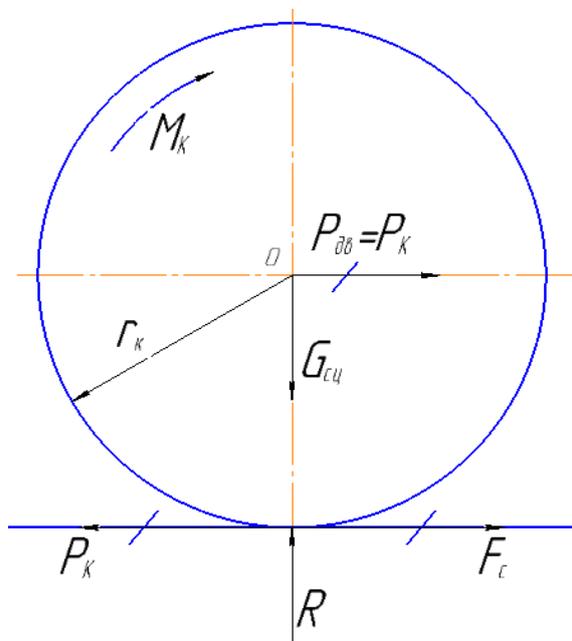


Рисунок 28 Схема сил, действующих на ведущее колесо

Крутящий момент M_k ведущего колеса можно заменить парой сил с плечом действия r_k , т.е.: $M_k = P_k r_k$.

Силу P_k , действующую на плечо r_k , принято называть касательной силой тяги колеса. Приложенная к колесу сила P_k за счет трения и сцепления в контакте с опорной поверхностью уравнивается равной ей по величине, но противоположно направленной равнодействующей реакции почвы F_c .

Таким образом, $P_k = F_c$. Но сила P_k является внутренней, а сила F_c внешней по отношению к агрегату, которая способна вызвать движение.

Из схемы следует, что сила $P_k = F_c = P_{\text{об}}$, приложенная в центре колеса и направленная в сторону движения, и является движущей силой. Таким

образом, движущей силой роботизированной платформы является внешняя сила, приложенная к оси ведущего колеса, направленная в сторону движения, источником которой является работа электродвигателя и наличие сцепления ведущих колес ходового аппарата с почвой.

Найдем радиальную силу на ведущих колесах агрегата. На каждое ведущее колесо идет отдельный электромотор, а так как эти моторы одинаковы, рассчитаем радиальную силу на одном колесе по формуле:

$$F = M / R, \quad (6)$$

где M – крутящий момент на колесе кгс/см; R – радиус колеса, см.

$M = P \cdot 9600 / n$, где P – мощность двигателя, кВт; n – кол-во оборотов, об/мин. $M = P \cdot 9600 / n = 1 \cdot 9600 / 75 = 128$ кгс/см

Итак, радиальная сила на колесе:

$$F = 128 / 20 = 6.4 \text{ кгс} = 63 \text{ Н}.$$

Силы в 50Н вполне достаточно для движения роботизированной самоходной платформы на подъемы до 25 градусов. По ровной горизонтальной же поверхности агрегат развивает скорость порядка 1 м/с, что составляет около 5 км/ч, что вполне сопоставимо с аналогичными роботизированными платформами зарубежного производства.

3.5 Крутящий момент колеса

Крутящий момент мотора - это сила, с которой он воздействует на вращаемую ось. Для того, чтобы робот мог двигаться, необходимо, чтобы эта сила превышала вес робота (выражаемый в Н/м).

Некоторые употребляют вместо понятия крутящий момент, термин вращающий момент. По сути это одно и то же. И то, и другое являются моментами, просто в технике крутящий момент — это нагрузка на колесе, а вращающий момент — нагрузка в технической науке под названием «Соппротивление материалов».

Рассмотрим сильно упрощенную идеализированную модель колесного робота.

При движении по прямой на расстояние 1м, рассчитаем ускорение, необходимое для достижения скорости в 1м/с.

При движении по прямой на расстояние 1м, рассчитаем ускорение, необходимое для достижения скорости в 1м/с. $v^2 = v_0^2 + 2ad$

где d — расстояние, пройденное роботом, $v_0 =$ — его начальная скорость (стартуем с места, поэтому, $v_0 = 0$, $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2d}$

где v — скорость робота;

a — его ускорение.

Подставим значения, принятые в нашей модели, получим

$$a = \frac{1^2 - 0^2}{2d} = 0.5 \text{ м / с}$$

Вращающий момент, который необходим для перемещения робота и получения им ускорения, необходимого для достижения максимальной скорости рассчитывается следующим образом: $M = Ja$

При $J = \frac{mgr^2}{2}$ — момент инерции и $a = \frac{a}{r}$ — угловое ускорение,

получим

$$M = \frac{mgra}{2}; \quad (7)$$

Здесь $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения, r — радиус колеса, m — масса всего робота

Подставив значения, получим

$$M = \frac{390 \cdot 9,8 \cdot 0,13 \cdot 0,5}{2} = 124200 \text{ мН} \cdot \text{м}$$

Для перевода величины, выраженной в Н·м в кг*см нужно учесть, что 1Н = 0.102 кг и 1м = 100 см. Поэтому 124200 мН·м = 1265 кг · см.

Для расчета максимальной скорости мотора нам понадобится частота вращения, которая выражается в оборотах в минуту

$$v = \frac{\pi d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 260 \cdot 75}{1000} = 61,2 \text{ м / мин} = \frac{61,2}{1000} \cdot 60 = 4,6 \text{ км / ч}$$

3.6.1 Индуктивный датчик

Бесконтактный датчик, предназначенный для контроля положения объектов из металла (к другим материалам не чувствителен). Принцип действия основан на изменении амплитуды колебаний генератора при внесении в активную зону датчика металлического, магнитного, ферромагнитного или аморфного материала определенных размеров. При подаче питания на конечный выключатель в области его чувствительной поверхности образуется изменяющееся магнитное поле, наводящее во внесенном в зону материале вихревые токи, которые приводят к изменению амплитуды колебаний генератора. В результате вырабатывается аналоговый выходной сигнал, величина которого изменяется от расстояния между датчиком и контролируемым предметом.

