

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

На правах рукописи

Хорт Дмитрий Олегович

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИВНОГО САДОВОДСТВА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Диссертация на соискание учёной степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук,
доцент
Смирнов Игорь Геннадьевич

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
	6
ГЛАВА 1	СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ
1.1	Состояние промышленного садоводства России и перспективы его развития
1.2	Анализ технического обеспечения технологий промышленного садоводства России
1.2.1	Анализ технической оснащённости интенсивного садоводства
1.2.2	Обоснование технологических процессов с применением автоматизированных и роботизированных машин в интенсивном садоводстве
1.3	Обзор перспективных машинных технологий для возделывания плодовых и ягодных культур с применением цифровых систем, средств автоматизации и роботизации процессов
1.3.1	Технологии и технические средства для дистанционного мониторинга интенсивных насаждений
1.3.2	Технологии и машины для ухода за насаждениями
1.3.3	Технологии и машины для уборки урожая в интенсивном садоводстве
1.3.4	Направления исследований роботизированных технологий в интенсивном садоводстве
	Выводы по главе 1
ГЛАВА 2	МЕТОДОЛОГИЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКЦИОННЫМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ИНТЕНСИВНОМ САДОВОДСТВЕ
2.1	Анализ цифровых систем и программных средств для мониторинга процессов, принятия решений и управления агротехнологиями в садоводстве
2.2	Формирование функциональной структуры реализации цифровых технологий, автоматизированных и роботизированных технических средств в системе «Цифровой Сад»
2.3	Требования к системе цифрового мониторинга в интенсивном садоводстве
2.3.1	Классификация средств дистанционного получения информации об изменениях состояния сада и климатических параметрах

2.3.2	Обоснование архитектуры нейронных сетей для распознавания множественных объектов на изображении.....	96
2.3.3	Взаимосвязь повреждений тканей плодов яблони со спектральными изображениями.....	100
2.4	Проектирование технологических решений на основе спектральных изображений и искусственных нейронных сетей для распознавания, идентификации и оценки состояния плодов в полевых условиях.....	107
2.5	Обоснование и проектирование компонентов автоматизированной системы управления производственными и технологическими процессами в интенсивном садоводстве (АСУПП).....	113
	Выводы по главе 2.....	131
ГЛАВА 3	ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САДОВЫХ КУЛЬТУР В ИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.....	133
3.1	Определение физико-механических свойств плодовых насаждений интенсивного типа.....	133
3.2	Конструктивно-технологические требования к автоматизированным и роботизированным машинам для уничтожения сорной растительности в приствольных зонах, магнитно-импульсной обработки растений и уборки урожая....	135
3.2.1	Конструктивно-технологические требования к автоматизированному устройству для магнитно-импульсной обработки высокорослых растений.....	135
3.2.2	Конструктивно-технологические требования к автоматизированному устройству для уничтожения сорной растительности в приствольных зонах.....	136
3.2.3	Конструктивно-технологические требования к универсальной роботизированной платформе.....	137
3.2.4	Конструктивно-технологические требования к системе локального позиционирования универсальной роботизированной платформы.....	139
3.2.5	Конструктивно-технологические требования к роботу манипулятору для уборки плодов.....	140
3.3	Создание автоматизированного устройства для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений.....	142
3.3.1	Обоснование параметров автоматизированного устройства для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений.....	142

3.3.2	Разработка конструкции автоматизированного технологического адаптера для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений.....	152
3.4	Создание автоматизированного устройства для борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне.....	155
3.4.1	Обоснование параметров автоматизированного устройства для борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне.....	155
3.4.2	Разработка конструкции автоматизированного устройства для борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне.....	160
3.5	Создание универсальной роботизированной платформы для ухода за насаждениями и уборка урожая плодов.....	164
3.5.1	Обоснование параметров универсальной роботизированной платформы для ухода за насаждениями и уборка урожая плодов.....	164
3.5.2	Разработка конструкции универсальной роботизированной платформы для ухода за насаждениями и уборка урожая плодов.....	168
3.5.3	Имитационное моделирование подвижности и автономности универсальной роботизированной платформы.....	179
3.6	Создание роботизированного манипулятора для съёма плодов	185
3.6.1	Обоснование параметров роботизированного манипулятора для съёма плодов.....	185
3.6.2	Разработка конструкции роботизированного манипулятора для съёма плодов.....	206
3.7	Обоснование параметров и разработка захвата для роботизированного съёма плодов.....	214
	Выводы по главе 3.....	228
ГЛАВА 4	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА, АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ИНТЕНСИВНОМ САДОВОДСТВЕ.....	231
4.1	Программа экспериментальных исследований.....	231
4.2	Экспериментальные исследования работы аппаратно-программного комплекса (ПАК) «Агроинтеллект ВИМ».....	232
4.2.1	Исследование программно-аппаратного комплекса при анализе спектральных изображений повреждений плодов на основе гиперспектральной визуализации.....	232
4.2.2	Исследование программно-аппаратного комплекса при мониторинге урожая плодовых культур на основе нейронной сети.....	247
4.2.3	Тестирование программно-аппаратного комплекса при построении машинных агротехнологий в садоводстве.....	267

4.3	Результаты экспериментальных исследований и испытаний комплекса инновационных технических средств.....	275
4.3.1	Результаты исследований агрегата для магнитно-импульсной обработки садовых насаждений.....	275
4.3.2	Результаты исследований машины для борьбы с сорной растительностью в приствольных зонах садовых насаждений.....	280
4.3.3	Результаты исследований универсальной роботизированной платформы.....	291
4.3.4	Результаты исследований универсальной роботизированной платформы с модулем горячего тумана для химической обработки садовых насаждений.....	301
4.3.5	Результаты исследований роботизированного манипулятора для съёма плодов яблони с кроны деревьев.....	311
	Выводы по главе 4.....	320
ГЛАВА 5	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ САДОВОДСТВЕ.....	323
5.1	Методика экономической оценки эффективности применения разработанных цифровых систем и технических средств в промышленном садоводстве	323
5.2	Оценка экономической эффективности применения ПАК «Агроинтеллект ВИМ» в промышленном садоводстве.....	328
5.3	Оценка экономической эффективности применения разработанных автоматизированных и роботизированных технических средств в промышленном садоводстве.....	332
	Выводы по главе 5.....	340
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	341
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	348
	СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	350
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	353
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	377

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. В современном садоводстве наибольшее применение находят интенсивные технологии возделывания плодов. Эти технологии характеризуются высокими урожаями в сравнении с традиционными технологиями (не менее 80 тонн с 1 га) и более стабильным качеством конечной продукции. Основными недостатками этих технологий являются высокая трудоемкость процессов и многократное использование химических средств защиты растений за сезон (не менее 10-15 пестицидных и гербицидных обработок). Применение химических агентов негативно сказывается на экосистеме плодового сада и естественной саморегуляции садовых агроценозов, что приводит к накоплению в почве и урожае, и, как результат, к негативному воздействию на здоровье человека.

Кроме того, в интенсивном садоводстве существует проблема потерь и недобора урожая из-за несвоевременности и неточности визуального мониторинга развития болезней на культурах, ошибки подсчета количества урожая плодов для дальнейшего планирования производства. По данным отраслевой отчетности отмечено, что потери урожая из-за несвоевременного планирования производства и отсутствия систем точного мониторинга могут достигать 30% от потенциальной урожайности

Основным средством повышения эффективности, конкурентоспособности и динамичного развития садоводства является разработка и применение цифровых технологий, автоматизированных и роботизированных технических средств.

В Российской Федерации приоритетность разработки систем дистанционного цифрового мониторинга агроценозов и роботизированных технических средств подтверждена Стратегией научно технологического развития Российской Федерации (п. Г) и Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года (п. 21 А, В).

Сегодня, цифровые технологии в сельском хозяйстве, в том числе в садоводстве, являются основой для перехода к научно-производственной концепции «Умное сельское хозяйство». Данная концепция реализуется

посредством широкого применения компьютерной и коммуникационной техники, беспилотных летательных аппаратов, роботизированных машин, программного обеспечения для сбора, систематизации, анализа, хранения и передачи информации, а также систем поддержки принятия управленческих решений.

Эффективные технологические и технические решения в системе «Цифровой сад», обеспечивающей высокорентабельное и экологически безопасное производство продукции, возможны только на основе многокритериального анализа многомерных массивов информации об объектах производственного процесса (почва, растения, с/х машины и т.д.), использования закономерностей их взаимодействия, создания систем спектрального и цифрового мониторинга состояния плодов и экологически безопасных методов воздействия на садовые культуры в процессе их роста и развития.

В связи с этим проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по научному обоснованию параметров и разработки систем цифрового мониторинга и технических средств для автоматизации и роботизации процессов в интенсивных технологиях возделывания садовых культур является актуальной задачей.

Научная проблема – разработка научно-методических и практических решений для цифровизации интенсивного садоводства.

Научная гипотеза – повышение эффективности интенсивных технологий возделывания плодовых культур достигается путем разработки систем мониторинга состояния биологических объектов на основе спектрального анализа и искусственных нейронных сетей и технических средств, обеспечивающих автоматизацию и роботизацию технологических процессов.

Цель исследования заключается в обосновании и разработке программно-аппаратных и технических средств для цифрового мониторинга, автоматизации и роботизации производственных и технологических процессов в технологиях интенсивного садоводства.

Объект исследования: интенсивные технологии возделывания и технические средства для мониторинга продукционных и реализации технологических процессов в садоводстве.

Предмет исследования: закономерности функционирования программно-аппаратных и технических средств для автоматизированного мониторинга состояния садовых культур, управления агротехнологиями, автоматизации и роботизации процессов в технологиях интенсивного садоводства.

Задачи исследований:

1. Провести анализ интенсивных технологий возделывания плодовых культур с применением средств цифрового мониторинга, автоматизации и роботизации процессов.

2. Разработать методику дистанционного мониторинга состояния плодов на основе использования средств идентификации спектральных изображений в производственных условиях.

3. Обосновать параметры и разработать алгоритм цифрового мониторинга урожайности плодов на основе искусственных нейронных сетей в производственных условиях.

4. Разработать программно-аппаратный комплекс для цифрового мониторинга и управления продукционными процессами при производстве плодов.

5. Провести теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров рабочих органов и технологических модулей для автоматизации и роботизации процессов в садоводстве.

6. Разработать и провести экспериментальные исследования программно-аппаратного комплекса для цифрового мониторинга и управления технологическими процессами, а также технических средств для автоматизации и роботизации процессов в интенсивных технологиях возделывания плодов.

7. Оценить эффективность применения разработанных систем цифрового мониторинга, автоматизированных и роботизированных машин для интенсивного садоводства.

Научную новизну диссертации составляют:

- алгоритмы цифрового мониторинга и управления технологическими процессами при возделывании плодовых культур на основе технологий спектрального анализа изображений и искусственного интеллекта;
- алгоритмы распознавания плодов по форме и степени спелости на основе свёрточной нейронной сети глубокого обучения;
- научно-обоснованные параметры блока управления режимами магнитно-импульсной обработки плодовых культур;
- зависимости конструктивно-технологических параметров и режимов работы устройства для борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне методом гидравлического удара от агротехнологических факторов;
- технологические схемы, конструктивные параметры и режимы работы роботизированной платформы и мехатронных устройств для уборки урожая плодов яблони.

Практическую ценность диссертации представляют:

- программно-аппаратный комплекс для цифрового мониторинга и управления производственными и технологическими процессами при возделывании плодов;
- базы данных по машинам, аппаратным средствам и спектральным изображениям повреждений плодов для интенсивных технологий возделывания;
- новые автоматизированные и роботизированные технические средства для реализации трудоёмких технологических процессов в интенсивных технологиях возделывания плодов: машина для удаления сорной растительности в приствольной полосе на основе гидравлического удара жидкости, автоматизированный агрегат для магнитно-импульсного воздействия на садовые насаждения, универсальная роботизированная платформа для ухода за насаждениями и уборки плодов яблони, что позволяет минимизировать применение гербицидов, снизить экологическую нагрузку на агроценоз в интенсивных агротехнологиях, повысить производительность процессов и качество конечной продукции.

Техническая документация на разработанные автоматизированные, роботизированные машины и системы цифрового мониторинга производственных и технологических процессов в садоводстве передана на опытное производство ФГБНУ ФНАЦ ВИМ для дальнейшего производства по заявкам потребителей.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования проводились с использованием методов системной инженерии, теоретической механики, дифференциального и интегрального исчисления, концептуального моделирования объектов исследования. В работе использованы современные методы компьютерного моделирования и программирования. Обработка экспериментальных данных и компьютерное моделирование осуществлялась с помощью программных средств САПР КОМПАС-3D v17, Autodesk Fusion 360, MathCad 15, Excel, PlanExp B-D13. В экспериментальных исследованиях использовались общеизвестные методики, ГОСТы, ОСТы, дисперсионный анализ и теория планирования эксперимента, а также разработанные на их основе частные методики.

Апробация результатов диссертации: основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на международных и всероссийских научно-практических конференциях: ФНАЦ ВИМ «Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства», «Интеллектуальные машинные технологии и техника в сельском хозяйстве» (г. Москва, г. Углич, 2011- 2019 гг.), Международной научно-практической конференции «Горячкинские чтения» РГАУ МСХА им.К.А. Тимирязева (г. Москва, 2018г.) Международных научно-практической конференциях молодых ученых «Научное обеспечение инновационных процессов в АПК», «Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве», Международная конференция по робототехнике «Skolkovo Robotics 2016г.» (Москва, 2016г.), Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии, системы и приборы в АПК-АГРОИНФО» (СибФТИ - СФНЦА РАН г. Новосибирск 2014-2018гг.), Международная научно-техническая конференция «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» (РУП

НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск 2017-2019гг.), Международная конференция CIOSTA «Экологически дружелюбное сельское и лесное хозяйство» (СЗНИИМЭСХ, г. Санкт-Петербург, 2015г.), Научно-технологическая проектная сессия «Совместные инициативы молодых ученых и бизнес сообщества как инструмент реализации целей стратегии научно-технологического развития России и Национальной технологической инициативы» (АСИ, г. Томск, 2018), на Всероссийских выставках «День садовода» (2012-2019 гг., ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, г. Мичуринск), Международная специализированная конференция «Обращение с отходами, опыт и перспективы» (Торгово-промышленная палата, г. Москва, 2021г.), Международная научно-практическая конференция «Агроэкологическая безопасность, энергоэффективные спектральные и лазерные технологии в повышении продуктивности сельского хозяйства» (г. Москва, 2021г.).

Разработанные роботизированные технические средства для садоводства демонстрировались на всероссийских выставках «Золотая Осень» (г. Москва) в 2015- 2021 гг. и награждены золотыми медалями выставки: «Беспилотный робот для мониторинга с-х насаждений с интеллектуальной системой технического зрения», 2015г., "Универсальное робототехническое средство с модулем магнитно-импульсной обработки растений" 2015г., «За разработку многофункционального робототехнического энергосредства сельскохозяйственного назначения», 2017г., «За разработку автоматизированного агрегата для магнитно-импульсной обработки земляники садовой» 2018г., «За разработку робота для сбора ягод земляники садовой» 2019г., «За разработку многофункциональной робототехнической платформы для садоводства» 2020г., дипломом выставки «За разработку интеллектуальной системы для управления производственными процессами многолетних культур», 2016г., серебряная медаль «Универсальное робототехническое средство с автопилотом для садоводства», 2021г.

Разработка «Самоходный робот-опрыскиватель» удостоена золотой медали XIX Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед-2016».

Патент на изобретение № 2645165 «Беспилотный робот для внесения гербицидов» вошел в список "100 перспективных изобретений 2018-го года", (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Авторы: Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И.).

Разработанные с участием автора диссертации, автоматизированные и роботизированные машины с интеллектуальными системами обработки информации вошли в состав заявки и удостоены премии Правительства России в области науки и техники за 2020 год «Научное обоснование, разработка и реализация инновационных машинных технологий и технических средств в питомниководстве и садоводстве».

Публикации — по теме диссертации опубликовано 90 печатных работ, в том числе в рецензируемых изданиях 73 публикации, из которых 33 статьи в российских журналах, включенных в текущий перечень ВАК РФ, 14 – статей в перечне изданий Web of Science и Scopus, получено 17 патентов РФ на изобретение, 9 свидетельств государственной регистрации баз данных.

Объем и структура. Диссертация изложена на 452 страницах компьютерного текста, содержит 54 таблицы, 232 рисунка, 18 приложений и состоит из введения, 5 глав, заключения, словаря терминов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, содержащего 207 наименований, в том числе 128 на иностранных языках.

Автор считает своим долгом выразить благодарность академику РАН, доктору технических наук А. Ю. Измайлову, доктору технических наук, доценту И. Г. Смирнову, доктору биологических наук, профессору А. Е. Соловченко, кандидату технических наук А. И. Кутырёву, за помощь в разработке диссертации проведении исследований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Состояние промышленного садоводства России и перспективы его развития

Садоводство в России – одно из приоритетных направлений Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [1]. С начала ее реализации (2013 год) было заложено порядка 97 тыс. га новых плодовых и ягодных насаждений, а темпы закладки многолетних насаждений увеличились в среднем в 1,7 раза [2]. Ежегодно закладывается более 13 тыс. га интенсивных садов, дающих возможность в короткие сроки получать высокий урожай [3]. По данным Минсельхоза России, в 2019 году закладка многолетних насаждений проводилась в 61 субъекте Российской Федерации и достигла рекордных показателей 18,22 тыс. га, что на 7,1% больше, чем в 2018 году. При этом до 70% приходится на сады интенсивного типа – семечковые и косточковые культуры, вступающие в раннее плодоношение и отличающиеся высокой урожайностью [4]. Валовой сбор плодов и ягод за 2020 год в сельскохозяйственных организациях составил 0,99 млн. тонн, что немного больше показателей 2019 года (0,96 млн. тонн).

Основные производители продукции садоводства сосредоточены в следующих регионах Российской Федерации: Краснодарский край, Республика Дагестан, Воронежская область, Ростовская область, Московская область, Волгоградская область, Кабардино-Балкарская Республика, Тульская область, Липецкая область, Республика Крым, Ставропольский край, Тамбовская область, Белгородская область, Челябинская область, Республика Башкортостан, Самарская область, Алтайский край, Свердловская область. Суммарно в данных областях сосредоточено порядка 60% всех площадей плодовых насаждений в России.

Лидерами среди регионов по закладке многолетних насаждений в 2019 году являются: Кабардино-Балкарская Республика – 2580 га, Краснодарский край – 1711 га, Республика Дагестан – 1300 га, Республика Крым – 1195 га, Республика Северная Осетия-Алания – 1195 га, Белгородская область – 1080 га.

В число регионов с наибольшими площадями семечковых культур в 2019 году вошли: Краснодарский край (20,4 тыс. га; доля в общих площадях семечковых культур в коммерческом секторе в России – 16,4%), Воронежская область (12,3 тыс. га; 9,4%), Кабардино-Балкарская Республика (11,6 тыс. га; 8,5%), Липецкая область (8,8 тыс. га; 6,9%), Тамбовская область (8,1 тыс. га; 7,4%), Тульская область (8,4 тыс. га; 6,9%), Ростовская область (7,7 тыс. га; 6,1%), Белгородская область (6,5 тыс. га; 5,1%), Республика Крым (6,1 тыс. га; 4,4%), Курская область (5,6 тыс. га; 4,6%) [5].

Всего в России насчитывается более 170 крупных садоводческих организаций (с площадью садов от 100 га и выше), выращивающих яблоки и прочие семечковые культуры. В десятку крупнейших компаний входят:

ЗАО «Центрально-Черноземная плодово-ягодная компания» (Воронежская область);

ЗАО «Совхоз Архипо-Осиповский» (Краснодарский край);

ЗАО «Сад-Гигант» (Краснодарский край);

ООО НПГ «Сады Придонья» (Саратовская область);

ЗАО «Агрофирма им. 15 лет Октября» (Липецкая область);

ОАО «Агроном» (Краснодарский край);

ООО «Агроном-сад» (Липецкая область);

ООО «Интеринвест» (Ставропольский край);

ЗАО «Данков-Агро» (Липецкая область);

АО «Крымская фруктовая компания» (Республика Крым).

Валовый сбор семечковых культур в России (сельскохозяйственные организации и фермерские хозяйства, без учета хозяйств населения) в 2020 году составил 1224,3 тыс. тонн (в 2019 году – 1109,1), а по сравнению с 2017 годом данный показатель вырос на 57%. В структуре производства продукции

садоводства в 2020 году доминируют семечковые культуры, их доля составляет 93,3%, косточковые – 5,2%, ягодные – 1,4%. Свыше 93% семечковых культур, выращиваемых в России – это яблоки. На прочие семечковые культуры (груши и айву) приходится менее 5% сборов [6] (рис.1.1,1.2).



Рисунок 1.1 – Площадь многолетних плодовых и ягодных насаждений в России (источник: Росстат)



Рисунок 1.2 – Структура площадей по видам плодово-ягодных насаждений в России в 2020 году (хозяйства всех категорий; процентов от общей площади плодово-ягодных насаждений по данным Росстата)

В настоящее время общая площадь плодовых и ягодных насаждений по данным Росстата составляет 462,7 тыс. га (хозяйства всех категорий). Без учета

хозяйств населения площади садов составляют 183,3 тыс. га, а валовой сбор – 1311,6 тыс. тонн.

Некоторые показатели развития садоводства и питомниководства в России по данным Росстата, приведены в таблицах 1.1-1.3 [7].

Таблица 1.1 – Показатели производства плодов и ягод в России (в СХО, КФХ и ИП)

Показатели	2016	2017	2018	2019	2020
Валовой сбор плодов и ягод, тыс. т	871,7	845,7	1196,8	1181,1	1311,6
Площадь, тыс. га	164	168,8	173,4	180,8	183,4
Урожайность, ц/га	53,2	50,1	69,0	65,3	71,6

Таблица 1.2 – Площадь закладки плодовых и ягодных насаждений в России

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019
Всего, га	14300	14600	15300	16900	18200
в т.ч. семечковых культур	11120	11250	12184	13954	16926
из них интенсивных	6323,2	6854,4	10824,3	12096,0	12334
косточковых культур	1860,1	1902,0	1728,0	1818,0	1510
из них интенсивных	751,2	984,3	1190,1	224,6	1100
ягодных культур (кустарников)	556,0	577,5	692,8	492,8	290
земляники	614,0	697,5	695,2	595,2	300

Таблица 1.3 – Общая площадь многолетних культур в России по категориям хозяйств в 1990 и 2020 годах, тыс. га

Категория хозяйств	1990	2020
Хозяйства всех категорий	866,3	462,7
сельскохозяйственные организации	468,0	142,9
крестьянские (фермерские) хозяйства	2,6	40,5
хозяйства населения	398,4	279,3

Однако, сравнивая площади многолетних насаждений в сельскохозяйственных организациях 2020 года с 1990 годом выявлено сокращение насаждений в 3,3 раза – с 468 до 143 тыс. га. Основной причиной сокращения площадей являются крайне низкая обеспеченность отрасли специализированными конкурентоспособными техническими средствами с высокой степенью автоматизации, но стоит заметить, что 70 процентов всех

закладываемых садов являются садами интенсивного типа, что ведет к увеличению валового сбора с единицы площади [8].

1.2 Анализ технического обеспечения промышленного садоводства России

Современное состояние парка специализированных машин для садоводства характеризуется существенным преобладанием техники зарубежного производства над отечественными машинами. Основной причиной этого является отсутствие современных площадок серийного производства отечественных машин, отвечающих требованиям прогрессивных технологий, устаревание и выработка ресурса эксплуатации (срок изготовления более 20 лет) используемой отечественной техники на 90-96% и более [8]. Сокращение парка отечественной специализированной техники для возделывания и уборки продукции садоводства сказывается на производительности труда садовода, качественных показателях продукции и, в конечном итоге, на рентабельности отрасли [8].

1.2.1. Анализ технической оснащенности интенсивного садоводства

Анализ оснащенности специализированной садовой техникой в расчете на 100 га садов показывает существенное отставание Российской Федерации от стран с развитым садоводством: Италия, Польша, Китай, США и др. (рис. 1.3)

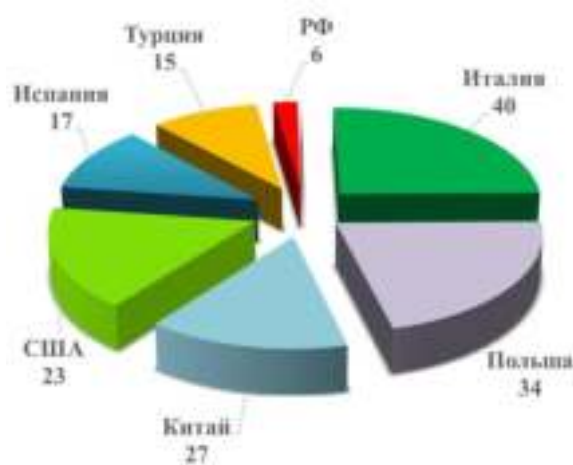


Рисунок 1.3 – Техническая оснащенность специализированной садовой техникой России и развитых стран

Техническая оснащенность отрасли отечественной специализированной техникой для садоводства составляет 10-15% от потребного количества.

Результатами отсутствия специализированных технических средств являются вынужденное упрощение агротехнологий; снижение производительности труда; недобор урожая на 40-50% [11].

Всю используемую в промышленном садоводстве технику можно условно разделить на 3 группы:

- Используемая техника «кустарного» производства;
- Техника для садоводства, выпущенная в 1970-1980 гг.;
- Импортные машины в садоводстве (рис 1.4-1.6).



Рисунок 1.4 – Используемая техника «кустарного» производства



Рисунок 1.5 – Техника для садоводства, выпущенная в 1970-1980 гг.



Рисунок 1.6 – Импортные машины для интенсивного садоводства

Отрицательными результатами применения импортной техники в садоводстве являются:

1. Высокая стоимость машин (в 3-5 раз выше отечественных аналогов) и запасных частей (в 3-8 раз выше отечественных аналогов).
2. Высокая себестоимость производства продукции.
3. Вынужденная ориентация производителей плодов на применение некачественной б/у импортной техники или на изготовление машин в «кустарных» условиях.
4. Отсутствие дополнительных финансовых средств у производителей продукции садоводства на расширение производства, внедрение инновационных агротехнологий и наращивания экспорта продукции.

Проведенный в настоящей работе анализ технического обеспечения интенсивных технологий в садоводстве свидетельствует о преобладании зарубежной техники на 60% при выполнении наиболее трудоемких операций в садоводстве: предпосадочная подготовка почвы, уход за междурядьями, уборка урожая и погрузочно-транспортные работы (рис. 1.7).

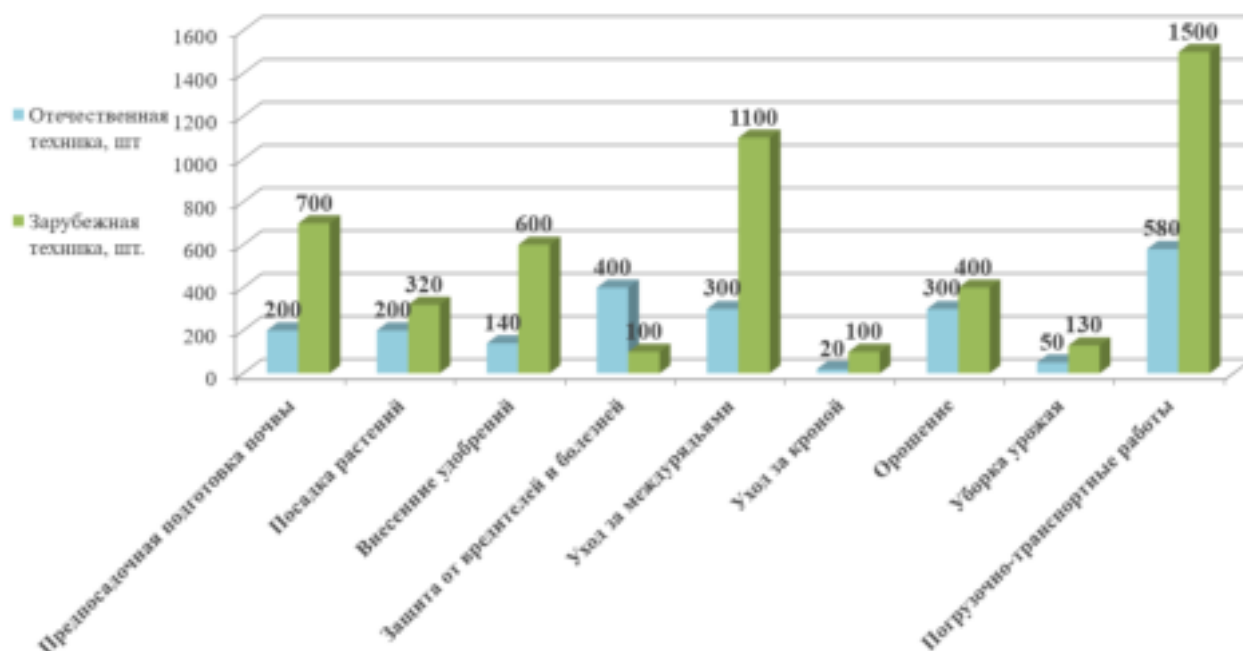


Рисунок 1.7 – Техническое обеспечение интенсивных технологий в садоводстве

Основные заводы-изготовители техники для садоводства представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Основные заводы-изготовители техники для интенсивного садоводства

Технологический процесс	Российские изготовители	Иностранные изготовители
Предпосадочная обработка почвы	ООО «БДМ-Агро», ООО «Донсельмаш», ОАО "Белгородский завод РИТМ"	«Dragone» (Италия), «Salf» (Италия), «Calderoni» (Италия), «Clemens GMBH&CO» (Германия), «Celli» (Италия), EmY Elenfer (Италия), «Arriza» (Италия)
Посадка растений	АО «Корммаш», АНО РНТЦ «Интех», ООО «Донсельмаш», ООО «Механик Рем Сервис», ООО «Машиностроительный завод» (г. Белгород)	«Clemens GMBH&CO» (Германия), ERO (Германия), OSTRATICRY (Чехия) Müller (Германия), «Arriza» (Италия), «MCMS Warka» (Польша), «Solan» (Польша)
Защита от вредителей и болезней	ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ООО «Виктория», ООО НТЦ «Агросектор» ООО «Эколанмаш», ООО «Агро-Тех»	«Dragone» (Италия), «Caffini» (Италия), «Dominiak» (Польша), KFMR KRUKOWIAK (Польша), «Weremczuk» (Польша), «Jar-met» (Польша), «Wieslaw Królik» (Польша), «SAE» (Италия), «Cucsan» (Турция), «Ditta-seria» (Польша)

Уход за междурядьями	ООО «АзовСтройМаш плюс», АНО РНТЦ «Интех», «Агрокаркас» (ИП Сидоренко)	«Calderoni» (Италия), «Seppi» (Италия), «Berti» (Италия), «Clemens GMBH&CO» (Германия), «Rinieri» (Италия), «Celli» (Италия), Industrias david Yecla (Испания), «OSTRATICRY» (Чехия), «ORSI» Италия, «Gramegna» Италия, «Arriza» Италия, «Jagoda GPS» (Польша), «MCMS Warka» (Польша), «Weremczuk» (Польша), «Spedo» (Италия), «Cucchi» (Италия), «Solan» (Польша), «Lotti» (Италия)
Уборка урожая	ОАО ОЛ РМЗ "Прохладенский«, «Агрокаркас» (ИП Сидоренко), ООО «АзовСтройМаш плюс»	АО «Агромашина» (Молдавия), ООО «СелАгро» (Беларусь), «ORSI» (Италия), «Jagoda GPS» (Польша), «MCMS Warka» (Польша), «Ditta-seria» (Польша), «SORTER» (Польша), «Feucht-Obsttechnik» (Германия), ОАО «Мозырьский машиностроительный завод» (Белоруссия), «FRUMACO» (Германия)
Погрузочно-транспортные работы	АНО РНТЦ «Интех», «Агрокаркас» (ИП Сидоренко), ООО «Машиностроительный завод» (г. Белгород)	ООО «СелАгро» (Беларусь), «MCMS Warka» (Польша), «Weremczuk» (Польша), «Wiesław Królik» (Польша), «Ditta-seria» (Польша)

По данным Росспецмаша количество машин для садоводства импортируемых в Россию в 2018-2020 гг. в различных категориях составляют от 60 до 1080 шт/год (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Количество производимых и импортируемых машин в России

Расчетная потребность в основных видах специализированной садовой техники в Российской Федерации составляет по тракторам 400 шт/год, машинам для закладки насаждений 1660 шт/год, машин для ухода за садовыми насаждениями 3300 шт/год, машин для уборки и транспортировки урожая 1800

шт/год. В денежном эквиваленте на приобретение такого количества машин в среднем тратится не менее 8 млрд. рублей (рис. 1.9).

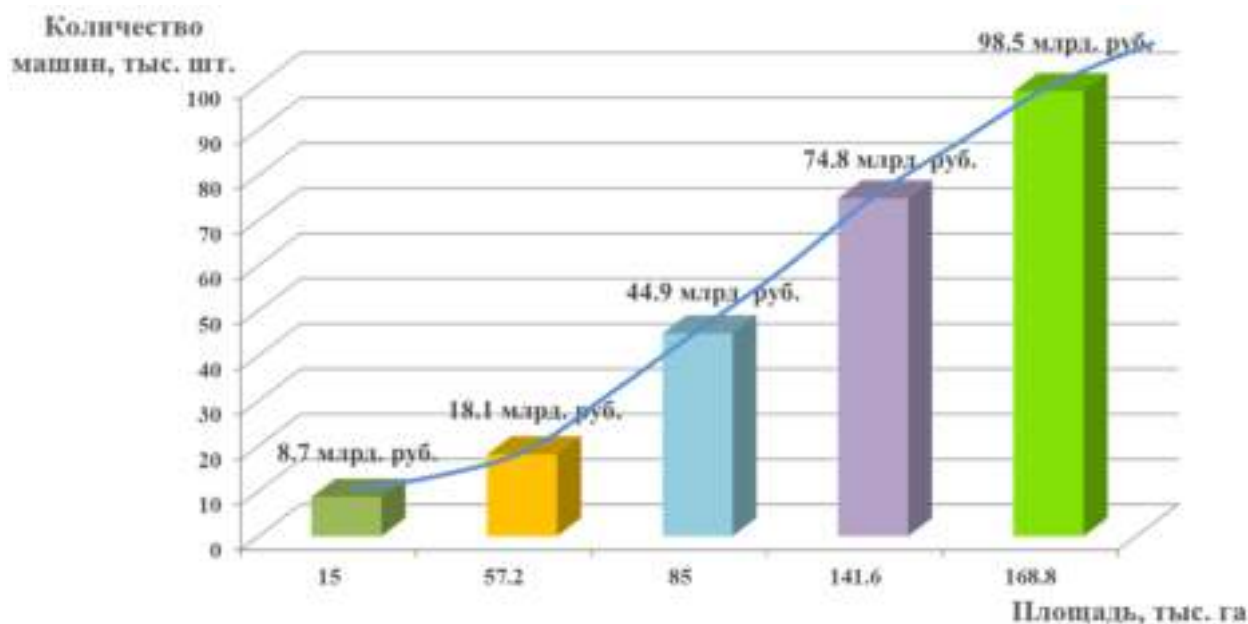


Рисунок 1.9 – Объем рынка специализированной техники для садоводства

По данным ФТС России структуру импорта садовых тракторов в 2020 г. составляют такие страны как Китай 36%, Япония 28%, Германия 7%, США 6% (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Страны поставщики импортной садовой техники

Большинство зарубежных поставщиков не гарантируют обеспечение заявленных технических характеристик машин в Российских условиях и не имеют

заклучений экспертиз машинно-испытательных станций. Основные производители-поставщики зарубежных машин для садоводства располагаются в Италии, США, Германии, Франции, Испании, Болгарии и др. странах ЕС.

Основные российские разработчики и производители техники и оборудования для интенсивного садоводства сведены в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Основные российские разработчики и производители техники и оборудования для интенсивного садоводства

Наименование предприятия	Производимая техника
ООО «Агромашхолдинг» (Республика Чувашия)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Колесный трактор АГРОМАШ 30ТК, 30 л.с. 2. Колесный трактор АГРОМАШ 50ТК, 50 л.с. 3. Колесный трактор Агромаш 60ТК, 60 л.с. для работы в междурядьях 2 метра.
ООО "АГРО-ТЕХ" (Ростовская область)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Емкость сборная для воды, полива (h-3 м, диаметр от 10 до 30 м). 2. Телешки садовые для уборки яблок (1 или 2 контейнера - прицепные или малой механизации). 3. Емкость для подвоза воды (2,5 м3 и 3 м3). 4. Опрыскиватель садовый гербицидный для приствольной обработки деревьев. 5. Разбрасыватель минеральных удобрений (навесной 500 кг). 6. Косилка роторная садовая (1,85 м, 1,65 м). 7. Фреза для измельчения лозы.
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (г. Москва)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Самоходное универсальное высококлиренсное гидрофицированное энергосредство с электронным управлением (СУВЭС) 2. Культиватор фрезерный высококлиренсный 3. Опрыскиватель-гербицидник высококлиренсный на базе СУВЭС

	<ol style="list-style-type: none"> 4. Фреза садовая универсальная с выносной секцией 5. Косилка-измельчитель 6. Устройство для внесения гербицидов в приствольную зону 7. Электроприводная платформа для уборки урожая и ухода за насаждениями низкорастущих ягодных и овощных культур ВИМ-Элеком 8. Агрегат для транспортировки плодов и овощей в контейнерах 9. Машина универсальная для контурной обрезки 10. Агрегат самоходный универсальный для сбора плодов
ООО "ЭРО-Бингер Рус" (сборочное производство) (Краснодарский край)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Виноградоуборочный комбайн SF-200 2. Виноградоуборочный комбайн SF-6000 3. Чеканочная машина ERO односторонняя порталная 4. Чеканочная машина ERO двусторонняя порталная 5. Чеканочная машина ERO односторонняя Г-образная 6. Машина для подвязки лозы 7. Столбоставы 8. Машина для предварительной обрезки виноградника 9. Листоудалитель двусторонний EB 490 10. Листоудалитель порталный EB 490
ООО "Диас" (Краснодарский край)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Бороны садовые 2 и 3-х рядные. 2. Культиваторы междурядные садовые. 3. Обрезчики лозы.
ООО «АзовСтройМаш Плюс» (Ростовская область)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Плуг выкопчный ПВ-0.32 2. Фреза траншейная ФТ-11

	<ul style="list-style-type: none"> 3. Культиватор КВО-3 4. Культиватор КВО-3Т-560
ООО "НФ ГУТА" (г. Москва)	<ul style="list-style-type: none"> 1. Устройство для обработки гербицидами приствольных полос в садах ОВГ-600. 2. Опрыскиватель универсальный ОВГ-2006 Б. 3. Машина для дезинфекции МДП-2006.
ООО НПП "ТОНАР" (Краснодарский край)	Опрыскиватель навесной веерный ОНК-600
ООО "Пегас-Агро" (Самарская область)	Аэрозольный опрыскиватель САХ-5
Инженерный центр ФГБНУ ВНИИС им. И.В. Мичурина (Тамбовская область)	<ul style="list-style-type: none"> 1. Корчеватель пней плодовых деревьев кп-2 2. Рыхлитель-вычесыватель рв 3. Машина органического земледелия моз-2 4. Универсальные комплексы для работы в маточниках укм 5. Высококлиренсная платформа для работы в питомниках вп-1,5 6. Технологические модули для междурядной обработки 7. Ямокопатель ясн-400 8. Борона для обработки приствольных полос бдп-0,9 9. Платформа для обрезки ветвей и сбора урожая 10. Фрезы садовые универсальные
ООО «Машиностроительный завод» Белгород	<ul style="list-style-type: none"> 1. Устройство для сматывания капиллярных трубок 2. Косилка садовая, 3. Плодовозы КС-4.0 4. Опрыскиватели ОПВ-3000К
ОАО ОЛ РМЗ «Прохладненский», КБР	<ul style="list-style-type: none"> 1. Платформы прицепные 2. Прицепы
ООО «Донсельмаш», Ростов –на-Дону	<ul style="list-style-type: none"> 1. Опрыскиватель- гербицидник 2. Запрессовщиков шпалерных столбов 3. Машина для междурядной обработки почвы.

Оценивая состояние парка специализированной техники для садоводства можно отметить, что спрос на специализированную технику стабильно держится на высоком уровне, особенно на машины, оснащенные системами автоматизации и роботизации. По результатам анкетного опроса сельхозтоваропроизводителей установлено, что потребность в специализированных машинах по уходу за насаждениями на 2020 год составила не менее 1323 шт., в машинах для защиты растений 2814 шт., в специализированных плододоборочных платформах не менее 855 шт. Результаты анкетного опроса приведены в приложении А настоящей работы.

Опрошенные эксперты отмечают, что техническое переоснащение организаций специализированной техникой и оборудованием с высокой степенью автоматизации и роботизации позволит снизить трудозатраты при выращивании и уборке плодов от 10 до 25% и повысить производительность труда в отрасли на 30-40%.

Выявлено, что наиболее важными и наименее изученными научными направлениями в интенсивном садоводстве являются дистанционный мониторинг состояния биообъектов, автоматическое управление ориентацией рабочих органов, использование электрофизических способов воздействия на агроценозы и создание систем управления роботизированными мехатронными устройствами, имитирующие движение рук человека при выполнении трудоемких и деликатных процессов в садоводстве (уборка урожая, окулировка, зимняя прививка).

По этой причине в последние годы учёными всего мира активно разрабатываются аппаратные и технические средства, направленные на цифровой мониторинг состояния и урожайности насаждений, прогноз фитосанитарной ситуации в саду, замену химической обработки почвы в приствольных полосах на альтернативные физические способы обработки, роботизацию технологических процессов для минимизации участия человека.