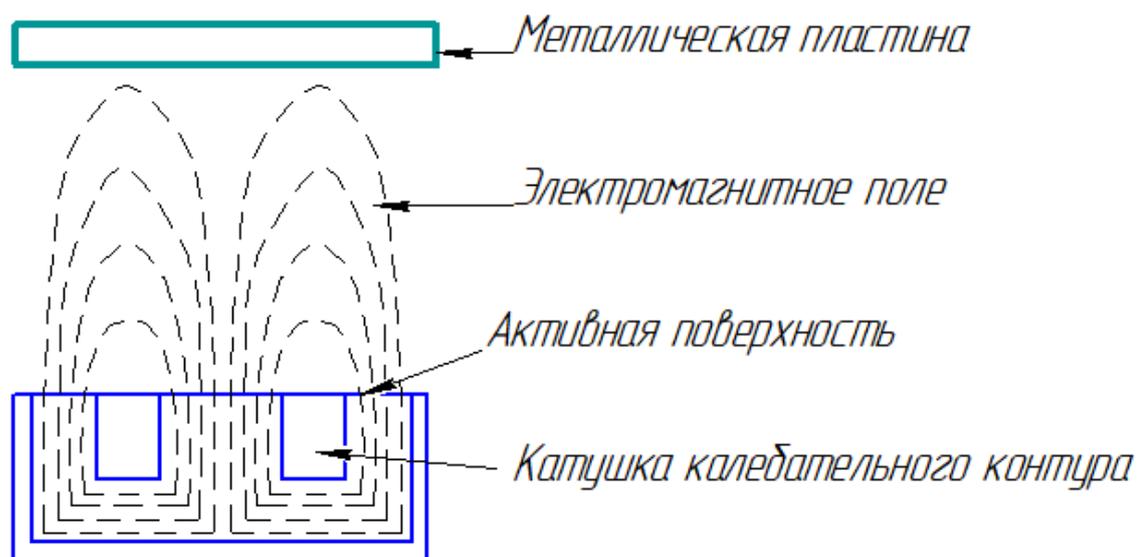


Рисунок 29 Принцип работы индуктивного датчика

3.6.2 Ультразвуковой датчик

Принцип действия ультразвукового датчика аналогичен работе радара, они улавливают цель по отраженному сигналу. Скорость звука – величина постоянная. На основании этого таким датчиком вычисляется расстояние до некоторого объекта, соответствующее диапазону времени между выходом сигнала и его возвращением.

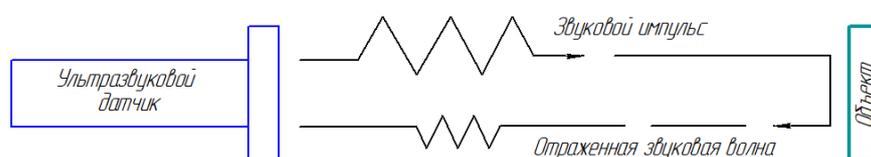


Рисунок 30 Схема работы ультразвукового датчика

Ультразвуковые датчики идеально подавляют фоновые шумы, так как расстояние до объекта определяется с помощью измерения времени полета звуковой волны, а не её интенсивности. Практически все материалы, отражающие звук, могут использоваться в качестве объектов обнаружения, независимо от их цвета. Даже прозрачные материалы и тонкие пленки не представляют проблемы для ультразвуковых датчиков. Ультразвуковые датчики могут определять цели на расстоянии от 30 мм до 8 м, при этом производя измерения с очень высокой точностью. Некоторые модели датчиков способны выполнять измерения с точностью до 0,18 мм. Ультразвуковые датчики могут видеть через запыленный воздух, туман или частицы тонера. Даже небольшой налет на мембране сенсора не влияет на его работу. Слепая зона датчика составляет всего 20 мм, а плотность излучаемого потока очень мала.



Рисунок 31 Ультразвуковой датчик

3.6.3 Мотор-колесо



Рисунок 32 Мотор-колесо

Для обеспечения требуемых характеристик лучше использовать мотор-колесо с запасом по мощности, как минимум в два раза.

Исходя из расчетов, выбираем мотор-колесо 36В постоянного тока, щеточное исполнение, мощностью 350Вт.

3.7 Расчет силы, действующей на колесную балку

В точке крепления колесной балки к раме робота действует крутящий момент, образованный произведением силы тяжести, исходящей из центра масс на плечо:

$$G_{у.м.} \cdot l_1 = M_{КР} \quad (8)$$

Тогда в точке контакта колесной балки и подъемного механизма будет действовать сила

$$G_B = \frac{M_{КР}}{l_2} = \frac{G_{у.м.} \cdot l_1}{l_2} \quad (9)$$

$$G_B = \frac{G_{у.м.} \cdot l_1}{l_2} = \frac{390 \cdot 9,8 \cdot 348}{111,6} = 11918H ;$$

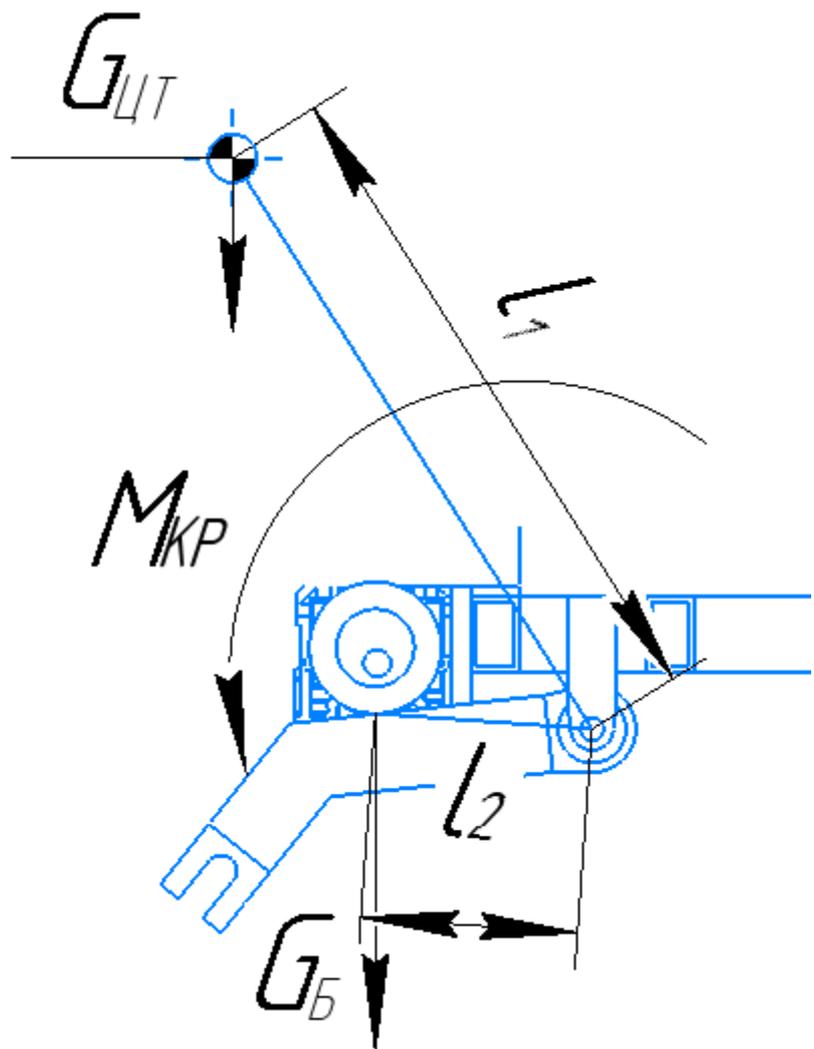


Рисунок 33 Схема к расчету силы действующей на колесную балку

3.8 Расчет момента, подаваемого на эксцентрик

Находим угол трения «деталь-эксцентрик»:

$$\varphi_1 = \arctg(f_1), \quad (10)$$

где f_1 – коэффициент трения «деталь-эксцентрик»;

$f_1=0,15$ – значение коэффициента трения «деталь-эксцентрик» соответствующее случаю «сталь по стали без смазки»;

$$\varphi_1 = \arctg(0,15) = 8,15^\circ,$$

Находим угол трения «ось-эксцентрик»:

$$\varphi_2 = \arctg(f_2), \quad (11)$$

где f_2 – коэффициент трения «шарикоподшипника»;

$f_2=0,01$ – значение коэффициента трения шарикоподшипника

$$\varphi_2 = \arctg(0,01) = 0,57^\circ,$$

Находим

$$\alpha = \arctg(2 \cdot e / D),$$

максимальный угол
кругового клина:

(12)

где e – эксцентриситет кулачка, мм;

D – диаметр эксцентрика, мм.

$$\alpha = \arctg(2 \cdot 8 / 68) = 13,22^\circ,$$

Тогда радиус-вектор (мм) точки контакта будет равен:

$$R = D / (2 \cdot \cos(\alpha)), \quad (13)$$

$$R = 68 / (2 \cdot \cos 13,22^\circ) = 34,93 \text{ мм},$$

Требуемый крутящий момент на валу эксцентрика вычисляется по формуле:

$$M_B = \frac{P_n}{\cos(\alpha) / (R \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg}(\varphi_2))}, \quad (14)$$

где M_B – момент передаваемый валом, Нм;

d – диаметр вала, мм;

P_n – сила, действующая на подшипник.