На основании результатов исследований академиков РАН Измайлова А.Ю., Альта В.В., Лобачевского Я.П., Завражнова А.И., Федоренко В.Ф., член-корр. РАН Годжаева З.А., Уткова Ю.А., д.с.-х.н. Цымбала, А.А., д.т.н. Бычкова В.В.,

Гордеева А.С., Манаенкова К.А., Гришина А.П., Смирнова И.Г., к.т.н. Завражнова А.А., Филиппова Р.А., Кутырёва А.И, S. G. Defterli, K. R. Aravind, P. Li, S. Lee, Pradhan S., Yaghoubi S., и др. доказано, что наиболее перспективным направлением развития садоводства является автоматизация и роботизация, позволяющие использовать прецизионный подход к каждому растению и управлять производственными и технологическими процессами на основании цифровых систем мониторинга, алгоритмов искусственного интеллекта и автоматизированных систем поддержки принятия решений [9- 12], [23-26], [101], [158, 164].

1.2.2. Обоснование технологических процессов с применением автоматизированных и роботизированных машин в интенсивном садоводстве

Интенсивная технология возделывания плодового сада делится на три этапа: закладка сада, уход за насаждениями и уборка урожая.

Для оценки уровня развития интенсивных технологий в садоводстве проведено сравнение интенсивных технологий с традиционными и экстенсивными (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Техничко-экономические характеристики промышленных технологий в садоводстве

Показатели	Тип технологий		
	Экстенсивная	Традиционная	Интенсивная
Урожайность, т/га	10-25	20-45	55-100
Подвои	Сильнорослые	Среднерослые	Карликовые и суперкарликовые
Плотность посадки, шт./га	200-250	400-1000	1500-3500
Схема размещения	7-8 x 3-4 м	5-7 x 2-4 м	3-4,5 x 0,5-1,5 м
Тип кроны	Округлая - раскидистая	Округлая или плоская	Округлая или колоновидная
Высота кроны, м	5-7	4-5	2-3
Плодоношение, год	7-8 год	4-6 год	2-3 год
Окупаемость, лет	12-14	7-9	4-6

Система содержание почвы в садах	Черный пар, паропокровная, паросидеральная	Черный пар, паропокровная	Задержание, дерново-перегнойная
----------------------------------	--	---------------------------	---------------------------------

Анализ трудоемкости производственных процессов в интенсивном садоводстве показал, что наиболее трудоёмкими операциями при возделывании плодовых культур являются посадка саженцев, уход за приствольными зонами деревьев, уборка урожая и погрузочно-транспортные работы. Наиболее часто проводимыми за вегетационный период операциями в промышленном саду являются уход за междурядьями и внесение средств химической защиты растений. Например, система опрыскивания для промышленных насаждений предусматривает 15-20 обработок за сезон, то есть каждые 7-10 дней, в то время как для других полевых сельскохозяйственных культур количество обработок составляет не более 5 (рис.1.11).

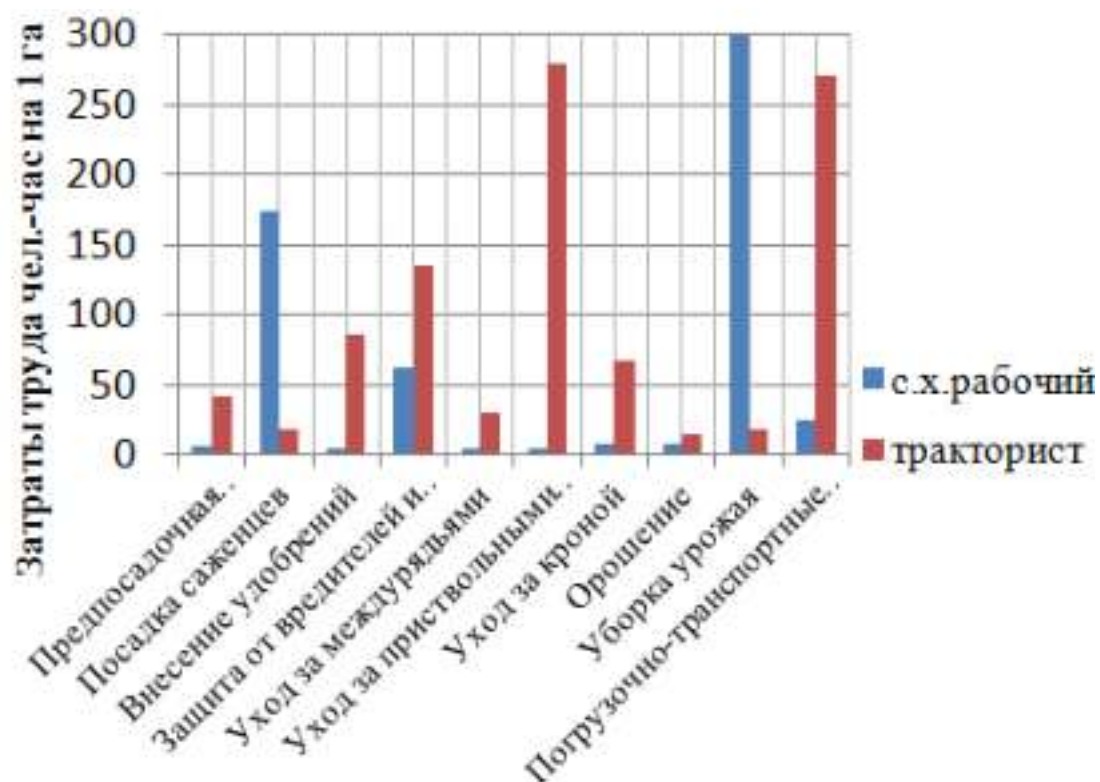


Рисунок 1.11 – Трудоемкость производственных процессов в интенсивном садоводстве

Представлена структура технологических процессов при возделывании плодового сада по интенсивным технологиям с применением автоматизированных и роботизированных машин (рис.1.12), она включает основные технологические процессы, у которых имеется потенциал технологического выполнения в роботизированном режиме. Определено, что наиболее выполнимыми с точки зрения роботизации процессов в интенсивных технологиях являются операции по предпосадочной разметке участков, высокоточной закладки саженцев, обработке междурядий и приствольных полос, химической защите насаждений, съёма и транспортировки урожая.

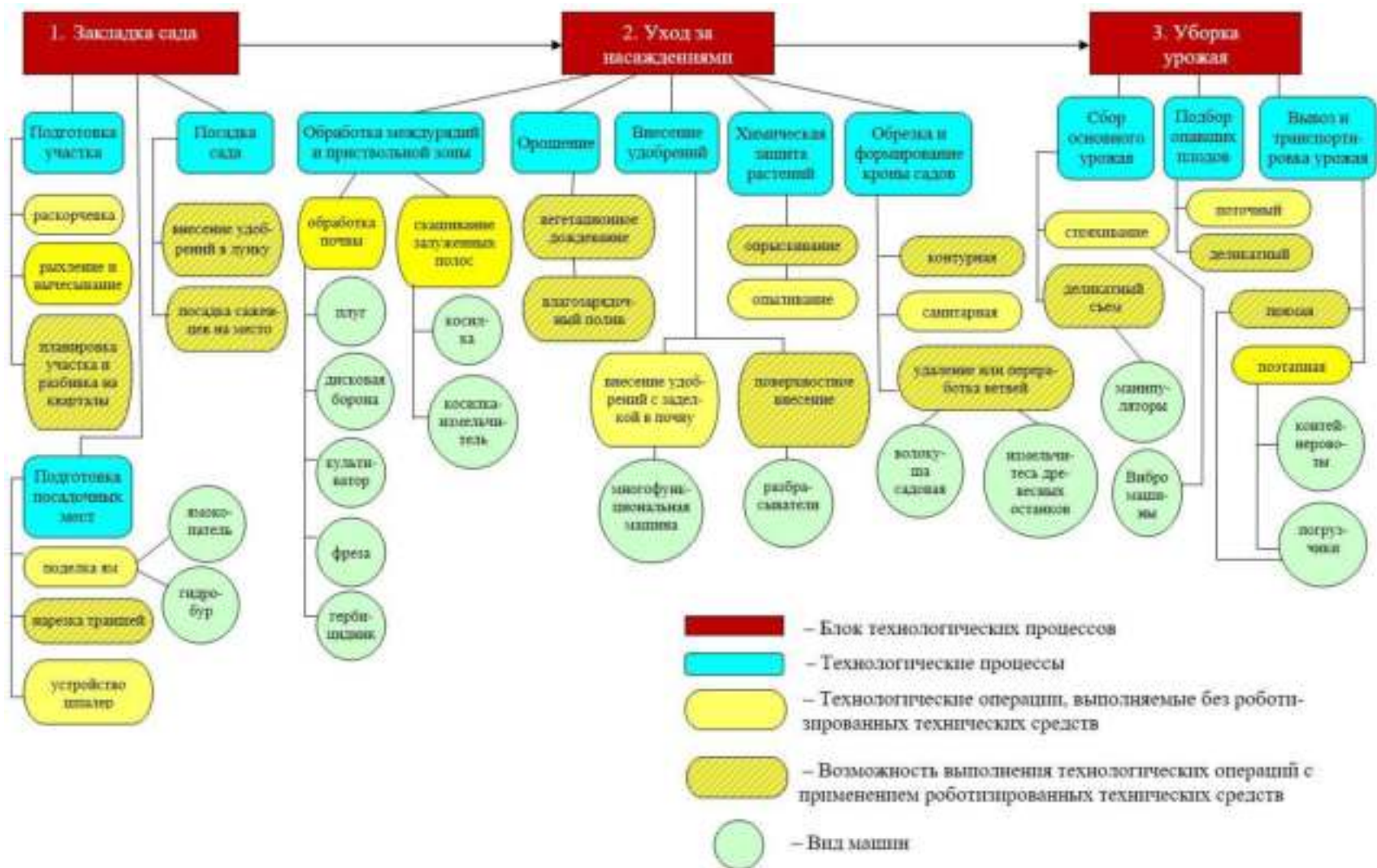


Рисунок 1.12 – Структура технологических процессов при возделывании плодового сада по интенсивным технологиям с применением автоматизированных и роботизированных машин

1.3 Обзор перспективных машинных технологий для возделывания плодовых и ягодных культур с применением цифровых систем, средств автоматизации и роботизации процессов

Анализ литературных источников о применении автоматизированных и роботизированных устройств, используемых при возделывании и уборки урожая в интенсивном садоводстве выявил множество обзорных материалов, посвященных сельскохозяйственным роботам, средствам автоматического мониторинга за состоянием растения, новым способам воздействия на биологические объекты (электромагнитные поля, токи высокой частоты, гидравлические удары и др.) [13-16]. Существующие автоматизированные и роботизированные системы используются для выполнения различных технологических операций, например, обрезки/прореживания, борьба с сорной растительностью, мониторинг заболеваний [17-19]. Имеются обзоры исследований, связанные с управлением и анализом больших данных, которые поступают от сенсорных устройств большинству роботизированных систем во время их эксплуатации [19,20]. Системы мониторинга, нацеленные на конкретные культуры, также были целью множества исследований [21-23].

Во всех источниках отмечено, что все цифровые системы, автоматизированные и роботизированные машины используются для повышения производительности технологических процессов, исключения человека из вредных для здоровья операций, причем эта задача исследуется и рассматривается еще с начала 1960-х годов [24].

С учетом вышеизложенного в настоящей работе представлен анализ наиболее завершенных технологий и машин для дистанционного мониторинга за растениями, ухода вегетативной частью садовых насаждений, обработке почвы в приствольных полосах, внесению средств защиты растений и уборке урожая.

1.3.1 Технологии и технические средства для дистанционного мониторинга интенсивных насаждений

Анализ литературных источников показал, что технических средства для мониторинга и оперативного получения данных об изменениях состояния сада и окружающей среды основывается на мировом научно-практическом опыте использования средств дистанционного получения информации [25-26]. Классификация средств дистанционного получения информации по физическому принципу включает 6 групп. Для сравнения различных средств дистанционного мониторинга разработана таблица, в которой сгруппированы преимущества и недостатки всех существующих типов датчиков (табл. 1.7).

Таблица 1.7 – Сравнение средств дистанционного мониторинга

№	Наименование средств получения информации	Влияние погодных условий на работу датчиков	Влияние освещенности на работу датчиков	Разрешение	Дальность действия	Алгоритм	Распознавание перекрываемых объектов	Стоимость	Определение глубины
1	RGB камера	Да	Да	Высокое	Средняя	Сверточная нейронная сеть	Нет	Низкая	Нет
2	Стерео камера	Да	Да	Высокое	Средняя	Алгоритмы стереозрения	Да	Средняя	Да
3	Тепловая инфракрасная камера	Да	Нет	Среднее	Средняя	Классификация изображений	Да	Средняя	Нет
4	Гиперспектральная камера	Да	Да	Высокое	Средняя	Обработка на основе визуализации	Да	Средняя	Нет

5	Лидар	Нет	Нет	Низкое	Высокая	Классификация облака точек	Да	Высокая	Да
6	Радар	Нет	Нет	Низкое	Очень высокая	Глубокое обучение	Да	Средняя	Да

Анализ технических преимуществ устройств, показал, что наиболее подходящими для мониторинга агроценоза плодового сада и использования с робототехническими средствами в полевых условиях являются цифровые оптические системы RGB, стереозрение и лазерные радары.

Роботизированные системы видения могут использовать различные визуальные датчики, такие как камеры RGB-D, датчики обнаружения света и дальности (Лидары), тепловизионные датчики и спектральные камеры. 3D-модели всего сада с помощью машинного зрения может облегчить процесс идентификации. 3D-моделирование может выполняться либо с использованием стереоскопического изображения (с помощью фотограмметрических методов), либо с использованием лидарных датчиков или камер RGB-D.

Системы идентификации позволяют решить три основные задачи: во-первых, распознавание плодов, во-вторых, идентификация степени зрелости, в-третьих моделирование траектории движения устройств для съема (звеньев манипулятора).

Большое количество исследований посвящено проблеме идентификации и обнаружению локализации объектов, планированию движения манипуляторных устройств (преодоление препятствий). Для обнаружения сельскохозяйственных объектов используют глубокие нейронные сети, сегментацию изображений в сочетании с методами кластеризации. Авторы (ссылка 69) вычисляют семантическую сегментацию RGB-изображений яблоневого сада, используя многомасштабный многослойный персептрон и CNN, который работает с

участками окон и выводит вероятность класса на пиксель. Алгоритмы кругового преобразования Хафа используются для обнаружения объектов и оценки урожайности [28]. Известен алгоритм подсчета плодов [29], который включает этапы обнаружения объекта, сегментации на основе FCN и этап обнаружения контура. Авторы [30] используют вероятностный метод сегментации изображений плодов.

Некоторые работы сосредоточены исключительно на проблеме семантической сегментации захваченной области кадра. Авторы [31] используют классификатор скользящего окна Inception-v3 для сегментации изображений RGB по трем классам: урожай, сорняк и фон, а затем используют методы сжатия нейронной сети для уменьшения количества сетевых параметров

Многие ученые для обнаружения плодов или растений используют хорошо известные одноступенчатые или двухступенчатые детекторы CNN. Активно используется метод интерактивной генерации маски на изображениях RGB на основе сопоставления графиков [32]. Авторы [33] используют Mask-RCNN для обнаружения и количественной оценки черники на изображениях. Авторы [34] разрабатывают мультимодальный Faster-RCNN, который объединяет изображения RGB и ближнего инфракрасного диапазона для обнаружения нескольких типов фруктов.

В качестве практических примеров применения средств дистанционного мониторинга в составе с робототехническими комплексами известны беспилотный наземный аппарат Agri.q UGV [35-37], разработанный в рамках миссии PIC4SeR3 по интеллектуальному уходу за садами и виноградниками (рис. 1.13). Наземный аппарат позволяет проводить мониторинг насаждений и одновременно осуществлять сбор образцов почвы.



Рисунок 1.13 – Система Agri.q UGV

Для автоматической генерации меток Разработан модуль Clustering-RCNN [38], а также одноступенчатый детектор объектов глубокого обучения LEDnet при обнаружении яблок на RGB изображениях. Области, представляющие интерес, генерируются путем сегментации изображения RGB с помощью модели гаусса. Авторы [39] используют модифицированную версию YOLOv3, которая включает слои DenseNet вместо Darknet-53 для обнаружения поражений яблока в наборе данных, который был дополнен синтетическими изображениями, созданными с помощью CycleGAN.

Для поиска наилучшего обзора объекта для его последующего съема авторы [40] используют 9 камер RGB закрепленных под захватом манипулятора. Захват робота движется в направлении, которое максимизирует видимость объекта, для этого проводится семантическая сегментация данных с каждой RGB камеры. Процесс семантической сегментации основан на классификаторе точек в повернутом цветовом пространстве HSV.

Обнаружение объектов для их последующего сбора (например, плодов на кроне дерева) и определение их положения относительно самого робота - это

первая задача, которую должна выполнить роботизированная система для сбора урожая. С этой целью используются визуальные датчики/камеры (рис. 1.14). Камеры размещаются на платформе, которая обычно включает в себя роботизированную систему сбора урожая и манипуляторные устройства.



Рисунок 1.14 – Пример системы видения (ссылка 97)

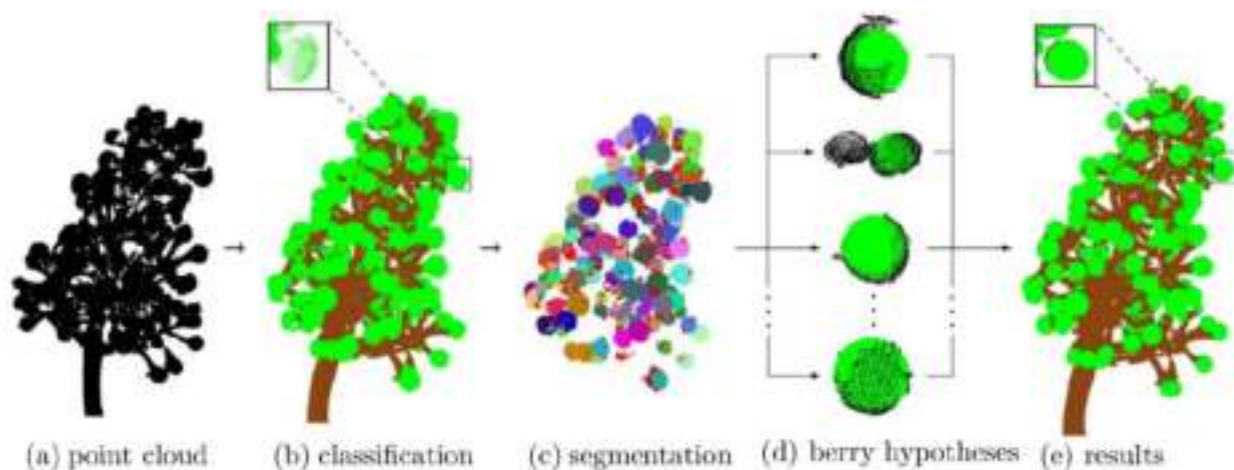


Рисунок 1.15 – Пример 3D-реконструкции (ссылка 98)

Bayati и Fotouhi разработали мобильную платформу для фенотипирования растений в полевых условиях. Платформа сочетает в себе как программное

обеспечение для сбора и визуализации данных, так и систему мониторинга растений. Основные функции этой платформы приведены на рисунке 1.16.



Рисунок 1.16 – Предлагаемая платформа в действии

Стрела крепится к сельскохозяйственному транспортному средству для перевозки различных датчиков и другого измерительного оборудования. Датчики состоят камер высокого разрешения, тепловых инфракрасных камер, двух гиперспектральных тепловизоров и двух 3D-лазерных сканеров. Система датчиков позволяет точно позиционировать платформу в рядах насаждений. Разработаны три программы для получения изображений с помощью веб-камер, обработки и визуализации данных. Датчики позволяют контролировать ключевые стадии развития и роста растений (рис. 17).

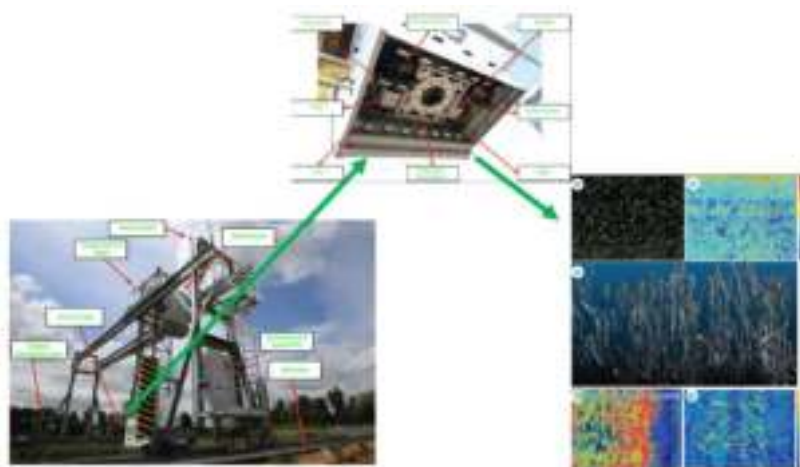


Рисунок 1.17 – Компоненты всей платформы, отдельные части отсека камеры и изображения различных спектров

Для мониторинга насаждений разработана роботизированная платформа (рис. 18) состоящая из двух устройств: автономного наземного транспортного средства Винбот и мобильной системы наблюдения. Наземное транспортное средство собирает данные с отдельных растений, в то время как вышка наблюдает за целым полем, определяя конкретные растения для их дальнейшего осмотра Винботом.



Рисунок 1.18 – Винбот и вышка

Среди всей возможной информации, которую возможно получить с помощью систем компьютерного зрения, особый интерес представляет объем урожая. Система компьютерного зрения, состоящая из двух лидарных датчиков, расположенных вертикально, обеспечивает стереоскопическое зрение (рис. 1.19).

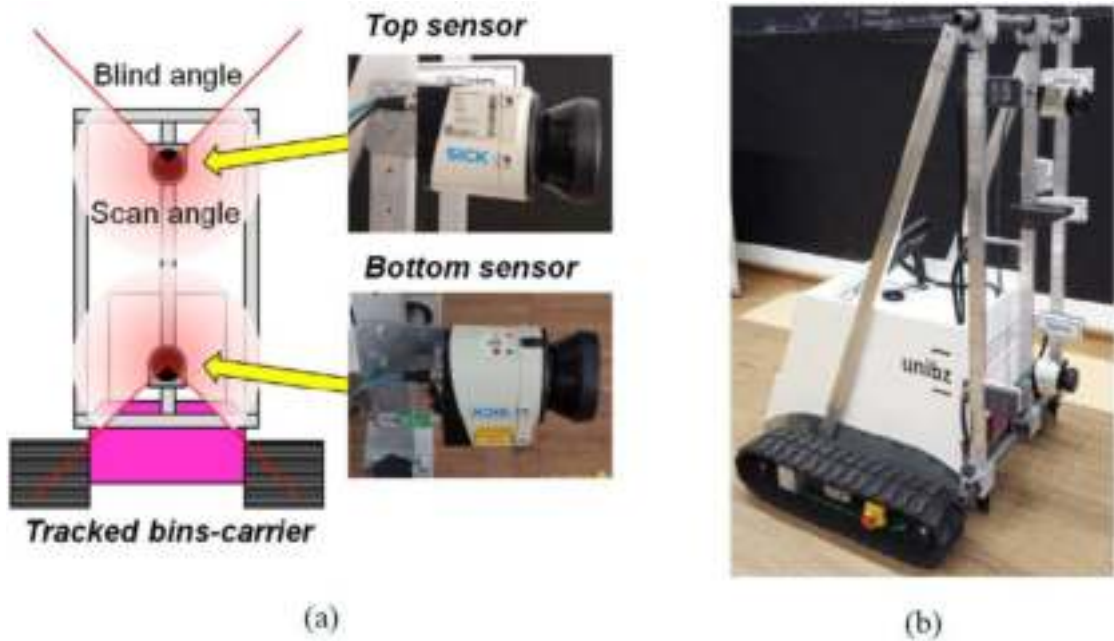


Рисунок 1.19 – (а) Схема установки двух лидарных датчиков на раме мобильной платформы и (б) гусеничная платформа, оснащенная металлической рамой и лидарными датчиками

Гиперспектральная визуализация (ИВ) - это технология, которую возможно использовать для мониторинга стрессового состояния растений [41]. Известен автоматизированный метод для отделения растений малины от фона с использованием выбранного спектрального соотношения в сочетании с определением границ ягод. Теория графов использовалась для определения непрерывной границы между сорной растительностью и интересующей областью (рис. 1.20). [42].

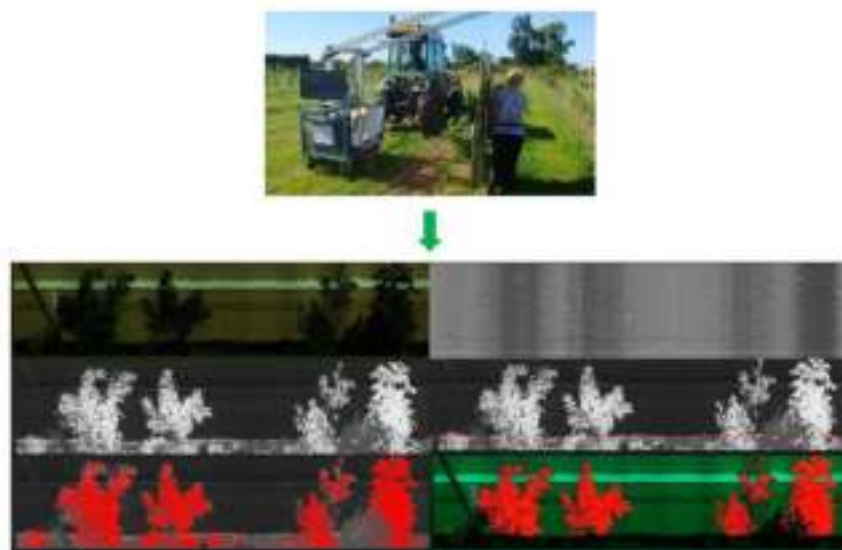


Рисунок 1.20 – Роботизированная платформа и этапы сегментации данных

Содержание сухого вещества в плодах используется в качестве показателя зрелости, измеряемого в полевых условиях с помощью портативного спектрометра. Учёными США предложен альтернативный подход, который использует гиперспектральную камеру, лидарный датчик и навигационную систему, установленную на наземном транспортном средстве, для прогнозирования урожая плодовых деревьев (рис. 1.21).

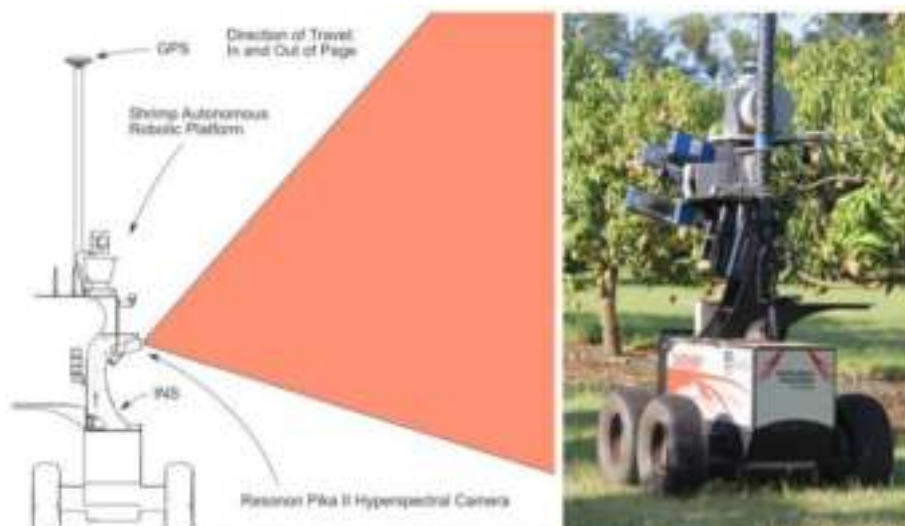


Рисунок 1.21 – Роботизированная платформа Shrimp и конфигурация датчиков

Цвет (RGB) является успешным и достаточным для оценки урожайности в садах. Гиперспектральная визуализация показывает перспективы для решения более точных задач, таких как выявление болезней внутри плода. Разработан конвейер оценки урожайности с использованием наземного линейного сканирования HSI с беспилотного наземного транспортного средства (рис. 1.22).

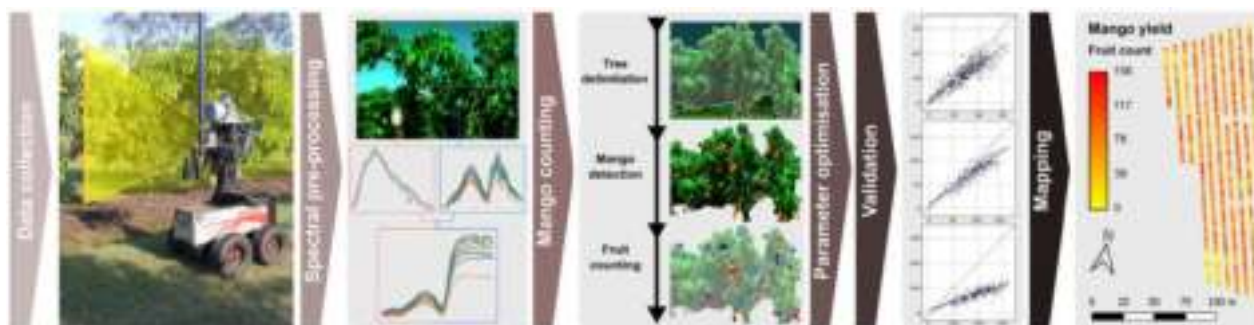


Рисунок 1.22 – Рабочий процесс предлагаемой методологии выявления болезней внутри плода

После определения границ деревьев и идентификации пикселей проводится процесс оптимизации для получения наилучших моделей подсчета плодов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что линейное сканирование НИ с использованием различных фильтров может быть использовано для точной оценки урожайности в садах (рис. 1.23) [43].

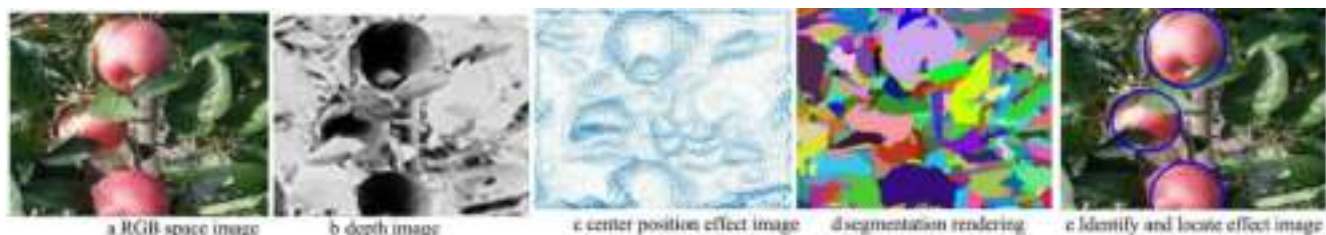


Рисунок 1.23 – Обнаружение с использованием информации о глубине изображения

Разработанный алгоритм позволяет оценивать зрелость плодов с высокой производительностью за счет применения комбинации четырех спектральных фильтров [44].

Текстура и размер плода также могут быть использованы в качестве отличительных признаков для сегментации изображения и идентификации [45]. Для улучшения результатов идентификации использованы стереокамеры глубины (т.е. данные RGBXYZ в отличие от только RGB или XYZ данных) [46], часть проекта SWEEPER) (рис. 1.24).

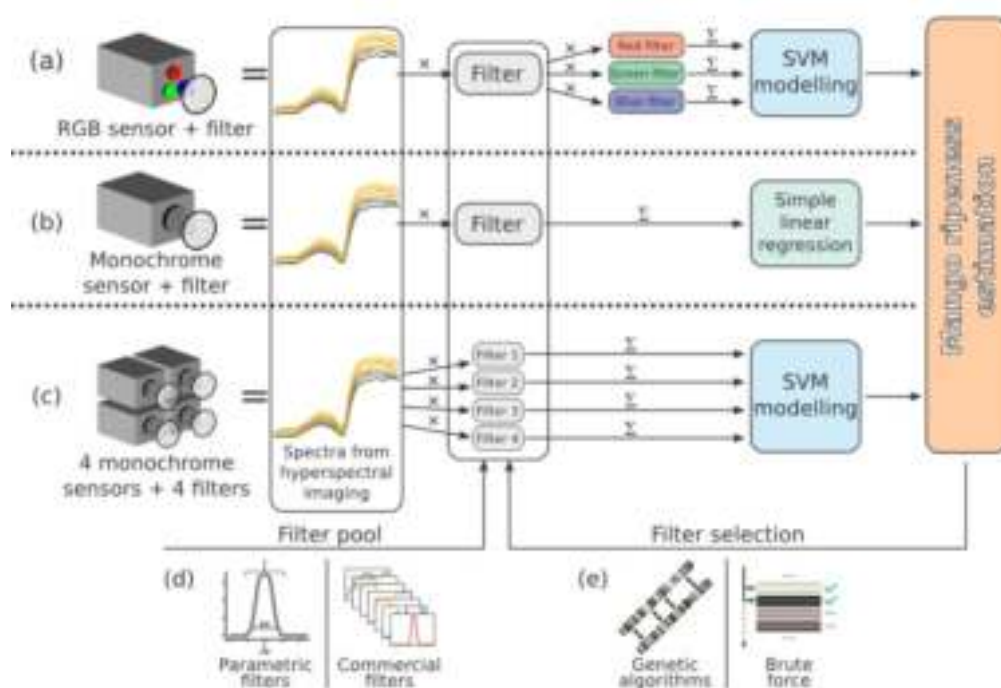


Рисунок 1.24 – Моделирование различных видов одно- и многоспектральных датчиков для оценки зрелости плодов

Для оценки зрелости плода используются методы спектроскопии VIS-NIR [47-50].

Успешный съем урожая в основном зависит от достаточных знаний о местоположении плодоножки. Для поиска и идентификации плодоножки и определения и/или оценки точек среза на цветоносах используются камеры технического зрения [51]. Оценка урожайности имеет решающее значение как по экономическим, так и по управленческим критериям. Для автоматизации данного процесса представлены различные алгоритмы, большинство из них основано на анализе изображений, полученных с помощью камер и датчиков, установленных на роботизированных платформах [52,53].

Планирование и выбор способа движения является не менее важной частью управления роботизированной системой для сбора урожая. При управлении роботизированным средством/платформой в условиях плодового сада со множеством препятствий, важно использовать обратную связь, обеспечиваемую различными датчиками. Часто рассматриваются глобальная система позиционирования (GPS), акселерометры и гироскопы (инерциальная навигационная система – INS), камеры видеонаблюдения, визуальная одометрия (VO), а также объединение вышеуказанных данных обратной связи [54].

Роботизированная платформа «BoniRob» разработанная компанией AMAZONE [55, 56] для поиска культурных растений использует лазер FX6 для обнаружения земли по 3D облаку точек. Для идентификации сельскохозяйственных культур используются сверточные нейронные сети (рис. 1.25).



Рисунок 1.25 – Роботизированная платформа «БониРоб»

Визуальное управление с помощью камер компьютерного зрения чувствительно к калибровке камеры [57]. Для решения данной проблемы учеными использовано комбинированное решение на основе IBVS фазы приближения к объекту для его съема и визуального управления (с помощью камеры) на основе положения PBVS для точной корректировки пространственного положения звеньев манипулятора относительно плода (рис. 1.26).

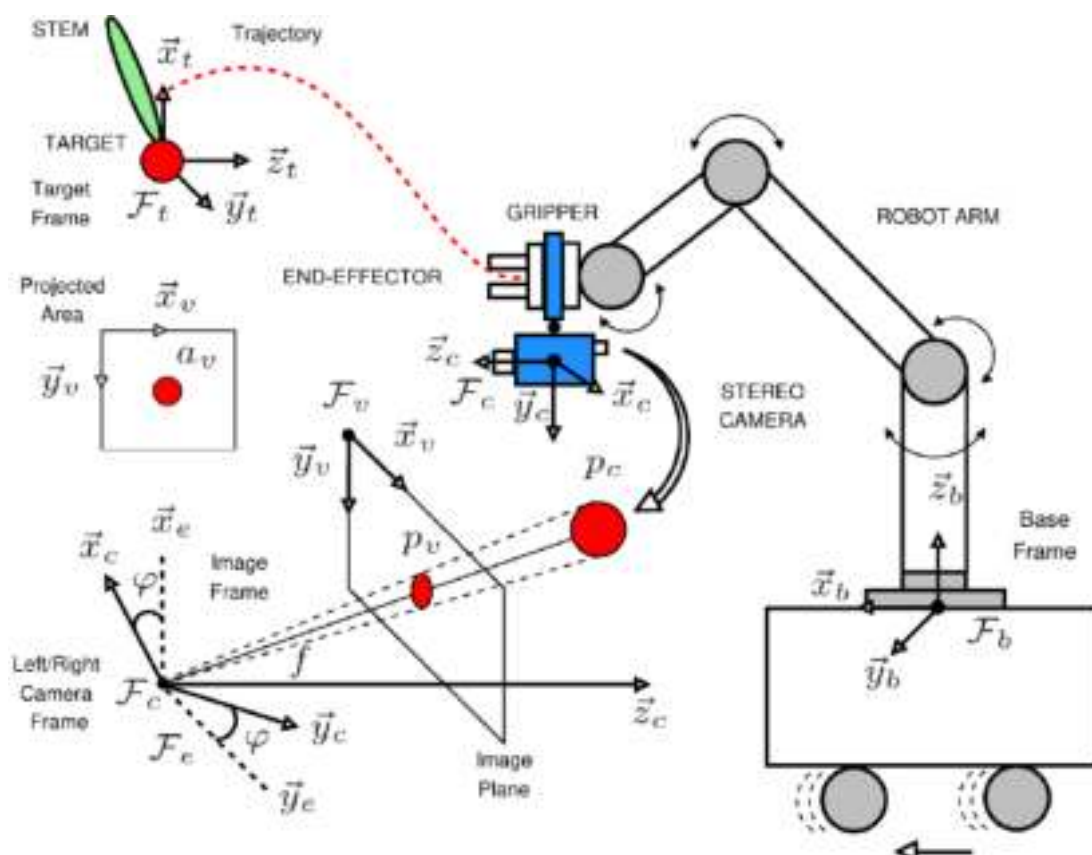


Рисунок 1.26 – Визуальное управление

При работе в полевых условиях системы позиционирования роботизированных платформ могут терять сигнал от навигационной спутниковой системы (ГНСС). Для решения данной проблемы применяют алгоритмы, которые используют экстероцептивную и проприоцептивную информацию для оценки местоположения, как и в случае алгоритма SLAM (Одновременная локализация и отображение). SLAM включает в себя одновременную оценку состояния робота, оснащенного бортовыми датчиками, и построение модели (карты) окружающей среды, которую воспринимают датчики (рис. 1.27). Алгоритм SLAM объединяет данные одометрии с данными лидара, что позволяет планировать маршрут и навигацию на основе лазерного сканирования (рис. 1.28).

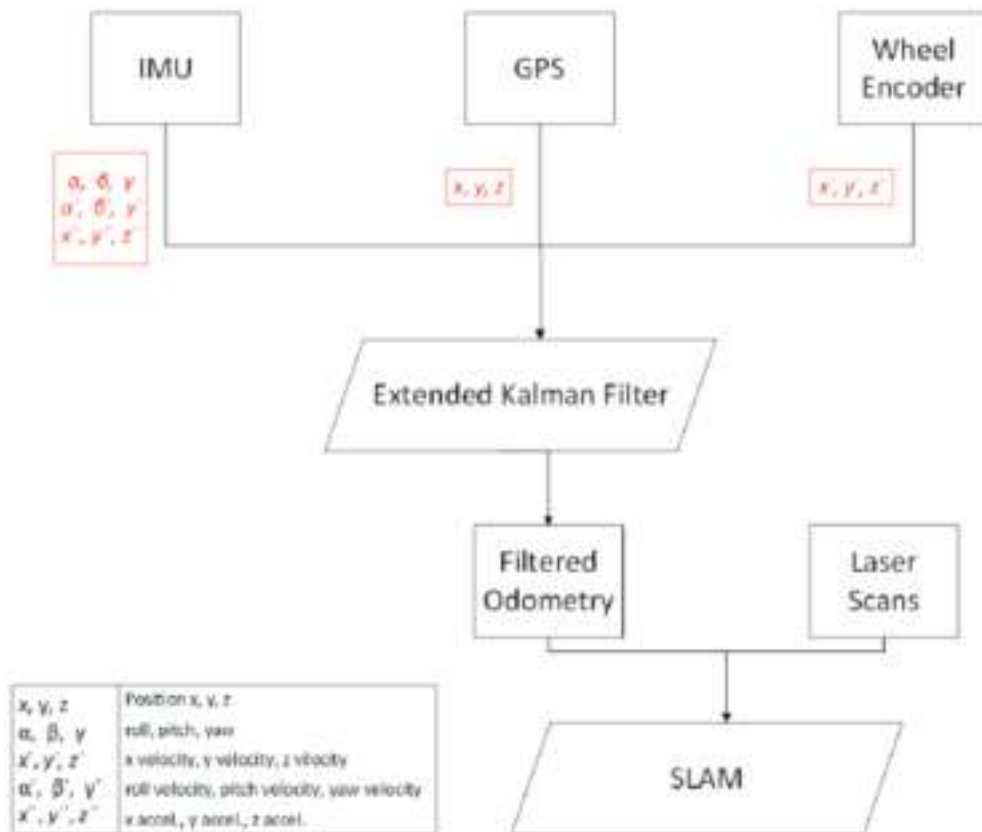


Рисунок 1.27 – Схема подключения датчиков навигации

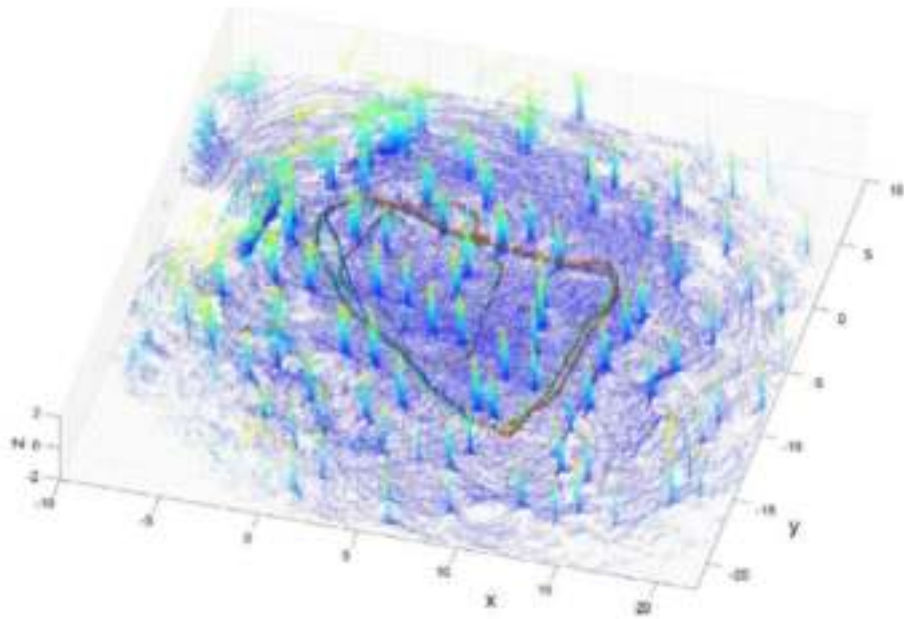


Рисунок 1.28 – Планирование маршрута и навигация на основе лазерного сканирования

Ауат и др. [58] разработали точный алгоритм SLAM на основе расширенного информационного фильтра (EIF-SLAM) для выполнения различных сельскохозяйственных операций. Установлено, что алгоритм надежен, а полученная карта соответствует окружающей среде (рис. 1.29).