Так как робот оснащен двумя подъемными механизмами, то:

$$P_n = \frac{G_B}{2} = \frac{11918}{2} = 5960 \text{ Н},$$

$$M_B = \frac{5960}{\cos 13,22^\circ / (34,93 \cdot \operatorname{tg}(13,22^\circ + 8,53^\circ) + 14 / 2 \cdot \operatorname{tg}(0,57^\circ))} = 85,75 \text{ Нм},$$

В ходе расчетов установили, что для работы подъемного механизма на вал необходимо передать крутящий момент величиной более 86 Нм [15].

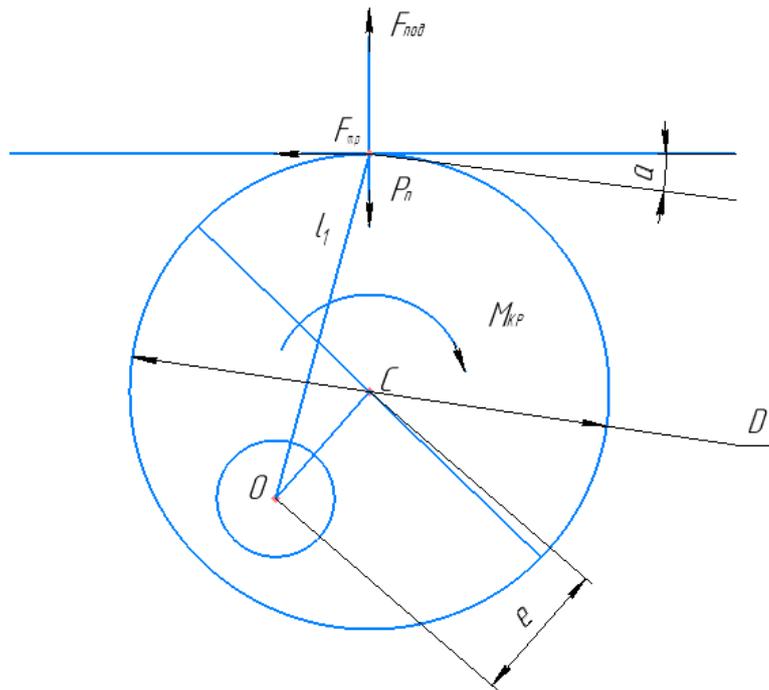


Рисунок 34 Схема для расчета эксцентрика

3.9 Подбор электродвигателя

Для изменения крутящего момента от электродвигателя применим червячный редуктор NRV 030 с передаточным отношением 1:30. Тогда требуемый крутящий момент двигателя будет равен

$$M_{кр.д} = \frac{M_B}{i} = \frac{86}{30} = 2,85 \text{ Нм},$$

Исходя из полученных данных применим шаговый электродвигатель типоразмера NEMA 23 длиной 130 мм.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного проекта заключается в создании предприятия, производящего автоматизированных роботов-толкателей кормов для животноводческих ферм.

4.1 Продукт как результат научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Подталкивание кормовой смеси к краю кормового стола – операция, обеспечивающая максимальную доступность кормовой смеси для животных.

Автоматизация данного процесса позволяет повысить продуктивность вследствие стимулирования животных к поеданию корма, обеспечить равномерное качество кормовой смеси, снизить трудоемкость операции подталкивания кормов, уменьшить потери кормовой смеси.

Предлагаемый продукт представляет собой устройство, позволяющее осуществлять операции подталкивания, ворошения и внесения добавок в кормовую смесь в автономном режиме. После обслуживания кормового стола на одном пролете, робот совершает переезд на следующий пролет и обслуживает новый кормовой стол. При завершении цикла обслуживания всех кормовых столов, робот-толкатель возвращается на исходную точку, которая является станцией для зарядки аккумуляторов.

Разрабатываемое устройство сможет решать следующие задачи:

- 1) Оптимальная производительность в течение суток. Так как подталкивание работает круглосуточно, у животных всегда будет в достатке кормовая смесь;
- 2) Стабильное качество производимой работы вследствие исключения человеческого фактора;
- 3) Внесение добавок в кормовую смесь. Данное устройство оснащено бункером для сыпучих продуктов;

4) Освежение кормовой смеси методом ворошения. Робот-толкатель оснащен вращающимся от электродвигателя шнекоротором, позволяющим перемешивать кормовую массу и разбивать комочки освежая запахи до животных;

5) Уменьшение потерь кормовой смеси. Кормовая смесь расходуется более эффективно;

б) Увеличенная производительность относительно аналогов. Так как данный робот снабжен качающейся колесной балкой, он обладает улучшенными ходовыми характеристиками, которые позволяют перемещаться между пролетами с животными и обслуживать несколько кормовых столов.

4.2 Способы защиты интеллектуальной собственности

Защита интеллектуальной собственности будет осуществляться путём подачи заявок в Федеральную службу по интеллектуальной собственности на создание патентов на промышленный образец и на полезную модель. Срок действия авторских прав для полезных моделей составляет 10 лет, а для промышленных образцов – 5. Также для работы робота будет создана управляющая программа, на которую будет подана заявка на свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Авторское право на программу для ЭВМ действует в течение всей жизни автора и 50 лет после его смерти.

4.3 Объем и емкость рынка

В конце 2020 г., по оценке Всемирной ассоциации робототехники (International Federation of Robotics, IFR), объем рынка достиг 16,5 млрд долл. Продажи промышленных роботов в 2019 г. сократились в количественном выражении на 12 % по отношению к 2018 г., с 422 до 373 тыс. единиц. При этом суммарное количество роботов, находящихся в эксплуатации, составило 2,7 млн единиц (См. рис. 35).



Рисунок 35 Количество промышленных роботов в мире

Аналитики прогнозируют, что уже к 2025 г. примерно четверть всех операций будет выполняться роботами. Объем мировых расходов на робототехнику уже через три года прогнозируется в объеме 250 млрд долл., а ежегодный среднегодовой темп роста отрасли составит 12...14 %. При этом объем рынка будет оцениваться в районе 35 млрд долл. Только с 2020 по 2022 г. будет установлено около 2 млн новых роботов [16].