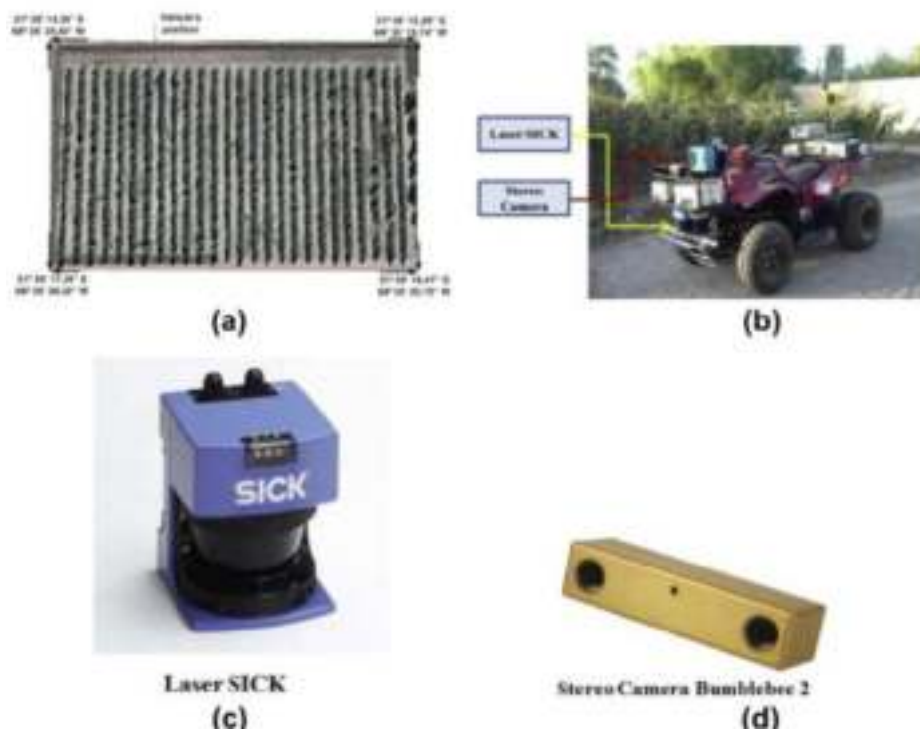


Рисунок 1.29 – Спланированный маршрут по алгоритму SLAM с помощью беспилотного мобильного робота

В рамках проекта FP7 разработано беспилотное наземное транспортное средство VINEROBOT для мониторинга виноградников (рис. 1.30). Беспилотное наземное транспортное средство оснащено системой искусственного интеллекта и несколькими технологиями неинвазивного зондирования. Эти технологии включали датчики на основе флуоресценции, машинное зрение на основе камер RGB, термографию, видимую (Vis) и ближнюю инфракрасную спектроскопию.



Рисунок 1.30 – Беспилотное наземное транспортное средство VINEROBOT

Платформа оснащена набором датчиков (камерами, 2D-лазерными дальномерами) (рис. 31). Анализ полученных данных проводился с помощью облачных вычислительных приложений. Система позволяла проводить оценку количества листьев и винограда (соотношение листьев к плодам), а также создавать онлайн-карту урожайности. Заряда батареи хватало на 8 часов работы [59,60].



Рисунок 1.31 – Роботизированная система проекта VINE BOT

Французская компания GRAPE разработала роботизированную платформу для мониторинга состояния виноградников (рис. 32). Компания GRAPE исследовала возможность использования различных датчиков для облегчения автономной навигации в полевых условиях, включая датчики на колесах, GPS, датчик, лидар, инерциальный измерительный блок, Gmapping, картограф Google и другие [61,62].



Рисунок 1.32 – Роботизированная система GRAPE project

1.3.2. Технологии и машины для ухода за насаждениями

Уход за вегетативной частью растений

Электрофизические способы и оборудование для воздействия на вегетативную часть растений в интенсивном садоводстве

Для воздействия на вегетативную часть растений имеются различные методы, технологии и технические средства, основанные на физических принципах: магнитные поля, лазерное облучение растений, электроконтактная обработка токами высокой частоты, полями коронного разряда и др. Анализ результатов исследований показал, что наиболее распространенными и эффективными в садоводстве являются магнитно-импульсные и лазерные воздействия.

Например, известны исследования, в которых научно доказано воздействие искусственных магнитных полей слабой частоты на биологические системы. В них отмечено, что живые организмы различают интенсивность магнитных полей и чувствуют направления силовых магнитных линий, проходящих через ткани. Наибольшей эффективностью обладали поля с напряженностью, близкой к геомагнитному полю земли ГМП. Сильные отклонения электромагнитного поля от естественного уровня выходят за зоны оптимального состояния жизнедеятельности живых объектов и являются стрессовым фактором. Например, известно, что при полном экранировании геомагнитного поля изменяется скорость размножения микроорганизмов, нарушаются процессы жизнедеятельности: атипический рост клеток, изменение морфологии и функций живого организма. [63-65].

А.С. Пресманом выдвинуто предположение о существовании трех способов передачи информации при помощи магнитных полей в природе: из внешней среды в организм, между организмами и внутри самих организмов. В его исследованиях приведены данные о действии ЭМП и МП разных частот на организмы, начиная от одноклеточных до человека. Описаны эффекты таких полей на молекулярном, клеточном, органном и организменном уровнях [66].

Сегодня для обработки садовых растений, их семян, вегетативных частей применяют два основных приема:

- 1) прямой - непосредственное воздействие внешними постоянным, переменным, импульсным МП или их комбинацией;
- 2) косвенный - воздействие предварительно обработанными МП (магнитными) водными растворами [67].

На рисунке 1.33 представлена классификационная схема приёмов магнитной обработки растений.

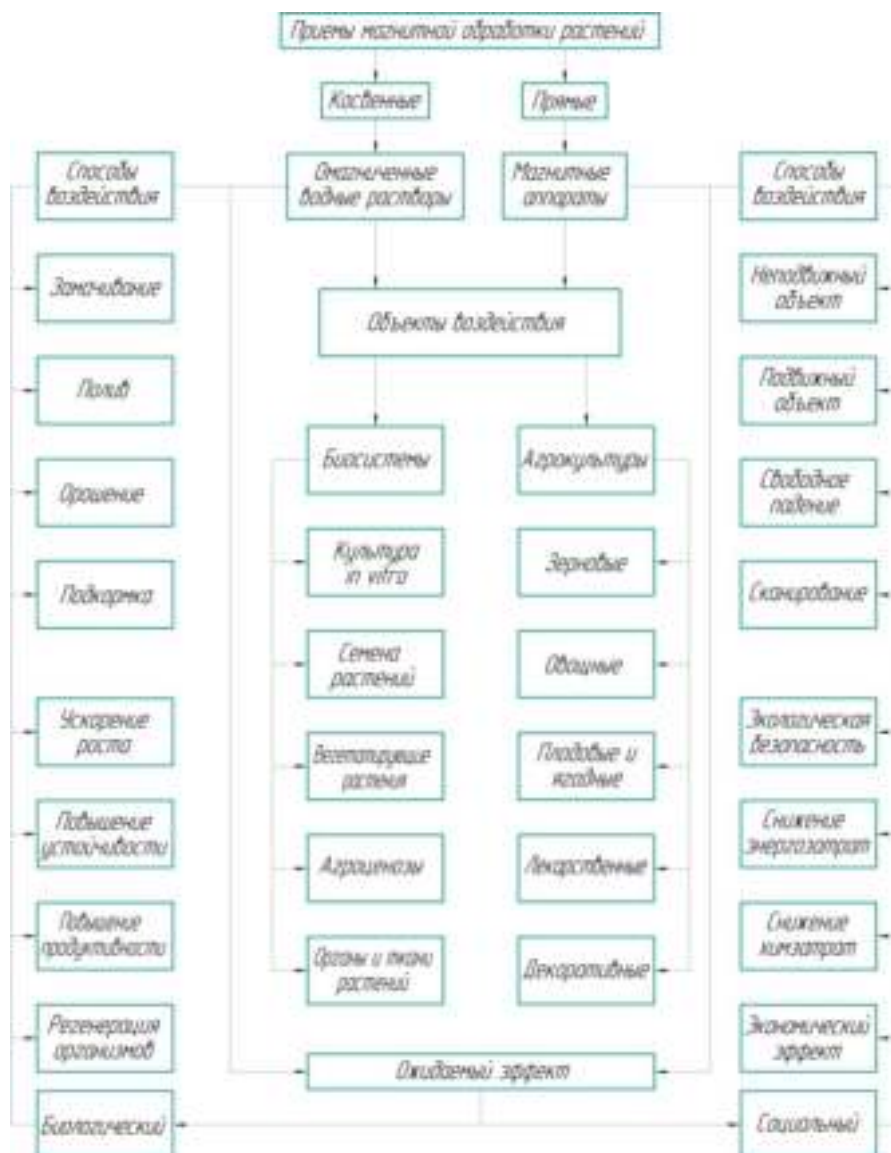


Рисунок 1.33 – Классификационная схема приёмов магнитной обработки растений

Оборудование магнитной обработки применяются в садоводстве с целью стимуляции жизненных и ростовых процессов посадочного материала, корневой и вегетативной частей. Анализ исследований показывает достаточно высокую эффективность внешних магнитных импульсных полей малой интенсивности (от 0,05 до 100 мТл) при биорегуляторной активации продукционных процессов садовых культур [67]. Эффекты, связанные с магнитно-импульсной обработкой (МИО) растений включает улучшение качественных характеристик посадочного материала, увеличение иммунитета растений, активация ростовых процессов, повышение урожайности [68]. Способы магнитной обработки относятся к

регуляторным факторам и являются универсальным физическим воздействием на садовые культуры [69].

Многолетние эксперименты, проводились в ГНУ ВСТИСП Россельхозакадемии. Установлено, что в результате обработки увеличивается укореняемость, приживаемость и коэффициент размножения при культивировании растений *in vitro*. Проводимые исследования доказали перспективность МИО садовых растений, что стало основой разработки технического устройства УДМОР-01 (рис. 1.34).



Рисунок 1.34 – Устройство для магнитной обработки растений УДМОР-01

Устройство УДМОР-01 может использоваться как в лабораторных, так и в производственных условиях. Предназначено для стимулирующей обработки посадочного материала садовых растений [70].

В 2010 г. селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства ВСТИСП разработан электронный аппарат, стимулятор магнитно-импульсный СМИ-4 с улучшенными техническими и экономическими показателями по сравнению с аналогами (рис. 1.35).



Рисунок 1.35 – Стимулятор магнитно-импульсный «СМИ-4» (ФГБНУ ВСТИСП, г. Москва): 1 - блок электронный; 2 - индукторы; 3 - кабели индукторов

Частота следования импульсов магнитной индукции задается в виде пяти групп, каждая из которых состоит из четырех синхронных значений частот в диапазоне 0,25 - 32,0 Гц. Амплитудное значение импульсов магнитной индукции на расстоянии от двух индукторов от 10 до 540 мм вдоль центральной оси составляет 15,0 - 0,25 мТл. Рабочая площадь поверхности магнитных индукторов не менее 0,18 м². На основе многолетнего опыта было установлено, что воздействие на растения магнитными импульсами в частотном диапазоне 0,1 - 50,0 Гц с учетом формы, длительности, амплитуды, пространственного распределения и вектора направленности импульсов магнитной индукции обеспечивает наибольший эффект [71-75].

В 2013 году в том же институте был разработан и апробирован аппарат СМИ-5 (рис. 1.36). Электронный прибор предназначен для стимуляции жизненных и ростовых процессов посадочного материала садовых растений, в том числе зимней прививки и окулировки. Амплитудное значение импульсов магнитной индукции на частоте 20 Гц и расстоянии от поверхности индуктора ПСИ - 1 от 10 до 400 мм вдоль его центральной оси составляет от 11 до 0,25 мТл и от 20 до 0,4 мТл. Рабочая площадь индуктора ПСИ-1 составляет 1900 см². Частотный диапазон от 0,1 до 50 Гц. [76].



Рисунок 1.36 – Стимулятор магнитно-импульсный «СМИ-5» (ФГБНУ ВСТИСП, г. Москва): 1- блок электронный, 2 - индуктор, 3 - излучатель света, 4 – кабель индуктора, 5 – кабель сигнальный, 6 – ноутбук, 7 – манипулятор (мышь)

В 2007-2009 г. на основе активатора магнитно-импульсной обработки растений (АМИ-3) разработан и изготовлен мобильный агрегат, агрегируемый с трактором ВТЗ 2048А, с рабочим органом для облучения растений земляники садовой (рис. 1.37).



Рисунок 1.37 – Мобильный агрегат МИО земляники садовой (ФГБНУ ВСТИСП, г. Москва)

Агрегат включает раму, систему питания и аппарат магнитно-импульсной обработки с двумя плоскими индукторами, установленными с возможностью перемещения в вертикальной плоскости. Применение агрегата на промышленной плантации земляники обеспечило прирост урожайности земляники, выращиваемой промышленным способом на 30%, за счет стимуляции импульсным магнитным полем обменных процессов на определенных фазах развития растений [70].

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2016-2019 гг., с участие автора диссертации было разработано оборудование для проведения новой технологической операции МИО в полевых условия, включающее в себя аппараты для магнитно-импульсной обработки с различными техническими характеристиками, адаптеры и платформы для навешивания индукторов (рис. 1.38) [77].



1 – автоматизированный аппарат МИО, 2 – миллитесламетр портативный универсальный (ТПУ), 3 – АКБ, 4 – магнитный индуктор (плоская спиральная катушка)

Рисунок 1.38 – Проведение технологической операции магнитно-импульсной обработки земляники садовой с помощью электроприводной платформы

Оценка эффективности режимов проведения технологической операции МИО растений садовых культур, на примере земляники садовой проведена по критериям увеличения массы ягод в абсолютном и относительном соотношениях к контрольным значениям.

Результаты обобщены и представлены в виде графических зависимостей абсолютной урожайности ягод земляники садовой при различных режимах обработки МИО (рис. 1.39), процентного соотношения урожайности при различных режимах к контролю и общей массе ягод по датам контрольных сборов.

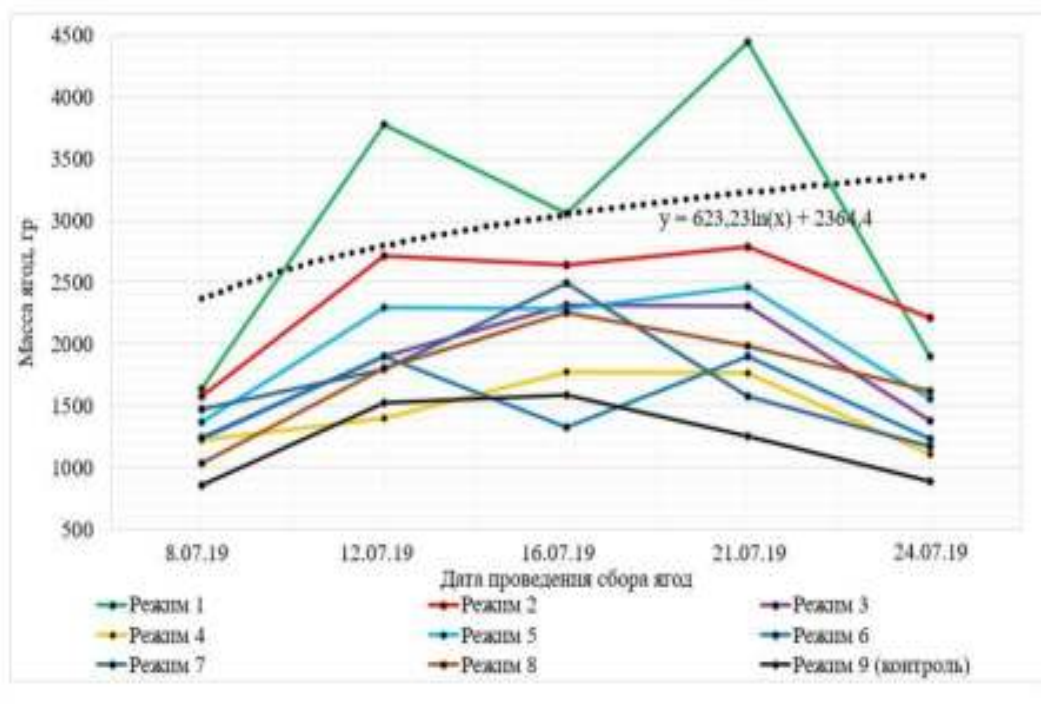


Рисунок 1.39 – График зависимости урожайности ягод земляники садовой при различных режимах обработки МИО

Исследование показало, что при трёхкратной магнитно-импульсной обработке цветущих растений земляники сорта «Мальвина» в условиях промышленной плантации увеличение урожайности по сравнению с контролем составило в среднем от 16 до 58,7. Самым эффективным оказался режим обработки с частотой 32 Гц и магнитной индуктивностью 6 мТл.

Робототехнические средства для механических и химических способов воздействия на вегетативную часть растений в интенсивном садоводстве

Для защиты растений разработаны роботизированные устройства, используемые в садах и виноградниках [78-81], например, автономный наземный робот для удаления сорной растительности на участках виноградника (рис. 1.40).

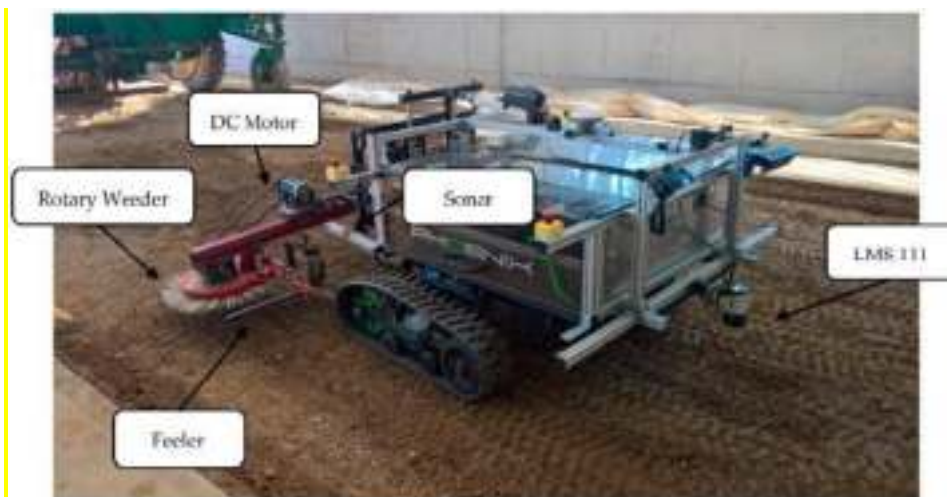


Рисунок 1.40 – Автономный наземный робот для работы в виноградниках

Компания Naio Technologies разработала робота «TED» для обрезки виноградной лозы [82] (рис.1.41).



Рисунок 1.41 – «TED» от N от Naio Technologies

Робот позволяет проводить технологическую операцию обрезки в труднодоступных местах.

Компания Vitibet разработала робота «Бакус» (рис. 1.42) оснащённый системой инфракрасного видения 360°. Робот позволяет проводить операции мониторинга, опрыскивания и обработки почвы виноградниковых насаждений в автоматическом режиме, до 10 часов автономной работы.



Рисунок 1.42 – “Бакус” из "Витибота"

В компании Naïo Technologies (Франция) создан полноприводный мобильный робот Naïo Technologies Oz (рис. 1.43) для рыхления почвы и уничтожения сорняков в междурядьях культурных растений. Благодаря малой ширине в 40см, робот способен производить обработку почвы на различных схемах посадки. Время автономной работы составляет 4 часа, после чего робот автоматически направляется к пункту зарядки [83].



Рисунок 1.43 – Мобильный робот Naïo Technologies Oz

В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ (ФНАЦ ВИМ, г. Москва) с участием автора диссертации предложена концептуальная модель модульного робота с системой технического зрения и различными модулями для обработки садовых растений (рис. 1.44).

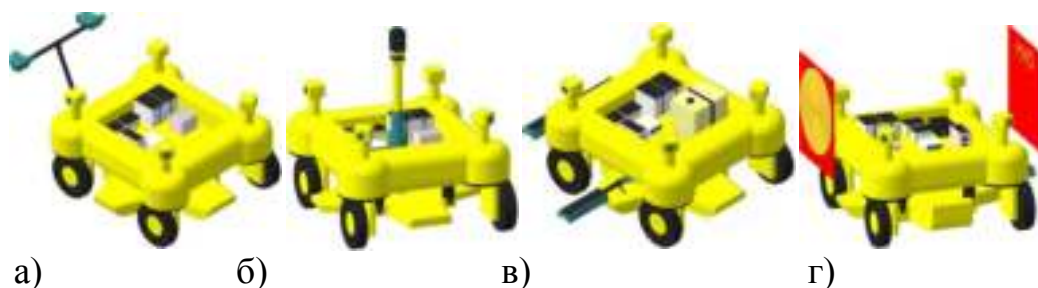


Рисунок 1.44 – Робот для садоводства с различными модулями: а) модуль «Лазерный облучатель растений» б) модуль «Мониторинга урожайности» в) модуль «Опрыскиватель–гербицидник» г) модуль «Магнитно-импульсной обработки растений»

Ещё одной из завершённых инновационных разработок является роботизированный опрыскиватель с интеллектуальной системой внесения средств защиты растений (табл. 1.8), обеспечивающий минимизацию вредного воздействия химикатов на человека за счёт исключения его непосредственного участия в управлении агрегатом (рис. 45) [84].



Рисунок 1.45 – Роботизированный опрыскиватель для низкорастущих ягодных культур «Элеком»

Таблица 1.8 – Техническая характеристика роботизированного опрыскивателя

Грузоподъёмность, кг	500
Габариты машины, не более, мм:	
-длина	2300,0
-ширина	1800,0
- высота с баком, не более	1600
Дорожный просвет, мм	600
Угол статической устойчивости, град.	12
Наименьший радиус поворота, не более, мм	2900
Скорость поступательного движения, км/ч	
-рабочая	2-6
-транспортная	8

Шасси опрыскивателя с двигателями на электрической тяге, системой интеллектуального управления движением, на основе применения сенсорной техники (датчики, 3D видеокамеры) обеспечивает возможность позиционирования относительно растений с использованием технологий спектральной фильтрации изображений [84] (SpectralImaging).

Анализ существующих робототехнических средств для сельского хозяйства, отвечающих требованиям разработок мирового уровня показывает, что роботизированный опрыскиватель соответствует передовому международному научно-техническому уровню [83].

В ВИМе совместно со специалистами КБ «Аврора» был разработан робот - трактор (рис. 46) (табл. 1.9).



Рисунок 1.46 – Роботизированный трактор «Agrobot».

Таблица 1.9 – Техническая характеристика «Agrobot

Наименование показателей	Значение показателей
Двигатель мощностью	36 л.с.
Масса, кг	1530
Номинальная частота вращения, об/мин	3000
Максимальный крутящий момент, Нм	92
Емкость топливного бака, л	32
Ширина колеи, м	1260/1410
База трактора, мм	1690
Общая длина, мм	3050/3220
Дорожный просвет, мм	350
Скорость движения, км/ч:	1-25.5

Робот-трактор предназначен для выполнения различных технологических операций: обработка почвы, уход за насаждениями, в том числе обработка растений импульсами магнитной индукции и средствами химической защиты и транспортные работы в автономном режиме без непосредственного участия оператора-водителя в технологическом процессе. При разработке робототехнического средства использовались серийные узлы и агрегаты трактора ВИМ-320.4. Робототехническое энергосредство оснащено дизельным двигателем мощностью 36 л.с., передним и задним навесным устройством и комплексной системой автопилотирования [85].

Система управления робототехнического средства содержит центральный компьютер, который собирает информацию с датчиков и сенсоров, обрабатывает её и передаёт управляющие сигналы на приводы движения машины. Движение робота осуществляется, как по радиосигналу с пультом дистанционного управления, так и в автономном режиме по заранее заданной карте местности по данным от ГЛОНАСС/GPS дифференциального приемника спутниковой навигационной системы. Для обеспечения надежного спутникового сигнала используется базовая корректирующая станция [85].

Анализ конструктивных параметров существующих робототехнических средств, получивших широкое распространение в промышленном интенсивном садоводстве отражает тенденции развития конструкций современных робототехнических систем для растениеводства (табл. 1.10) [85].

Таблица 1.10 – Обзор конструктивных параметров робототехнических средств для интенсивного садоводства

 <p>«ВИМ» – ЭЛЕКОМ 2,0</p>	<p>Двигатель, мощность -Электромоторы 2x1000 Вт</p> <p>Тип движителей -колесный</p> <p>Масса -250 кг</p> <p>Скорость движения -до 5 км/ч</p> <p>Тип управления - ГЛОНАСС</p> <p>Назначение: опрыскиватель-гербицидник</p>
 <p>Garre Anatis, Франция</p>	<p>Двигатель, мощность - Электромоторы 4x1000 Вт</p> <p>Тип движителей -колесный</p> <p>Масса -800 кг</p> <p>Скорость движения -10км/ч</p> <p>Тип управления - GPS</p> <p>Назначение: уход за молодыми посадками картофеля, земляники и других низкорастущих культур.</p>
 <p>Lynex TX1500, Дания</p>	<p>Двигатель, мощность -Дизель, 45 л.с.</p> <p>Тип трансмиссии -гидростатическая трансмиссия</p> <p>Тип движителей -гусеничный</p> <p>Масса -2200 кг</p> <p>Скорость движения -10 км/ч</p> <p>Тип управления - дистанционное 800 метров</p> <p>Назначение: кошение с мульчированием</p>

 <p>Agrobot SW6010, Испания</p>	<p>Двигатель, мощность - Lombardini Diesel 20,6 кВт</p> <p>Тип трансмиссии - гидростатическая трансмиссия</p> <p>Тип движетелей - колесный</p> <p>Скорость движения - до 10 км/ч</p> <p>Тип управления - система навигации</p> <p>Назначение: сбор, сортировка, упаковка урожая</p>
 <p>RoboGreen, Италия</p>	<p>Двигатель, мощность - Isuzu 3 3000 Вт</p> <p>Тип движетелей - гусеничный</p> <p>Масса - 1040 кг</p> <p>Скорость движения - 7 км/ч</p> <p>Тип управления - дистанционное 150 метров</p> <p>Назначение: косилка, измельчитель</p>
 <p>Wall-Ye, Франция</p>	<p>Двигатель, мощность - Электродвигатель</p> <p>Тип движетелей - колесный</p> <p>Масса - 20 кг</p> <p>Скорость движения - 5,4 км/ч</p> <p>Тип управления - GPS</p> <p>Назначение: обрезка лоз винограда (до 600 лоз за день), удаление непродуктивных молодых побегов.</p>
 <p>BoniRob, Германия</p>	<p>Двигатель, мощность - Электродвигатель</p> <p>Тип движетелей - колесный</p> <p>Масса - 1100 кг</p> <p>Скорость движения - 5,4 км/ч</p> <p>Тип управления -</p> <p>Назначение: прополка, внесение удобрений, мониторинг насаждений</p>

Уход за приствольными полосами

Борьба с сорной растительностью в приствольных зонах садовых насаждений является основным приемом ухода за насаждениями. Для этого, исследователи разрабатывают новые приемы борьбы с сорняками, эффективность которых зависит от принципов работы и конструктивных особенностей специализированных машин. Применяются они с учетом степени засоренности приствольных зон, биологических особенностей сорняков, почвенно-климатических условий и требований возделываемых культур к факторам роста и развития [86].

Выделяют следующие методы борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне садовых насаждений, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки (рис. 1.47).



Рисунок 1.47 – Методы борьбы с сорной растительностью

Существующие способы направлены на повышение эффективности и экономичности выполняемого процесса. Самым распространенным и эффективным является способ химического удаления сорняков. Однако, в

последнее время, широкое применение гербицидов приводит к значительному загрязнению окружающей среды, изменению видового состава сорной растительности и снижению реакции многих видов сорняков на химические способы борьбы [86]. Относительно новыми техническими решениями для борьбы с сорными растениями являются использование физических принципов воздействия, таких как огневая обработка, обработка электрическими токами и др [86].

Современные производители сельскохозяйственных машин и оборудования большое внимание уделяют разработке машин для борьбы с сорными растениями без применения химических веществ, что связано с переходом к экологически чистому садоводству. Результатом развития этих принципов являются прицепные устройства, использующие энергию трактора и размещаемое на них газовое или гидравлическое оборудование для проведения обработки почвы в рядах виноградников, ягодников и приствольных зонах плодовых деревьев с помощью воды центрального водоснабжения [86].

Во многих зарубежных странах и в России используются различные технологии и технические средства для уничтожения сорной растительности в приствольной зоне садовых насаждений (рис. 1.48).



- a) ECO GP 500-800L INOX, Италия, b) ENTREPRISE TECHNIQUE RIQUIER VITIFLAM, Франция, c) Officine Mingozzi, Италия, d) Jaulent Industrie, Франция, e) Herbicide Spray Boom TELMA, Польша, f) TesnoVict SCHIUMONE, Италия, g) Micron Group, Undavina 900, Великобритания, h) УВГ-600, ВИМ, Москва, i) Rinieri, FS 130, Италия, j) Calderoni FPS, Италия, k) КИУ-2,5, ВИМ, Москва, l) ES Cuschi, Италия

Рисунок 1.48 – Устройства для удаления сорной растительности в приствольной зоне

Анализ литературных источников показал, что уничтожение сорной растительности с помощью огня, пара и пены более эффективно и менее опасно для окружающей среды, чем традиционные способы контроля сорняков,

предусматривающие механическую обработку почвы, однако многие культуры достаточно устойчивы к кратковременному нагреву. Термическая обработка позволяет контролировать сорную растительность, при этом влияние на физические, химические, микробиологические характеристики почвы практически не оказывается. Термическая прополка обходится дороже, чем альтернативные механические способы контроля сорняков [86].

Наиболее энергоёмким и рискованным к травмированию культурных растений является механический способ. Это обуславливается тем, что высокое тяговое сопротивление сельскохозяйственных орудий приводит к большому расходу топлива, а многократное использование технологических операций культивации и вспашки приствольных зон - к переуплотнению почвы и снижению урожая.

Использование технических средств для химических методов обработки приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод, увеличению концентрации вредных веществ в продукции растениеводства, способствует развитию высокой устойчивости сорной растительности к гербицидам. При обработке в ветреную погоду осуществляется перенос капель раствора гербицида ветровыми потоками. Под воздействием бокового ветра неконтролируемый поток некоторой части капель раствора гербицидов оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду [86].

Способы борьбы с сорной растительностью, основанные на использовании электрической энергии переменного тока высокого напряжения, высоковольтных импульсных воздействий, электростатических полей высокого напряжения несмотря на экологическую чистоту, не находят широкого применения в сельскохозяйственном производстве, так как требуют контактного воздействия с сорной растительностью. Данные способы не оказывают воздействия на проростки сорняков, находящиеся в поверхностном слое почвы [86].

В результате проведенного анализа существующих технических средств и методов борьбы с сорной растительностью установлено, что наиболее эффективным и экологически безопасным методом удаления сорной

растительности в приствольных зонах садовых насаждений является использование водопроводной воды (гидравлический метод). Химическое загрязнение почвы, грунтовых вод и воздуха при использовании данного метода исключено.

1.3.3 Технологии и машины для уборки урожая в интенсивном садоводстве

В настоящее время существуют две основные концепции автоматизированной уборки урожая: массовая и выборочная. Концепция массового сбора включает сбор всех плодов без исключений, обычно с использованием таких технологий, как встряхивание ствола дерева или ветвей [87-89]. Однако массовые методы влекут за собой опасность нанесения вреда насаждениям. В последние несколько лет в основном используется выборочная концепция уборки урожая. При выборочном сборе урожая роботизированная система сначала решает, какие объекты являются целями для сбора урожая (например, спелые фрукты, идентифицированные с помощью систем компьютерного зрения), а затем собирает их. Эта задача обычно включает в себя сканирование всего урожая в саду или теплице, или его части, распознавание и определение местоположения целей, их срезание/сбор и размещение в таре (например, в ящике) или в хранилище. Для решения таких задач существует множество интегрированных роботизированных решений. Типичные роботизированные устройства для выполнения подобных технологических операций обычно состоят из:

- движущейся платформы/транспортного средства, на котором находится робот-манипулятор, отвечающий за приближение к целевым объектам (фруктам, овощам), захват и срезание их, а затем размещение в ящике;

- системы компьютерного зрения для сканирования урожая и определения местоположения целевых объектов для сбора урожая (обнаружение и локализация) в виде неподвижных камер на платформе, либо в виде движущейся камеры, закрепленной на роботе-манипуляторе (т.е. техника "глаз в руке");

- специально разработанное захватное устройство робота-манипулятора для облегчения съема урожая (рис. 1.49).



Рисунок 1.49 – Роботизированный комбайн для уборки яблок John Deere

Поскольку яблоки имеют довольно стандартную круглую форму и твердую структуру поверхности кожицы, их, как правило, легко собирать без значительного повреждения. Разработанные роботизированные системы позволяют проводить съем одного плода яблока со скоростью 6 секунд (рис. 1.50) с показателем успеха 80% или выше.

Аналогичную производительность можно найти в работе [90], где сбор одного яблока составляет в среднем 7 секунд с вероятностью успеха 90%.

Более медленную скорость сбора урожая в 15 или 16 секунд показывают комбайны, такие как комбайн, для сбора фруктов в (рис. 1.50), который был протестирован на яблоках, или комбайн для сбора яблок в (рис. 1.51), в данных исследованиях подчеркивается важность преодоления препятствий рабочей среды.



Рисунок 1.50 – Фруктоуборочный комбайн



Рисунок 1.51 – Система сбора урожая яблок

Для сбора яблок используется концепция координации работы двух роботов, позволяющая сократить общее время цикла (среднее время сбора одного плода). Разработан кинематический резервированный манипулятор для сбора урожая с восемью степенями свободы. Вместо того, чтобы перемещать плоды в контейнер, роботизированная система сбора, которая включает манипулятор и захватное устройство, опускает яблоко в роботизированную систему сбора вблизи точки отделения плода. Предлагаемый метод сбора привел к сокращению среднего времени цикла более чем на 50%.

В последнее десятилетие для сбора земляники садовой разработаны различные роботизированные устройства с высокой производительностью, с показателем успеха более 75% и средним временем сбора урожая от 6 до 10 секунд на ягоду, включая дополнительные операции, такие как упаковка.

Разница в цвете между целевым объектом сбора и окружающей средой используется в случае с вишней, что делает её относительно легкой для идентификации [91]. В частности, изготовлен робот для сбора вишни, как показано на рисунке 1.52, основными частями которого являются манипулятор с 4 степенями свободы (DOF), датчик трехмерного видения, захват, компьютер и устройство перемещения. Путем обработки изображений с датчика трехмерного видения распознается местоположение вишни и препятствий, а также определяется траектория движения захвата. Сбор проводится захватом, который избегает столкновения с препятствиями.

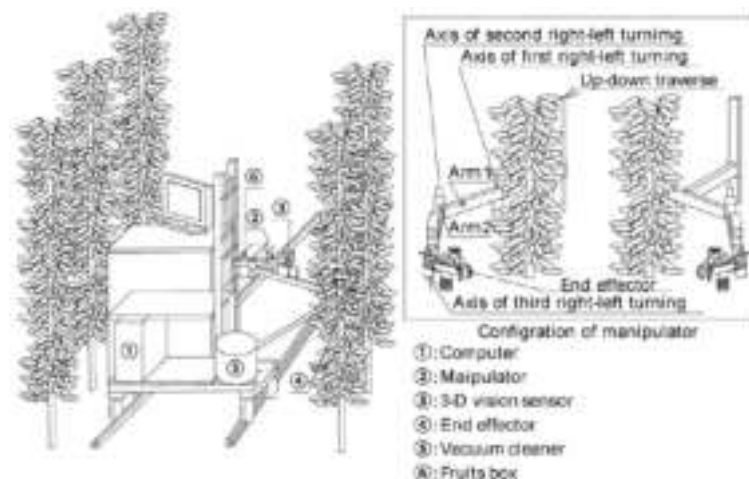


Рисунок 1.52 – Основные части робота для уборки вишни

Для наиболее эффективного осуществления процесса роботизированного сбора учеными предлагаются новые способы возделывания садовых культур [92]. Такие системы возделывания могут способствовать еще большей автоматизации процесса, упрощая и ускоряя роботизированный сбор урожая [93], например, V-образная архитектура плодовых стенок для яблок (рис. 1.53), что позволяет повысить доступ к плодам и создавать меньше препятствий для их сбора в автоматическом режиме.



Рисунок 1.53 – Архитектура плодовых стенок V-образной решетки для яблок

Планирование маршрута движения захвата осуществляется как процесс поиска возможных мест для захвата и съема объекта. Существует множество методов и алгоритмов планирования движения захвата: аналитические подходы и экспертные подходы, основанные на данных (или знаниях). Аналитические подходы состоят из методов, которые используют геометрические, кинематические и динамические параметры. Учитывается минимальное количество необходимых контактных точек для съема объектов с многогранной геометрией. Проводятся исследования и предложены алгоритмы движения захвата и с неограниченным числом контактов.

В работе Лю и Карпина [94] представлен планировщик захвата, основанный на способности программного обеспечения САПР. Предлагаемый алгоритм начинается со случайного размещения точек контакта на объекте, а затем итеративного изменения положений контактов при локальном поиске наилучших возможных мест захвата.

Для сбора плодов сферической формы (яблок, помидоров, цитрусовых) предложена мультисенсорная конфигурация захвата [95]. Захват состоит из двух пальцев, плод отделяется с помощью вакуума, избегая повреждения плода. В

захват встроены датчик вакуумного давления, датчики расстояния, датчики приближения и датчики силы. Срезание плодоножки проводится с помощью лазерной резки (рис. 1.54).

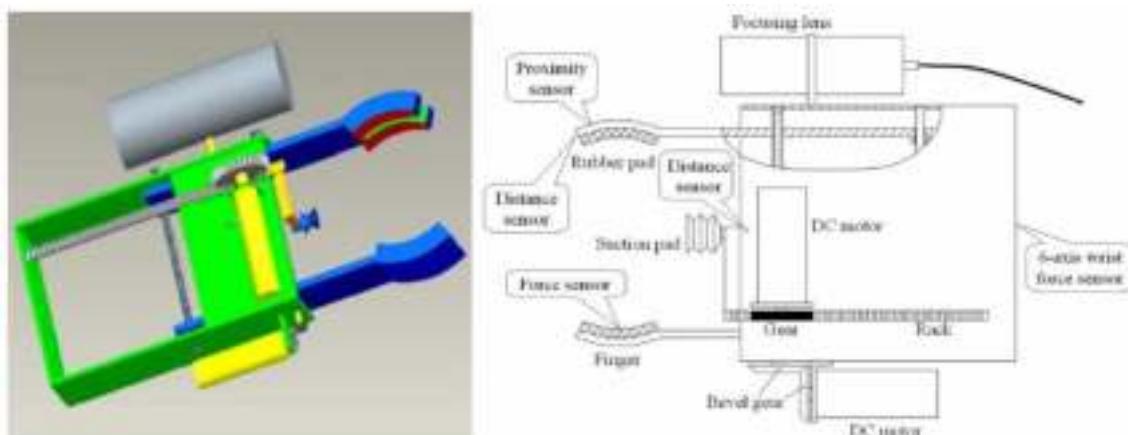


Рисунок 1.54 – Концевой захват с несколькими датчиками для сферических плодов

Также разработан захват с плоскогубцами и резаком для сбора овощей и фруктов [96]. При условии, что плодоножка плода достаточно длинная и достаточно открытая (без препятствий, например, со стороны листьев, ветвей), верхняя и нижняя части захвата разрезают и одновременно удерживают плод за плодоножку (рис. 1.55).



Рисунок 1.55 – Захват с плоскогубцами и резаком

Разработан роботизированный захват [97] с тремя пальцами и датчиками давления с иерархической схемой управления, основанной на регулировании силы захвата.

В течение последнего десятилетия реализовано несколько проектов, касающихся автоматизированных роботизированных устройств, в основном финансируемые Европейским союзом (Горизонт 2020), они включали разработку роботизированных устройств, основной целью которых было облегчение или выполнение различных сельскохозяйственных операций, таких как сбор урожая, опрыскивание, мониторинг. «CROPS» был крупномасштабным интегрирующим исследовательским проектом FP7 ЕС по теме «Автоматизация и робототехника для устойчивого управления растениеводством и лесным хозяйством». Роботизированная система, разработанная в рамках этого проекта, была способна проводить опрыскивание участка и выборочный сбор плодов. Манипулятор с 9 степенями свободы был разработан и протестирован для сбора урожая сладкого перца и яблок, а также для опрыскивания виноградников [81]. В рамках проекта CROPS разработана роботизированная платформа для сбора плодов [98]. Экспериментальные исследования роботизированной платформы показали, что среднее время сбора урожая одного плода составило 24 секунды, при этом логистика занимала примерно половину этого времени (рис. 1.56).



Рисунок 1.56 – Роботизированная платформа для сбора плодов

Компанией Harvest Croo Robotics [99] был создан автоматизированный комбайн для сбора клубники «Berry 5», время сбора составляло 8 секунд на одну

ягоду. Компанией Agrobot E-Series [100] в Испании разработана платформа Agrobot для сбора урожая земляники садовой (рис. 1.57).



Рисунок 1.57 – Роботизированная система Agrobot

Для автоматизированного сбора урожая разработан робот ВАССНУС. Робот оснащён большим разнообразием датчиков для навигации и мониторинга, роботизированным манипулятором с двумя «руками», различными видами хватных устройств, созданными с помощью аддитивного производства (рис. 1.58).



Рисунок 1.58 – Робот-уборщик ВАССНУС

1.3.4 Направления исследований роботизированных технологий в интенсивном садоводстве

Развитие робототехники для садоводства обеспечивается выявлением, корректной постановкой и эффективным решением систематизированного спектра междисциплинарных организационных, научных, технологических и технических проблем в области развития ключевых технологий и создания средств управления робототехники по следующим направлениям [101]:

- Разработка и создание новых машинных агротехнологий на основе применения сельскохозяйственных роботов.
- Исследование технологий мониторинга агроценозов и биообъектов на базовых принципах сельскохозяйственной робототехники.
- Разработка и создание специализированных технологических адаптеров для сельскохозяйственных роботов.
- Исследование и разработка нового поколения мехатронных исполнительных узлов, сервисных блоков, систем управления сельскохозяйственной робототехники.
- Исследование свойств садовых растений и окружающей среды для высокоточного планирования и выполнения технологических операций в агротехнологиях.
- Разработка и создание систем диагностики, мониторинга и навигации для сельскохозяйственной робототехники.
- Разработка систем, моделирующих технологические процессы и работу технических средств при реализации машинных агротехнологий.
- Разработка положений и реализация на их основе новой системы обучения и повышения квалификации технологов и инженеров, работающих в агропромышленном комплексе.
- Формирование и реализация эффективной международной, научно-организационной и образовательной среды для решения проблем

сельскохозяйственной робототехники на мировом уровне.

Основная трудность, с которой сталкиваются создатели агроботов – это наделение машины искусственным интеллектом. Помимо разнообразия технологических операций агроботу необходимо ориентироваться на сложной по рельефу местности. Ему необходимо учитывать наклон поверхности, влажность грунта, ориентацию своего положения как относительно борозды, так и в окружающем пространстве. Задача осложняется необходимостью смены орудия для обработки почвы, а также удаленностью, как правило, технической базы от мест проведения работ.

К достижениям роботизированных технологий относится оптического определение дальности, которая обеспечивает у роботов равноценную человеку остроту зрения и даже лучшее ощущение глубины. Следует учитывать, что в сельскохозяйственном производстве нет двух одинаковых объектов - каждый имеет уникальную форму, размер и цвет. Освещение, меняющиеся в течение дня и ночи, способствует тому, что каждый плод выглядит в разных условиях по-разному. Роботы оснащены специальными интеллектуальными системами мультиспектральных камер, которые анализируют длину волн света, отражающегося от объектов. Эти системы используются для нахождения закономерности, которая позволяет роботу понять, что он видит.

Проблема разработки систем автоматического управления движением робота заключается в точном определении текущего местоположения сельскохозяйственного агрегата и возможности систем в автоматическом режиме качественно осуществлять сбор и представление достоверной информации о состоянии, растений и окружающей среды.

Эффективность роботизированных систем для производства продукции садоводства будет заключаться не только в известных преимуществах автоматизации индустриального производства (повышение производительности, интенсивности использования оборудования, исключение ручного труда и т.д.), но и в достижении технологического эффекта путем создания наиболее благоприятных условий для биологических объектов [84]. Как показывает

вышеприведенные технологии, роботизируются именно те процессы или операции, которые традиционно требуют больших затрат ручного монотонного труда или которые опасны для здоровья обслуживающего персонала.

Выводы по главе 1

1. Проведенный анализ интенсивных технологий возделывания садовых культур показал, что существующие агротехнологии и специализированные технические средства в садоводстве имеют низкий уровень автоматизации технологических процессов, не обеспечивают цифровой мониторинг биологических объектов и не снижают экологическую нагрузку на агроценоз, по причине большого количества обработок насаждений пестицидами и гербицидами, что негативно сказывается на экосистеме плодового сада.

2. Анализ оснащенности специализированной садовой техникой в расчете на 100 га садов показывает существенное отставание Российской Федерации от стран с развитым садоводством: Италия, Польша, Китай, США. Расчетная потребность в основных видах специализированной садовой техники в Российской Федерации составляет по тракторам 400 шт/год, машинам для закладки насаждений 1660 шт/год, машин для ухода за садовыми насаждениями 3300 шт/год, машин для уборки и транспортировки урожая 1800 шт/год. В денежном эквиваленте на приобретение такого количества машин в среднем тратится не менее 8 млрд. рублей.

3. Наиболее трудоемкими операциями при возделывании плодовых культур являются посадка саженцев — 160 чел.ч/га, уход за приствольными зонами деревьев — 270 чел.ч/га и уборка урожая — 300 чел.ч/га.

4. Наиболее эффективными с точки зрения автоматизации и роботизации процессов в интенсивных технологиях являются операции по предпосадочной разметке участков, высокоточной закладки саженцев, обработке междурядий и приствольных полос, химической защите насаждений, уборки и транспортировке урожая.

5. Проведенный экспертный опрос, показал что техническое переоснащение организаций специализированной техникой и оборудованием с высокой степенью автоматизации и роботизации позволит снизить трудозатраты при выращивании и уборке плодов от 10 до 25% и повысить производительность труда в отрасли на 30-40%.

6. Перспективным направлением для садоводства является роботизация процессов, позволяющая использовать прецизионный подход к каждому растению и управлять его производственными и технологическими процессами на основании цифровых систем мониторинга, алгоритмов искусственного интеллекта и автоматизированных систем поддержки принятия решений.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКЦИОННЫМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ИНТЕНСИВНОМ САДОВОДСТВЕ

2.1 Анализ цифровых систем и программных средств для мониторинга процессов, принятия решений и управления агротехнологиями в садоводстве

В сегодняшних условиях развития садоводства информационное и приборное обеспечение определяет развитие отношений на рынке сельскохозяйственных товаров и услуг, способствует развитию инновационной деятельности и обеспечивает технический и технологический прогресс в отрасли [102].

Эффективные управленческие решения в садоводстве принимаются на основе многокритериального анализа многомерных массивов информации об объектах производственного процесса (почва, растения, с/х машины и т.д.) и использования закономерностей их взаимодействия.

В настоящее время исследования по применению цифровых систем в современном садоводстве ведутся с разной степенью интенсивности по следующим направлениям отрасли [102]:

- сбор, систематизация и унификация информации о сортах, агротехнике и защите растений.
- идентификация и паспортизация сортов с использованием визуальных (графических) параметров;
- определение пространственного расположения активной части корневой системы плодовых деревьев и её концентрации, с целью объективной оценки места и глубины внесения удобрений или полива на плантациях;
- управление продукционными процессами садовых культур, на основе применения автоматизированных систем управления и технологий точного земледелия;

- использование роботизированных технологий при производстве продукции;
- обучение специалистов отрасли, путём визуализации представляемой информации из различных областей агронауки и моделирования.

В качестве наиболее многочисленного и важного класса информационных ресурсов, обеспечивающих решение задач по сбору, систематизации и унификации информации об объекте или технологическом процессе являются базы данных (БД), которые позволяют в диалоговом режиме работы с пользователем обрабатывать большой объём информации с минимальными временными затратами.

В СИБФТИ, ВИМ, Росинформагротех и других организациях созданы различные базы данных (БД), в том числе и для садоводства [102], работоспособность которых обеспечивается посредством форм и таблиц, в которых размещаются следующие данные: сорт культуры, урожайность, сроки созревания, масса плодов и ягод и т.д. В формах имеется текстовый блок для отображения подробного описания сорта, а также объект, связанный с полем, где помещается цветное изображение – фотография общего вида дерева, куста или ягод. Существенными элементами формы БД являются управляющие кнопки или объекты, связанные со списком, что позволяет отыскивать и отображать информацию по каждому сорту, так как они имеют привязку к любому полю в таблице данных [102].

Для управления производственными процессами возделывания садовых культур используются автоматизированные системы управления производственными процессами (СУПП), разрабатываемые на основе программных модулей и современных языков программирования. В результате практического применения СУПП позволяют решать следующие прикладные задачи [102]:

1. Обеспечивают в реальном времени оперативную обработку информационных потоков, определяющих особенности роста и состояния растений в критические фазы их развития, от современных регистрирующих приборов (метеостанции, пробоотборники, анализаторы).

2. Формируют управляющие решения на основе полученных данных и способствуют реализации управляющего воздействия средствами автоматизации и с применением технических средств, работающих в системе точного земледелия (машины для дифференцированного внесения химических препаратов, энергосредства с программируемым, управлением процессами, системы позиционирования, контроллеры, бортовые компьютеры).

3. Обеспечивают оптимизацию машинных технологий возделывания плодовых и ягодных культур по биологическим (реализация потенциальной биологической продуктивности культур) и экономическим критериям [102].

Для управления производственными процессами разработана система принятия решений в области интеллектуального сельского хозяйства PLATEM. Система интегрирована в единое веб-приложение. Пользователь может запускать несколько функций, экспортировать выбранные результаты и применять правила к данным в автоматическом режиме. Архитектура блока ввода построена на основе нейронной сети (MLN) и ее модифицированной модели. В архитектуре используется модель структуры социальной организации (SOF).

Программа Smart-Akis [103] представляет собой современную информационно-коммуникационную систему для управления сельскохозяйственным производством.

AgriVi это программное обеспечение для мониторинга насаждений, управления производством сельскохозяйственной продукции, планирования и анализа полученных данных. Формируются оптимальные технологические решения для возделывания более чем 100 культур [104].

Основной целью проекта sigAGROasesor [105] является разработка инструментов поддержки принятия решений для сельского хозяйства, в виде веб-платформы с онлайн-сервисом.

Сравнительный анализ функциональных возможностей вышеупомянутых систем представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнительный анализ функциональных возможностей систем мониторинга и управления производственными процессами в садоводстве

Наименование ПО	Назначение	Модуль бизнес планирования	Система оповещения наступления различных видов тревог	Управление данными	Протокол связи, открытый или закрытый протокол	Публикация данных в веб-приложениях
APOLLO	Контроль выращивания сельскохозяйственных культур	Да	Да	Да Мониторинг роста культур и оценка урожайности	Закрытый протокол	Нет
SMART AKIS	Информационная система	Нет	Нет	Да Интеллектуальная технология ведения сельского хозяйства	Закрытый протокол	Да
SIG AGRO ASESOR	Контроль и мониторинг урожайности	Да	Да	Да	Закрытый протокол	Да
AgriVi	Планирование, мониторинг и анализ деятельности	Нет	Да	Да Данные об урожае и управление затратами на вводимые ресурсы	Закрытый протокол	Нет
PLATEM PA	Информационная система для управления данными	да	Да	Да Сбор данных, построение графиков	Открытый протокол	Да

В ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» с непосредственным участием автора настоящей работы разработана нормативно-техническая база данных (БД): «Машины для современных технологий

промышленного садоводства России» (рис. 2.1), позволяющая масштабировать, обобщать и систематизировать текущие данные о производстве, структуре и реализации технических средств для садоводства, упорядочивать параметры отечественной и зарубежной техники, и определять оснащённость производства специализированной техникой для садоводства по состоянию на 2014-2021 гг. В базе данных хранится информация о 150 единиц техники различных стран производителей, позволяющей реализовать 23 технологических операции современных технологий возделывания садов различной степени интенсификации [84].



Рисунок 2.1 – Нормативно-техническая база данных: «Машины для современных технологий промышленного садоводства» (свидетельство РФ № 2013621245)

Также разработана программа для рационального подбора техники и построения машинных технологий в садоводстве (рис. 2.2), позволяющая функционально компоновать и управлять машинными технологиями, автоматически просчитывать стоимость выполнения технологий, выдавать итоговые значения оценочного показателя для принятия пользователем решения о целесообразности и введения в производство выбранного с/х агрегата, вводить и корректировать конкретные условия производства с учётом изменений погодных-климатических условий [9].



Рисунок 2.2 – Программа для рационального подбора техники и построения машинных технологий в садоводстве (свидетельство РФ № 2013619122)

Представленные разработки являются составной частью, разработанной в настоящей работе системе интеллектуального управления интенсивными технологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ» [84].

2.2. Формирование функциональной структуры реализации цифровых технологий, автоматизированных и роботизированных технических средств в системе «Цифровой Сад»

На основании методологии функционального моделирования IDEF и анализа структуры технологических процессов сформирована иерархическая функциональная структура реализации цифровых технологий и роботизированных технических средств в интенсивном садоводстве, позволяющие существенно сократить ошибки при построении и управлении агротехнологиями. Функциональная схема структуризации технологических и технических решений в системе «Цифровой сад» включает системы сбора и анализа агротехнологической информации, параметры и режимы работы робототехнических средств, стандарты качества выполнения технологических процессов и конечной продукции, агросроки, распределенную информационно-управляющую систему обработки и передачи команд на исполнительные механизмы технических средств (рис. 2.3).

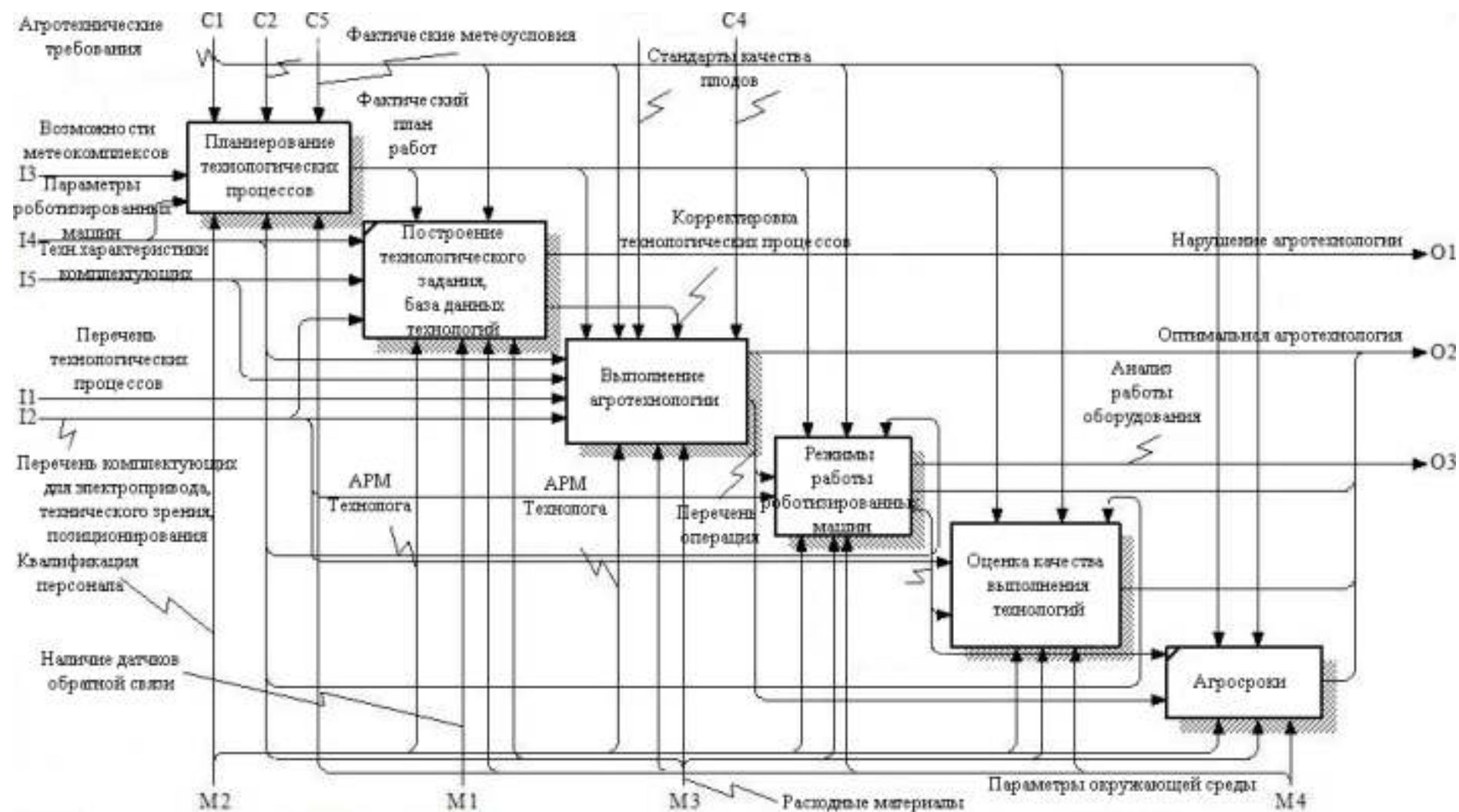


Рисунок 2.3 – Функциональная схема структуризации технологических и технических решений в системе «Цифровой сад»

Разработанная функциональная схема имеет входящие параметры: I1 – перечень технологических процессов, I2- технические параметры роботизированных машин, I3- технические возможности метеоккомплексов и сенсорных устройств, I4 – технические характеристики комплектующих для дооснащения используемых с-х машин, I5–количество роботизированных машин. Ограничивающими параметрами являются: C1- агротехнические требования к операции, C2- фактические метеоусловия, C3- стандарты качества выращиваемой продукции. При семантическом взаимодействии входных и ограничивающих параметров предусмотрено последовательное выполнение следующих этапов: планирование технологических процессов, построение технологического задания, выполнение агротехнологии с одновременной корректировкой сроков выполнения, контроль за режимами работы роботизированных машин и оценка качества выполнения агротехнологии. На выходе из системы основной является информация о нарушении технологии, работе технологического оборудования и варианты оптимизации агротехнологий. Полученная информация передается на подсистему программного обеспечения и интерфейс оператора, принимающего агротехнологические решения с разделением потока всей информации на оперативную, стратегическую и тактическую.

К основным реализуемым функциям системы «Цифровой Сад» относятся:

- Паспортизация участка;
- Сбор и обработка метеопараметров;
- Оценка данных метеостанций и метеослужб;
- Поддержка принятия решений о проведении технологических работ;
- Планирование работ;
- Оценка объемов, сроков и качества работ;
- Формирование корректирующих решений;
- Мониторинг и контроль развития растений.

Достоверность и оперативность сбора и обработки метеопараметров определяется совокупностью технических средств системы метеорологического обеспечения. Основу комплекса мониторинга составляют метеостанция и центральный блок энергоснабжения и управления сетью, к которому подключаются все остальные сенсоры и измерительные устройства. Количество и типы сенсоров не ограничены.

Комплекс совместно с программным обеспечением должен позволять прогнозировать температуру воздуха на период не менее 4-х часов. Для получения более глубоких по времени прогнозов погоды может использоваться информация на метеосайтах или информация областных гидрометцентров.

Программный комплекс обеспечивает выдачу нештатных ситуаций и планирование работ по их устранению, а также контроль выполнения планов. Возможна выдача управляющих воздействий на автоматические системы (например, системы полива) и роботизированные машины. Структура функций программно-аппаратного комплекса для системы «Цифровой сад» представлена на рисунке 2.4.

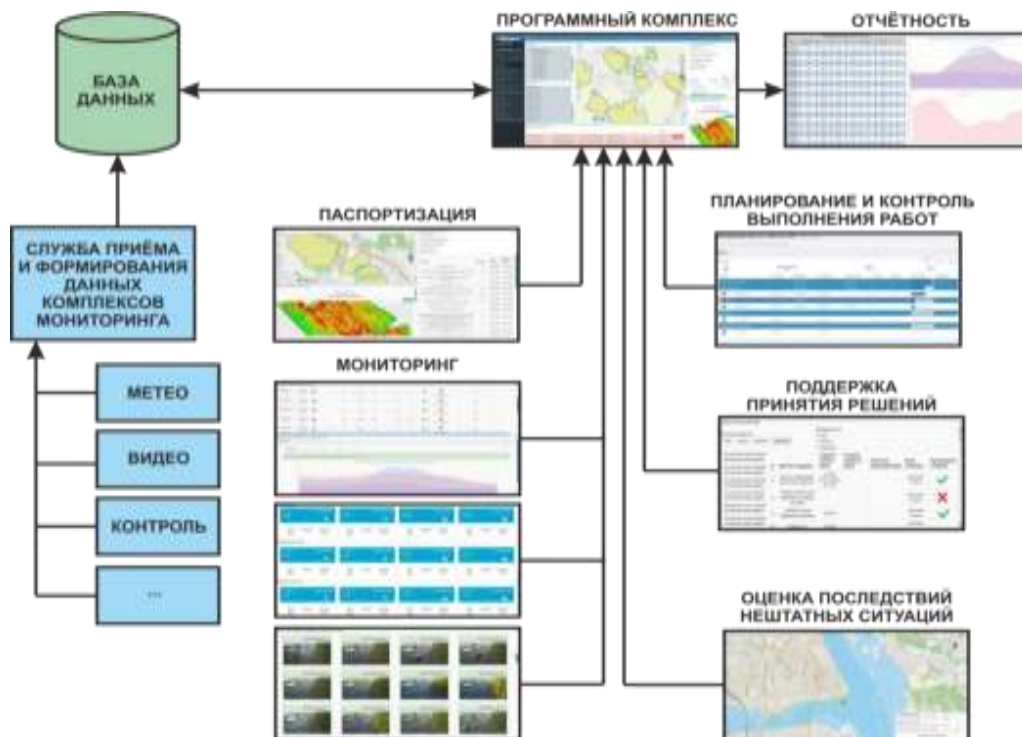


Рисунок 2.4 – Структура функций программно-аппаратного комплекса для системы «Цифровой сад»

В приведенной функциональной схеме реализуется архитектура «тонкий клиент», где серверная часть может функционировать на стандартной операционной системе, а клиенты подключаются через веб-браузер стационарных или мобильных устройств. Для этого предусмотрена модульная структура данных, что позволяет гибко настраивать отображение необходимого набора требуемой информации.

Программно-аппаратный комплекс позволяет создавать на карте участки, заполнять их паспорта по настраиваемым шаблонам, производить контроль параметров. Помимо участков можно наносить любую картографическую информацию с настраиваемым набором атрибутов.

Все параметры, регистрируемые датчиками, фотоизображения, видео и аварийные сигналы в режиме реального времени обрабатываются и передаются в программный комплекс, где записываются в базу данных и отображаются на экране. При достижении значений параметров небезопасного значения, либо выполнении совокупности заданных условий, оператору поступает уведомление.

Программный комплекс позволяет вести количественный и качественный учёт всех материально-технических средств, создавать типовые планы выполнения работ, на основании совокупности параметров (производительность, обеспеченность ГСМ и штатными специалистами и т. п.) производить оценку времени выполнения работ, вести учёт их фактического выполнения, рассчитывать штрафные санкции подрядным организациям за нарушение сроков договорных обязательств

Эффективность применения системы «Цифровой Сад» складывается из экономии средств, связанных с переходом от традиционных способов управления технологиями к автоматизированному, посредством применения программного обеспечения системы, использования комплекта приборов для контроля за факторами изменения внешней среды и оценки состояния растений, исключения «человеческого фактора» и оптимизации режимов питания растений [84].

2.3 Требования к системе цифрового мониторинга в интенсивном садоводстве

Система цифрового мониторинга предназначена для осуществления контроля и идентификации состояния биологических объектов в промышленных интенсивных агротехнологиях.

Разрабатываемая система должна состоять из 2-х частей:

1. Аппаратная, включающая в себя цифровые камеры, объективы высокого разрешения, матрицу, светофильтры, инфракрасная диодная подсветка и тд.

2. Программная, включающая модули по распознаванию, идентификации и обработке полученных изображений в онлайн режиме.

В качестве биологических объектов для распознавания и идентификации выступают:

1. Плоды и листья плодовых деревьев;
2. Очаги и границы расположения болезней на исследуемых поверхностях;
3. Очаги болезней, располагаемые внутри исследуемых поверхностей.

Разработанная методика отбора и оценки состояния плодов для системы цифрового мониторинга, контроля их состояния и идентификации ареалов заболеваний в промышленных интенсивных насаждениях с учетом требований к системе цифрового мониторинга в интенсивном садоводстве приведена в Приложении А. Установлено, что для получения качественных фотоизображений плодов яблони в полевых условиях, необходимо обеспечить размещение средств сбора информации на расстоянии от кроны дерева 1,5-2 метра.

2.3.1 Обоснование средств дистанционного получения информации об изменениях состояния сада и климатических параметрах

Цифровой мониторинг на базе робототехнических средств и оперативное получение данных об изменениях состояния сада и климатических параметрах основывается на мировом научно-практическом опыте использования средств дистанционного получения информации [106]. Классификация средств дистанционного получения информации по физическому принципу включает 7 групп (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Системы дистанционного получения информации

Наиболее подходящими, с точки зрения эффективности и достоверности результатов дистанционного мониторинга агроценоза плодового сада, являются цифровые оптические и спектральные системы, позволяющие осуществлять с высоким разрешением учёт отдельных деревьев и плодов, а также получение разноплановой количественной и качественной информации. Для получения и обработки отличительных спектров здоровых плодов от тех, которые пострадали от физиологических и фитопатогенных повреждений, подходят гиперспектральная визуализация

(И) с использованием портативного гиперспектрометра и регистрации флуоресценции.

Основываясь на диапазонах электромагнитного спектра, для обнаружения растений и позиционирования роботов используются активные и пассивные датчики. Пассивные датчики обнаруживают электромагнитное излучение или отражение света от объектов. Они хорошо работают с видимым, инфракрасным, тепловым инфракрасным и даже микроволновым сегментом.

В отличие от пассивных датчиков, активные датчики имеют собственный источник энергии, излучают импульсную энергию и получают отраженную энергию для обнаружения объектов. Активные датчики включают радар, хорошо работают с радиоволнами. Также требуются датчики оценки местоположения, такие как акселерометры, гироскопы и глобальная система позиционирования (GPS) [107-108] для контроля скорости транспортного средства.

Датчики позволяют роботизированным платформам обнаруживать препятствия, одновременно генерируя большие объемы данных, включая данные на основе точек или пикселей. Популярные методы обработки данных сосредоточены на классификации точечных и пиксельных изображений, называемые сегментацией, которые позволяют осуществлять кластеризацию, отслеживание или дальнейшее объединение с другими способами. Обход препятствий может быть выполнен с использованием 2D- или 3D-рамки для описания местоположения, траектории и размера объекта.

Пассивные датчики. Пассивные датчики измеряют отраженную солнечную электромагнитную энергию от поверхности [109-110]. Эти датчики не имеют собственного источника света, и поэтому их производительность ухудшается ночью или в условиях плохой освещенности. Эти датчики включают камеры и технологию компьютерного зрения, которая измеряет расстояние до объекта, получая информацию о положении объекта [111].

Стерео камеры. Существует два типа стерео камер: моновизионные и стереовизионные. В моновизионной системе для оценки расстояния используется одна камера, которая основана на опорных точках поле зрения камеры. Неудобство метода моновидения заключается в оценке расстояний, распознавании обнаруженных объектов и сложности алгоритма классификации категорий объектов при сопоставлении реальных размеров объектов в разных положениях [112]. Система стереовидения - это система, которая использует стереоскопические методы для расчета расстояния. Эта система эффективна для определения глубины, используется две камеры для вычисления расстояния с высокой точностью [111]. Оценка глубины ограничена расстоянием от базовой линии двух камер. Маленькое расстояния между двумя камерами приводят к невысокой точности измерения глубины, а большое расстояние приводит к частичной потере пространственных данных и частым перекрытиям [113]. Стереокамера генерирует информацию о глубине в 2D цветном изображении. Объекты могут быть идентифицированы как с помощью информации о глубине, так и с помощью данных 2D-изображений. Недостатком использования стереокамер является то, что на качество изображения и обнаружение препятствий сильно влияет освещенность и погодные условия.

RGB камеры. Камеры RGB захватывают видимый сегмент электромагнитного спектра, чтобы предоставить информацию о цвете, текстуре и форме идентифицируемого объекта в высоком разрешении. На производительность камеры существенное влияние оказывают погодные условия (например, туман, снег и дождь) и условия освещения, тени. Камера RGB предоставляет только данные 2D-изображения не имеют возможности предоставить информацию о глубине объектов в 3D-пространстве. Чтобы компенсировать потерю информации о глубине и получить положение окружающих препятствий, были разработаны технологии визуальной одновременной локализации и отображения (SLAM) [114-115] и структуры

из движения (SFM) [116-118]. SLAM и SFM используют многовидовую геометрию для оценки движений (вращения и перемещения).

Тепловые инфракрасные камеры. Все объекты излучают инфракрасное (или тепловое) излучение при температуре выше абсолютного нуля. Инфракрасное излучение находится в диапазоне длин волн 0,7–1000 м. Средневолновое и длинноволновое инфракрасное излучение в инфракрасных областях спектра часто называют тепловым инфракрасным излучением (TIR).

Камеры TIR чувствительны либо к средневолновому инфракрасному излучению (MWIR) (3-5 м), либо к длинноволновому инфракрасному излучению (LWIR) (7-14 м). Тепловизионные камеры обнаруживают излучение электромагнитного спектра, исходящее от объектов для формирования тепловых изображений, которые иллюстрируют тепло, а не видимый свет объектов. Они непрерывно предоставляют данные тепловизионных изображений в дневное и ночное время для точного восприятия местности при любом освещении, а также в условиях тумана. Ранкин и др. [119] представили камеру TIR для получения изображений в течение 24-часового цикла и способ отличить растительность от объектов или материалов, таких как почва или камень. Каждый объект имеет определенную излучательную способность для каждой спектральной полосы и определенной температуры, что позволяет разделить их на несколько классов.

Гиперспектральные камеры. Процесс идентификации включает в себя разделение электромагнитного спектра на несколько узких полос для считывания спектральных полос материалов на изображении, что позволяет идентифицировать объекты.

Квон и др. [120] изложил общую идею использования технологии гиперспектрального зондирования для обнаружения. Алгоритмом гиперспектрального обнаружения использовались три гиперспектральных камеры с различными рабочими спектральными диапазонами,

двухдиапазонный гиперспектральный тепловизор (DBHSI), акустооптический настраиваемый фильтр-теповизор SECOTS и спектральный тепловизор SOC-700 в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. DBHSI работает в инфракрасном диапазоне средних и длинных волн и собирает 128 полос изображений одновременно с двухцветной плоскости для получения гиперспектральных изображений в двух отдельных инфракрасных областях спектра. SECOTS и SOC-700 портативные гиперспектральные тепловизоры, работающие в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Разработанная система позволяет беспилотным управляемым средствам безопасно перемещаться в неизвестной местности. С помощью этой системы можно обнаружить животных. Гомес [121] установил, что использование таких датчиков как радар и лидар, в дополнение к гиперспектральной визуализации, целесообразно для разработки программных модулей дистанционного мониторинга.

Активные датчики. Активные датчики измеряют расстояние до объектов путем отправки импульсных сигналов на цель и приема отраженного сигнала от них. Основаны на вычислении времени полета лазерных, ультразвуковых или радиосигналов для измерения и поиска объектов [112]. Лидары и радары являются активными датчиками, которые обеспечивают измерения расстояния для обнаружения препятствий на основе геометрии.

Лидарные датчики. Лидарные датчики используют отраженные лазерные импульсы для измерения расстояний и обнаружения объектов [122]. Лидарные камеры излучают миллиарды импульсов в секунду во всех направлениях, создавая таким образом 3D-матрицу окружающей среды. В зависимости от характеристик, лидарные датчики генерирует до миллионов точек для измерения расстояния, тем самым получая информацию о положении, форме и движении объектов за считанные секунды.

Классификация облака точек решает проблему распознавания трехмерных структур. Крэг [123] предложил методы классификации 3D-облака точек, полученных с помощью лидара, которые учитывают разреженность и локальные окрестности точек и использовались для последовательного извлечения объектов.

Для эффективного использования лидара, обнаружения препятствий, его используют в сочетании со стереокамерами. Крэг [123] предложил и оценил методы объединения лидара и других датчиков, включающих пространственные, временные и мультимодальные взаимосвязи для повышения точности обнаружения. Метод состоит из самоконтролируемой системы классификации, использующей лидар для непрерывного наблюдения за визуальным классификатором проходимости.

В исследовании [124] Ларсон и Риведи предложили метод на основе лидара, который использует геометрические особенности контура препятствий, которые отправляются в классификатор машины опорных векторов (SVM) для обнаружения препятствий.

Радары. Радар излучает радиоволны в целевую область и отслеживает отражение от объектов в пределах этой области, генерируя данные о местоположении и расстоянии для объектов [125]. Эффективность обнаружения с помощью радара зависит от двух факторов, таких как глубина проникновения радиолокационных волн через растительность и угловое (или пространственное) разрешение радиолокационной системы. Глубина проникновения - это глубина, на которой уровень сигнала радара снижается (ослабевает) до $1/e$ (37%) [126] от его первоначального значения. Диапазон длин волн для дистанционного зондирования в растительных средах от 70 см ($\sim 0,5$ ГГц) до 1 см (~ 30 ГГц) [126].

В присутствии пыли и тумана радар успешно использовался для восприятия на автономных транспортных средствах [127].

Различные препятствия, такие как деревья, склоны и холмы, могут быть обнаружены радаром, поскольку они обладают высокой проникающей способностью и могут хорошо работать при плохих погодных условиях.

Цзин и др. [128] использовали метод, основанный на доплеровских датчиках, для определения высоты препятствий и классификации выпуклых препятствий. В эксперименте, проведенном Гусландом и др. [129], использовался радар с длительностью импульса 250 с, полосой пропускания 0,4 ГГц и четырьмя горизонтально поляризованными передающими антеннами. Эксперимент подтвердил функционирование системы и улучшение разрешения по дальности действия, благодаря конфигурации с несколькими входами и несколькими выходами, система способна обнаруживать препятствия, скрытые в растительности.

2.3.2 Обоснование архитектуры нейронных сетей для распознавания множественных объектов на изображении

Широкое применение компьютерного зрения с использованием сверточных нейронных сетей (convolutional neural networks, CNN) в садоводстве сдерживается отсутствием технических решений и алгоритмов, обеспечивающих точное определение размерных параметров объектов. При полевом мониторинге и дальнейшей закладке на хранение для яблок определяющими параметрами являются их максимальный и минимальный диаметры, высота и коэффициент формы. Высоту плода измеряют в направлении от плодоножки к чашечке, а два взаимно перпендикулярных размера в наибольшем поперечном сечении принято называть максимальным и минимальным диаметрами плода [130]. Автоматизированный учет и контроль данных параметров плодов является одной из важнейших нерешенных задач, решение которой позволит значительно повысить эффективность производства конечной продукции.

Использование систем компьютерного зрения с нейронными сетями в сельскохозяйственных агрегатах представляет огромный потенциал автоматизации учета и контроля принятия решений [131]. Автоматизированный контроль распределения плодов одного сорта по размерным группам позволит оптимизировать конструкцию устройств захватов манипуляторов для автоматизированного сбора урожая, установить интервалы калибров и предусмотреть равномерную загрузку приемников тем самым предотвратить вынужденные остановки уборочных машин.

Исследованиями ученых установлено, что определение координат плодов по цветовому тону, используя системы компьютерного зрения, в связи с большой палитрой цветов плода и высокой светочувствительности матриц (ISO) камер недостаточно [131]. Можно получить гораздо больше необходимой информации меньшими усилиями путем применения нейронных сетей.

Изучение и использование искусственных нейронных сетей в сельском хозяйстве началось в начале 20 века, а их массовое применение в сельскохозяйственной технике относительно недавно, что связано с появлением продвинутых вычислительных устройств, мощность которых достаточна велика для эффективной работы. Нейронные сети в сельском хозяйстве применяются для мониторинга состояния растений, контроля вредителей и болезней, топографического анализа насаждений, контроля различных параметров почвы и окружающей среды, что ведет к повышению качества и безопасности выпускаемой продукции, экономии ресурсов, упрощению различных технологических процессов, выполняемых в автоматизированном режиме. Использование искусственных нейронных сетей позволяет распознавать дефекты на каждой единице продукции, оценивать общее состояние и в реальном времени сообщать о найденных проблемах [156-169].

Использование нейронных сетей в сельскохозяйственной технике является относительно новым направлением, которое помогает решить в том

числе и основные задачи роботизированного сбора урожая садовых культур: 1) навигация, перемещение робота по полю, от дерева к дереву; 2) обнаружение и локализация объекта по координатам; 3) определение степени спелости объекта и поражения болезнью и вредителями. Для управления перемещением роботизированных платформ применяют рекуррентные нейронные сети (CRNN) и градиентные рекуррентные нейронные сети (GRNN). Распознавание плодов яблони с помощью системы технического зрения в режиме реального времени является относительно трудной задачей поскольку время доступное для обработки изображений с помощью нейронной сети при выполнении технологических операций и принятия решений на основе обработки полученных данных ограничено. Для распознавания сельскохозяйственных объектов в полевых условиях в режиме реального времени, выявления степени их спелости используют сверточные нейронные сети (CNN). Алгоритм её работы достаточно универсален, надежен и адаптивен к изменяющимся климатическим условиям при выполнении задачи на открытом воздухе в режиме реального времени.

В результате анализа существующих нейронных сетей, применяемых в сельском хозяйстве, разработана их общая классификация (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Классификация нейронных сетей по назначению. Основываясь на результатах исследований по использованию нейронных сетей в сельском хозяйстве, для оптимальной скорости распознавания плодов яблони, их размерных параметров и получения максимальной точности результата выбрана рекуррентная нейронная сеть глубокого обучения. По типу обучения – с учителем, по типу настройки – динамическая, по типу входной информации – аналоговая, по типу решаемой задачи – классифицирующая. Принцип работы такой нейросети заключается в разделении (сегментировании) анализируемой фотографии на классы и выделении конкретных объектов (болезнь, яблоко, ветка и т.д.). Выбранная нейронная сеть по своей конструкции является одной из лучших моделей, доступных для решения большинства «проблем восприятия» (таких как классификация изображений).

Наиболее подходящая архитектура CNN под задачи цифрового мониторинга - YOLO (You Only Look Once), которая используется для

распознавания множественных объектов на изображении. Сеть делит изображение на своеобразную сетку и предсказывает bounding boxes и вероятности того, что есть искомый объект для каждого участка. Плюсы данного подхода состоят в том, что сеть смотрит на все изображение сразу и учитывает контекст при детектировании и распознавании объекта. Так же YOLO в 1000 раз быстрее чем R-CNN и около 100x быстрее чем Fast R-CNN [132].

2.3.3 Взаимосвязь повреждений тканей плодов яблони со спектральными изображениями

Свет, отражаемый растениями, несет в себе достаточную информацию о их биохимическом составе, структуре тканей и физиологическом состоянии. Изменения пигментного состава в процессе развития, а также изменения, вызванные стрессами окружающей среды и атаками фитопатогенов, проявляются в виде специфических изменений отражающих свойств растений [133-137]. Таким образом, хлоропласты зрелых клеток кожуры яблока обладают фотосинтетическими пигментами, включающими хлорофиллы а, b и каротиноиды [136,138], поэтому эти клетки способны к фотосинтезу со скоростью, близкой к той, которая зафиксирована в листьях [139]. Каротиноиды важны для сбора света и для фотозащиты [140]. Антоцианы, ответственные за красный цвет яблок, повышают их потребительское восприятие [141], служа также защитой от чрезмерного солнечного излучения [142,143]. Неразрушающий контроль пигментов в растениях в целом, а также в плодах яблони осложняется перекрывающимися спектрами поглощения отдельных пигментов и нелинейной зависимостью коэффициента отражения от содержания пигмента [140,144].

В настоящей работе сообщается об изменениях в спектрах отражения, сопровождающих акклиматизацию к стрессу и повреждениях плодов яблони, задокументированных с помощью ВГ. Особое внимание было уделено

изменениям характеристик отражения и особенностям, сопровождающим трансформацию пигментов при накоплении антоцианов, разрушении пигмента при фотоокислительном повреждении (солнечный ожог) и некроз клеток после атак фитопатогенов. Стремясь к большей достоверности интерпретации HRI, записанной на месте, были сравнены характеристики отражения, включающие HRI с данными спектров отражения, измеренных с помощью обычного спектрофотометра в лабораторных условиях, влажных биохимических анализов и микроскопических наблюдений.

Для этого исследования были отобраны плоды, не имеющие визуальных симптомов повреждения, а также плоды, в разной степени пораженные физиологическими нарушениями, обычно встречающимися в садах (солнечные ожоги и солнечные ожоги) и поражениями фитопатогенами (поражения, некрозы клеток и трещины от парши яблони, *Venturia inaequalis*). Плоды с потерей хлорофилла (обесцвечиванием) и незначительными симптомами потемнения были обозначены как “слегка пораженные”. Были обозначены плоды с темно-коричневыми пятнами и выраженными некрозами тканей как “сильно пораженный” либо солнечным ожогом, либо паршой яблони. Были получены гиперспектральные характеристики отражения здоровых и поврежденных плодов яблони, соответствующие характерным особенностям внешнего вида и морфологии плодов. С этой целью одни и те же методы использовались для регистрации HRI в условиях окружающей среды и для обычных измерений спектрального отражения точечного типа.