Сельское хозяйство, в отличие от других отраслей экономики, во время пандемии продолжило функционировать так как было признано стратегически важной для государства отраслью. Кроме того, объемы производства сельскохозяйственной продукции были увеличены по причине прекращения импорта в страну, что сказалось на потребностях АПК в дополнительном технологическом вооружении. Помимо увеличившегося спроса на продукцию сельхозмашиностроения прекратились его поставки из-за рубежа, что способствовало появлению дефицита на рынке сельскохозяйственных роботов.

После снятия ограничений рост сельхозмашиностроения продолжил расти как внутреннем, так и на внешнем рынке. Многие зарубежные

производители сельскохозяйственной техники в период пандемии приостановили своё производство, вследствие чего создавался дефицит на внешнем рынке, который позволил отечественным производителям увеличить экспорт своей продукции. Помимо этого, на фоне пандемии начал снижаться курс рубля, что побудило отечественный АПК всё чаще отказываться от продукции иностранного производства в пользу отечественного продукта. Также во времена ограничений, наряду с прекращением ввоза новых импортных машин, был прекращён ввоз и запасных частей, что также стало влиять на выбор производителя.

Рынок промышленных роботов в России вырос с 1,92 млрд руб. в 2018 г. до 2,92 млрд руб. в 2021 г., что свидетельствует о ежегодном приросте выручки в размере 21-22%. Количество людей, занятых в отрасли автоматизации сельского хозяйства за 2019-2020 гг. выросло на 29% [17].

В 2022 г. ограничения на ввоз иностранной техники возобновлены, что способствует дефициту продукции на российском рынке по причине недостатка предложения отечественными компаниями (См. рис. 36).

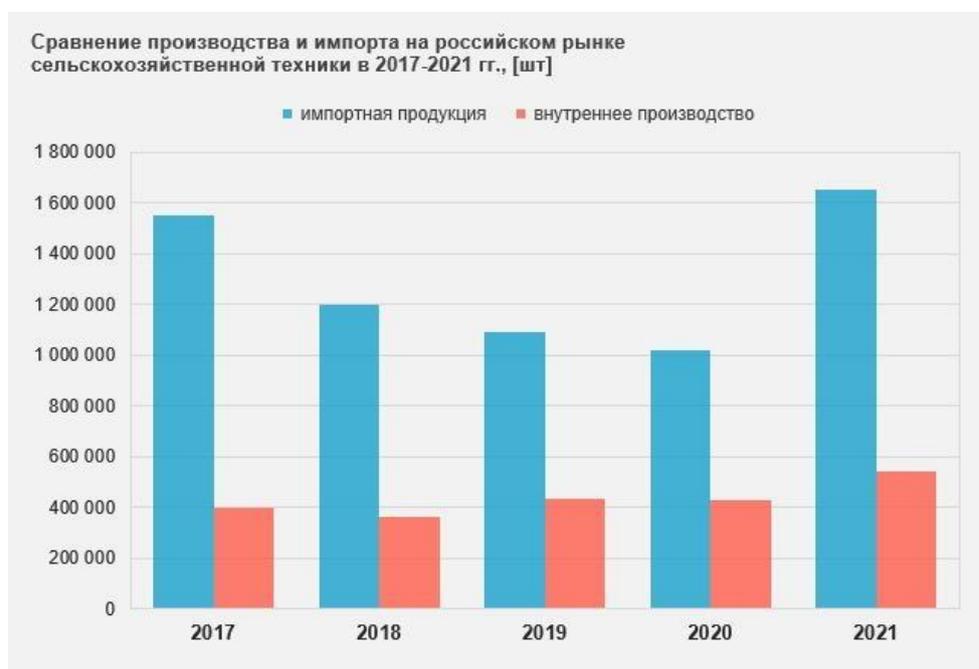


Рисунок 36 Доля отечественного производства на рынке сельскохозяйственной техники

4.4 Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт

Агропромышленный комплекс является важным сектором российской экономики, в котором производятся жизненно важные для общества продукты и сосредоточен огромный экономический потенциал. Доля агропромышленного комплекса в российском ВВП достигает 4,5%. Развитие сельского хозяйства определяет уровень продовольственной безопасности государства и социально-экономическую обстановку в обществе.

Рост производства сельскохозяйственной продукции обусловлен введением в отрасль автоматизированных систем, обладающих искусственным интеллектом.

По данным сельскохозяйственной микропереписи 2021 года количество фермерских хозяйств уменьшилось на 25% - с 136,7 до 102,4 тыс. Однако общая площадь сельскохозяйственных угодий в среднем на один объект переписи увеличилась на 101,5% - с 226,5 до 456,3 га (См.рис. 37). Следовательно, общая площадь сельскохозяйственных угодий фермерских хозяйств выросла на 42,1%.

Количество сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства увеличилось на 26,3% - с 7,6 до 9,6 тыс. Общая площадь сельскохозяйственных угодий в среднем на один объект переписи увеличилась на 8% - с 5885,1 до 6353,4 га (См. рис. 37). Следовательно, общая площадь сельскохозяйственных угодий сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства выросла на 36,4% [18].



1.1. ЧИСЛО ОБЪЕКТОВ И ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В РАСЧЕТЕ НА ОДИН ОБЪЕКТ ПЕРЕПИСИ ПО КАТЕГОРИЯМ ХОЗЯЙСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕРЕПИСЕЙ 2016 И 2021 ГГ.

	Число объектов переписи, тыс. единиц		Общая площадь сельскохозяйственных угодий в среднем на один объект переписи, га	
	ВСХП-2016	СХМП-2021	ВСХП-2016	СХМП-2021
Сельскохозяйственные организации — всего	36,0	34,4	2 501,8	3 408,9
из них:				
сельскохозяйственные организации, не относящиеся к субъектам малого предпринимательства	7,6	9,6	5 885,1	6 353,4
малые сельскохозяйственные предприятия	24,3	20,9	1 790,7	2 400,1
в том числе:				
малые предприятия (без микропредприятий)	7,1	6,5	3 786,4	4 123,3
микропредприятия	17,2	14,4	964,7	1 380,2
Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели — всего	174,8	123,2	226,5	456,3
в том числе:				
крестьянские (фермерские) хозяйства	136,7	102,4	256,3	476,8
индивидуальные предприниматели	38,0	20,8	119,1	306,6
Личные подсобные и другие индивидуальные хозяйства граждан	23 496,9	16 626,7 ¹⁾	0,5	0,6 ¹⁾
Некоммерческие товарищества — всего	75,9	72,2	15,2	15,4 ²⁾
в том числе:				
садоводческие	67,3	66,2	15,1	15,5
огороднические	2,8	1,7	10,1	9,5
дачные и др.	5,8	4,3	18,7	15,8

¹⁾ Информация приведена по обследованным объектам.
²⁾ Общая площадь земли в среднем на один объект.

Рисунок 37 Сравнительные показатели сельскохозяйственной микропереписи 2021 года

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что происходит укрупнение фермерских хозяйств и сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства.

4.5 Себестоимость продукта

Себестоимость продукта складывается из таких составляющих как:

- затраты на приобретение комплектующих;
- услуги сторонних организаций;
- затраты на заработную плату рабочих;
- отчисления на социальные нужды по заработной плате рабочих
- амортизационные отчисления;
- аренда и содержание производственного помещения.

4.5.1 Затраты на комплектующие

Одной из статей расходов являются затраты на покупку комплектующих. Стоимость комплектующих определяем по фактическим

ценам, результаты сводим в таблицу 4:

Таблица 4 Стоимость комплектующих

№	Наименование	Норма шт.(метры)	Цена, руб./шт.	Сумма, руб.
1	Аккумулятор гелевый	3	11000	33000
2	Электродвигатель для вращения шнекоротора	1	2100	2100
3	Мотор-колеса	2	7100	11400
4	Колесо поворотное	1	400	400
5	Труба профильная 25*25 мм	8	163	1304
6	Пульт	1	3500	3500
7	Набор электронных компонентов	1	5000	5000
8	Автоматический выключатель	2	150	300
9	Металл листовой 2мм	7	1300	9100
10	Покраска	1	3500	3500
11	Электродвигатель для бункера	1	4000	4000
12	Набор парктроники	8	300	2400
13	Розетка с преобразователем питания	1	366	366
14	Пруток стальной	8	130	1040
15	Набор беспроводных видео-передатчиков	1	500	500
16	Силовая электроника	3	300	900
17	Шкаф электрический	1	600	600
18	Метизы	-	1000	1000

Продолжение таблицы 4

19	Червячный редуктор	2	2700	5400
20	Подшипник 6008 (108)	2	640	1280
21	Ступица ВАЗ 2108	1	2300	2300
22	Муфта кулачковая	1	937	937
23	Шаговый двигатель	2	2630	5260
24	Труба профильная 40*25 мм	15	237	3555
25	Пост кнопочный	1	300	300
26	Сайлентблок ВАЗ 2108	2	145	290
27	Уголок металлический 25*25 мм	7	101	707
28	Колесо неповоротное	1	140	140
29	Пластик АБС листовой	8	800	6400
30	Датчик металла	2	750	1500
31	Итого			111279

Так как сварочные работы будут производиться на стороннем предприятии, необходимо учесть стоимость их услуг. Стоимость работ будет равна стоимости материалов, тогда затраты составят 19206 руб.

4.5.2 Затраты на заработную плату

Для производства продукции необходим штат сотрудников в который входят инженер-конструктор, инженер-электроник, программист и слесарь-сборщик. Размер заработной платы работников назначим равной средней заработной плате соответствующей отрасли труда и сведем в таблицу 5:

Таблица 5 – Затраты на заработную плату на единицу продукции

Сотрудник	Оклад, руб.
Инженер-электроник	110000
Программист	110000
Инженер-конструктор	90000
Слесарь-сборщик	65000
Итого	375000

Для единицы продукции затраты на оплату труда работникам составляют деление годового фонда оплаты труда на годовую программу выпуска продукции.

$$N = 375000 \cdot 12/50 = 90000 \text{ руб.} \quad (1)$$

4.5.3 Отчисления на социальные нужды по заработной плате рабочих

Помимо выплаты заработной платы рабочим необходимо осуществлять обязательные социальные отчисления такие как обязательное пенсионное страхование, обязательное медицинское страхование, обязательное социальное страхование.

Таблица 6 – Затраты на социальные отчисления на единицу продукции

Годовой фонд заработной платы, руб.	Страховой взнос	Тариф, %	Величина взносов, руб.
4500000	ОПС	22	990000
	ОСС	2,9	130500
	ОМС	5,1	229500
Итого, руб.	1350000		
Итого на единицу продукции, руб.	27000		

4.5.4 Прочие затраты

К прочим затратам для создания данного продукта относятся расходы на ремонт оборудования, аренду и содержание помещения, накладные расходы. Стоимость прочих затрат оценим как 25% от количества затрат на комплектующие, тогда прочие затраты оцениваются в 27819 руб.

4.5.5 Себестоимость продукта

Расчет себестоимости продукта по элементам затрат отражен в таблице 7.

Таблица 7 Себестоимость продукта

Элементы затрат	Стоимость, руб.
1. Затраты на комплектующие	111279
2. Оплата труда	90000
3. Страховые взносы во внебюджетные фонды	27000
4. Прочие расходы	27819
5. Сварочные работы	19206
ИТОГО	275304

Таким образом, примерная себестоимость продукта оценивается в 275 тыс. руб.

4.6 Конкурентные преимущества создаваемого продукта и сравнение технико-экономических характеристик продукта с аналогами

С учетом выявленных недостатков аналогов мы предлагаем вариант конструкции робота-толкателя с повышенными ходовыми характеристиками. Мобильность осуществляется за счет возможности подъема шнекоротора при переезде между кормовыми столами. Также преимущество перед другими

производителями будет за счет применения более совершенной системы позиционирования робота.

Можно выделить следующие конкурентные преимущества разрабатываемого продукта:

1. Увеличение времени непрерывной работы. Время непрерывной работы предлагаемого продукта составляет 60 мин., а у аналогов – 30 мин.

2. Повышенная производительность. Данный робот сможет обслуживать до трех пролетов с животными, тогда как другие могут обслуживать только один пролет.

3. Ворошение кормовой массы. Роботы-толкатели по принципу действия подразделяются на два класса: сталкивающие вращающимся цилиндром и смещающие активным шнекоротором. Второй вариант более предпочтителен так как вместе со смещением происходит ворошение кормовой массы и обновление запахов привлекающих животных.

4. Улучшенная система позиционирования. Аналоги оснащаются ультразвуковыми, индуктивными датчиками и радиомаяками. Новый продукт помимо данных систем будет обладать системой распознавания графических образов.

4.7 Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта

Основным потребителем роботов-толкателей являются средние и крупные фермерские хозяйства, специализирующиеся на КРС, а также небольшие крестьянские фермерские хозяйства.

Основным риском для реализации проекта является невысокая вероятность доведения проекта до стадии испытания, а также выход в продажу конкурента с аналогичными характеристиками.

4.8 Бизнес-модель проекта

В качестве бизнес-модели была составлена модель Остервальдера,

представленная в приложении А.

4.9 Стратегия продвижения продукта на рынок

Для составления стратегии продвижения необходимо определить сильных и слабых сторон проекта, возможные угрозы для реализации, которые появились или могут появиться в его внешней среде. Для этого воспользуемся методом стратегического планирования – SWOT-анализом (таблица 8).

Таблица 8 Матрица SWOT

Сильные стороны (S): 1. Высокие ходовые характеристики; 2. Высокая эффективность капиталовложений для покупателя при использовании на нескольких пролетах; 3. Увеличенное время работы на одном цикле заряда; 4. Улучшенная система позиционирования.	Слабые стороны (W): 1. Низкая вероятность доведения проекта до стадии испытания; 2. Недоверие клиента к новому производителю; 3. Небольшой производственный опыт у команды проекта.
Возможности (O): 1. Получение обратной связи от покупателей; 2. Разработка навесных устройств к продукту; 3. Развитие навыков команды продукта; 4. Появление спроса на последующие продукты.	Угрозы (T): 1. Не востребованность новой продукции на рынке; 2. Отказ от государственной поддержки сельскохозяйственных предприятий; 3. Появление аналога со схожими характеристиками.

Продвижение продукта будет производиться в два основных этапа.

Первый этап рассчитан на использование стратегии «business to consumer» при отсутствии опытного образца и связей среди потенциальных потребителей:

- Поиск заинтересованных покупателей;
- Нахождение посредников для продажи;
- Участие в конференциях и выставках;
- Публикация научных работ;
- Тестирование на эксплуатационных участках.