Изученные плоды яблони *Malus × domestica* Borkh (яблоня домашняя) демонстрировали типичные анатомические особенности плодов яблони. Плод покрыт кутикулой, первой структурой поверхности растения, которая взаимодействует с факторами окружающей среды, включая солнечную радиацию [145,146]. Под кутикулой и одним слоем эпидермальных клеток было несколько слоев относительно небольших клеток, содержащих основную массу хлоропластов и, следовательно, фруктовых пигментов —

хлорофиллов (Chl) и каротиноидов (Car), а также антоцианов (ANC) и бесцветных фенольных соединений, поглощающих ультрафиолетовое излучение. в клеточных вакуолях. Большая часть мясистой части плода яблони представляет собой паренхиматозную ткань, состоящую из крупных клеток. Она имеет низкое содержание пигмента, но включает в себя многочисленные промежутки между ее клетками и многочисленные интерфейсы, и поэтому эта ткань обладает высокой отражающей способностью [147]. Физиологические заболевания различной природы иллюстрируются солнечным ожогом [148], а также атаками фитопатогенов, например, парша яблони (*Venturia inaequalis*) вызывает разрушение пигментов, проявляющееся в постепенном обесцвечивании тканей яблока, в результате ежегодно теряется значительная часть урожая фруктов [149]. Степень развития солнечных ожогов сильно зависит от сорта, климатических условий и методов ведения сельского хозяйства [150]. Разрушение клеточных компартментов запускает окисление вакуолярных фенолов полифенолоксидазой, приводящее к образованию полимерного меланиноподобного пигмента (пигментов) [151], проявляющегося прогрессирующим потемнением тканей плода. На срезе тканей плода было заметно потемнение в виде некрозов клеток и компактных темных включений, заполняющих протопласт пораженных клеток (рис. 2.7).

Изображения были сделаны с помощью фотомикроскопа Zeiss Axioskop при увеличении $\times 200$, Шкала шкалы: 50 мкм (табл. 2.2, 2.3).



Рисунок 2.7 – Внешний вид (а), анатомия и морфология здоровых (b, c) зеленых (b) и красных (c) плодов яблони, а также плодов, пораженных (d) легким солнечным ожогом и (e) тяжелым некрозом клеток из-за парши. На панели (a) показаны области поверхности плода, соответствующие микрофотографиям (b–e). 1—кутикула, 2—эпидерма, 3— обогатщенная пигментом компактная “кожура” (наружный мезокарп), 4 — высокоотражающая “мякоть” (внутренний мезокарп)

Таблица 2.2 – Среднее содержание пигмента в плодах яблони

Пигментная группа	Состояние плода ^{1,2}				
	Здоровый Зеленый	Здоровый Красный	Солнечный ожог (умеренный)	Солнечный ожог (Сильный)	Пораженный паршой
Хлорофилл	15.3 ± 1.65 _a	8.64 ± 2.14 _{a,b}	5.62 ± 2.23 ^b	1.59 ± 0.83 ^c	0.54 ± 0.31 ^c
Каротиноиды	4.72 ± 0.39 _d	2.92 ± 0.75 _{d,e}	4.74 ± 1.82 _{d,e}	2.59 ± 2.14 _{d,e}	1.32 ± 0.83 ^e
Антоцианы	0.35 ± 0.13 _f	36.1 ± 7.54 _g	5.21 ± 3.91 ^h	5.3 ± 0.4 ^h	2.75 ± 1.34 ^{f,h}
Флавонолы	29.1 ± 6.23 _i	151 ± 14.2 ^j	185 ± 29.1 ^j	25.6 ± 4.8 ⁱ	15.9 ± 4.55 ⁱ

¹ Информацию о количестве образцов см. в таблице 2.3. Показаны 2 средние значения ± стандартные отклонения. Разные буквы обозначают значения,

значительно отличающиеся на уровне $p < 0,05$, согласно ANOVA (ANalysis Of VAriance, Дисперсионный анализ)

Таблица 2.3 – Количество плодов яблони, изученных в этой работе

Сорт	Состояние плода					Итого
	Здоровый Зеленый	Здоровый Красный	Солнечный ожог (умеренный)	Солнечный ожог (Сильный)	Пораженный паршой	
Лигол	0	39	6	10	14	69
Голден Делишис	45	0	4	5	0	54
Гала	0	5	2	7	0	14
Итого	45	44	12	22	14	137

Характерные особенности отражения здоровых плодов яблони. Спектры отражения в видимом инфракрасном диапазоне (Vis-NIR) плодов яблони, полученные с помощью обычного спектрофотометра, и спектры, извлеченные из HRI. Общей особенностью плодов яблони является высокая отражательная способность в ближней инфракрасной (NIR) области спектра (75-85% в диапазоне 750-800 нм). Характерной особенностью плодов, не имеющих визуальных признаков повреждений, был почти плоский спектр отражения в NIR (720-850 нм). Примечательно, что увеличенное изменение в области NIR спектров отражения от был обнаружен HRI (рис. 2.8), значения которого иногда превышали единицу в этом диапазоне.

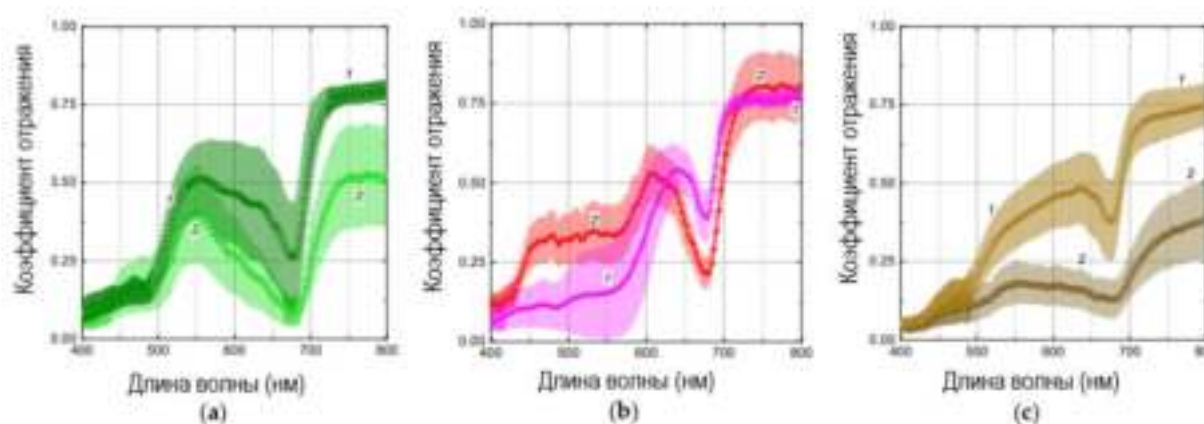


Рисунок 2.8 – Типичные спектры отражения (а) здорового зеленого цвета; (б) здорового красного цвета и (в) поврежденных коричневых участков поверхности плодов яблони

Спектры, измеренные обычным спектрофотометром (Agilent Cary Bio 300), показаны (кривые 1) вместе с спектрами, извлеченными из гиперспектральных изображений отражения, записанных гиперспектральной камерой SPECIM IQ snapshot при окружающем освещении (кривые 2), вместе с их стандартным отклонением (заштрихованные области). Соответствующие необработанные спектры отражения можно найти в дополнительном файле данных.

В видимом диапазоне спектральные особенности, связанные с поглощением хлорофилла (Chl), каротиноидов (Car) и (в плодах красного цвета) ANC, были очевидны в спектрах плодов яблони (подробное описание спектральных характеристик отражения яблок [144,147]). В красной части видимой области широкие полосы поглощения хлорофилла (Chl) а (выраженный минимум около 678 нм) и поглощения хлорофилла (Chl) (плечо около 650 нм) были очевидны у плодов независимо от их цвета. В синезеленой части видимой области спектра коэффициент отражения плодов яблони был низким из-за комбинированному поглощению хлорофилла (Chl) и каротиноидов (Car) и, в плодах красного цвета, антоцианов (ANC). Накопление антоцианов (ANC) проявлялось в виде характерного выступа около 550 нм в случае плодов красного цвета, содержащих антоцианов (ANC). Увеличение интенсивности красной окраски (и соответствующего содержания антоцианов (ANC) сопровождалось снижением коэффициента отражения в диапазоне 600-400 нм, что приводило к смещению положения зеленого края в сторону более длинных длин волн и постепенному расширению минимума коэффициента отражения, связанного с антоцианами (ANC). В коротковолновой части диапазона Vis иногда наблюдалось снижение коэффициента отражения из-за остаточного вклада фенольных соединений, обладающих основными пиками поглощения в УФ [144]. Характеристики отражения здоровых плодов яблони, упомянутые выше, соответствовали результатам аналитического анализа пигмента. Плоды красного цвета отличались высоким содержанием антоцианов (ANC), тогда

как в желто-зеленых плодах антоцианов (ANC) практически не обнаруживался. В то же время здоровые красные фрукты отличались более низким содержанием хлорофилла (Chl) и каротиноидов (Car), но более высоким содержанием флавонолов по сравнению со здоровыми зелеными яблоками. Примечательно, что фундаментальная особенность отражения растений, ранее описанная для многих видов растений, тесная корреляция значений отражения при 550 нм и 700 нм, была очевидна в спектрах желто-зеленых плодов, лишенных ANC [144,151], ($r^2 > 0,99$) независимо от их содержания хлорофилла (Chl). В антоцианах (ANC)-содержащих здоровых плодах красного яблока коэффициент отражения при 550 нм, R_{550} был значительно ниже по сравнению с таковым при 700 нм, R_{700} . В результате поглощения антоцианов (ANC) в красных плодах была потеряна сильная корреляция R_{550} и R_{700} (рис. 2.9).

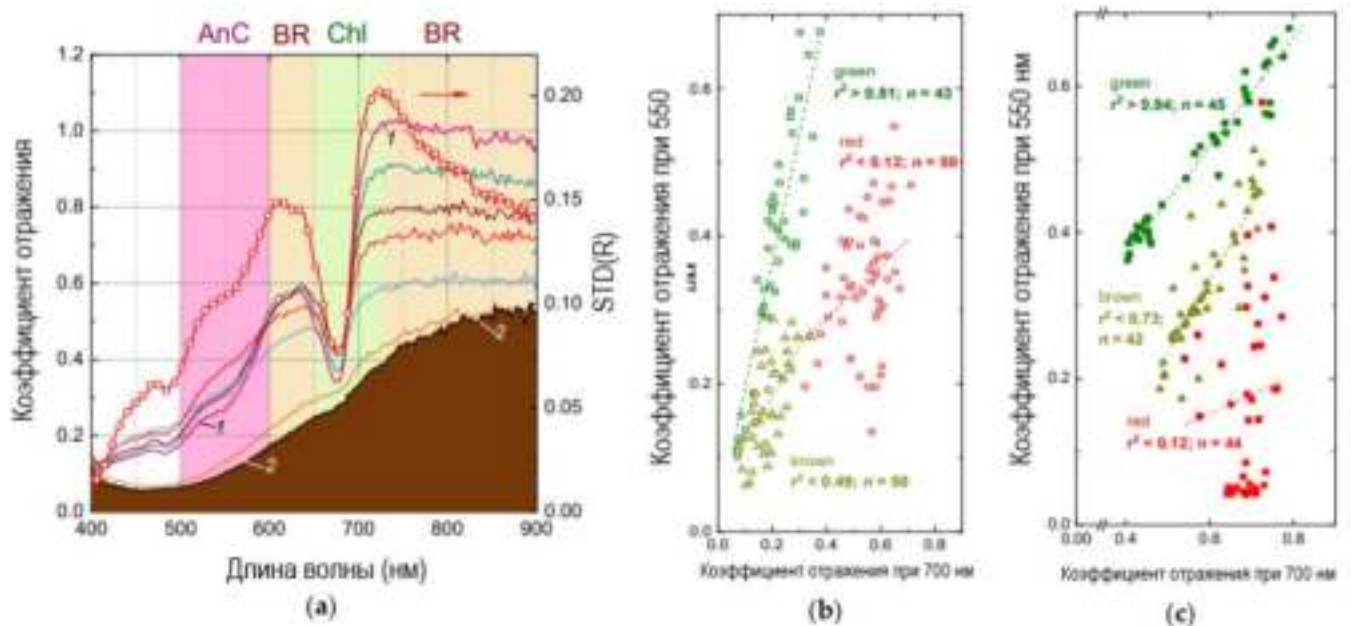


Рисунок 2.9 – Гиперспектральные спектры отражения

Гиперспектральные спектры отражения (а) взяты с образцов гиперспектрометра на IQ визуализации (с. Лигол) с различной степенью солнечного ожога – индуцированный индекс Браунинга, начиная от визуально неизменных (кривая 1) и пострадавших (кривая 2) (левая шкала) и их стандартных отклонений. Панели (b,c): соотношения между

коэффициентами отражения в зеленой области спектра R550 и в красной области спектра R700 в здоровых зеленых фруктах (квадраты), красных фруктах (круги) и фруктах, пораженных потемнением (треугольники), нанесенных для гиперспектральных данных (b) извлечены из изображений HRI и (c) для измерений коэффициента отражения “точечного типа”. На панели (a) показаны спектральные области, определяемые хлорофиллом (Chl), антоцианином (ANC) и поглощением меланиноподобного коричневого пигмента (BR) [147].

2.4. Проектирование технологических решений на основе спектральных изображений и искусственных нейронных сетей для распознавания, идентификации и оценки состояния плодов в полевых условиях

Технологические решения для распознавания, идентификации и оценки состояния плодов в полевых условиях заключаются в использовании наземной робототехнической платформы и программного средства, которые в автоматическом режиме реализуют возможность идентификации болезней изображениях без ограничения количества последовательно обработанных снимков (рис. 2.10).

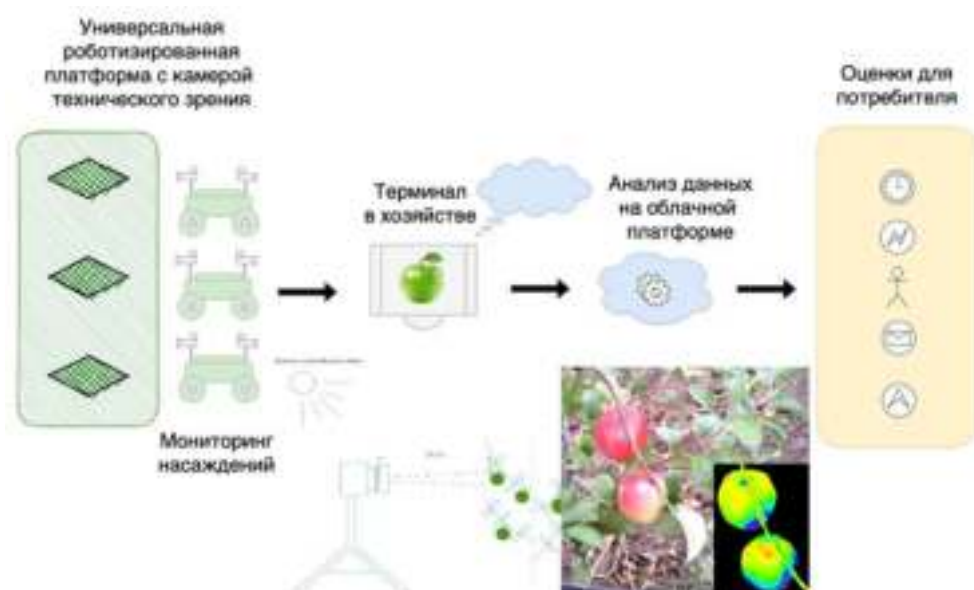


Рисунок 2.10 – Схема распознавания, идентификации и оценки состояния плодов в полевых условиях

Для реализации процесса обучения разрабатываемой нейросети выбран язык программирования Python и среда разработки Spyder, использован фреймворк PyTorch. Выбрана архитектура глубоких сверточных нейронных сетей – MASK-RCNN, которая позволила найти яблоко на кадре, выделить его попиксельно и определить с вероятностью более 0.9 принадлежность его к одному из классов. Классом яблок были выбраны здоровые яблоки – красные, зеленые; яблоки с болезнями – гнилые, горькая ямчатость, град, механические, парша, пилильщик, плодожерка. В результате выделено 2 класса здоровых яблок и 7 классов яблок с болезнями. Для обучения модели использованы библиотеки машинного обучения TensorFlow Object Detection API, библиотеки вычисления на GPU, библиотеки работы с изображениями и графиками [30]. Для сбора фотографий при обучении было использовано несколько фотоаппаратов Nikon D3500 AF-S 18-140 VR, объектив Nikon Nikkor AF-P DX F 18-55 мм, определены расстояния для съемок 0,2 м, 0,5 м и 1,0 метр, с ракурсов, которые перекрывают друг друга. Произведена съемка более 25000 фотографий заданных классов яблок. Для обучения нейронной сети, устойчивой к изменяющимся климатическим условиям использованы известные алгоритмы расширения обучающего множества искаженными вариантами изображений (аугментацией) библиотеки Python imgaug 0.3.0. (сдвиги, небольшие повороты, гауссово размытие, шум). Использование методики разметки данных позволяет выделять необходимые объекты на изображении и присваивать каждой ограничивающей рамке нужный класс [131, 156-171].

На первом этапе анализа нейронная сеть проверяет изображение на наличие искомого объекта и выделяет его в рамку. На втором этапе анализа нейронная сеть определяет точные границы искомого объекта. Используются алгоритмы пошагового уменьшения качества изображения для поиска известных зависимостей (отличительных особенностей или закономерностей искомого объекта на картинке). Свёртка изображения происходит пошагово

от слоя к слою путём смешивания соседних пикселей, в зависимости от задачи до размеров 2x1 пиксель. Для поиска объектов и их отличительных особенностей проводится обучение нейросети с использованием подготовленного набора данных искомого объекта. Из всего массива данных для обучения поиска объекта 70% изображений используется непосредственно для обучения. 10% данных используется для того, чтобы у нейросети не было переобученности, что может привести к ухудшению результатов. Оставшиеся 20% изображений применяются для проверки работы нейросети. При определении координат плодов в связи с высокой плотностью размещения пикселей и высокой чувствительности ISO на полученных изображениях проявляются шумы (хаотически разбросанные пиксели случайного цвета и яркости не соответствующих зарегистрированному свету). Для того, чтобы их нивелировать к изображению применены морфологические трансформации (Morphological Transformations) библиотеки OpenCV открытого и закрытого типа. Нормально открытый фильтр позволяет удалить шумы с изображения, а нормально закрытый убирает отверстия в распознанных объектах. После создания фильтров маски накладываются на основное изображение и удаляют лишние цвета, оставляя только установленные диапазоны цветовых тонов. Из всех найденных контуров создается массив, содержащий сам контур и его координаты. В цикле для каждого контура определяются его координаты X, Y и Z, после чего алгоритм переходит к следующему найденному плоду и цикл повторяется, пока в области сбора не останется плодов [131].

Для подготовки выборки для обучения, в первом подходе было решено разделить яблоки на 2 класса: яблоко и фон, и сделать разметку фотографий. В качестве разметки была выбрана программа с открытым исходным кодом бесплатного распространения VGG Image Annotator (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Процесс разметки данных и выделения классов изображения в VGG Image Annotator

Программа позволила получить контур выделенных яблок и классифицировать их как яблоки, для применения в процессе обучения, с сохранением результатов выделения в файле формата JSON (рис. 2.12).

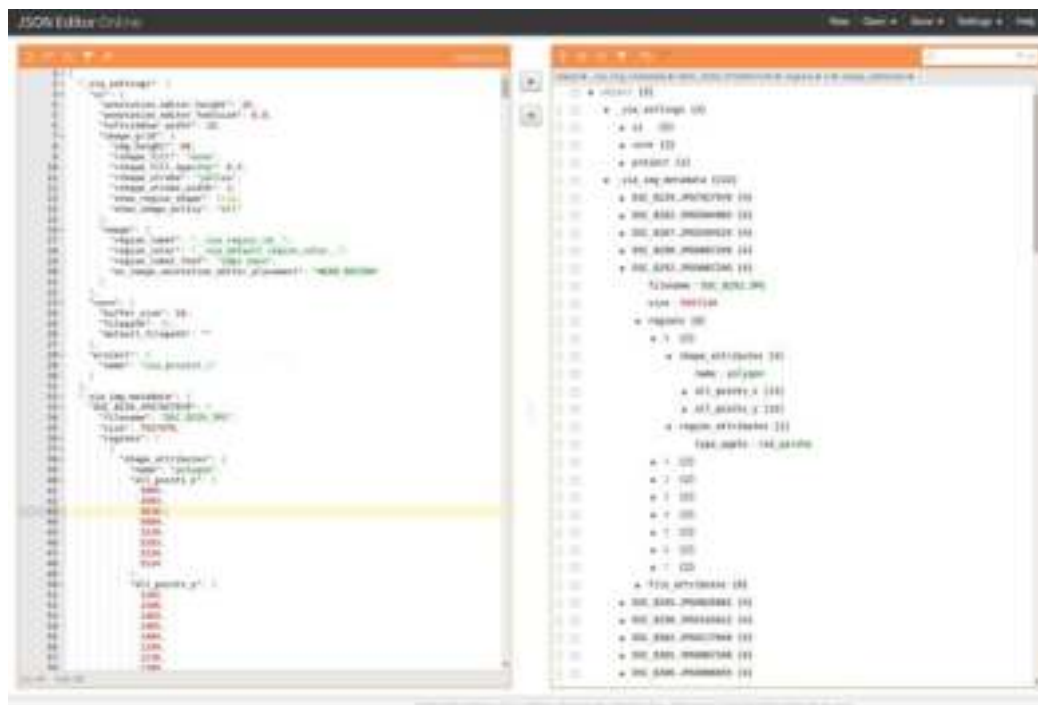


Рисунок 2.12 – Фрагмент программного кода для классификации выделенных яблок

Скрипт работает следующим образом. В отдельную папку перемещаются файлы подгружаемой обученной глубокой сверточной нейросети, затем создается папка «SegmentedImages» и в нее перемещаются файлы с названием IMG_0001.png, после чего запускается скрипт. После

запуска скрипта запускается модель глубокой сверточной нейронной сети, загружается фотография с именем IMG_0001.png и отправляется в сеть. Нейронная сеть после обработки изображения создает маски, на которых наиболее вероятно расположены яблоки, сохраняет эти маски и накладывает общую маску на загруженное изображение IMG_0001.png, затем сохраняет его в той же папке. Все координаты и метки созданных рамок для каждой фотографии сохраняются в отдельном XML файле. После обработки и разметки фотографий, подготавливается датасет (Dataset) с разделением всех фотографий и файлов меток на обучающую и тестовую выборку. Отснятый набор данных (Dataset) сгруппирован равномерно по классам [131].

Каждая из масок представляет собой картинку формата .PNG размерности фотографии с разметкой, на которой пиксели без яблока помечены черным цветом, а пиксели, принадлежащие одному экземпляру яблока помечены по контуру и закрашены одним цветом, при этом разные экземпляры яблока имеют разные цвета (рис. 2.13).

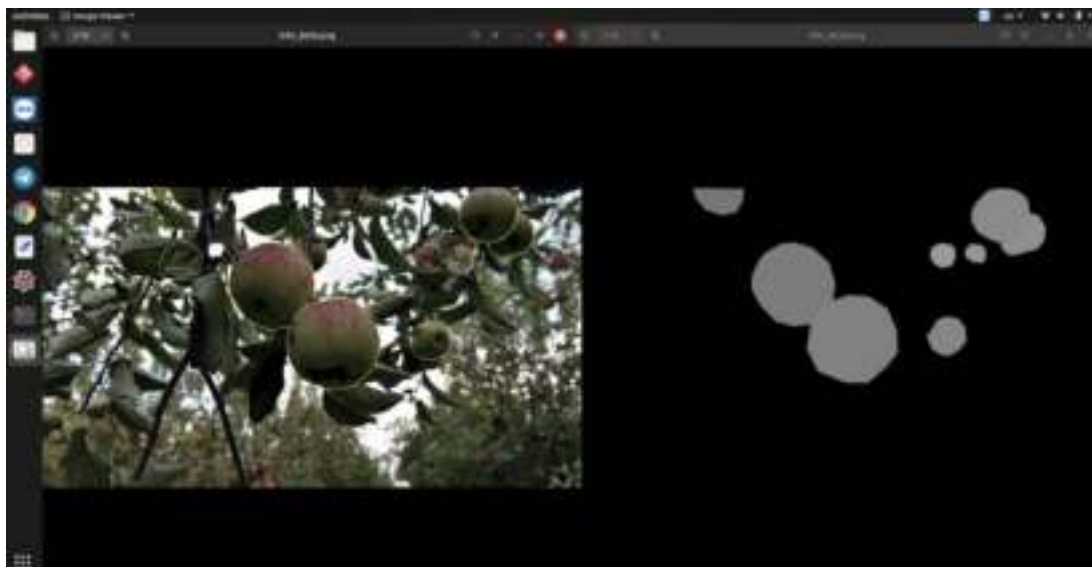


Рисунок 2.13 - Преобразование разметки формата JSON в битовые маски

После запуска скрипта нейронная сеть проводит обработку изображений, хранящихся в дистрибутиве с сохранением результатов в автоматически создаваемой папке «Out».

Дистрибутив разработанного программного средства выполнен в виде флэш-накопителя с файлами, необходимыми для работы и выполнения всех предусмотренных функций. Стандартная установка для данного программного продукта не требуется, достаточно скопировать содержимое флэш-накопителя на жесткий диск персонального компьютера без нарушения иерархической структуры файлов и/или изменения их имён.

В результате проведенных исследований разработана методика распознавания (идентификации) болезней плодов яблони, которая предусматривает выполнение ниже представленных этапов работ.

1. Осуществить сбор данных (фото материала с геопривязкой) с помощью клиентского приложения Monitoring, на которых необходимо выполнить технологический процесс идентификации болезней;

2. Запустить процесс идентификации болезней плодов яблони и клубней картофеля с помощью программы «Идентификатор болезней», выбрать файлы (фотографическое изображение плода) для анализа из папки с текущей датой в названии при помощи кнопки «Открыть» в графическом интерфейсе программного средства, нажать кнопку «Старт» в графическом интерфейсе программы (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Окно программы «Идентификатор болезни» с результатами обработки изображения

Получить результат распознавания и вероятностную оценку соответствия идентифицированного объекта к установленной категории.

Предложенный метод диагностики плодов яблони с программным средством «Идентификатор болезней» на основе созданной нейросети позволяет осуществлять мониторинг функционального состояния плодов по фотоматериалам в режиме онлайн.

2.5. Обоснование и проектирование компонентов автоматизированной системы управления производственными и технологическими процессами в интенсивном садоводстве (АСУПП)

Анализ результатов проведенных исследований позволяет выделить основные требования к разрабатываемой автоматизированной системе управления агротехнологиями в интенсивном садоводстве. При формировании современных технологий производства плодов реализованы принципы адаптивности и интеллектуальности.

Адаптивная технология возделывания садовых культур должна быть приспособлена к условиям конкретного агроландшафта, микрзоны, сельскохозяйственного предприятия (учёт почвы, рельефа, погодных условий, имеющегося набора техники и кадров).

Принцип интеллектуальности технологии заключается в необходимости автоматизированного получения оперативной информации об объектах и изменяющихся условиях реализации агротехнологии, обработки и формирования управленческого решения по корректировке параметров технологии или отдельных технологических операций [8].

Система должна обеспечивать сбор, обработку и передачу необходимой информации об объекте исследования, информацию об изменении факторов управления производственным процессом. Принятие решений при эффективном управлении производством требует наличия и обработки значительного объема разнородной непредсказуемо изменяющейся информации, что

связано с необходимостью учета большого количества различных по своей природе факторов (биологических, природно-климатических, материально-технических, экономических, человеческого). Система должна обеспечить выбор оптимального варианта изменения технологии, отдельных технологических операций или вариантов технического исполнения в зависимости от изменения условий. Пользователю должна быть предоставлена возможность работы в диалоговом режиме [8].

В состав АСУПП при управлении производственными и технологическими процессами включены три главных компонента: база данных (информационное обеспечение), база моделей и программная подсистема, которая в свою очередь состоит из трех подсистем: системы управления базой данных, системы управления базой моделей и системы управления интерфейсом между пользователем и компьютером.

Программно-аппаратный комплекс для проектирования агротехнологий и управления процессом формирования урожая состоит из следующих модулей: 1. Серверный модуль – ядро системы, содержащее всю бизнес логику программного комплекса и систему визуализации данных. 2. Метео модуль – комплекс, состоящий из метео датчиков и GSM модема, обеспечивающего дистанционную передачу данных с датчиков на сервер. 3. Мобильное приложение – обеспечивает возможность сбора данных с садовых насаждений с фотофиксацией и фиксацией местоположения объектов с последующей передачей данных на сервер.

Передача данных между серверной частью и метеостанцией и мобильным приложением осуществляется по GSM каналу. Визуализация данных из базы данных происходит по облачной технологии с размещением сайта с помощью набора сервисов IIS (Internet Information Services). Для работы с базой данных использован ADO.NET драйвер Npqsql. В качестве ORM (Object Relational Mapping) использован Dapper. В веб приложении использован шаблон проектирования MVC (Model View-Controller). В качестве css-фреймворка использован Bootstrap. JQuery (набор функций

JavaScript) используется как основной фреймворк по работе с клиентской частью кода. В качестве технологии обращения к серверу без перезагрузки страницы использован `jquery.ajax`. Для создания электронных карт необходимо обрисовать контура садов по спутниковым снимкам или снимкам с беспилотных летательных аппаратов и выгрузить результаты в форматах `.share` или `.kml`. Далее файл с электронными картами загружается в веб приложение. Технологические карты в систему добавляются перед началом сезона и корректируются при появлении соответствующих событий (тревог). При добавлении тревог задаются правила, выполнение которых будет автоматически формировать тревогу и пользователи, которые будут оповещаться. Правила могут использовать любые данные из системы: данные с метео датчиков, данные наземных осмотров от агрономов с мобильных приложений и т.д. Для разработки мобильного приложения использована интегрированная среда `Android studio`. Для сбора данных с помощью мобильного приложения на мобильное устройство (мобильный телефон или планшет) устанавливается разработанное приложение. При первоначальном запуске приложения происходит загрузка данных с сервера. После этого становится возможным работа с этими данными при отсутствии доступа в интернет. При появлении доступа в интернет данные приложения синхронизируются с сервером и таким образом передаются результаты наземных осмотров.

Для удаленного сбора данных с метеостанции прежде всего необходимо установить и настроить метеостанцию с комплектом датчиков в заданном месте. С помощью GSM модема метеостанция с заданной периодичностью передает данные с датчиков на сервер. Частота передачи данных указывается при настройке. Полученные данные обрабатываются на сервере и затем выполняется их визуализация и аналитика. Для управления полученными данными использована СУБД `PostgreSql`. База данных содержит связанные таблицы для хранения информации по контурам садовых насаждений, сельскохозяйственным культурам, полевым журналам, сорной

растительности, вредителям, болезням, технологическим картам и наземным осмотрам. Структура базы данных позволяет гибко добавлять новые объекты и сущности при изменении функционала. Аппаратная часть системы мониторинга метеопараметров состоит из метеостанции Imetos 3.3. Полученные измерения обрабатываются и передаются с помощью GSM модема на сервер. Используются следующие метео датчики: датчики температуры и влажности почвы и воздуха, датчики температуры и влажности листа, датчики скорости ветра, датчики интенсивности света, датчики CO₂.

Для обеспечения необходимой производительности при проведении вычислительных операций использован процессор Intel Xeon 6 ядер, частота 2.4 ГГц. Необходимая мощность процессора зависит от количества пользователей, использующих программный комплекс одновременно. Для оперативной работы с результатами расчетов и хранения кэша сайта использована оперативная память объемом от 16 Gb. Необходимый объем памяти зависит от количества пользователей, использующих программный комплекс одновременно. Для обеспечения высокой скорости отклика при доступе к данным сайта и базе данных использован SSD диск для операционной системы и базы данных объемом 512 gb. Для фотоснимков, сделанных мобильным приложением и других загруженных данных использован жесткий диск объемом от 500 gb. Операционная система на сервере Windows Server 2019.

Для выявления оптимального состава технических средств и вариантов технологических процессов при заданных условиях используются оптимизационные модели. Система работает в режиме диалога с использованием кнопочных форм. Основу системы составляют таблицы данных, объединенные реляционной связью по ключевым полям и математические модели, которые находятся в построителе выражений табличных запросов системы.

Создание базы данных для АСУПП «Агроинтеллект ВИМ»

При разработке базы данных необходимо, чтобы создаваемая База данных позволяла содержать в себе всю атрибутивную информацию, которая используется в работе системы управления производственными процессами на всех этапах её применения, начиная с этапа описания базовой агротехнологии, генерации адаптивной агротехнологии и последующего анализа сгенерированной технологии. Также в базе данных предполагается хранение результатов выполнения агротехнологии, которые впоследствии могут стать входными данными при генерации последующих агротехнологий для конкретной [152] плантации.

Разработанная структура базы данных системы автоматизированного управления производственными процессами состоит из большого объёма обобщённой, чётко соподчинённой информации, включающей в себя данные об отдельных технологических операциях, их характеристиках, условиях проведения, степени влияния на экологическую обстановку в зависимости от параметров операции и размещённая в виде 28 таблиц, содержащих сведения, соответствующие названию таблицы.

К основным таблицам относятся: «технологии», «сорта», «технологические операции», «рабочие», «техника», «саженцы», «трактора», «энергия», «фунгициды», «гербициды», «инсектициды». Все таблицы связаны между собой по ключевым полям, что обеспечивает последовательное использование данных БД при наполнении оптимального набора технологических операций инженерными, биологическими, экономическими и другими показателями (рис. 2.15) [204].

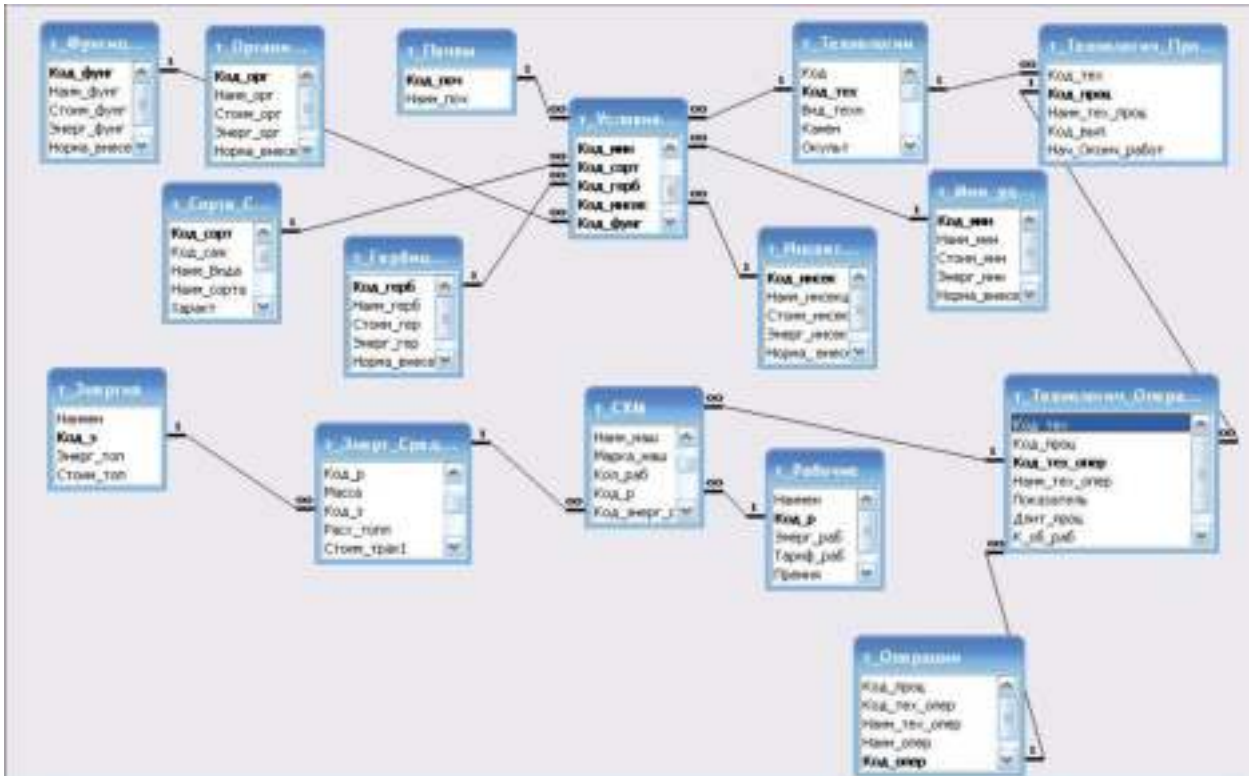


Рисунок 2.15 – Общая логическая взаимосвязь таблиц данных в базе данных системы автоматизированного управления производственными процессами

Таким образом, создание базы данных, на основе приведенной логической структурной взаимосвязи таблиц данных позволяет описывать и наполнять конкретными значениями все атрибуты базы данных, необходимые нам при описании агротехнологии и управления производственными процессами.

Для этого, в частности, между набором технологических операций и их характеристиками, с одной стороны, и параметрами (условиями) – с другой, устанавливаются определенные связи. При этом соответствующее описание «привязано» к конкретному объекту агротехнологии, т.е. к технологическим операциям, их характеристикам, а через них и непосредственно к конкретному полю, культуре, сорту. Это обстоятельство представляется чрезвычайно важным, так как включение в систему прикладных моделей, в том числе и простейших регрессионных, связано с выполнением определенных условий. Этими условиями могут быть пространственно-временные ограничения, агрофизические, агрохимические, биологические,

метеорологические и другие особенности применения соответствующих формул [152].

В процессе проектирования структуры базы данных спектральных изображений были поставлены основные задачи:

- отображение класса, названия, признаков и описания заболевания;
- отображение видимого, ИК – спектра заболевания, спектров люминесценции и фотолюминесценции;
- наличие для сортов яблок не менее 10 заболеваний грибковых, патогенных или других форм.

Проектирование логической структуры базы данных предусматривает взаимосвязь основных ячеек текстового и фотографического значения.

Между культурой и описанием болезни существует связь один-ко-многим, так как к каждой культуре может относиться бесконечное количество заболеваний.

Таблица «Изображение» является источником данных для каждого вида заболевания и также имеет связь для многих заболеваний (рис. 2.16).



Рисунок 2.16 – Логическая структура базы данных

Таблица «Класс» содержит информацию о каждом классе заболевания, таблица «Описание заболевания» содержит текстовое описание названия, признаков, описания болезни и диапазоны инфракрасного,

ультрафиолетового и видимого спектра, а также люминесценции и фотолюминесценции.

Каждая запись таблиц «Описание заболевания» и «Изображение» связана с уникальной культурой с помощью внешнего ключа – поля ID заболевания.

Для проектирования физической структуры базы данных была выбрана СУБД SQLite. Для хранения данных в этой СУБД используются таблицы, в них хранится вся информация о предметной области.

Программирование диалоговых форм и наполнение базы данных. Для программирования и работы с базой данных выбрали систему управления SQLite, так как для хранения базы данных не обязательно наличие выделенного сервера. Базой данных является локальный файл, который хранится в папке приложения. Для работы с базой данных использовали инструмент DB Browser for SQLite.

При помощи DB Browser создали базу данных и добавили поля для хранения текстовой информации по культуре, классу, названию болезни, описанию повреждения, описанию болезни, значения видимого, ИК и УФ-спектров изображений, а также строку для хранения пути изображений на жестком диске. Поле ID служит первичным ключом для идентификации каждой записи в БД (рис. 2.17).

Имя	Тип	Схема
Таблицы (2)		
Apples		CREATE TABLE "Apples" ("id" INTEGER NO
id	INTEGER	"id" INTEGER NOT NULL UNIQUE
culture	TEXT	"culture" TEXT NOT NULL
klass	TEXT	"klass" TEXT NOT NULL
bolezn	TEXT	"bolezn" TEXT NOT NULL
povrezdenie	TEXT	"povrezdenie" TEXT NOT NULL
opisanie_bolezni	TEXT	"opisanie_bolezni" TEXT NOT NULL
diap_ik_spektr	TEXT	"diap_ik_spektr" TEXT
diap_vid_svet	TEXT	"diap_vid_svet" TEXT
diap_uf_spektr	TEXT	"diap_uf_spektr" TEXT
infoPath	TEXT	"infoPath" TEXT

Рисунок 2.17 – Ключевые поля базы данных

Создаем конструктор по умолчанию и конструктор с параметрами. Подключаем библиотеку базы данных. Создаём поле на основе класса из таблицы базы данных и конструктор с подключением по пути расположения базы данных (рис. 2.20).

Рисунок 2.20 – Листинг диалогового окна базы данных

Для удобного добавления данных была создана отдельная форма. В форме можно выбрать статическое наименование культуры, и подробно описать признаки добавляемой болезни, а также добавить фотографии различных спектров каждого заболевания.

Прописываем команду к кнопке возвращения в основное меню (рис. 2.21).

```
private void Button_Click_1(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    MainWindow mainWindow = new MainWindow();
    mainWindow.Show();
    Hide();
}
```

Главное окно

Рисунок 2.21 – Листинг диалогового окна базы данных (главное окно) диалогового окна базы данных (главное окно)

Создаём переменную и проверяем выбранный индекс значение – «Яблоки». Определяем переменные для заполнения описания болезни. Создаем экземпляр класса и заполняем переменными (рис. 2.22).

Рисунок 2.22 – Листинг диалогового окна базы данных добавления данных пользовательского интерфейса

Выше приведена структура кода окна добавления данных пользовательского интерфейса. Семь элементов «TextBox» необходимы для заполнения базы данных оператором. Два элемента «TextBlock» были использованы для отладки программы и моментального отображения данных из БД. После нажатия кнопки «Добавить данные» все данные записываются непосредственно в новое поле базы данных.

Три кнопки добавления спектров созданы для добавления изображений на локальный диск «С» в существующую папку, если папки нет, то она будет автоматически создана по пути С:\БОЛЕЗНЬ (рис. 2.23).