Второй этап рассчитан на использование стратегии «business to business» при появлении опытного образца и связей среди потенциальных

потребителей:

- Продажа готового оборудования покупателям;
- Привлечение новых покупателей;
- Контроль качества создаваемого продукта;
- Предоставление скидок, отсрочек оплаты;
- Сервисное обслуживание оборудования;
- Обучение персонала.

Выводы по разделу

В ходе выполнения раздела «Концепция стартап-проекта» были изучены объем и емкость рынка промышленных роботов в России и в мире, рассмотрено современное состояние и перспективы развития отрасли сельского хозяйства, рассчитана себестоимость продукта, определены преимущества перед аналогичной продукцией, составлены бизнес-модель и матрица SWOT-анализа, разработан план продвижения продукта на рынок.

5 Социальная ответственность

Целью данного раздела является показать безопасность и экологичность предлагаемой конструкции робота-толкателя кормов.

Так как изделие находится на этапе проектирования, то выявить проявления вредных и опасных факторов не представляется возможным. Но можно сформулировать требования безопасности.

5.1 Описание рабочего места в лаборатории ЮТИ ТПУ

Объектом исследования является рабочее место конструкторов робота-толкателя, которое расположено в учебном корпусе института. Основные параметры помещения: длина помещения $a = 8$ м, ширина помещения $b = 6$ м, высота помещения $h = 3$ м. Потолок бетонный, стены – бетонные с окнами. Конструктор выполняет работы, связанные с разработкой и проектированием конструкции, а также монтаж электронных блоков управления. На рабочем месте имеется:

- компьютерное оборудование для моделирования частей конструкции, а также для программирования управления.
- оборудование для монтажа, сборки и регулировки механических и электрических частей разрабатываемых механизмов. (паяльные станции, верстак, тиски, сверлильный станок.

В лаборатории используется общая система освещения, это естественное освещение (создаваемое прямыми солнечными лучами) и искусственное освещение лампами накаливания.

В лаборатории используется естественная вентиляция (неорганизованная), поступление и удаление воздуха происходит через окна, форточки.

Вредными факторами на рабочем месте конструктора могут стать:

- недостаточная освещенность;
- ненормативные параметры микроклимата;

В качестве возможных опасных факторов можно выделить:

- механические опасности;
- опасность поражения электрическим током;
- пожарную опасность.

5.2 Анализ опасных факторов при эксплуатации агрегата

Автоматизированный робот-толкатель должен обеспечивать все необходимые требования безопасности при эксплуатации.

5.2.1 Безопасность механического оборудования

Агрегат должен обеспечивать требования безопасности при эксплуатации и ремонте, монтажных работах, транспортировании и хранении. Данный вид безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001-2013, ГОСТ12.2.003-9 и ГОСТ12.0.003-2015 обеспечивается:

- выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т. п.;
- компоновкой конструкции из безопасных материалов и веществ;
- применением в конструкции средств автоматизации, механизации и дистанционного управления;
- выбором безопасных органов управления;
- применением в конструкции средств защиты;
- соблюдением требований безопасности при эксплуатации и ремонте, монтажных работах, транспортировании и хранении.
- профессиональным отбором и обучением работников;
- выбором конструкции оборудования и электрооборудования с учетом пожарной безопасности;
- включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению;

- контролем за соблюдением требований безопасности, правил эксплуатации и трудового законодательства по охране труда рабочими.

В данном проекте разработаны меры по обеспечению безопасной эксплуатации робота-толкателя в течение всего срока эксплуатации.

При эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по ГОСТ 2.601-2019 и ГОСТ 2.602-2013, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях. Такими факторами являются: электробезопасность, изолированность рабочих механизмов, безопасность во время движения робота при нахождении людей на маршруте движение робота, и т.п.. Предполагается, что робот будет работать в условиях животноводческой фермы, как в закрытых помещениях, так и на открытых пространствах.

5.2.2 Безопасность элементов

Элементами конструкции агрегата являются электроприводы, которые соответствуют требованиям по электробезопасности ГОСТ 12.1.019-2017:

- электропривод обеспечивает безопасность рабочих при вводе в эксплуатацию и, непосредственно, эксплуатации, как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований, предусмотренных эксплуатационной документацией;

- материалы электропривода не окажут опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также не создадут пожаро-взрывоопасных ситуаций, т.к. выбраны материалы с классом опасности 4 и не пожаровзрывоопасны;

- для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и к другим не токоведущим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением, применяется защитное

зануление. Доступные металлические части оборудования, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции, должны быть надежно электрически соединены короткими проводниками с заземляющим проводом;

- конструкция электропривода и его отдельных частей исключает возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа), т.к. спроектированные сочленяемые узлы и детали предполагается выполнить с достаточным запасом прочности;

- элементы конструкции электропривода не имеют острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования рабочих;

- конструкция электропривода исключает самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, за счёт надёжного крепления;

- проведение измерения физических величин при помощи ручных измерительных инструментов разрешается только при обеспечении мер, исключающих возможность контакта, работающего с токоведущими частями.

5.3 Анализ вредных факторов проектируемого изделия

Безопасность работа обеспечивается использованием в конструкции безопасных материалов и веществ. Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-2014:

- материалы конструкции МК не оказывают вредного действия на работающих. При использовании материалов, которые могут оказывать вредное воздействие, предусмотрены соответствующие средства защиты работающих;

- использование новых веществ и материалов разрешено только после утверждения в установленном порядке соответствующих гигиенических нормативов.

Таблица 9 Материалы, входящие в конструкцию оборудования.

Наименование материалов	Класс опасности
Каркас установки из металла	5
Электрические силовые и контрольные кабели	10
Пластиковые части обшивки робота-толкателя	8

Все вещества и материалы прошли гигиеническую проверку и поверку на пожароопасности. Материалы конструкции оборудования не оказывают опасного и вредного воздействия на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также не создают пожаро-взрывоопасные ситуации.

5.3.1 Механизация и автоматизация технологических операций

Для того, чтобы оператор не имел прямого контакта с роботом во время работы используется модуль для дистанционного управления. Это позволяет избежать травм, которые могут появиться при ручном управлении.

5.3.2 Безопасность органов управления

Включение будет осуществляться при помощи автоматического выключателя, находящегося на задней панели робота-толкателя кормов.

Для обеспечения дополнительной безопасности на работе предусмотрена автоматическая остановка при разрыве сигнала управления, то есть при потере сигнала управления подача тока на токоведущие части будет приостановлена.

5.3.3 Безопасность средств защиты, входящих в конструкцию

Средства защиты обеспечивают безопасность при эксплуатации устройства и сконструированы с учетом требований ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.049-80, ГОСТ 12.2.061-81:

- средства защиты выполняют свое назначение непрерывно в процессе функционирования электропривода или при возникновении опасной ситуации;

- конструкция и расположение средств защиты не ограничивает технологические возможности оборудования, и обеспечивают удобство эксплуатации и технического обслуживания.

К самостоятельной работе оператора робота-толкателя допускаются работники не моложе 18 лет, прошедшие предварительный (при поступлении на работу) и периодический (в течение трудовой деятельности) медицинский осмотр, обучение по охране труда и проверку знаний требований охраны труда в установленном порядке.