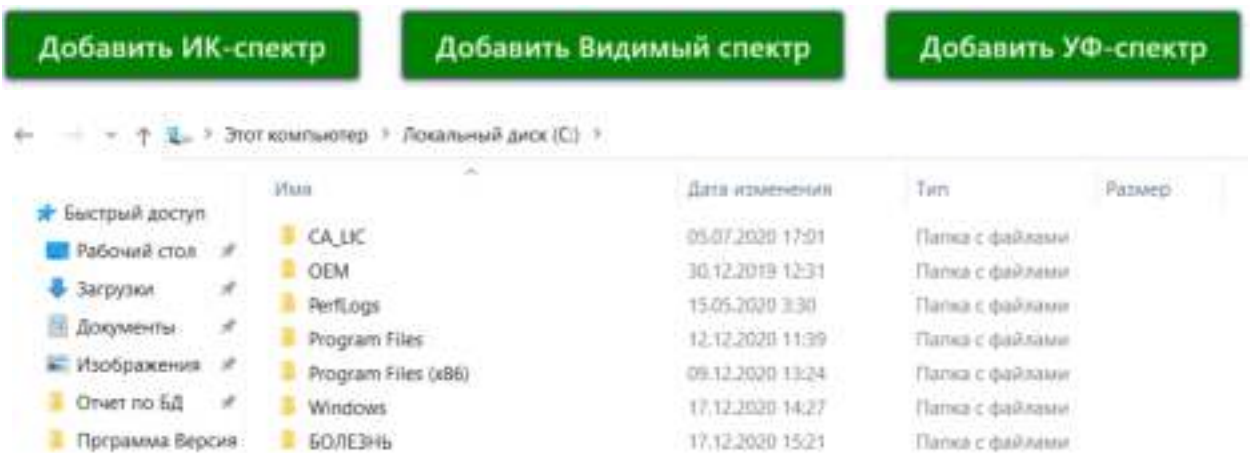


Рисунок 2.23 – Листинг диалогового окна базы данных добавления данных расположения записанного заболевания

Далее прописываем обработчик событий. Создаём неактивную кнопку для защиты от многократного нажатия. Формируем путь расположения папки в зависимости от записанного заболевания культуры. Прописываем путь для хранения изображений, создаем переменные PathIK, PathUK, PathVid – и создаем папки под изображения спектров, перед этим проверяем их на существование (рис. 2.24).

```
private void Button_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    Add.IsEnabled = false;

    string mPath = MainPath + TextBoxbolezn.Text.Trim();
    if (!Directory.Exists(mPath))
    {
        Directory.CreateDirectory(mPath);
    }

    string PathIK = mPath + "/ИК-спектр";
    string PathUF = mPath + "/УФ-спектр";
    string PathVID = mPath + "/Видимый спектр";

    if (!Directory.Exists(PathIK))
    {
        Directory.CreateDirectory(PathIK);
    }

    if (!Directory.Exists(PathUF))
    {
        Directory.CreateDirectory(PathUF);
    }

    if (!Directory.Exists(PathVID))
    {
        Directory.CreateDirectory(PathVID);
    }
}
```

Рисунок 2.24 – Листинг диалогового окна базы данных добавления данных расположения записанного заболевания

В папке «БОЛЕЗНЬ» автоматически создаётся папка с названием заболевания, внутри которой находятся три папки с изображениями спектров болезни (рис. 2.25).

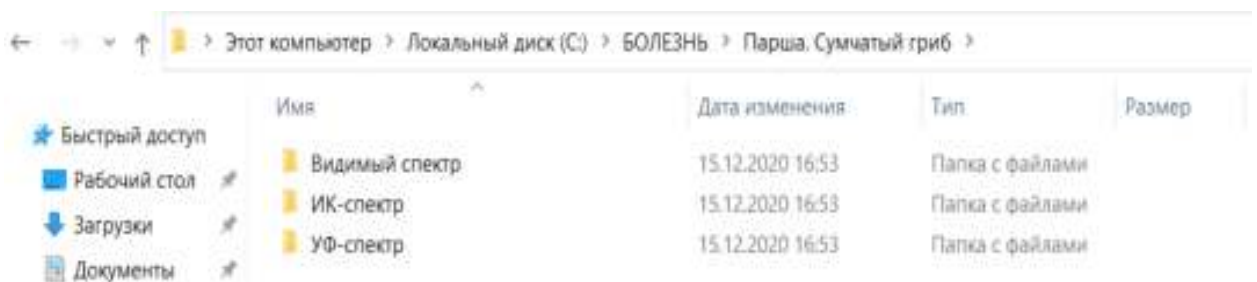


Рисунок 2.25 – Листинг расположения записанного заболевания на компьютере

При нажатии кнопки «Добавить ИК-спектр» открывается новое окно добавления файла. При нажатии кнопки «Записать данные» Все выбранные изображения помещаются в соответствующие папки (рис. 2.26).

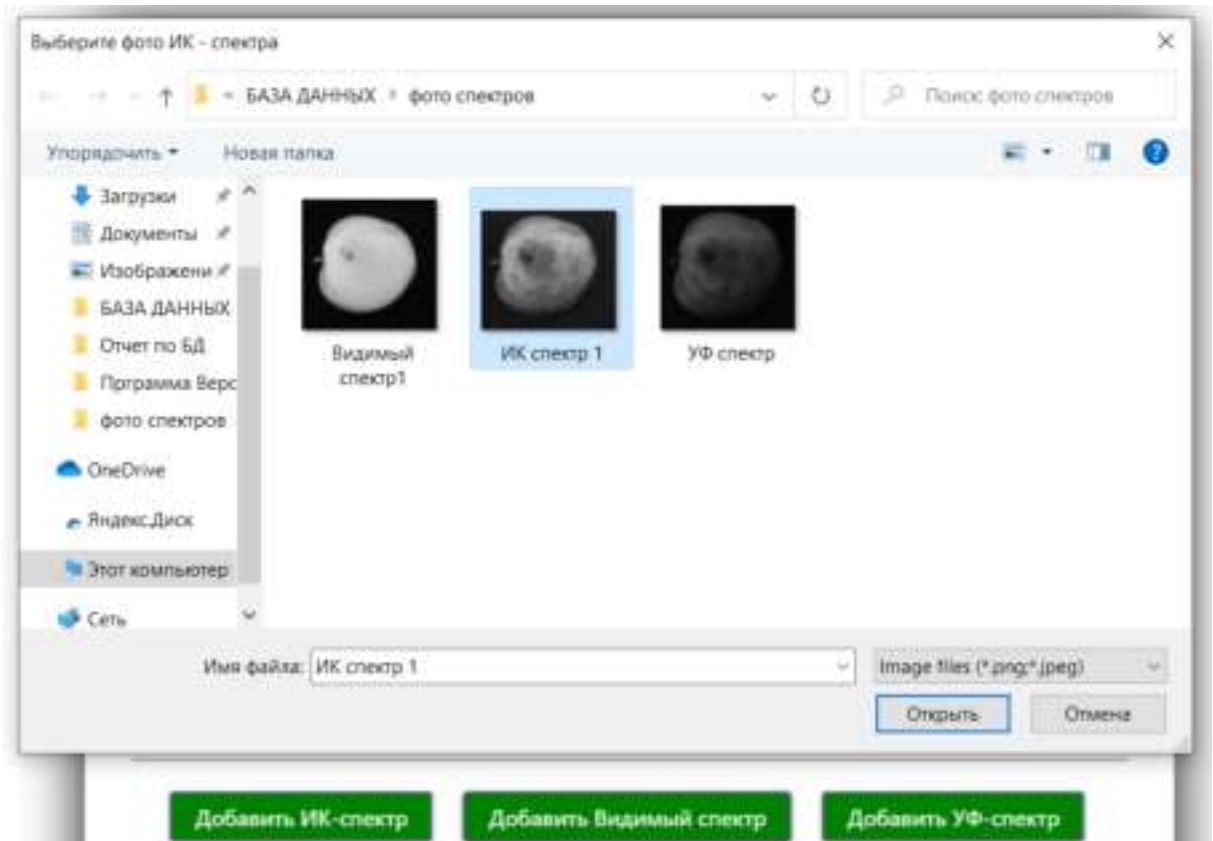


Рисунок 2.26 – Листинг расположения полученного изображения на компьютере

Далее проверяем добавил ли оператор изображения ИК, УФ и видимого спектра. Если оператор добавил фотографии, то копируем их из исходного пути в конечный. Прописываем функцию, в которую передаем начальное и конечное расположение.

Добавляем экземпляр класса в базу данных и делаем кнопку активной для повторного нажатия.

Используем тип OpenFileDialog для выбора изображений с диска «С».

Прописываем фильтр документов и возможность добавления нескольких файлов за раз.

После выбора и записи изображений формируем массив файлов, создаем переменную для сохранения пути, по которому будут храниться файлы.

Для удобного отображения данных из БД создали отдельное окно (рис. 2.27).

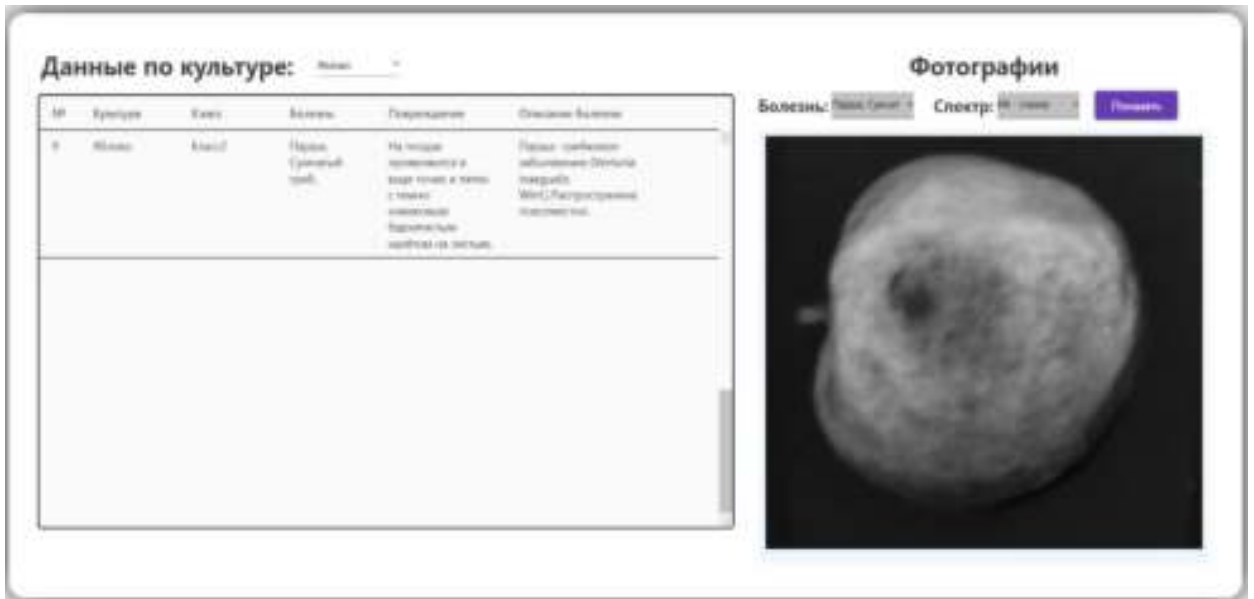


Рисунок 2.27 – Листинг расположения полученного изображения на компьютере

Ниже приведен программный код окна (рис. 2.28).

```

Border: Effect:
  DropShadowEffect StrokeDash={0} Color="Black" Opacity="0.5"/>
  Border: Effect:

StackPanel orientation="Horizontal">
StackPanel:
  StackPanel orientation="Horizontal":
    Label Content="Болезнь по культуре" HorizontalAlignment="Center" FontSize="14" FontWeight="Bold" Height="20"/>
    ComboBox Items="{Binding Cultures}" Height="20" SelectionChanged="Culture_SelectionChanged" MarginBottom="5"/>
    ComboBox Items="{Binding Cultures}" Height="20"/>
    ComboBox Items="{Binding Cultures}" Height="20"/>
    Label Content="Сорт:" Height="20"/>
  StackPanel:
    DataGrid Margin="0" HorizontalAlignment="Center" AutoGenerateColumns="False" AutoGenerateColumns="True" VerticalAlignment="Top">
      DataGrid.Columns:
        DataGridTemplateColumn Width="30" Header="№" IsReadOnly="True"/>
        DataGridTemplateColumn CellTemplate:
          DataTemplate:
            TextBlock Text="{Binding Path=Id, Mode=ReadOnly, UpdateSourceTrigger=PropertyChanged} TextWrapping="Wrap"/>
          DataTemplate:
        DataGridTemplateColumn CellTemplate:
          DataTemplate:
            TextBlock Text="{Binding Path=Culture, Mode=ReadOnly, UpdateSourceTrigger=PropertyChanged} TextWrapping="Wrap"/>
          DataTemplate:
        DataGridTemplateColumn CellTemplate:
          DataTemplate:
            TextBlock Text="{Binding Path=Age, Mode=ReadOnly, UpdateSourceTrigger=PropertyChanged} TextWrapping="Wrap"/>
          DataTemplate:
        DataGridTemplateColumn CellTemplate:
          DataTemplate:
            TextBlock Text="{Binding Path=Class, Mode=ReadOnly, UpdateSourceTrigger=PropertyChanged} TextWrapping="Wrap"/>
          DataTemplate:
        DataGridTemplateColumn CellTemplate:
          DataTemplate:
            TextBlock Text="{Binding Path=Color, Mode=ReadOnly, UpdateSourceTrigger=PropertyChanged} TextWrapping="Wrap"/>
          DataTemplate:

```

Рисунок 2.28 – Программный код окна базы данных

Задаем тип элементов колонки как «TextBox» для отображения информации элементы каждой колонки связываем с классом.

Отображение столбца «№» с первичным ключом, по данному примеру

прописаны все остальные колонки таблицы. При запуске окна считываем базу данных и записываем её в список «Apples».

Получаем названия папок существующих болезней из папки на жестком диске и выводим болезни в список, переносим его в «Combo Box» для отображения изображений. Создаём три списка под задачу. Создаем переменные для хранения этих списков. Проверяем наличие у элемента значения конкретной культуры и добавляем в соответствующий список. Далее разделяем базу данных на три списка. Событие SelectionChanged выпадающего меню выбора культуры (рис. 2.29).

```
private void cbCulture_SelectionChanged(object sender, SelectionChangedEventArgs e)
{
    if(DG.Items!=null)
    {
        if(cbCulture.SelectedIndex==0)
            DG.ItemsSource = Zlaki;
        else if(cbCulture.SelectedIndex == 1)
            DG.ItemsSource = Kartoffel;
        else if(cbCulture.SelectedIndex == 2)
            DG.ItemsSource = Yabloko;
    }
}
```

Рисунок 2.29 – Выпадающее меню выбора культуры базы данных

Если в «ComboBox» выбран «ИК-спектр»- то присваиваем путь файла. Далее формируем путь изображения C:/БОЛЕЗНЬ - название заболевания в папке «Болезни» и выбираем диапазон спектра во втором «ComboBox» выбора спектра. Делаем цикл для каждого файла (создаём новое изображение, объявляем пустое изображение и присваиваем ему созданное) и нашему списку присваиваются файлы изображений. К источнику присваиваем наш список изображений (рис. 2.30).

```

private void btShow_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    images = new List<System.Windows.Controls.Image>();
    string s1;
    if (cbSpec.SelectedIndex == 0)
        s1 = @"ИК-спектр";
    else if (cbSpec.SelectedIndex == 1)
        s1 = @"\Видимый спектр";
    else
        s1 = @"\УФ-спектр";
    string imgPath = MainPath + Dirs[cbBol.SelectedIndex] + s1;

    foreach (string file in Directory.GetFiles(imgPath))
    {
        try
        {
            var bi = new BitmapImage(new Uri(file));
            var img = new System.Windows.Controls.Image();
            img.Source = bi;
            images.Add(img);
        }
        catch (Exception ex)
        {
            MessageBox.Show(ex.Message);
        }
    }
}

```

Рисунок 2.30 – Список изображений выпадающего меню выбора культуры базы данных

Таблицы БД приведены в приложении В. Строку заполнили данными и в последний столбец автоматически добавляется путь расположения изображений.

Создание агротехнологических моделей для управления производственными процессами. В качестве основных для автоматизированного управления производственными процессами в интенсивном садоводстве посредством ПАК «Агроинтеллект ВИМ» предлагаются следующие модели.

Модель планируемой урожайности по интенсивности освещения.

Листья растений поглощают в процессе фотосинтеза не весь световой поток, а фотосинтетически активную радиацию (ФАР) – фотосинтетически активные лучи с длиной волны 400-700 нм (нанометров). Именно эти лучи хорошо поглощаются зеленым пигментом хлоропластом – хлорофиллом и являются энергетической основой фотосинтеза [153] (формула 2.1).

$$ПУ = \frac{R \times 10^8 \times K}{10^2 \times 4 \times 10^3 \times 10^2} \quad (2.1)$$

где $R \times 10^8$ – количество ФАР за вегетацию культуры в данной зоне, млрд. ккал/га, K – запланированный коэффициент использования ФАР, %, 4×10^3 – количество энергии, выделяемое при сжигании 1 кг сухого вещества (калорийность урожая конкретной культуры), ккал, 10^2 – перевод из кг в т [154].

Модель управления режимом влагообеспеченности растений в течение вегетации.

Основная масса воды (90%) испаряется с поверхности растений для охлаждения тканей и поддержания тепловых условий, необходимых для жизни растений. В течение вегетации растения испытывают различную потребность во влаге. При этом отмечают критические периоды – периоды наибольшей потребности во влаге [155].

Действительно возможная урожайность (ДВУ) – это урожайность, полученная при складывающихся погодных условиях, которую можно рассчитать по лимитируемым факторам. Главным лимитирующим фактором для получения запрограммированного урожая садовых культур является влага. Основным источником влаги служат атмосферные осадки вегетационного периода и запасы продуктивной влаги в метровом слое. Отсюда влагообеспеченность растений можно определить по формуле [154]:

$$E = W + \sum O_c \times \alpha \quad (2.2)$$

где E – общая влагообеспеченность растений, мм, W – запасы продуктивной влаги перед посевом, мм в метровом слое, O_c – сумма осадков за вегетационный период, мм, α – коэффициент использования осадков, (0,65-0,7), $Гр$ – потребление влаги из грунтовых вод, мм.

Зная водопотребление можно рассчитать ДВУ по формуле:

$$ДВУ = \frac{100 \times E}{K_B} K_{хоз} \quad (2.3)$$

где ДВУ – урожайность, т/га, K_B – коэффициент водопотребления, мм*га/ц, $K_{хоз}$ – отношение товарной продукции к общей биомассе [154].

Создание программно-аппаратных подсистем обработки агротехнологической информации в интенсивном садоводстве

Для размещения на электронной карте сада полученной информации с гиперспектрометров, RGB оптических устройств и нейронной сети используется автоматизированная система построения агротехнологий «Агроинтеллект ВИМ». Электронные карты в автоматизированной системе создаются методом обрисовки контуров садов по снимкам со спутников и беспилотных летательных аппаратов. После загрузки контуров сада в автоматическом режиме появляются результаты мониторинга состояния насаждений на соответствующей карте с доступом к полевому журналу (рис. 2.31).



Рисунок 2.31 – Полевой журнал автоматизированной системы построения и управления агротехнологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ»

Технологические операции в полевом журнале привязываются ко всем выбранным на карте садам, а параметры операций рассчитываются в зависимости от их площади. Технологические карты добавляются в систему перед началом сезона и корректируются при появлении соответствующих негативных событий (тревог). При добавлении тревог задаются правила, выполнение которых будет автоматически оповещать пользователей. Правила предусматривают любые данные из системы: с метеодатчиков, визуальных осмотров от агрономов, с мобильных приложений, спектрометров и других сенсорных устройств.

Выводы по Главе 2:

1. Для управления производственными процессами возделывания садовых культур используются автоматизированные системы управления производственными процессами (СУПП), разрабатываемые на основе современных языков программирования и позволяющие в реальном времени осуществлять оперативную обработку информационных потоков, определяющих особенности роста и состояния растений в критические фазы их развития, от современных регистрирующих приборов.

2. Впервые сформирована функциональная структура реализации цифровых технологий, автоматизированных и роботизированных технических средств в системе «Цифровой Сад», позволяющая существенно сократить ошибки при формировании и управлении агротехнологией.

3. Разработана методика отбора и оценки состояния плодов для системы цифрового мониторинга, контроля их состояния и идентификации ареалов заболеваний в промышленных интенсивных насаждениях. Установлено, что для получения качественных фотоизображений плодов яблони в полевых условиях, необходимо обеспечить размещение средств сбора информации на расстоянии от кроны дерева 1,5-2 метра. Съёмку следует производить при освещённости не менее 20 000 лк.

4. Для оптимальной скорости распознавания плодов яблони, их размерных параметров и получения максимальной точности результата выбрана рекуррентная нейронная сеть глубокого обучения. По типу обучения – с учителем, по типу настройки – динамическая, по типу входной информации – аналоговая, по типу решаемой задачи – классифицирующая.

5. Разработана методика дистанционного мониторинга плодов на основе анализа изображений в спектральном диапазоне от 250 до 1000 Нм гиперспектральной визуализацией и измерением флуоресценции. Установлено, что спектральные данные, полученные в полевых условиях при помощи гиперспектральной камеры, воспроизводят основные спектральные изменения, характерные для спектров отражения здоровых и повреждённых

плодов, включая наличие сильной корреляции между коэффициентами отражения в зелёной и дальней красной области.

6. Разработан алгоритм цифрового мониторинга урожайности плодов в производственных условиях на основе нейронных сетей глубокого обучения, обеспечивающий структурирование, сегментацию классификацию ключевых изображений и точность мониторинга не менее 90% по фотоматериалам в режиме онлайн с подсчётом количества плодов в условиях естественной освещенности от 10000 до 50000 Лк.

7. Разработана база данных спектральных изображений основных болезней и повреждений плодов яблок с использованием мобильной гиперспектральной камеры. По результатам исследований выявлены участки спектра, соответствующие локальным максимумам и минимумам отражения поврежденных и здоровых плодов яблок. Определено, что спектры сортов картофеля имеют наибольшие различия в области длин волн 900-1000, 400-450 нм.

8. Разработан программно-аппаратный комплекс «Агроинтеллект ВИМ» с базой данных спектральных изображений, онлайн сервисом управления производственными процессами и мобильным приложением на основе нейронной сети. База данных ПАК пополняемая, содержит более 50 таблиц, в которых имеется информация по двум интенсивным технологиям закладки и ухода за садовыми насаждениями, 150 наименований специализированных технических средств, 20 интенсивных сортов яблони, спектральные изображения семи болезней плодов. ПАК обеспечивает в режиме реального времени (Real-Time) обработку метеорологической и агротехнологической информации от метеостанций, цифровых датчиков и анализаторов, определяющих параметры развития растений и оптимизацию машинных технологий возделывания плодовых культур по критерию «скорость роста—качество урожая—затраты».

ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САДОВЫХ КУЛЬТУР В ИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

3.1 Определение физико-механических свойств плодовых насаждений интенсивного типа

Для обоснования принципов действия разрабатываемых автоматизированных и роботизированных технических средств, и рабочих органов, например, машина для ухода за приствольными полосами насаждений, робот для уборки плодов и других, необходимо знать основные характеристики и физико-механические свойства интенсивных насаждений [172]:

- тип подвоя и прочностные свойства штамба (слаборослый, среднерослый, сильнорослый);
- плотность и схема размещения деревьев (уплотненная, 5-3 x 3-0,5 м);
- тип и размер кроны (компактная, полуплоская и веретеновидная);
- тип интенсивности и возраст насаждений;
- вид и высота опорных конструкций (ж/б столбы, железные и асбестовые трубы);
- система содержания почвы (задернение междурядий, гербицидный пар в ряду);
- система защиты (интегрированная, капельное орошение);
- наличие противогодовой конструкции;
- потенциальная урожайность различных сорто-подвойных комбинаций (штук плодов с 1 дерева);
- размерно-массовые и прочностные характеристики плода (вес, диаметр, усилие отрыва, цвет, толщина кожицы)
- расположение плодов в структуре кроны и по длине ветви;

- прочностные свойства ветвей.

Основные физико-механические свойства насаждений достаточно хорошо изучены, например типы подвоев и корневых систем, плотность посадки и расположение плодов в кроне, система защиты и другие, а некоторые требуют уточнения при экспериментальном тестировании роботизированных машин на различных сорто-подвойных комбинациях, например, толщина коры и повреждаемость штамба при соприкосновении с механическим щупом, толщина кожицы плода и травмируемость поверхности и др. Общий перечень показателей (около 45 показателей) описан в работах учёных селекционеров и агротехнологов [173,174].

Базовые физико-механические свойства плодовых интенсивных насаждений приведены в таблице 3.1 и использованы при формировании технико-технологических требований и разработке конструкций автоматизированных и роботизированных машин для борьбы с сорной растительностью в приствольной полосе, ухода за вегетативной частью насаждений, деликатной уборке плодов.

Таблица 3.1 – Базовые физико-механические свойства плодовых насаждений интенсивного типа

Показатель	Тип интенсивности сада		
	I	II	III
Плотность размещения деревьев, шт./га	660-1000	1100-2200	Более 2200
Сила роста и тип подвоя	Среднерослый (ММ 106, М 7, 54-118, 57-545)	Полукарликовый (М 26, 62-396, Р 14), карликовый (М 9, В. 9, Р 60, Р 16, АРМ-18)	Карликовый (М 9, В. 9, Р 60, Р 16, АРМ-18), суперкарликовый (М 27, М20, В.195, В. 146, Р 59, Р 22, ПБ-4)
Форма крон деревьев	Полуплоская, русское веретено	Стройное веретено	Суперверетено
Схема посадки, м	5 x 2 – 3	4 – 4,5 x 1 – 2	3 – 4,5 x 0,5 – 1
Наличие опорных конструкций	—	Обязательно	Обязательно
Наличие капельного орошения	—	Обязательно	Обязательно

3.2. Конструктивно-технологические требования к автоматизированным и роботизированным машинам для уничтожения сорной растительности в приствольных зонах, магнитно-импульсной обработки растений и уборки урожая

Конструктивно-технологические требования разработаны с учетом проанализированных физико-механических свойств плодовых насаждений, современных ГОСТов и агротехнологических требований к базовым процессам в промышленном садоводстве: фрезерная и пропашная обработка почвы, опрыскивание растений, опрыскивание насаждений, уборка урожая и др. [175]

3.2.1 Конструктивно-технологические требования к автоматизированному устройству для магнитно-импульсной обработки высокорослых растений

1. Скорость движения агрегата должна быть постоянная и устанавливается исходя из выбранного режима обработки, по формуле 3.1:

$$V = \frac{3,6(L_{и} + b)F_c}{N} \quad (3.1)$$

где: $L_{и}$ — длина плоского магнитного индуктора в направлении движения агрегата, м; b — высота растения, м; F_c — частота следования импульсов магнитной индукции, Гц; N — число воздействующих импульсов магнитной индукции, шт. [176]

2. Устройство должно иметь систему адаптации рабочих органов, позволяющую изменять режимы работы (ручной/автоматический), регулировать расстояние до объекта обработки в диапазоне от 1 см до 30 см, угол наклона индукторов 0° до 90° и изменять величину магнитной индукции в зоне обработки [68].

3. Устройство должно быть оснащено аппаратом МИО, который имеет возможность изменять полярность магнитных импульсов (вверх/вниз), время экспозиции с шагом 1 с, работать в широком диапазоне частот импульсного магнитного облучения (1-100 Гц), скважности (1-100) [68];

4. Способ движения агрегата в междурядьях - челночный, петлевой.

5. При работе автоматизированного агрегата должна обеспечиваться возможность совмещения технологических операций МИО и культивации междурядий. С помощью навесного устройства трактора выставляется глубина обработки.

6. Для получения требуемого значения магнитной индукции в зоне обработки (частота следования импульсов от 1 до 64 Гц и магнитная индукция 0,3 - 15 мТл) необходимо обеспечить расстояние между рабочими органами и растениями 10 - 250 мм.

7. Засоренность участка сорной растительностью в междурядье не должна превышать 1 шт/пг.м.

8. Метеорологические параметры проведения технологической операции МИО должны соответствовать следующим значениям: температура воздуха +10...+30 град., влажность воздуха не более 70%, скорость ветра не более 8 м/с, наличие осадков исключено.

3.2.2 Конструктивно-технологические требования к автоматизированному устройству для уничтожения сорной растительности в приствольных зонах

1. Автоматизированное устройство должна обеспечивать уничтожение не менее 80% сорной растительности в приствольных полосах.

2. Устройство должно быть оснащена системой контроля высоты сорной растительностью и электроприводом рабочих органов.

3. Устройство должно иметь возможность выполнять технологическую операцию в условиях ухудшенной видимости рабочей зоны: туман, небольшой дождь, раннее утро, сумерки.

4. Система взаимодействия рабочего органа со штамбом дерева должна совершать деликатный контакт не повреждая штамб и совершать отклоняющееся движение для исключения попадания рабочей жидкости на дерево.

5. Устройство в автоматическом режиме должно определять точку начала работы в ряду (т.е. когда нужно начинать обрабатывать приствольную зону) и точку завершения работы (т.е. когда нужно остановить кошение и продолжить движение на разворот).

6. При выполнении технологического процесса устройство должно обеспечивать зону перекрытия скошенных смежных полос не более 1-2 см.

7. Система управления автоматизированным устройством должна иметь возможность загрузки в управляющий контроллер карты заданий, в которой указать, сколько проходов и в каких рядах нужно совершать.

3.2.3 Конструктивно-технологические требования к универсальной роботизированной платформе

Агротехнические требования технологий возделывания садовых культур, предъявляемые к самоходным машинам, сводятся к обеспечению: проходимости машин, в том числе на склонах и в междурядьях, необходимых тягово-сцепных свойств, маневренности, плавности хода, диапазона скоростей движения; минимизации вредного воздействия движителей на почву; высококачественного выполнения технологического процесса [8].

При этом к мобильным энегосредствам, в том числе роботизированным платформам предъявляются следующие требования:

1. Возможность длительной работы в различных условиях с запасом по тяговому усилию: для колесных — 16% при буксовании соответственно не более 6 и 13%.
2. Агротехнический просвет должен быть в пределах 800-1200 мм.
3. Снаряженная масса платформы не должна превышать 400 кг, грузоподъемность должна быть не менее 1000 кг.
4. Универсальная роботизированная платформа с электромоторколесами и допустимым уровнем воздействия на почву должна иметь возможность агрегатирования с модулями для ухода и поточной уборки урожая плодов в интенсивных садовых промышленных насаждениях;
5. Запас мощности электропривода для обеспечения увеличенной проходимости должен составлять не менее 15%, для привода рабочих органов не менее 30 %.
6. Конструкция платформы должна обеспечивать блочно-модульную компоновку с навесным технологическим оборудованием;
7. Системы управления движением должны обеспечивать высокую мобильность и возможности групповой работы.
8. Платформа должна иметь регулируемые основные габаритные размеры (ширину колеи и базу) с сохранением внешнего вида и качественных характеристик технологических операций.
9. Требования к колее платформы определяются возможностью работы в междурядьях. Защитные зоны, определяемые расстоянием по горизонтали от середины рядка до края колеса, зависят от фазы развития растения и вида обработки. Минимальная защитная зона при возделывании садовых культур должна быть не менее 35...55 см.
10. Механизм управления и типы движителей шасси должны обеспечивать прямолинейность хода, гарантирующую минимальные защитные зоны, предусмотренные техническими требованиями на возделывание различных культур.
11. Ширина колеи для шасси должна находиться в пределах

1840...2080 мм. Данный размер колеи выбран из соображения работы в междурядьях 2500-4000 см. Ширину колеи регулируют, перемещением колес по полуосям, поворотом колес при несимметричной их конструкции [8].

12. Платформа должна иметь возможность оперативного удаленного изменения режима управления.

13. Возможность непрерывной автономной работы в течение 10...12 часов.

14. Всесезонная эксплуатация.

15. Возможность группового применения.

3.2.4 Конструктивно-технологические требования к системе локального позиционирования универсальной роботизированной платформы

1. Система должна обладать высокой помехоустойчивостью, оптимальным радиусом действия (не менее 2 км), высокой точностью позиционирования (+/- 3...5 см), малыми габаритами и низким энергопотреблением.

2. Система должна давать возможность робототехническому средству позиционироваться с высокой точностью (5...7см) в местах с внешними радиопомехами (например, ряды плодовых деревьев, тень от крон деревьев, городская и сельская инфраструктура).

3. Система должна в режиме реального времени определять местоположение роботизированного средства, идентифицировать его в локальной области пространства и дистанционно передавать координаты его местонахождения на расстоянии 2...5 км.

4. Система должна позволять работать с сенсорными сетями и осуществлять в автоматизированном режиме сбор, хранение и передачу информации от сенсоров и датчиков, установленных на поле при мониторинге метео и агротехнологической информации (как реализовано в так называемых RFID-метках или транспондерах).

5. Основу работы Системы должны составлять однокристалльные микроконтроллеры с внешним или встроенным радиочастотным приемопередатчиком. В зависимости от назначения в разрабатываемой Системе активных метках должны реализовываться различные протоколы и способы обмена со считывателями либо же другими метками по распространенному (например, стандарт IEEE 802.15.4.).

6. Система должна функционировать на собственном батарейном питании.

3.2.5 Конструктивно-технологические требования к роботу манипулятору для уборки плодов

1. Робот манипулятор должен обладать свойствами автономности, иметь возможность анализировать свойства внешней среды и автоматически изменять рабочие режимы. Возможно исполнение в мобильном варианте и в качестве агрегата для мобильного сельскохозяйственного энергосредства.

2. Требования к манипулятивности и зоне сервиса. Манипулятор осуществляет захват плода в пределах рабочей зоны на поверхности кроны и в глубине кроны не более 15 см. Точность позиционирования манипулятора относительно плода составляла 1-2 см. Манипулятор должен при захвате плода осуществлять поворотные движения трехпалового устройства на 45 градусов.

3. Параметры рабочей зоны. Манипулятор должен работать в зоне плоской кроны дерева с размерами:

- по вертикали от почвы от 1 до 3,5 м.
- по горизонту 1,5 м.

4. Требования к архитектуре системы управления

Архитектура системы управления должна состоять из блоков:

- блок сбора и обработки данных на основе нейронной сети;
- блок управления движением роботизированного манипулятора;

- блок управления параметрами сбора плодов (контроль степени давления на плод, выбор способа отрыва плода и его транспортировки в контейнер).

5. Требования к аппаратной части системы управления манипулятором:

- конструкция блока управления интеллектуальной системы должна соответствовать степени защиты не менее IP65, в системе не должно возникать перегрузок, вызванных передачей значительного объема данных, устойчивая передача сигналов, электробезопасность и энергоэффективность.

- электропитание системы управления и приводов манипулятора автономное от аккумуляторных батарей;

- эксплуатация системы должна осуществляться автономно после включения;

- вся данные при авариях, потере питания должны сохраняться на информационные носители;

- система должна функционировать в условиях воздействия радиопомех, электрических, магнитных и электромагнитных полей;

- система не должна быть источником электрических, магнитных и электромагнитных полей, препятствующих работе других систем.

5. Требования к массо-габаритным характеристикам:

Общая масса манипулятора не более 45 кг.

Масса поднимаемого груза на полном вылете плеча не менее 2 кг.

Расстояние полного вылета верхнего плеча не более 650 мм.

Расстояние полного вылета верхнего и нижнего плеч не более 2100мм.

6. Требования к мобильности:

Роботизированный манипулятор устанавливается на мобильное роботизированную платформу с независимой энергоустановкой - бензогенератором мощностью 5 кВт.

На платформе или в непосредственной близости с манипулятором должна быть установлена стереокамера для позиционирования

роботизированного манипулятора в 3 мерном пространстве относительно кроны дерева.

Движение в междурядьях осуществляется позиционно. Платформа движется с рабочей скоростью 1,5-2 км/ч, затем останавливается напротив яблони, после захвата плода манипулятор должен опустить плод в канал для дальнейшей транспортировки плода в контейнер (рис. 3.1).

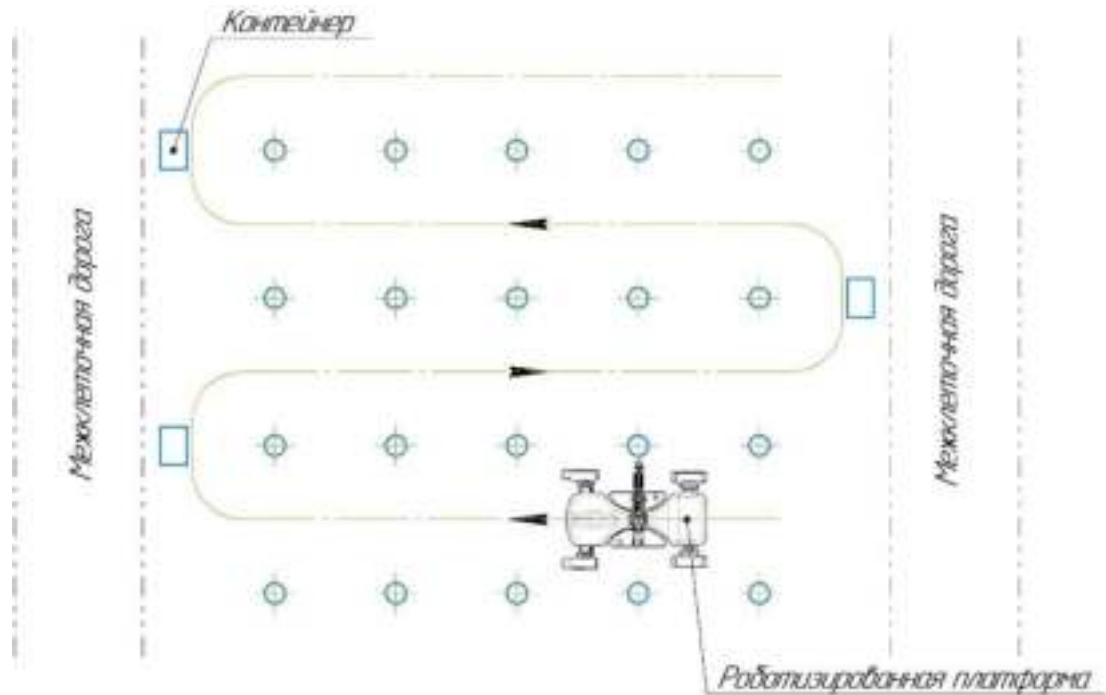


Рисунок 3.1 – Схема движения роботизированной платформы и манипулятора при поточной уборке урожая

3.3. Создание автоматизированного устройства для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений

3.3.1 Обоснование параметров автоматизированного устройства для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений

Автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений разработан в соответствии с патентами на изобретение № 2637726 от 07.12.2017 «Технологический адаптер с модулем магнитно-импульсной обработки растений» и №

167530 U1 от 10.01.2017 «Робот для магнитно-импульсной обработки растений».

При проектировании на базе универсальной роботизированной платформы технологического адаптера для автоматизированной магнитно-импульсной обработки растений учитывалась возможность его применения в промышленных садовых насаждениях интенсивного типа (рис. 3.2).

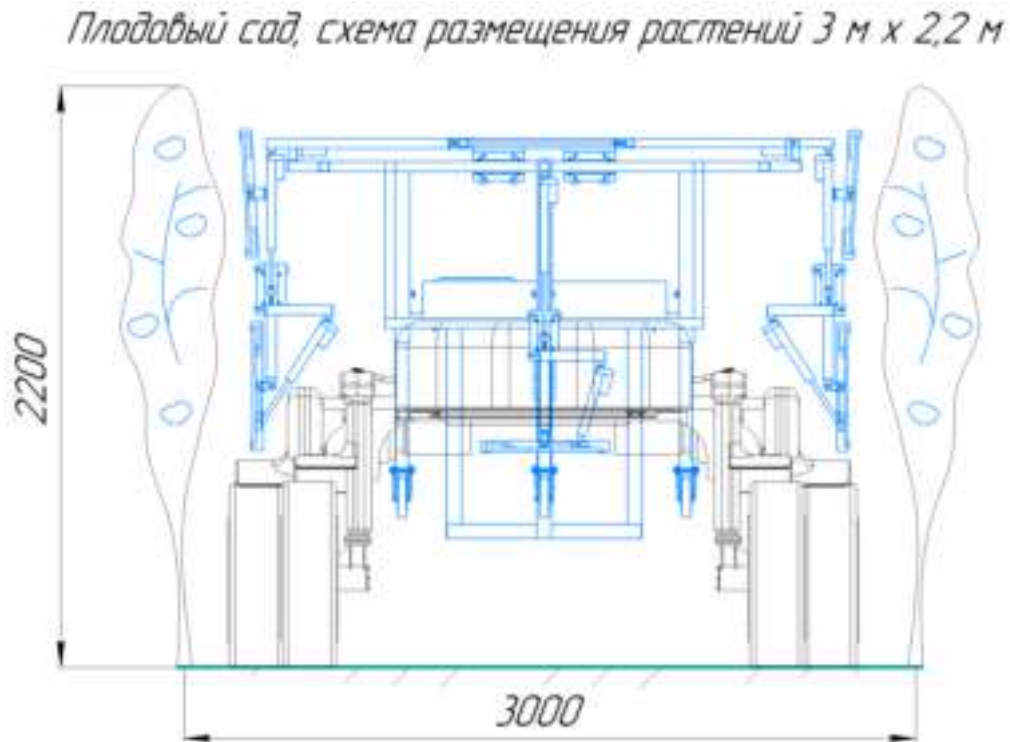


Рисунок 3.2 – Обоснование конструктивно-технологических параметров адаптера для магнитно импульсной обработки садовых насаждений

Анализ схем технологического применения адаптера с модулем магнитно-импульсной обработки растений показал, что адаптер должен иметь регулируемую ширину захвата 140-180 см и иметь возможность регулировки наклона рабочих индукторов в диапазонах 30-45 град., что позволит применять его не только в садах интенсивного типа с междурядьями 3,5 м, но и на посадках низкорастущих ягодников с междурядьем 75-100 см [68].

В качестве рабочих органов для адаптера МИО растений возможно использование различных вариантов катушек индуктивности (индуктор). По ранее проведенным исследованиям установлено, что для управляемой

автоматизированной обработки на магнитном индукторе должен быть установлен лазерный датчик, который передает данные о расстоянии между кроной дерева и рабочим органом.

Принцип действия автоматизированного аппарата МИО.

Основным компонентом является микроконтроллер управления подачей напряжения на рабочий орган (магнитный индуктор – плоскую спиральную катушку). Элементы сенсорной системы аппарата подключены к микроконтроллеру через штыревые разъемы по стандартным схемам: лазерный датчик расстояния по одной из GPIO линий микроконтроллера, сенсорный экран к GPIO линии по протоколу Uart (рис. 3.3).