Оператор робота-толкателя обязан проходить повторный инструктаж на рабочем месте не реже 1 раза в 6 месяцев, проверку знаний требований охраны труда не реже 1 раза в 12 месяцев. Оператор робота-толкателя обязан соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, требования охраны труда и пожарной безопасности, уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения, не загромождать доступ к противопожарному инвентарю, гидрантам и запасным выходам, применять средства индивидуальной защиты.

Для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий работники обязаны использовать предоставляемые работодателями бесплатно спецодежду, спецобувь, выдаваемые по нормам:

- костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий – 1 шт.;

- перчатки с полимерным или точечным покрытием – 6 пар;

- очки защитные – до износа.

Спецодежда должна содержаться в исправном состоянии, при выполнении работ должна быть застегнута. В карманах не должно быть колющих и режущих предметов. К работе не допускаются работники находящиеся в состоянии алкогольного опьянения либо в состоянии, вызванном потреблением наркотических средств, психотропных, токсических или других одурманивающих веществ. Прием пищи проводится в специально отведенных помещениях, на рабочем месте принимать пищу запрещено. Курение разрешается только в местах, специально отведенных для курения, обозначенных знаком «Место курения». Работники обязаны немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя работ о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о появлении острого профессионального заболевания (отравления).

Таблица 10. Средства защиты, предусмотренные в работе-толкателе

Вил. тип средств	Назначение	Способ крепления	Материалы для изготовления
Кнопка отключения	Для отключения от источника питания в случае внештатной ситуации	Крепится к каркасу	Пластик
Программное отключение работа	Для отключения работа при возникновении ЧС		
Спецодежда	Для исключения воздействия на работника электрического тока		Резина
Резиновые перчатки	Для исключения воздействия на работника электрического тока		Резина

5.3.4 Безопасность при монтажных и ремонтных работах

Безопасность при монтажных и ремонтных работах обеспечивается средствами защиты, инструментами и приспособлениями, которые удовлетворяют требованиям соответствующих государственных стандартов.

Средства защиты, инструменты и приспособления подвергаются осмотру и испытаниям. К обслуживанию изделия допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж и изучившие данное техническое описание и инструкцию по эксплуатации.

При монтаже и эксплуатации должны соблюдаться:

- правила устройства электроустановок;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей;
- правила технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

5.3.5 Безопасность при транспортировке и хранении

Масса робота-толкателя вместе с установленными аккумуляторами, шнекоротором и бункером составляет примерно 350 кг, можно снять навесное оборудование и транспортировать все отдельно, тогда вес платформы будет составлять 150 кг. В процессе монтажа, транспортировки, хранения и ремонта на производственном оборудовании необходимо использовать такое грузоподъемное оборудование как кран-балки, краны-укосины и т. д.

Конструкция агрегата обеспечивает возможность надёжного закрепления его составных частей на транспортном средстве или в упаковочной таре. Помещение для хранения должно быть сухим и не пыльным, в помещении не должно быть сильных электромагнитных установок.

5.3.6 Безопасность при размещении оператора работа-толкателя

Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-2014, ГОСТ 12.3.003-86, ГОСТ 12.3.061-81, СНиП 31-01-03:

- производственные площадки, на которых выполняются работы, соответствуют требованиям действующих норм и правил, утвержденных органами государственного надзора;
- организация рабочих мест оператора ПК отвечает требованиям безопасности с учетом эргономических требований, устанавливаемых в государственных стандартах на конкретные производственные процессы, производственное оборудование и рабочие места.

5.3.7 Требования безопасности к обслуживающему персоналу

К обслуживанию и управлению роботом-толкателем допускаются лица:

- имеющие профессиональную подготовку в высших или среднетехнических заведениях;
- прошедшие инструктаж, обучение и проверку знаний по охране труда;
- не имеющие медицинских противопоказаний.

5.3.8 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность оборудования должна быть обеспечена в соответствии с требованиями настоящих стандартов, ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.018-93, ГОСТ 12.2.007.0-75, ПУЭ 5.3, ПТЭ, и ПТБ, СНиП 3.05.06, СНиП 3.05.07 [1].

С учётом этих показателей выбран тип исполнения, вид взрывозащиты электрооборудования и степень его защиты от пыли и влаги. Для обеспечения пожарной безопасности объекта, где предполагается

использовать агрегат необходимо использовать мероприятия пожарной профилактики:

- организационные (инструктаж персонала и т.п.);
- режимные (курение в специальных местах);
- эксплуатационные (профилактические осмотры).

5.4 Экологическая безопасность исходных материалов

Одним из экологических показателей является экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования. При изготовлении и эксплуатации агрегата выполнены все нормативные природоохранные требования.

Выводы: 1) в проекте разработан комплекс организационных, технических и других мероприятий, направленных на обеспечение безопасности труда; 2) внедрение разработанного и сконструированного робота и мероприятий с соблюдением требований ГОСТ, СНиП позволит считать данный проект относительно безопасным и экологичным.

5.4.1 Охрана окружающей среды

В конструкции робота-толкателя применены безопасные и экологичные в соответствии со стандартами ССБТ и охраны окружающей среды, сертифицированные материалы и вещества.

5.5 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

При возникновении ЧС необходимо:

- 1) Отключить электропитание установки;
- 2) Выполнить предписание должностных инструкций, разработанных на рабочем месте;

3) Покинуть участок выполнения работ и поступить в распоряжение начальника ГО и ЧС.

5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Контроль за выполнением требований безопасности при эксплуатации агрегата возлагается на должностные лица в соответствии с правовыми и нормативными документами по созданию безопасности и нормальных условий труда.

Разработанный агрегат должен соответствовать основным требованиям безопасности машин и оборудования «Технического регламента Таможенного союза» (ТР ТС 010/2011), а также дополнительным требованиям безопасности для сельскохозяйственных и других самоходных мобильных машин настоящего регламента.

5.7 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

В результате проведенного анализа опасных и вредных производственных факторов можно сделать вывод, что для исследуемого рабочего места большинство факторов, потенциально представляющих опасность для здоровья сотрудников, соответствуют нормативным значениям. В ходе проведения исследования рабочих мест было проанализировано влияние вредных и опасных факторов, которые были разделены на следующие группы:

- соответствующие нормам: уровень шума и вибрации, пожарная опасность, параметры микроклимата, загазованность и запыленность рабочей зоны;

- несоответствующие нормам и требующие принятия мер со стороны администрации для снижения вредного воздействия этих факторов – освещение.

Данные меры будут способствовать эффективной работоспособности, сохранять жизнь, обеспечивать безопасность работников организации и беречь имущество от повреждения.

Заключение

В разработанном дипломном проекте в полном объеме выполнены запланированные мероприятия. Разработанная конструкция полностью соответствует рассматриваемой теме задания и представлена в пояснительной записке и графических документах в соответствии с требуемыми в настоящее время стандартами.

Описаны мероприятия по разработке конструкции и системы управления робота-толкателя.

Также представлена схематехника и описание всех электронных компонентов, их подключение. Рассмотрен алгоритм отработки движений самоходной автоматизированной платформы.

В части социальной ответственности ВКР были приведены требования безопасности при эксплуатации устройства. Робот-толкатель кормов отвечает всем необходимым требованиям безопасности при эксплуатации.

В главе «Финансовый менеджмент» в виде стартапа было произведено экономическое обоснование проекта, посчитана его общая стоимость, а также себестоимость одного агрегата. Обоснован план продвижения продукта на рынке. Посчитан срок периода окупаемости, точка безубыточности, при реализации 5-ти роботов.