Питание к автоматизированному аппарату МИО подается на DC-DC преобразователь от аккумуляторной батареи на 12В, преобразует напряжение с аккумуляторной батареи с 12 на 90 В. Преобразуемое напряжение подается на транзисторный блок. Транзисторный блок служит для включения и отключения питания конденсаторных батарей. Конденсаторные батареи накапливают электрическую энергию и в импульсном режиме через частотный генератор испускают её на рабочий орган аппарата. Частотный генератор позволяет изменять частоту и скважность низкочастотного импульсного магнитного поля. Сигнал с установленной частотой и скважностью подается на твердотельное реле, которое соединяет управляющий электрод с катодом силового тиристора. После открытия тиристора запасенная энергия в конденсаторной батарее подается на магнитный индуктор [177].

собой параллельно-последовательно соединенные конденсаторы на 10000 мкФ 25В. Последовательно соединены 4 конденсатора, в результате чего повышается общее напряжение конденсаторной батареи до 100В. Для повышения емкости к каждому из последовательного соединенных конденсаторов параллельно подключено еще по одному конденсатору. Общее напряжение конденсаторного блока составляет 100В, емкость 50кФ. Транзисторный блок автоматизированного аппарата МИО состоит из 4 параллельно соединённых полевых P-N-P транзисторов, закрепленных на радиаторе. Для закрытия транзисторов, база и эмиттер соединены через резистор на 1кОм. Для открытия транзистора подается напряжение (управляющий сигнал) на базу и эмиттер. Для полного открытия транзистора требуется 7-30В, а напряжение сигнала у микроконтроллера 5В, поэтому управляющий сигнал подается на твердотельное реле, а оно в свою очередь, подает напряжение на базу и эмиттер от аккумуляторной батареи. За автоматическую регулировку магнитного поля, создаваемого магнитными индукторами, отвечает микроконтроллер ATmega 328p. Для этого на магнитном индукторе установлен лазерный датчик VL53L0X1, который передает данные о расстоянии между кроной дерева и рабочим органом. Получив и обработав данные о расстоянии, микроконтроллер подает сигнал на электронный потенциометр MCP 4231, который регулирует напряжение выхода на DC-DC преобразователе. Чем выше напряжение на конденсаторной батарее, тем больше создаваемое магнитное поле на магнитном индукторе. Питание микроконтроллера осуществляется через преобразователь питания с 12 В на 3,3 В [177].

Основные узлы аппарата размещены в пластиковом боксе IP65, на шести печатных платах, которые жестко соединены с корпусом. В качестве рабочих органов аппарата МИО растений возможно использование различных вариантов катушек индуктивности. Технические характеристики автоматизированного аппарата МИО представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики автоматизированного аппарата МИО

Характеристика	Значение
Вид магнитного поля:	Низкочастотное, импульсное
Количество подключаемых рабочих органов, шт.	8
Вид регулировки частоты импульсов	плавный
Частотный диапазон, Гц	1-100
Диапазон скважности	1-100
Питание от сети	50 Гц 220 В через блок питания (12 В, 1000 мА), а также от внешних источников питания 12 В
Регулируемое время экспозиции, с	от 1 до 9999

Разработанный автоматизированный аппарат МИО позволяет изменять полярность магнитных импульсов (вверх/вниз), время экспозиции с шагом 1 с, работать в широком диапазоне частот импульсного магнитного облучения и скважности с возможностью их автоматической регулировки [68].

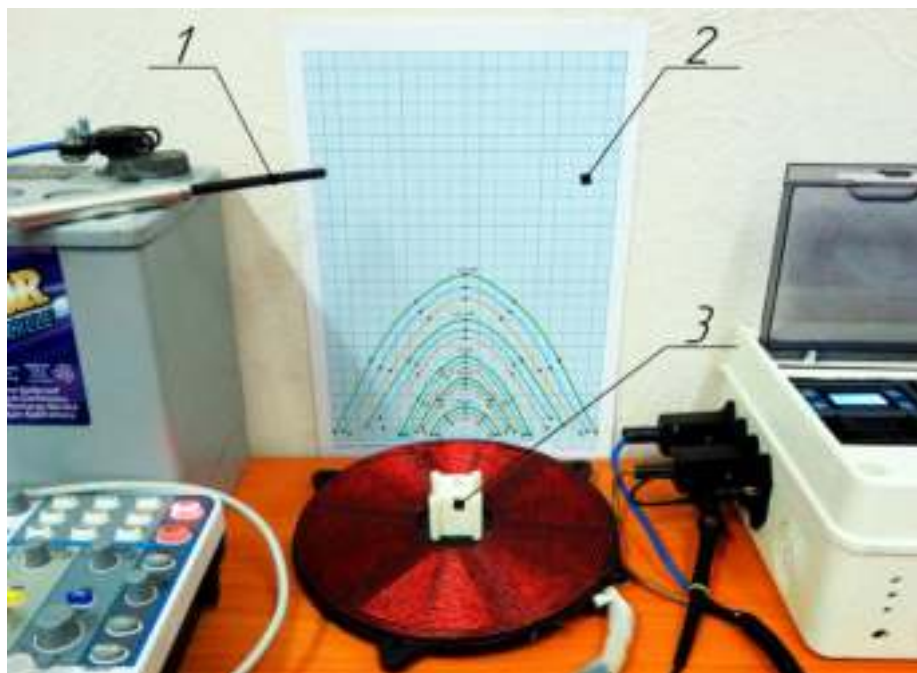
Для создания в зоне обработке растений требуемой величины магнитной индукции в лабораторных условиях проведено измерение и анализ структуры магнитного поля магнитного индуктора на выбранных режимах работы автоматизированного аппарата МИО. Лабораторный стенд включал в себя установленные на рабочем столе с координатной сеткой исследуемый магнитный индуктор, соединенный с автоматизированным аппаратом МИО (рис.3.4).

Перемещая измерительный зонд миллитесламетра по координатной сетке с шагом в 1 см, проведены замеры импульсного магнитного поля в трехкратной повторности, на различных режимах работы аппарата МИО, частотах 8, 16, 32 Гц (рис. 3.5) [68].



1 – автоматизированный аппарат МИО, 2 – магнитный индуктор, 3 – миллитесламетр портативный универсальный (ТПУ-01), 4 – осциллограф цифровой АКИП 4122/1, 5 – АКБ.

Рисунок 3.4 – Лабораторный стенд измерения распределения импульсной магнитной индукции



1 – измерительный зонд миллитесламетра, 2 – координатная сетка, 3 – корпус лазерного датчика VL53L0X1

Рисунок 3.5 – Замеры распределения импульсной магнитной индукции плоской спиральной катушки на различных режимах работы автоматизированного аппарата МИО.

Замеры распределения импульсной магнитной индукции плоской спиральной катушки на различных режимах работы автоматизированного аппарата МИО.

Измерительный зонд устанавливался так, чтобы плоскость измерительного преобразователя Хола в требуемой точке измеряемого магнитного поля была нормальна вектору магнитной индукции (Закон Био-Савара-Лапласа). Для измерения формы ИМП к аналоговому входу ТПУ-01 подключался осциллограф АК ИП-4122/1. Допустимая относительная погрешность измерения импульсного магнитного поля не превышала значений, рассчитанных по формуле 3.2 [68]:

$$\delta = \pm [0,5 + 0,5 \cdot (V_p / V_i - 1)] \quad (3.2)$$

где δ - допустимая относительная погрешность измерения, %; V_p - предел измерения миллитесламетра, мТл; V_i - показания миллитесламетра, мТл. Результаты замеров в виде диаграммы и осциллограммы представлены на рисунках 3.6, 3.7.

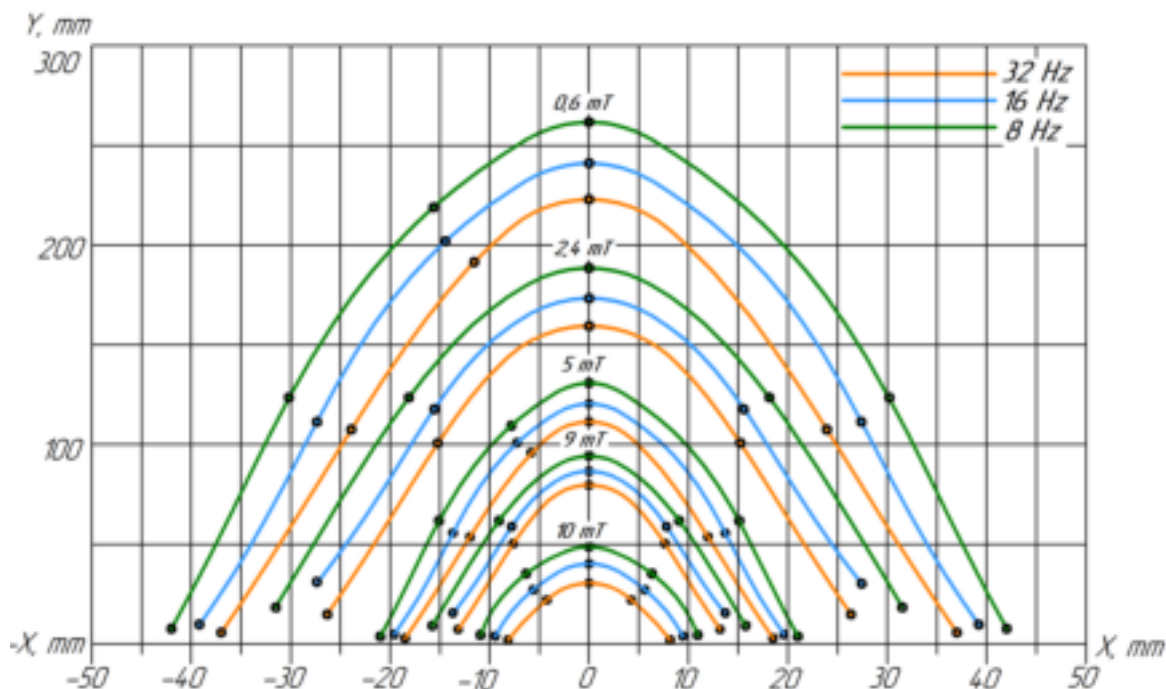


Рисунок 3.6 – Диаграмма распределения индукции импульсного магнитного поля, создаваемой индуктором при различных режимах работы аппарата МИО, частота следования импульсов 8, 16, 32 Гц

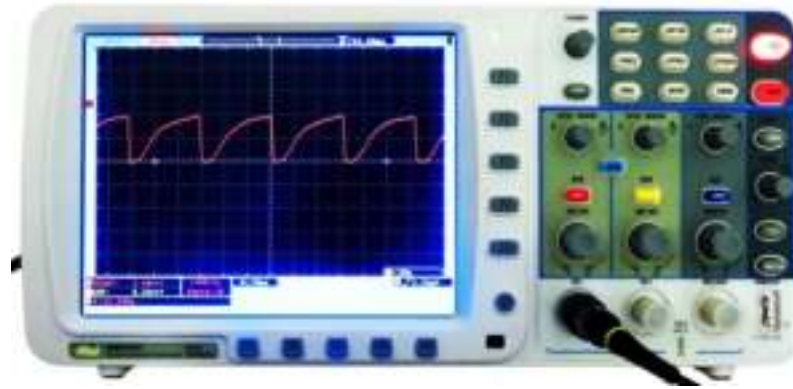


Рисунок 3.7 – Осциллограмма импульсов магнитной индукции, излучаемых индуктором

Анализ распределения импульсов магнитной индукции показал, что наиболее подходящим для проведения технологической операции в полевых условиях интенсивного сада с помощью разработанного автоматизированного аппарата является использование рабочих органов в виде плоской спиральной катушки, состоящей из 27 витков многожильного кабеля сечением 6 мм^2 с наружным диаметром 190 мм, внутренним диаметром 50 мм, межвитковое расстояние 3 мм, индуктивность 27 мкГн (рис. 3.8)

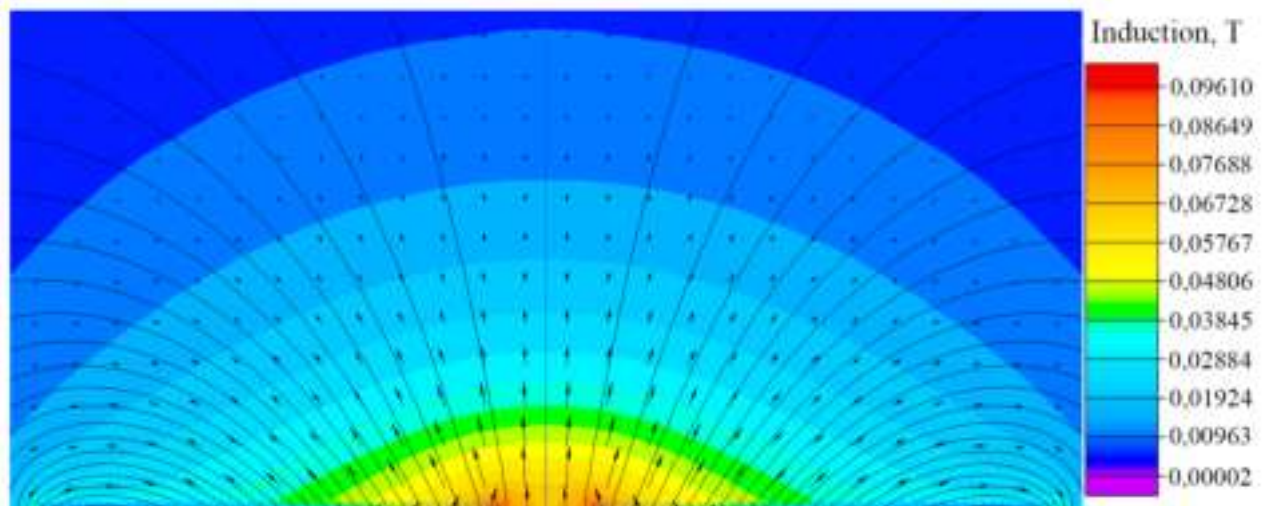


Рисунок 3.8 – График распределения магнитной индукции плоской спиральной катушки при конечно элементном моделировании в программе Elcut 6.3 Professional

Катушка удовлетворяет требованиям по уровню магнитной индукции для обработки садовых растений интенсивного типа в полевых и лабораторных условиях, простая по устройству и позволяет получить

достаточно однородное импульсное магнитное поле, используя минимальное количество витков обмотки. По мере удаления от центра витка наблюдается увеличение значения вектора магнитной индукции. При выходе за пределы витка радиусом 210 мм магнитное поле меняет направление и при удалении от проводника ослабевает. Ближе к краю спирали и вне её плоскости уровень напряженности уменьшается до малых значений. Анализ диаграмм со стендовых испытаний автоматизированного аппарата МИО с магнитными индукторами показал, что для получения требуемого значения магнитной индукции в зоне обработки (частота следования импульсов от 1 до 64 Гц и магнитная индукция 0,3 - 15 мТл) для обработки садовых растений необходимо обеспечить расстояние между рабочими органами и растениями 5 - 280 мм. Числовое значение величины магнитной индукции на расстоянии 100 мм от центра катушки составляет 8,3 мТл [68].

Обоснованные параметры и предложенная конструкция аппарата позволяет автоматизировать процесс МИО садовых насаждений интенсивного типа с возможностью настройки к различным агротехнологическим параметрам насаждений, обеспечивая требуемое значение магнитной индукции частоты и скважности в зоне обработки и точность выполнения новой технологической операции (рис.3.9).



Рисунок 3.9 – Аппарат МИО для автоматизированного технологического адаптера

3.3.2 Разработка конструкции автоматизированного технологического адаптера для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений

В результате исследований разработан автоматизированный технологический адаптер для управляемой магнитно-импульсной обработки садовых растений на различных режимах (частота, скважность, магнитная индукция, время экспозиции и.т.д.) [178], который можно устанавливать на робототехнические средства (рис. 3.10). Главной особенностью адаптера является возможность изменения режима МИО в зависимости от габаритных размеров садовых растений (ширины, высоты, габитуса кроны).

Для поддержания в зоне кроны плодового дерева магнитной индукции необходимого значения в конструкции адаптера предусмотрен электроуправляемый блок автоматической регулировки положения индукторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, обеспечивающий изменение ширины захвата до 3,6 м, подъем-опускание рабочих органов массой до 30 кг, изменение угла наклона индукторов до 90° [176]. Анализ конструкции разработанного технологического адаптера МИО позволил расширить функциональные возможности за счет комбинированного агрегатирования адаптера с опрыскивателем-гербицидником на базе роботизированного энергосредства (табл. 3.3).



Рисунок 3.10 – Адаптер МИО к роботизированному энргосредству с опрыскивателем-гербицидником

Таблица 3.3 – Техническая характеристика технологического адаптера МИО

Наименование показателей	Значение показателей
Габариты автоматизированного агрегата; - максимальная ширина захвата, мм - минимальная ширина захвата, мм - длина, мм - высота, мм	3600,0 1600,0 1000,0 1100,0
Размеры блока управления аппарата МИО - электронный блок (Ш*Д*В), мм: Размеры блока управления системы адаптации (Ш*Д*В), мм:	210*245*120
Размер рабочих органов - магнитный индуктор, см ²	200*235*100 2000
Масса, кг - агрегат МИО, кг - агрегат МИО с модулем для обработки почвы (с секциями КРН-4,2), кг	80 140-170 (2-3 секции)
Рабочая скорость (в зависимости от режима МИО), км/ч	0.5-3
Максимальное количество подключаемых рабочих органов (магнитных индукторов), шт	8
Вид магнитного поля	Низкочастотное, импульсное
Диапазон частот модуляции магнитного поля, Гц	0,1-100
Дискретность установки частоты импульсов магнитной индукции, Гц	0,1
Диапазон модуляции скважности	0,1-100
Дискретность установки скважности	0,1
Длительность импульсов магнитной индукции в обмотках индуктора, мс	2-6
Максимальное значение магнитной индукции на рабочей поверхности, мТл	50
Минимальное значение магнитной индукции на рабочей поверхности, мТл	0,5
Регулируемое время экспозиции, с	от 1 до 9999
Питание электронных блоков: - блок управления МИО, В - система адаптации, В	220, 50 Гц (инвертор) 12 (инвертор, БП)
Потребляемый ток от бортовой сети энергосредства, А	до 2
Агрегатирование, энергосредство мощностью, л.с.	30 - 90

3.4 Создание автоматизированного устройства для борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне

3.4.1 Обоснование параметров автоматизированного устройства для борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне

Для расчёта действия струи на поверхность почвы с сорной растительностью использована известная теоретическая зависимость, формула 3.3:

$$P = \frac{\gamma}{g} Qv \cdot \sin(\alpha) \quad (3.3)$$

где: P – сила действия струи на поверхность, Н;

γ – удельный вес г/см²;

Q – расход жидкости в секунду, л/с;

V – скорость потока жидкости, м/с;

α – угол между потоком жидкости и поверхностью на которую она воздействует, град.

Из данной формулы видно, что силу воздействия струи на поверхность можно увеличить, повышая расход жидкости или же увеличивая его скорость.

Расход жидкости можно выразить через следующую формулу 3.4:

$$Q = v \cdot F \quad (3.4)$$

где: v – скорость движения потока жидкости, м/с;

F – эффективная площадь сечения, мм².

Тогда, подставим в формулу (1) зависимость (2) получим формулу 3.5:

$$P = \frac{\gamma}{g} v^2 F \sin(\alpha) \quad (3.5)$$

Из этого выражения следует, что для обеспечения наиболее эффективной работы устройства, необходимо обеспечить наибольшую скорость струи.

Также возможным способом воздействия является увеличение удельного веса жидкости, например, с помощью использования абразивов.

В данном случае наибольшее значение для формирования струи имеют форсунки. Скорость истечения жидкости через форсунку представлена на формуле 3.6:

$$v = \varphi \sqrt{2gH} \quad (3.6)$$

где: φ - коэффициент скорости;

H – напор, м.

Важным фактором взаимодействия струи и поверхности является угол между струёй и поверхностью почвы. Сопротивление почвы сдвигу значительно меньше, чем сжатие, при этом наибольшее давление струи будет достигать при $\alpha = 90^\circ$. В этом заключается основная проблема, которую необходимо решить обоснованием и поддержанием постоянного значения угла наклона рабочего органа для уничтожения сорной растительности в приствольной полосе плодовых деревьев с применением средств автоматизации (3.11). По данным компании Karcher установлено, что наибольшей эффективностью обладают грязевые вращающиеся фрезы, при этом требуемое давление не превышает 7 бар.

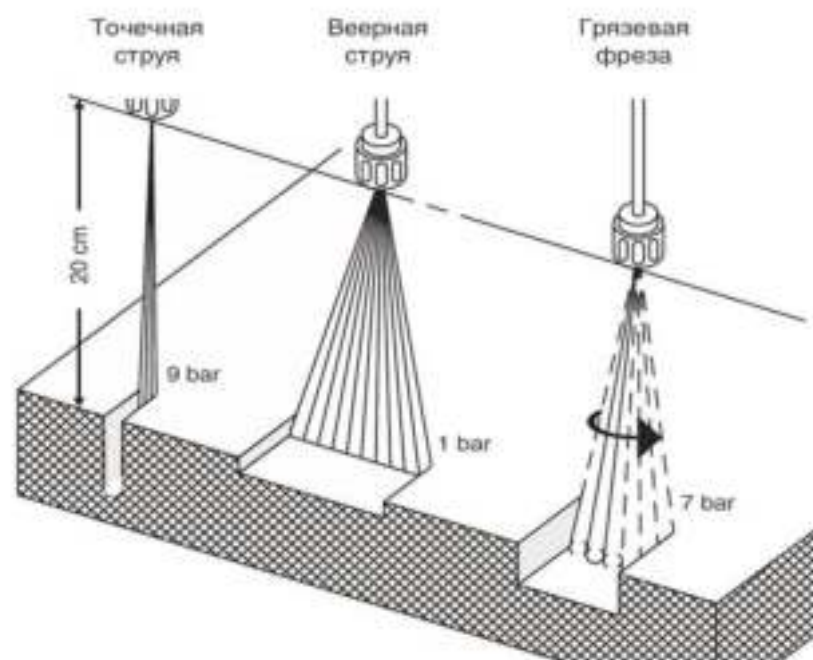


Рисунок 3.11 – Схема воздействия струи на поверхность в зависимости от формы форсунки

Для увеличения кинематической энергии струи и создания оптимальной формы струи используются различные зависимости силы действия струи на поверхность, учитывающие форму поверхности и угол наклона струи (рис. 3.12).

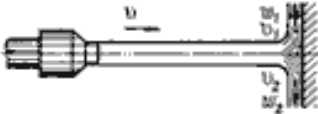


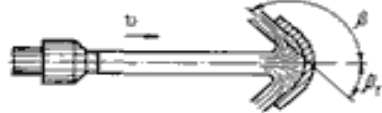
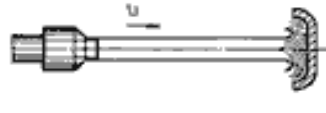
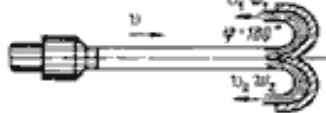

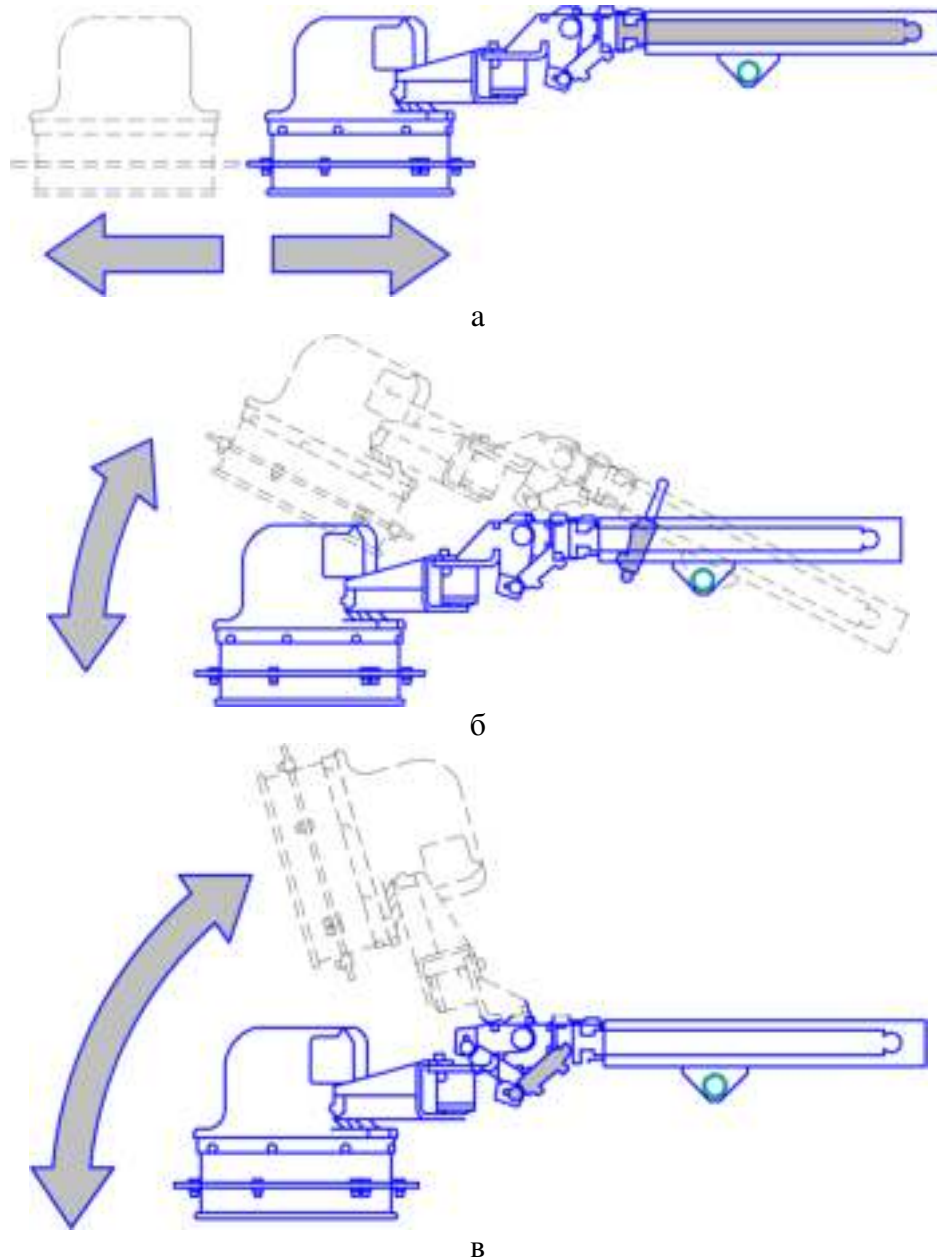
а)		$P = \frac{\gamma}{g} Qv$
б)		$P = \frac{\gamma}{g} Qv(1 - \cos \beta)$
в)		$P = \frac{\gamma}{g} Qv(1 - \cos \beta)$
г)		$P = \frac{\gamma}{g} Qv(1 + \cos \beta)$
д)		$P = \frac{2\gamma}{g} Qv$
е)		$P = \frac{2\gamma}{g} Qv$
жс)		$P = \frac{\gamma}{g} Qv \sin \alpha$

Рисунок 3.12 – Расчёт силы воздействия струи на поверхности различной формы

Учитывая существующие функциональные зависимости предложена рабочая головка имеющая ограничения в перемещении: по высоте от уровня опорной поверхности – не более 600 мм, вылет за поперечные габариты – не более 700 мм от исходного положения, угол поворота относительно опорной поверхности – до 65°, угол поворота относительно продольной оси – до 20° [86] и форсунка вращающаяся с внутренним

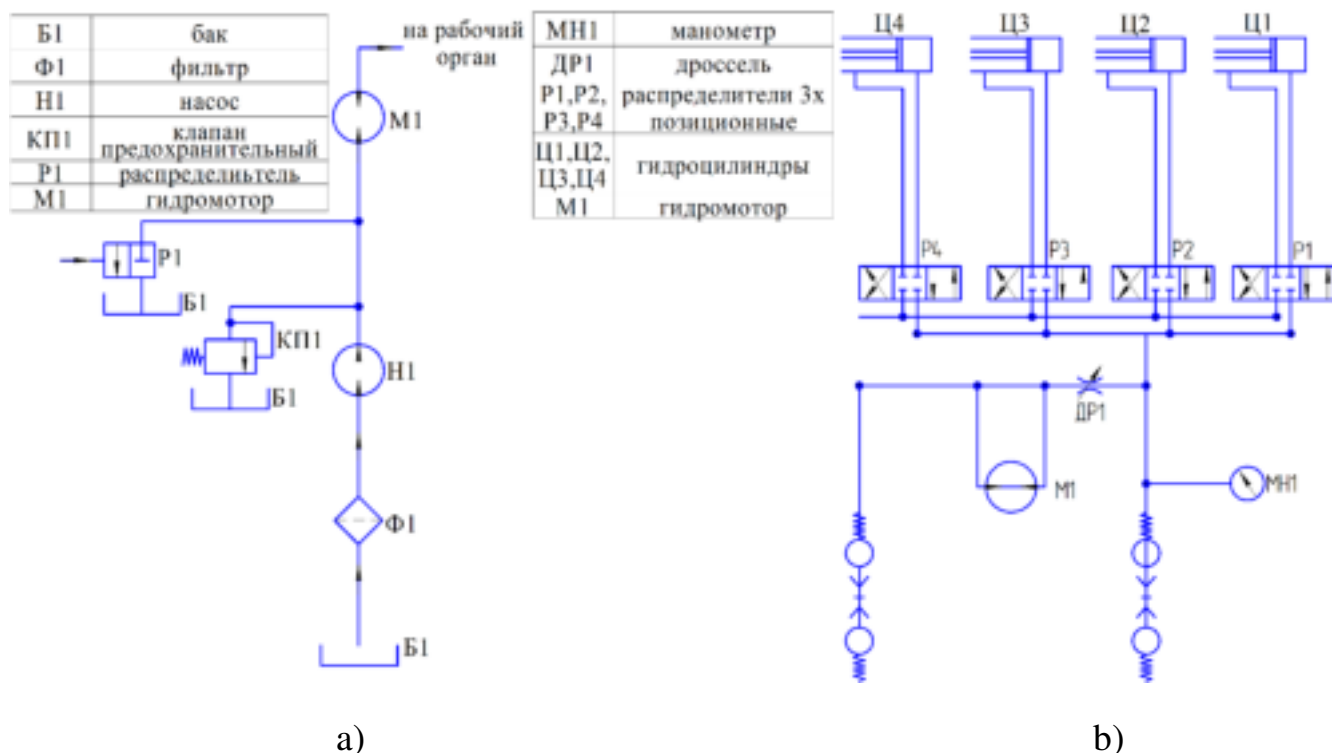
диаметром отверстия 0,5 мм, габаритными размерами 14 x 14 x 14 мм (рис. 3.13).



а - поперечное перемещение, б - угловое перемещение, в - наклон относительно продольной оси

Рисунок 3.13 – Положения рабочей головки распылителя.

Для оснащения рабочей головки гидравлическим приводом и управления ее положением разработана принципиальная электрическая схема управления (12 В), в которой электромагнитные клапаны, используемые в гидравлической системе управления движениями, имеют двухпозиционный тип (рис. 3.14).

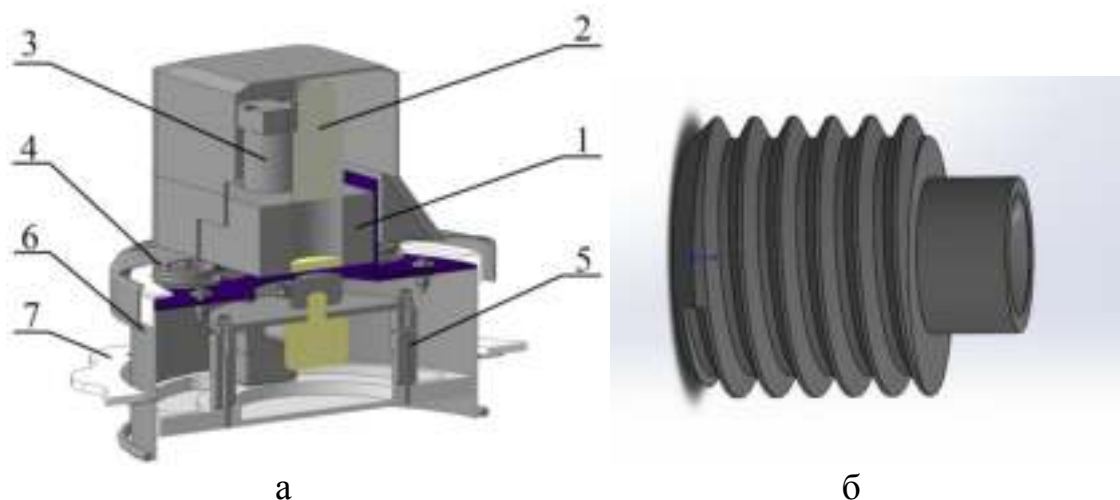


a) гидравлическая схема привода подачи рабочей жидкости,

b) гидравлическая схема привода рабочих органов.

Рисунок 3.14 – Гидравлические схемы привода подачи рабочей жидкости и привода рабочих органов.

В результате усовершенствован рабочий орган, и оснащен закрепленными на головке распылителя микроконтроллером, ультразвуковым датчиком и датчиками контроля сорной растительности, грязевой вращающейся форсункой фрезой, а отклоняющая штанга снабжена электро-актуаторами, чтобы при выполнении работ автоматически регулировались давление и объёмная подача насосного агрегата, наклон рабочей головки и расстояние до обрабатываемой поверхности (рис. 3.15).



а - рабочая головка; б - форсунка вращающаяся

1 – блок ротационного распределителя, 2 – гидрораспределитель рабочей жидкости, 3 – масляный гидромотор, 4 – ролик вращения, 5 – форсунки вращательные, 6 – защитный кожух, 7 – копир приствольной зоны, 8 – корпус микроконтроллера, 11 – микроконтроллер, 12, 13 – датчики определения густоты сорной растительности

Рисунок 3.15 – Устройство головки распылителя с системой автоматической регулировки давления подачи рабочей жидкости

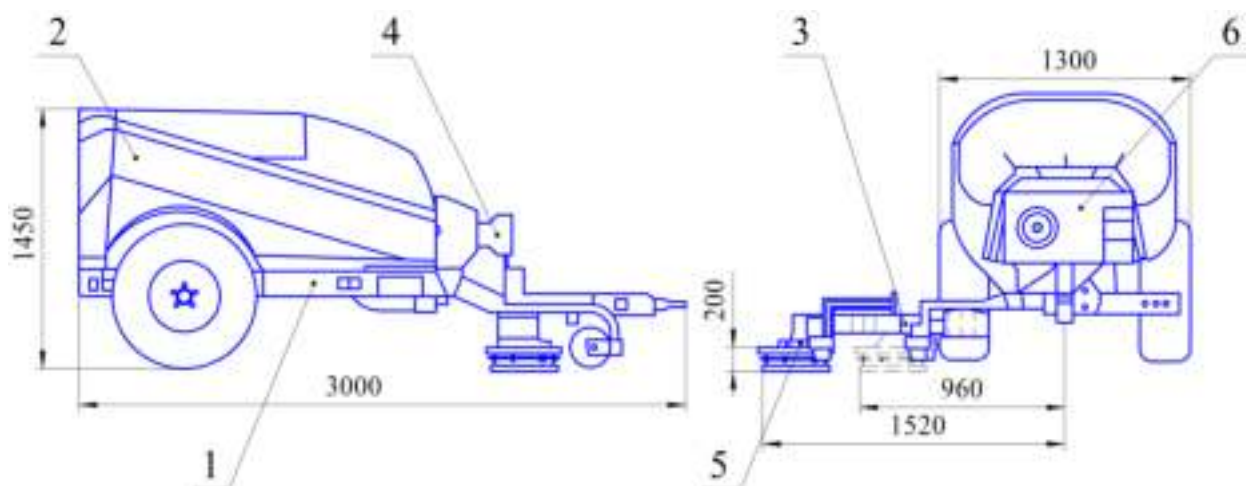
При работе устройства головки по показаниям ультразвукового датчика 10 поддерживается требуемый угол наклона и заданное расстояние между сорной растительностью и головкой распылителя 7. Микроконтроллер 11, обработав информацию от датчиков контроля сорной растительности 12 подает управляющий сигнал на насос на установку требуемого давления подачи рабочей жидкости.

3.4.2 Разработка конструкции автоматизированного устройства для борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне

По результатам теоретического обоснование параметров, анализа конструкций технических средств и на основе патента на изобретение RU 2708017 C1 от 03.12.2019 «Автоматизированное устройство для гидравлического удаления сорной растительности» разработано устройство

для гидравлического удаления сорной растительности без использования гербицидов.

Устройство представляет собой конструкцию прицепного типа. На раме смонтированы основные составные части и сборочные единицы, крепление которых производится посредством болтовых и сварных соединений (рис. 3.16).



1 – рама, 2 – бак для рабочей жидкости, 3 – направляющая выносной секции, 4 – привод вала отбора мощности (ВОМ), 5 – головка распылителя, 6 – защитный кожух гидронасоса с распределителем.

Рисунок 3.16 – Устройство для гидравлического удаления сорной растительности

Технические характеристики устройства представлены в таблице 3.4.

Привод устройства осуществляется от ВОМ и гидросистемы трактора, что обеспечивает передачу крутящего момента на насос сверхвысокого давления и привод головки распылителя. Для распыления рабочей жидкости используются четыре вращающиеся форсунки, вертикально установленные в корпусе головки распылителя (рис. 3.17).

При выполнении технологической операции удаления сорной растительности ротационный блок головки распылителя приводится в движение (вращение) двигателем от гидравлической системы трактора. Насос машины создает поток жидкости под высоким давлением до 1000 бар в направлении сопла форсунок, которые, распыляя рабочую жидкость, оказывают механическое воздействие на сорную растительность. Давление

насоса регулируется скоростью вращения вала отбора мощности, которое поддерживается на постоянной скорости от 500 до 600 об/мин [86].

Таблица 3.4 – Технические характеристики устройства для удаления сорной растительности

Параметр	Значение
Тип машины и агрегатирование	
Тип	Прицепная
Требование к ВОМ, мин ⁻¹	540
Дополнительное подключение	- гидросистема трактора
Гидравлика	
Емкость бака, л / Tank capacity, l	2000
Система фильтрации	- фильтр грубой очистки
Тип насоса	Поршневой
Штатное рабочее давление, МПа	100
Частота вращения вала насоса, мин ⁻¹	500-600
Расход насоса, л	13 (при 500 мин ⁻¹)
Предохранительный клапан, МПа	125
Другие клапаны	Перепускной с электрогидравлическим управлением и возможностью сброса давления в системе до нуля
Управление	
Тип	Дистанционное – проводное
Возможности управления	- положение рабочей головки - наклон рабочей головки - подача питания - включение/выключение подачи воды - управление вращением сопел - экстренное отключение
Защита растений	Механизм обхода растения рабочей головкой

В случае избыточного давления в системе подачи форсунок клапан сброса давления откалиброван на давление 1250 бар. В качестве рабочей жидкости используется вода центрального водоснабжения, не требующая

водоподготовки. Подача рабочей жидкости осуществляется из бака, с предварительной очисткой фильтром грубой очистки.



Рисунок 3.17 – Головка распылителя в работе.

С помощью пружины, закрепленной на направляющей, осуществляется обработка приствольной зоны, путем вращения (огибания) головки распылителя вокруг ствола дерева и её обратного возврата в рабочее положение после преодоления препятствия.

Управление скоростью вращения головки осуществляется с помощью панели управления, которая располагается в зоне управления на тракторе. Возможно как ручное, так и автоматическое управление подачей рабочей жидкости.

Расход воды, частота вращения ВОМ трактора и давление насоса контролируется поплавковым индикатором и информационным дисплеем пульта управления. Скорость движения контролируется по показаниям GPS спидометра, установленного в кабине трактора [179,86].

3.5. Создание универсальной роботизированной платформы для ухода за насаждениями и уборки урожая плодов

3.5.1 Обоснование параметров универсальной роботизированной платформы для ухода за насаждениями и уборки урожая плодов

Универсальная роботизированная платформа (УРП) должна выполнять основные виды технологических работ в интенсивных садовых промышленных насаждениях:

1. Мониторинг садовых насаждений;
2. Обработка почвы в приствольной полосе;
3. Скашивание залуженных междурядий;
4. Культивация почвы в междурядьях;
5. Уборка и транспортировка урожая.

Расчёты по обоснованию параметров универсальной роботизированной платформы приведены в Приложении Б.

Особенность ходовой системы роботизированной платформы УРП с двумя ведущими колёсами состоит в следующем: оси 2-х колёс перемещаются с одинаковой поступательной скоростью. Если все колёса одинаковым радиусом и перемещаются по опорной поверхности одинакового профиля, тогда угловые скорости их вращения также будут одинаковыми. В эксплуатации такие условия работы ведущих колёс роботизированной платформы выполнить невозможно. Радиусы колёс различаются вследствие разного давления в шинах и неодинакового износа, а также из-за различной вертикальной нагрузки на колёса. Каждое колесо роботизированной платформы проходит разный путь за одно и тоже время, что обусловлено неровностями дороги, необходимостью выполнения поворота и т.д. Таким образом, ведущие колёса должны иметь возможность вращения с неодинаковой частотой в соответствии с условиями их работы. Если они кинематически жёстко закреплены на валах, а валы установлены в жёстком корпусе, то скорости поступательного движения осей при движении

роботизированной платформы выравниваются принудительно за счёт буксования и проскальзыванию колёс относительно почвы, потому что буксование снижает, а скольжение повышает скорость поступательного движения колеса в сравнение с окружной [180]. Равенство поступательных скоростей осей ведущих колёс для случая, когда $v_k \neq v''_k$ можно выразить формулой 3.7:

$$v_k(1 - \delta') = v''_k(1 - \delta'') \quad (3.7)$$

где v_k , δ' и v''_k , δ'' - окружные скорости и буксование колёс соответственно одной и другой оси.