В итоге получили информацию о том, что предлагаемый робот-толкатель кормов экономически целесообразен ввиду того, что в настоящее время на отечественном рынке присутствуют в основном зарубежные агрегаты, у которых слишком большая цена и трудность с обслуживанием.

Цена разработанной конструкции и системы управления позволяет выйти на отечественный рынок самоходных автоматизированных платформ и занять на нем лидирующие позиции.

Список использованных источников

1. Толкатель кормов BouMatic Ranger [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://boumatic.com/eu_ru/products/boumatic-ranger
2. Роботизированный пододвигатель кормов – STALLBOY FEED – HETWIN Automation Systems GmbH [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/hetwin-automation-systems-gmbh/product-171829-8977.html>
3. Системы автоматизированного кормления для ферм будущего // Журнал «ФЕРМЕР. Поволжье» Июль 2017. - С. 83-85.
4. JOZ представил нового робота для отрасли животноводства // ГлавПахарь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://glavpahar.ru/news/joz-predstavil-novogo-robota-dlya-otrasli-zhivotnovodstva>
5. Подталкиватель кормов Butler Gold // Topix group: оборудование для животноводства и птицеводства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://topixagro.com/catalog/avtomatizaciya-fermy/pododvigatel-korma-butler-gold>
6. Куликов П.А. Вкалывают роботы, а не человек // ПОТРЕБИТЕЛЬ. GARDENTOOLS 2017.- № 3.- С. 101-115.
7. Marvelmind Indoor Navigation System Operating manual [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://marvelmind.com/>
8. OpenCV шаг за шагом. Введение // РобоКрафт. Роботы? Это просто! [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://robocraft.ru/computervision/264>
9. Momot M. V. , Proskokov A. V. , Nesteruk D. N. , Ganiev M. L. , Biktimirov A. S. Systems of Geo Positioning of the Mobile Robot // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017 - Vol. 221 - №. 1, Article number 012022. - p. 1-7
10. Трилатерация, ее метод – что это? // Geostart – взгляд инженера [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://geostart.ru/post/318>

11. Esther M. Arkin, Sándor P. Fekete b, Joseph S.B. Mitchell Approximation algorithms for lawn mowing and milling.// Computational Geometry 17 (2000) 25–50.
12. Плата Arduino Mega 2560: устройство, схемы, описание подключения// Arduino master. Российское ардуино-сообщество [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-mega-2560/>
13. Ардуино: акселерометр MPU6050 //Класс робототехники [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://robotclass.ru/tutorials/arduino-accelerometer-mpu6050/>
14. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов: учеб. пособие / А. П. Карабаницкий, О. А. Левшукова. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – С. 23-28.
15. Расчет эксцентрикового зажима // Машиностроительное проектирование. Проектно-информационный портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://alexfl.pro/inform/inform_raschet32.html
16. Карсунцева О. В. Долгосрочные глобальные тренды как драйверы инновационного развития мирового рынка промышленной робототехники // Бизнес. Образование. Право. 2021. No 3 (56). С. 40—47. DOI: 10.25683/VOLBI.2021.56.373.
17. Никонец, О.Е. Рынок робототехники в сельском хозяйстве в условиях пандемии COVID-19: вызовы и возможности / О. Е. Никонец, Т. А. Мандрик // Вестник НГИЭИ. — 2022. — № 2. — С. 118-136. — ISSN 2227-9407.— Текст: электронный// Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/317531> (дата обращения: 14.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
18. Росстат – Сельскохозяйственная микроперепись 2021 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/75792> – Загл. с экрана. (Дата обращения 10.05.22).

19. ФЗ №69 «О пожарной безопасности» / Главное управление МЧС
России, 1994

Приложение А

(Справочное)

Бизнес-модель Остервальдера

Ключевые партнеры – ООО «ЮРГИНСКАЯ ПРОМВЕНТИЛЯЦИЯ»; – ООО«Юрга. Технологии.Инновации» – ООО «МолСиб»	Ключевые виды деятельности – Производство продукта; – Продажа продукта; – Сервисное обслуживание продукта.	Ценностные предложения – Выгодность (экономит финансы покупателя); – Возможность приобретения (аналогичная продукция не реализуется на территории России).	Взаимоотношения с клиентами – Поддержка обратной связи с клиентами; – Гибкие условия сотрудничества.	Потребительские сегменты – Крупные и средние фермерские хозяйства на территории России.
	Ключевые ресурсы – Материальные (производственное оборудование), – Интеллектуальные (запатентованные технология и промышленный образец); – Команда проекта (сотрудники).		Каналы сбыта – Прямые поставки; – Продажи через дистрибьюторов.	
Структура издержек – Закупка комплектующих; – Оплата труда и отчисления на социальные нужды работников; – Аренда и содержание помещения; – Амортизационные отчисления		Потоки поступления доходов – Реализация продукции; – Привлечение средств гранта; – Сервисное послепродажное обслуживание		

Приложение Б

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<i>Документация</i>	
	A1			ФЮРА 10Б81.080.005.СБ	Сборочный чертеж		
Справ. №					<i>Детали</i>		
	Б4	1		ФЮРА 10Б81.080.005.01	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=640	4	
Б4	2		ФЮРА 10Б81.080.005.02	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=420	4		
Б4	3		ФЮРА 10Б81.080.005.03	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=520	2		
Б4	4		ФЮРА 10Б81.080.005.04	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=260	1		
Б4	5		ФЮРА 10Б81.080.005.05	Уголок <small>25x25x3 ГОСТ 8509-93 с. 235 ГОСТ 27772-88</small> L=307	2		
Б4	6		ФЮРА 10Б81.080.005.06	Пластина	2		
Б4	7		ФЮРА 10Б81.080.005.07	Труба профильная <small>25x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=60	4		
Б4	8		ФЮРА 10Б81.080.005.08	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=1000	6		
Б4	9		ФЮРА 10Б81.080.005.09	Гроушина	4		
Б4	10		ФЮРА 10Б81.080.005.10	Труба профильная <small>25x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=720	1		
Б4	11		ФЮРА 10Б81.080.005.11	Уголок <small>25x25x3 ГОСТ 8509-93 с. 235 ГОСТ 27772-88</small> L=250	8		
Б4	12		ФЮРА 10Б81.080.005.12	Уголок <small>25x25x3 ГОСТ 8509-93 с. 235 ГОСТ 27772-88</small> L=560	2		
Б4	13		ФЮРА 10Б81.080.005.13	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=165	2		
Б4	14		ФЮРА 10Б81.080.005.14	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=130	2		
Б4	15		ФЮРА 10Б81.080.005.15	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=160	2		
Б4	16		ФЮРА 10Б81.080.005.16	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=400	2		
Б4	17		ФЮРА 10Б81.080.005.17	Труба профильная <small>40x25x3 ГОСТ 8645-68 в. 10 ГОСТ 13663-86</small> L=580	1		
				ФЮРА 10Б81.080.00			
				Рама			
Изм. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
	Разраб.	Рашитов В. Р.					1
	Проб.	Проскоков А. В.					
	Н.контр.	Проскоков А. В.					
	Утв.						
					ЮТИ ТПУ 10Б81		
					Копировал Формат А4		