Примем, что индекс «один штрих» относится к колёсам, скорость которых больше, а индекс «два штриха» - к колёсам, скорость которых меньше. Тогда колёса со скоростью v_k будут забегающими, а со скоростью v''_k - отстающими. Решив формулу 3.7 относительно δ'' [180], получим формулу 3.8:

$$\delta'' = 1 - k_H(1 - \delta') \quad (3.8)$$

Коэффициент кинематического несоответствия привода ведущих колёс найден по формуле 3.9:

$$k_H = v_k / v''_k \quad (3.9)$$

Наличие кинематического несоответствия привода колёс ухудшает тяговые показатели роботизированной платформы. Наилучшие тяговые показатели роботизированной платформы теоретически развиваются при равенстве окружных скоростей $v_k = v''_k$, т. е. при $k_H = v_k / v''_k = 1$. Чем больше k_H , тем меньше используются сцепные свойства роботизированной платформы, так как уменьшается участие отстающих колёс в процессе тягообразования.

Сниженные тяговые показатели роботизированной платформы ведут к потере проходимости и увеличенному расходу электроэнергии [180].

Избежать повышенного буксования и проскальзывания ведущих колёс, вызываемого кинематическим несоответствием в их приводе, позволяет

дифференциал или установка электродвигателя на каждое колесо роботизированной платформы.

При текущих размерах роботизированной платформы разумнее установить электромотор на каждое колесо (рис.3.18), так как схема с дифференциалом дороже и у неё ниже механических КПД.

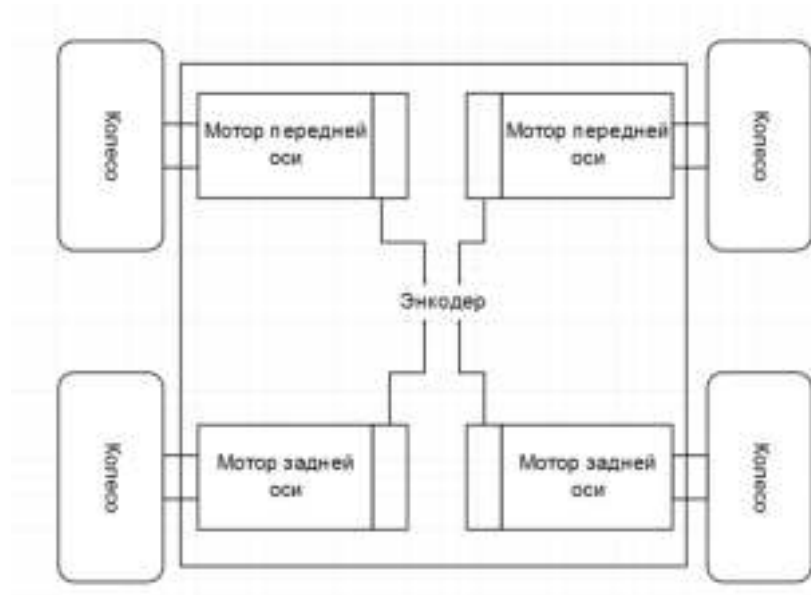


Рисунок 3.18 – Схема полного привода роботизированной платформы

Анализ конструктивно-технологических параметров роботизированной платформы в междурядьях садовых насаждений интенсивного типа показал применимость платформы с манипулятором для роботизированного сбора урожая плодов в междурядьях 2,5 и 4 м, с высотой кроны деревьев до 3-3,5 м (рис. 3.19) [181].

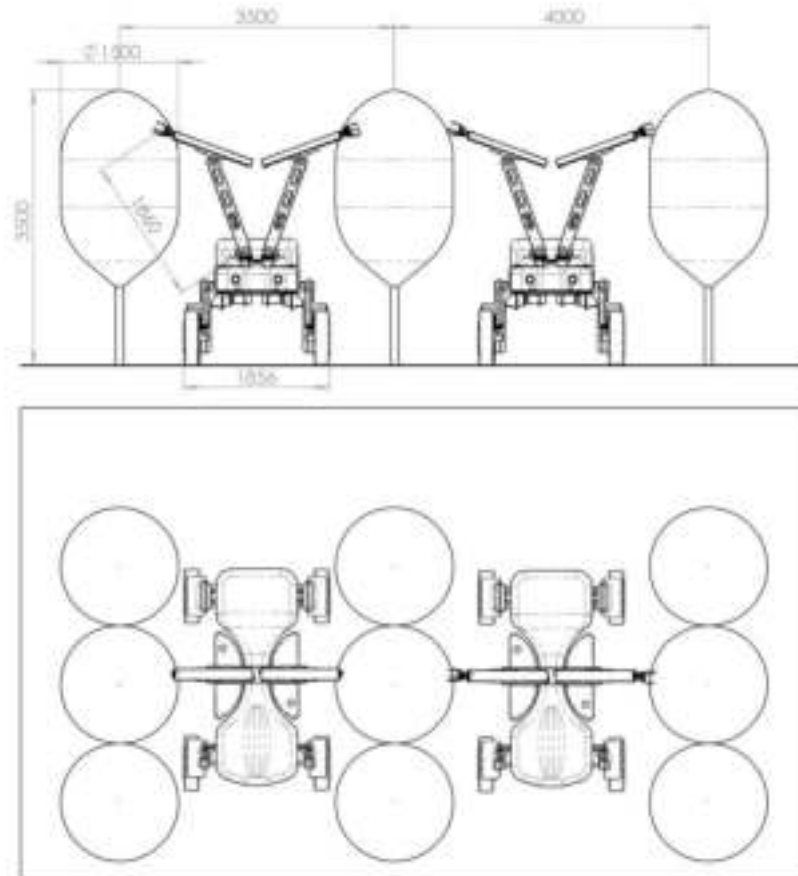
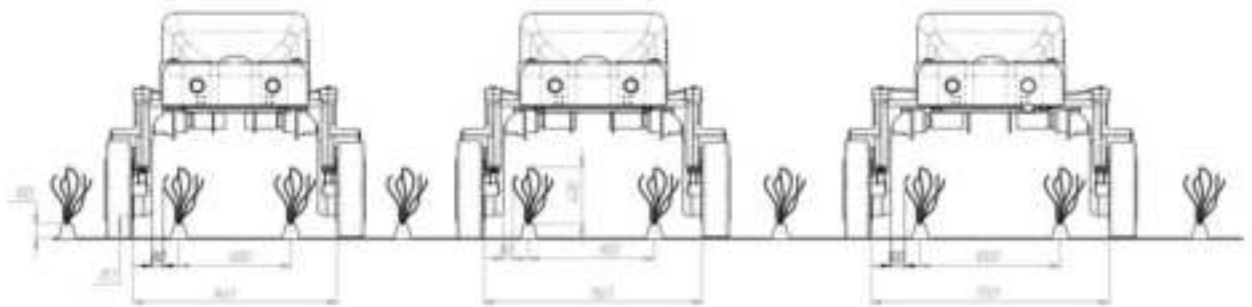
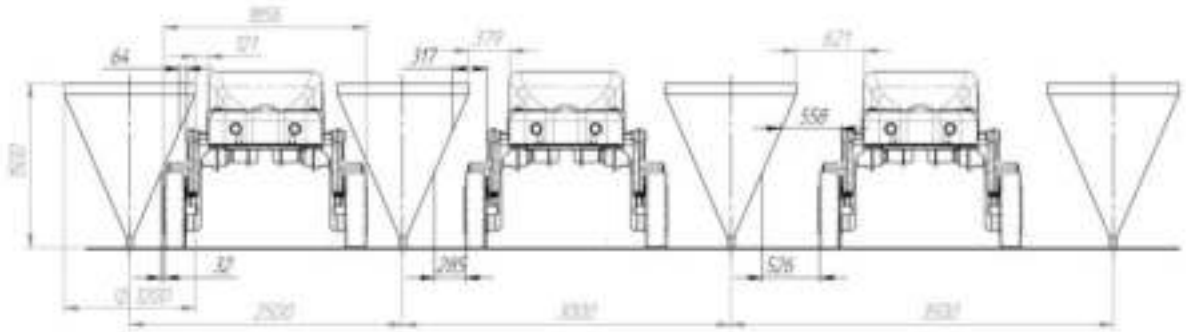


Рисунок 3.19 – Анализ конструктивно-технологических параметров УРП при сборе плодов

Помимо выполнения базовых технологических операций по уходу за интенсивными садами (обработка почвы в междурядьях, опрыскивание, скашивание и др.) конструктивные параметры платформы УРП позволяют применять платформу в междурядьях земляники садовой 80 и 90 см (рисунок 2.6 а) и междурядьях насаждений чёрной смородины 2,5 -3 м (рис. 3.20) [181].





б

а - междурядья земляники садовой 80 и 90 см, б - междурядья насаждений чёрной смородины

Рисунок 3.20 – Применение платформы УРП в междурядьях земляники садовой и чёрной смородины.

3.5.2 Разработка конструкции универсальной роботизированной платформы для ухода за насаждениями и уборка урожая плодов

На основе обоснованных конструктивно-технологических параметров и патентов на изобретение: № 2592904 С1 от 27.07.2016 «Самоходный робот-опрыскиватель для обработки растений земляники и других низкорастущих культур»; № 2539203 С1 от 20.01.2015 «Платформа для сбора плодов»; №2630397 С от 07.09.2017 «Беспилотный робот для магнитно-импульсной обработки растений» (Приложение С) разработан опытный образец универсальной роботизированной платформы для садоводства. Комплект конструкторской документации состоит из 12 сборочных чертежей формата А1, 118 чертежей детализации формата А3.

По результатам проведенных исследований с помощью средств САПР «КОМПАС-3D» и «Solidworks» визуализирована 3D модель (рис. 3.21-2.25) универсальной роботизированной садовой платформы в которой в качестве привода ходовой используются электрические мотор редукторы.



Рисунок 3.21 – 3D модель роботизированной садовой платформы без облицовки

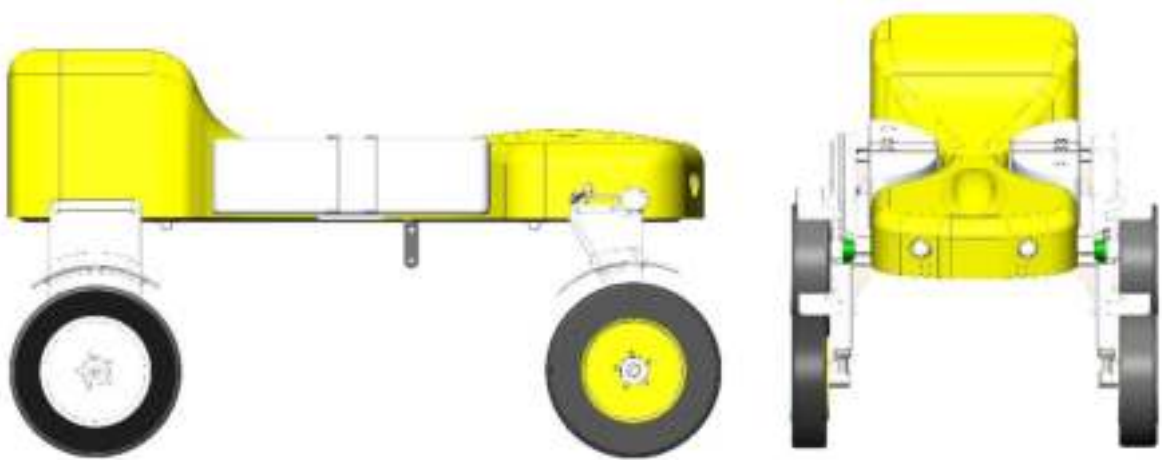


Рисунок 3.22 – 3D модели роботизированной садовой платформы

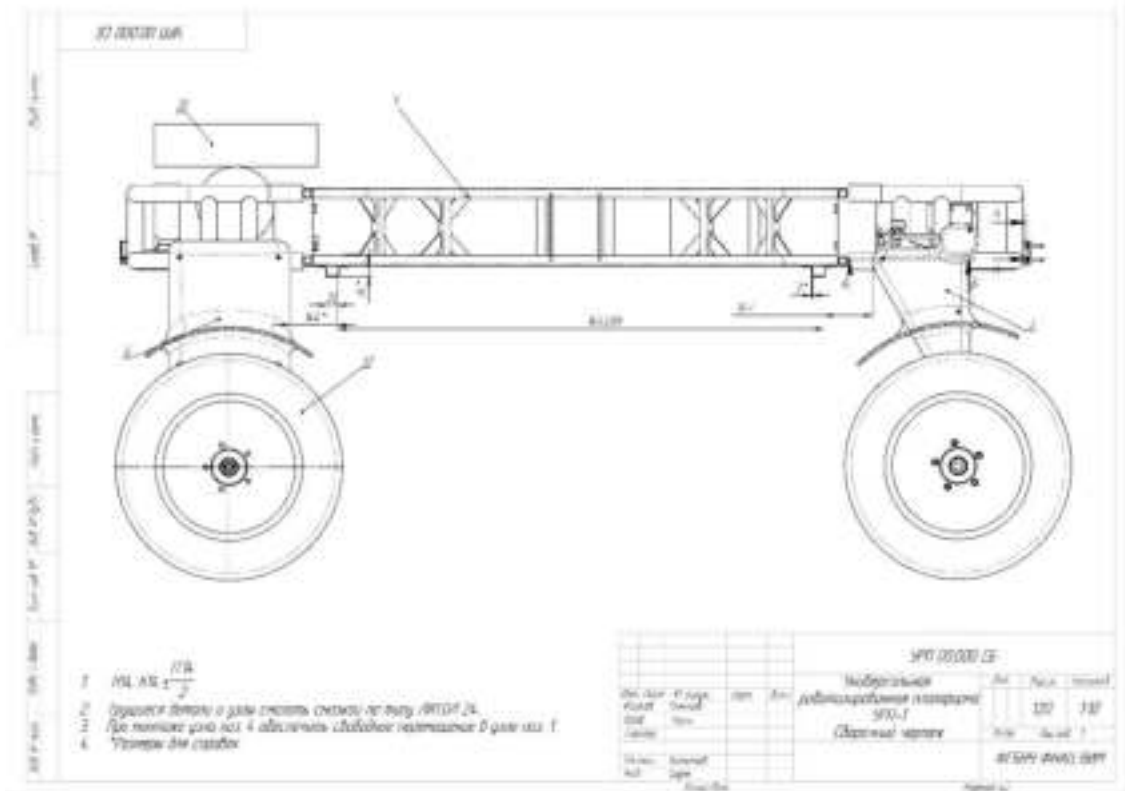


Рисунок 3.23 – Сборочный чертёж УРП-1 (вид сбоку)

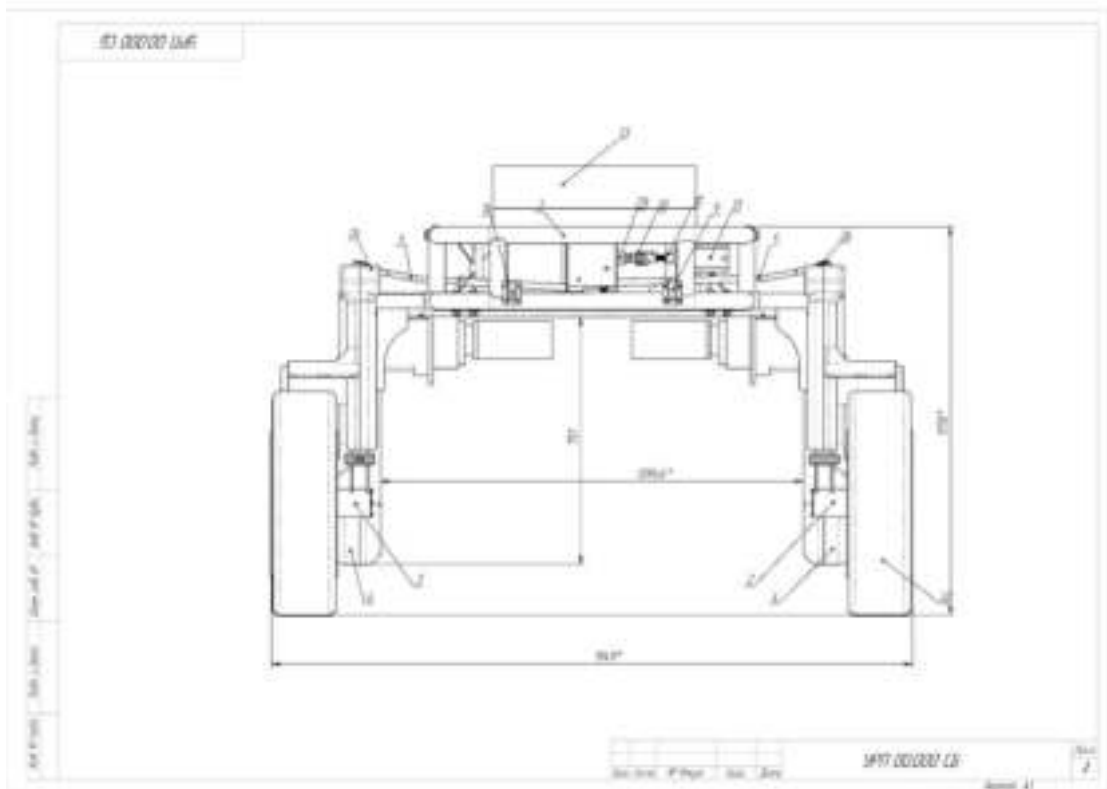


Рисунок 3.24 – Сборочный чертёж УРП-1 (вид спереди)

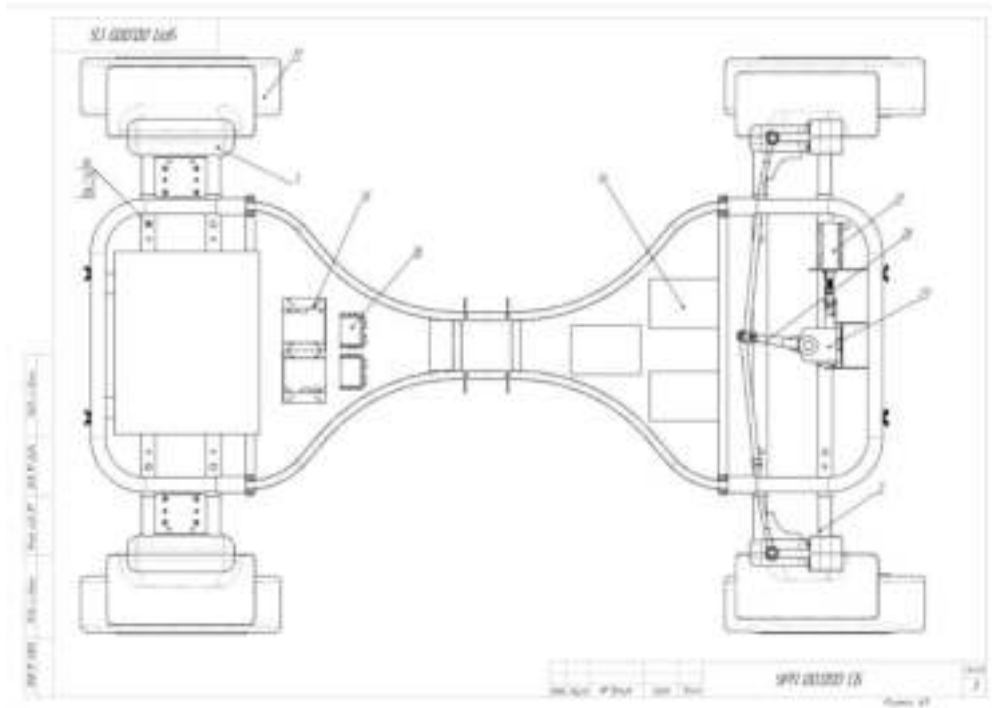


Рисунок 3.25 – Сборочный чертёж УРП-1 (вид сверху)

Расчёт несущей конструкции рамы платформы и узлов ходовой системы произведен с применением модуля конечно-элементарного анализа программы Solidworks simulation, основанной на применении метода конечных элементов (МКЭ). С помощью модуля физического моделирования визуализирована 3D кинематическая модель узлов платформы и создана сетка конечных элементов (*Finite Element Analysis, FEA*). Так расчёт колёсной стойки показал, что при статической нагрузке в 300 кг в продольном направлении, деформация стойки не превысит 8 мм (рисунок 3.26) [18]-[24].

Универсальная роботизированная платформа состоит из рамы со стойками, энергетической установки, электротрансмиссии, блоков электронной системы управления. В движение универсальную роботизированную платформу приводят 2 мотор редуктора ЕСМГ600-033U.

Платформа отличается от аналогов блочно-модульной конструкцией, увеличенным агропросветом, повышенной мощностью электропривода, проходимостью и высокоточной системой автоматического управления с

использованием ГЛОНАСС/GPS навигации и дистанционного управления (рис 3.27).

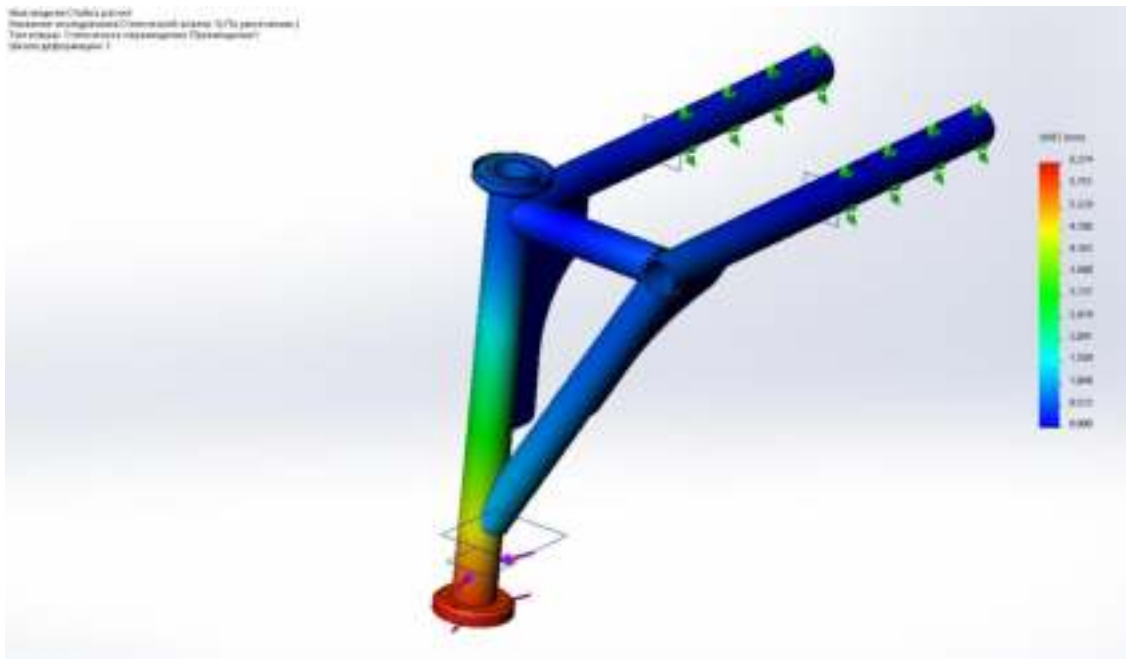


Рисунок 3.26 – Колесная стойка с приложенными усилиями



Рисунок 3.27 – Универсальная роботизированная платформа

Машину можно агрегатировать с разными технологическими модулями для выполнения трудозатратных и вредных для здоровья человека операций: роботами манипуляторами для деликатного сбора урожая, устройствами для

дифференцированного опрыскивания посадок, рыхлителями почвы, транспортными модулями (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Общая техническая характеристика УРП

№п.п	Основные параметры	Значение
1.	Марка машины	УРП
2.	Снаряжённая масса, кг	850
3.	Грузоподъёмность, кг	500
5.	Характеристика ходовой системы: Размер колёс, мм: - диаметр, не более - ширина, не более Крутящий момент на каждом из приводных колёс, Нм Колесная формула	колесный тип 650 200 330 4*2
6.	Габариты машины, не более, мм: -длина -ширина, регулируемая - высота, не более	2800,0 1840,0;1960,0;2080,0 1600
7.	Ширина колеи, база, мм: - передних колёс - задних колёс -база	1800 1800 1900
8.	Дорожный просвет, мм	1200
10.	Наименьший радиус поворота, не более, мм	3500
11.	Скорость поступательного движения, км/ч -рабочая -транспортная	2-6 8
12.	Преодолеваемый подъем, град. Угол въезда, град. Угол съезда, град.	15 20 18
13.	Энергетическая установка: -тип -мощность генератора, Вт -напряжение силовой сети, В	Бензо-генератор 5500 48

Серия подобранных по результатам расчетов мотор-редукторов ЕСМ, включает планетарные редукторы и двигатели постоянного тока на магнитах из феррита, которые отличаются бесшумной плавной работой,

Таблица 3.6 – Технические характеристики драйвера двигателя PLN40

Наименование	Показатель
Рабочее напряжение	10÷30 Vcc / 10÷30 Vdc
Номинальная сила тока	44 А
Рабочая частота	16 kHz
Температура окружающего воздуха	0-40 С°
Время разгона	0.5-10 сек
Время затухания	0.5-10 сек
Диапазон ограничения тока	100%-30%
Регулировка скорости	Внешний сигнал 0-10Vdc или потенциометр 5-10 КОм
Световые индикаторы	3 светодиода
Габаритные размеры	146 ×177×33мм
Предохранитель	IP10
Масса	0,460 кг

- выход TR1: регулирует ускорение (0.5÷10 сек.);
- выход TR2: регулирует ток ограничения до 44А. Пиковое значение силы тока может быть в три раза больше номинального значения.
- выход TR3 на: регулирует торможение (0.5÷10сек).

Питание мотор редукторов осуществляется за счет бензогенератора LIFAN S-PRO 5500 и силовой батареи LiFePo4 на 24V 105Ah, что позволяет работать платформе при полной нагрузке не менее 8 часов непрерывной работы и обеспечивает восстановление заряда АКБ не более чем за два часа. Система рулевого управления представляет собой рулевой редуктор червячного типа с шаговым двигателем и контроллером питания шагового двигателя.

При управлении через пульт ДУ производится маневрирование платформы посредством нажатия на пульте ДУ клавиш, соответствующих маневру. Используя его, оператор проводит обучение робота и картографирование маршрутов для отображения на планшетном компьютере.

Электрическая схема соединения составных элементов УРП (рисунок 3.30) предусматривает запуск и питание платформы от двух источников: генератора Lifans-pro 5500 и блока аккумуляторов Delta GX12-60. Основным

источником питания являются аккумуляторы, которые благодаря определенному соединению (последовательно между собой и попарно параллельно) подают напряжение 24В на контроллеры, которые управляются дистанционно пультом управления. Оператор с помощью пульта посылает сигналы на контроллеры ТВ6600 и PLN40, а они в свою очередь управляют двигателями. Во время работы УРП генератор включается для подзарядки АКБ, при недостаточной мощности АКБ, для питания подключаемых модулей к УРП. При разрядке аккумуляторов меньше 20% включается система запуска генератора, которая включает в себя: регулировка воздушной заслонки, автоматическая регулировка оборотов двигателя при изменении нагрузки на аккумулятор, автозапуск генератора при помощи стартера, слежение за уровнем топлива.

Принцип работы автозапуска генератора: при необходимости запуска генератора включается система, которая следит за уровнем топлива. При достаточном уровне топлива, генератор включает цепь зажигания, проверяется положение воздушной заслонки. Пред запуском стартера воздушная заслонка должна быть закрыта. Если заслонка открыта, то с помощью сервопривода воздушная заслонка переводится в закрытое положение. Далее с помощью счетчика оборотов (который состоит из аналогового усилителя, датчика холла и магнита, прикрепленного на маховик двигателя) мы считаем количество оборотов в минуту. (Стартер крутит маховик с частотой 800 об/мин. Запущенный двигатель работает на холостых оборотах с частотой 1500 об/мин.) С помощью контроллера запуска двигателя мы фиксируем тот момент, при котором двигатель запустился. После набора холостых оборотов мы открываем воздушную заслонку с помощью сервопривода и генератор работает в своем номинальном режиме.

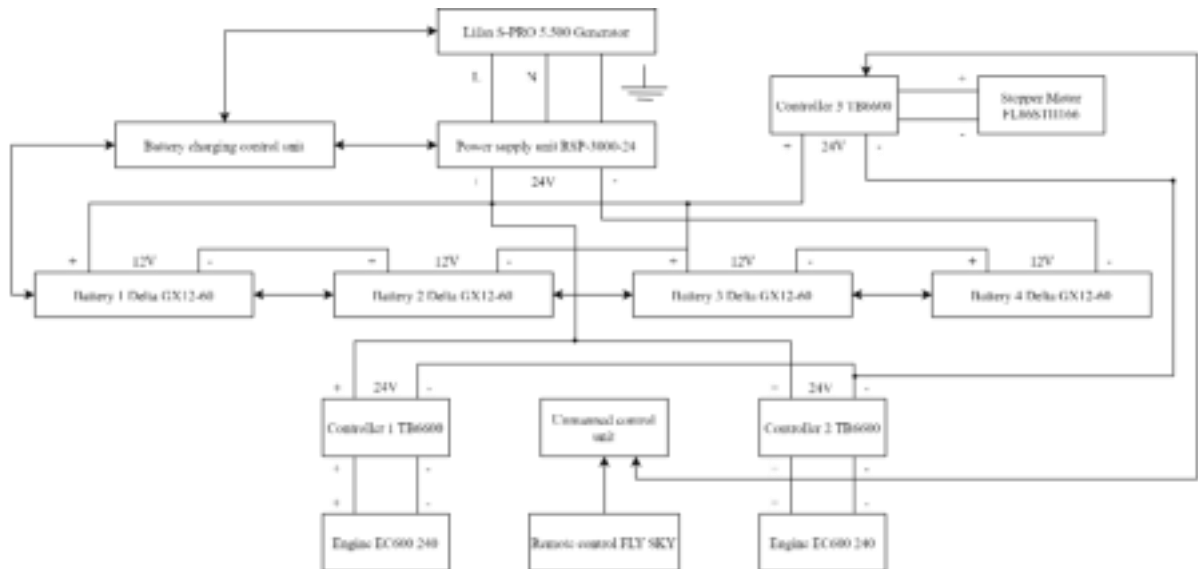


Рисунок 3.30 – Принципиальная электрическая схема управления УРП

Установленный энкодер на электродвигателях позволяет рассчитать окружную скорость на каждом колесе и управляющим сигналом нивелировать буксование и скольжение колёс, что приведёт к повышенному сцеплению и тяговым показателям.

Данные параметры рассчитаны для одного электродвигателя.

Общее потребление всех компонентов составляет:

Управляющая электроника и датчики: 2,5 Вт

Камера: 2 Вт

Электродвигатели: 1,5 кВт

Общая потребляемая мощность: 4,5 кВт

Объём выбранных батарей составляет 9600 Ватт час.

Время работы вычисляется по формуле 3.10:

$$t = W/P \quad (3.10)$$

где t – время работы в часах,

W – ёмкость батареи в ватт часах,

P – общая потребляемая мощность, ватты.

Подставив необходимые значения в формулу $t = 9600/4500$, получено время работы, которое составляет 2.2 часа без подзарядки, что соответствует требованиям промышленных агротехнологий в садоводстве.

Разрабатываемая схема управления скоростью двигателями входит в блок управления УРП. Она согласовывает контроллер двигателей PLN 40, который предусматривает только ручное управление, и разрабатываемую интеллектуальную систему управления УРП, в частности управления скоростью двигателями.

На схеме (рис. 3.31) указано, что скорость управляется путем изменения напряжения на входе 2, для изменения напряжения интеллектуальной системы управления УРП, необходимо создать устройство, которое будет преобразовывать данные с центрального блока управления в напряжение 0-10 для управления скоростью двигателями с помощью контроллера PLN 40.

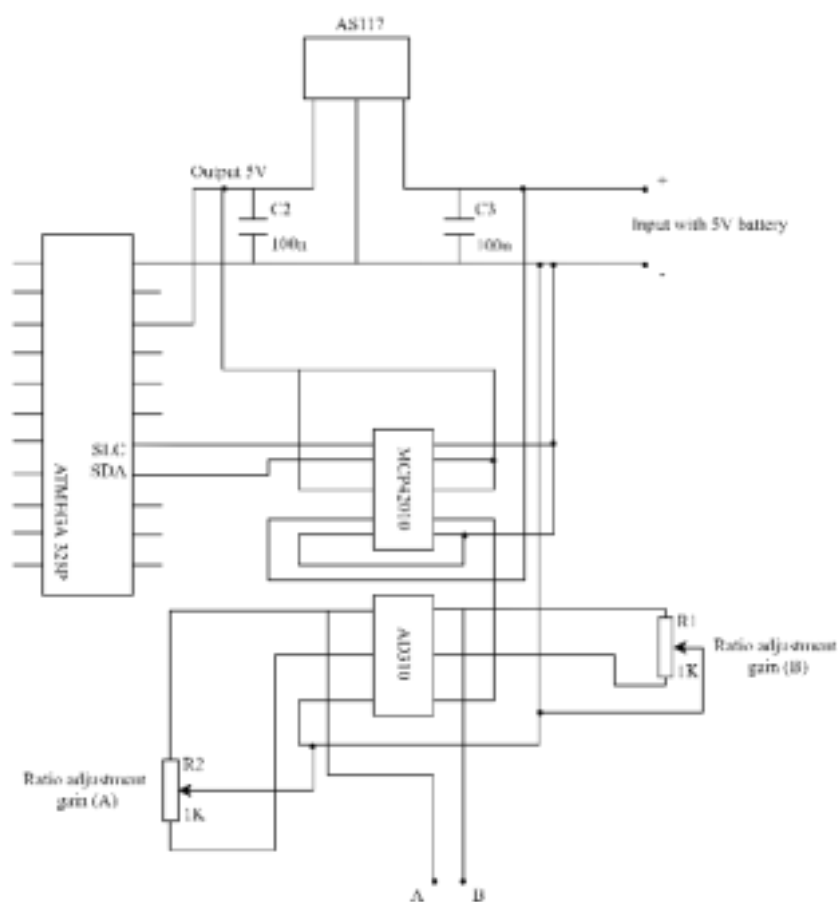


Рисунок 3.31 – Схема управления скоростью двигателями

Для увеличения диапазона напряжения используем двухканальный операционный усилитель AD310 с коэффициентом усиления 2. Для

подстройки коэффициента усиления используем подстрочные резисторы на каждый канал.

Принцип работы схемы управления скоростью двигателями: напряжение 12В от АКБ поступает на стабилизатор напряжения AS117, на выходе формируется устойчивое напряжение 5В, от него питается микроконтроллер, цифровой потенциометр. В микроконтроллере ATMEGA 328P формируется цифровой сигнал (степень скорости двигателя) и подается на цифровой потенциометр, который преобразовывает цифровой сигнал в сопротивление. После формирования управляющего напряжения, оно поступает на операционный усилитель в котором усиливается до значений контроллера PLN 40. Для преобразования цифрового сигнала в аналоговый используем цифровой двухканальный потенциометр MCP42010-E/SL, который может разбивать напряжение 0-5В на 128 точек. Потенциометр управляется через последовательный периферийный интерфейс (spi). Для формирования опорного напряжения используется преобразователь AS117, который стабилизирует входные напряжения 5-20 В в стабилизированное 5 В. Разработанная система управления электроприводами ходовой части отвечает технологическим требованиям и обеспечивает скорость движения агрегата в диапазоне рабочих скоростей от 0-8 км/ч, соблюдение постоянной рабочей скорости в течение рабочей смены.

3.5.3 Имитационное моделирование подвижности и автономности универсальной роботизированной платформы в различных условиях эксплуатации

На основе имитационного математического моделирования в различных условиях эксплуатации проведен анализ подвижности робототехнического средства. Для проверки модели проведены расчеты динамического поведения корпуса робота при различных режимах движения (рис. 3.32) [175].

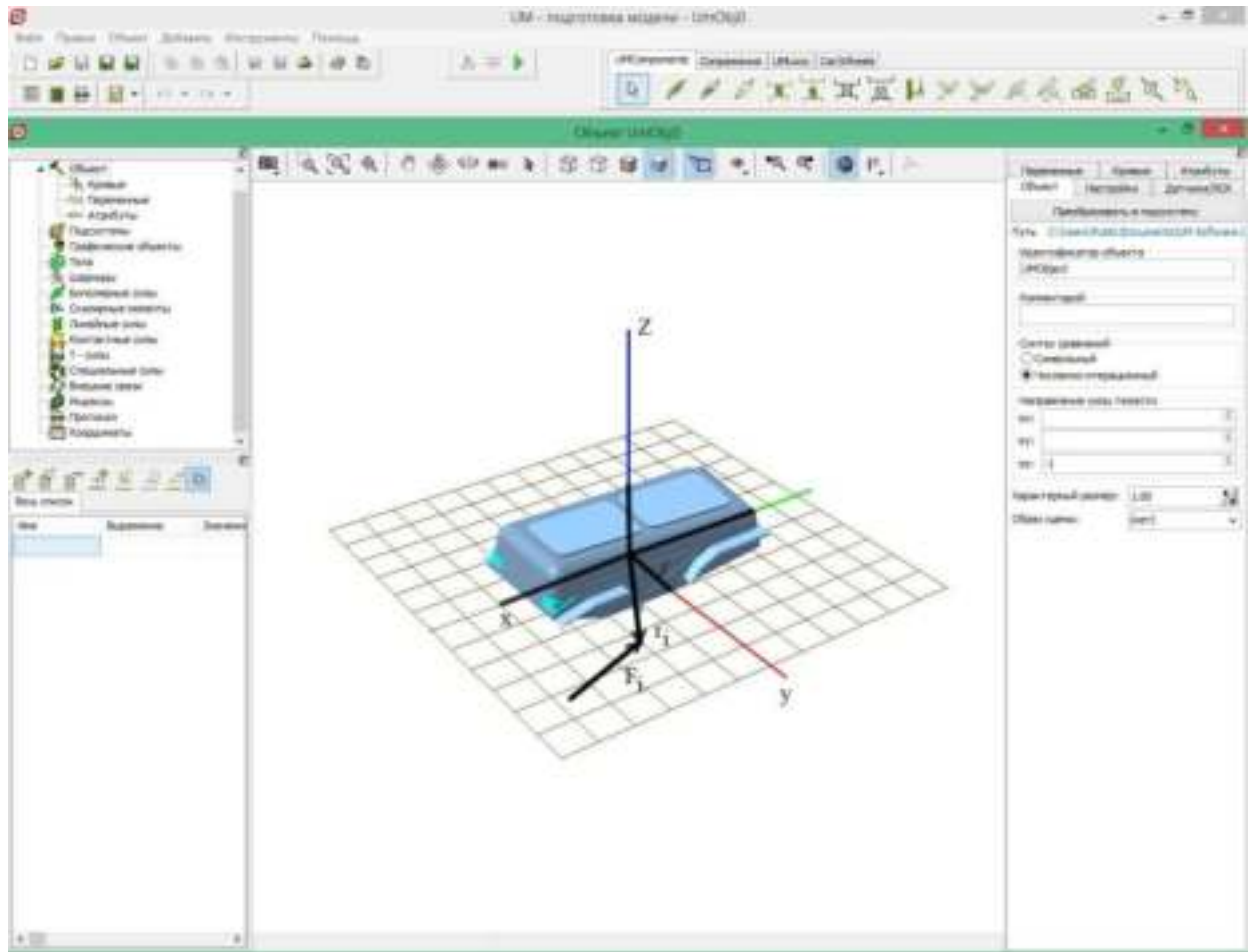


Рисунок 3.32 – Динамическая модель корпуса УРП

В программном комплексе многотельного проектирования математическая модель УРП представлена в виде совокупности тел с различными упругодемпфирующими характеристиками. Данный метод позволил на этапе проектирования провести оптимизацию конструктивных параметров [182]:

Уравнение динамики корпуса формула 3.11:

$$\begin{cases} m\ddot{S}_c = \sum_1^{k_f} F_i \\ m\ddot{\omega}_c = \sum_1^{k_f} (A^T F_i) \cdot r_i + \sum_1^{k_m} M_{ei} + I \cdot \omega_c \end{cases}; \quad (3.11)$$

где $\ddot{S}_c = (X, Y, Z)^T$ – вектор координат центра масс корпуса в неподвижной системе координат; $\omega_c = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$ – вектор проекции угловой

скорости корпуса на подвижную, связанную с корпусом, систему координат; m – диагональная матрица масс тела; $j = \text{diag}(J_x, J_y, J_z)$ – диагональная матрица главных центральных моментов инерции корпуса; F_i – трехмерный вектор внешних сил, действующих на точку, заданный в неподвижной системе координат; r_i – радиус-вектор точки приложения силы в подвижной системе координат; M_{ei} – трехмерный вектор внешних моментов, действующих на точку, заданный в подвижной системе координат; k_m – количество внешних моментов; $I \cdot \omega_c$ – вектор моментов гироскопических сил; I – вектор кинетического момента тела; A – ортогональная матрица поворота (ориентации) – переводит вектор, заданный в подвижной системе координат, в неподвижную систему.

В описании модели используются кинематические уравнения Эйлера (формула 3.12):

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = (\omega_x \cos \psi - \omega_y \sin \psi) / \cos \theta \\ \dot{\theta} = \omega_x \sin \psi + \omega_y \cos \psi \\ \dot{\psi} = (\omega_y \sin \psi - \omega_x \cos \psi) \operatorname{tg} \theta + \omega \end{cases} ; \quad (3.12)$$

где φ, θ, ψ – корабельные углы Эйлера – углы последовательных поворотов вокруг осей x, y, z – связанной с корпусом системой координат [11].

Матрица поворота определяется через углы, формула 3.13:

$$A = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\cos \theta \sin \psi & \sin \theta \\ \sin \varphi \sin \theta \cos \psi + \cos \varphi \sin \psi & -\sin \varphi \sin \theta \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi & \sin \varphi \cos \theta \\ -\cos \varphi \sin \theta \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi & \cos \varphi \sin \theta \sin \psi + \sin \varphi \cos \psi & \cos \varphi \cos \theta \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

Исходными данными для расчёта выступают: максимальная масса $m = 980 \text{ кг}$ номинальная мощность тягового двигателя $N_e = 750 \text{ Вт}$, моменты инерции, относительно осей x, y, z , $J_x = 440,9$; $J_y = 1344,7$; $J_z = 1614,2$; $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, радиус колеса $r = 0,52 \text{ м}$.

По результатам моделирования получены графики динамики разгона и движения роботизированной платформы с полной загрузкой массы. Время набора рабочей скорости 4 м/с составляет не более 5 секунд (рис. 3.33).

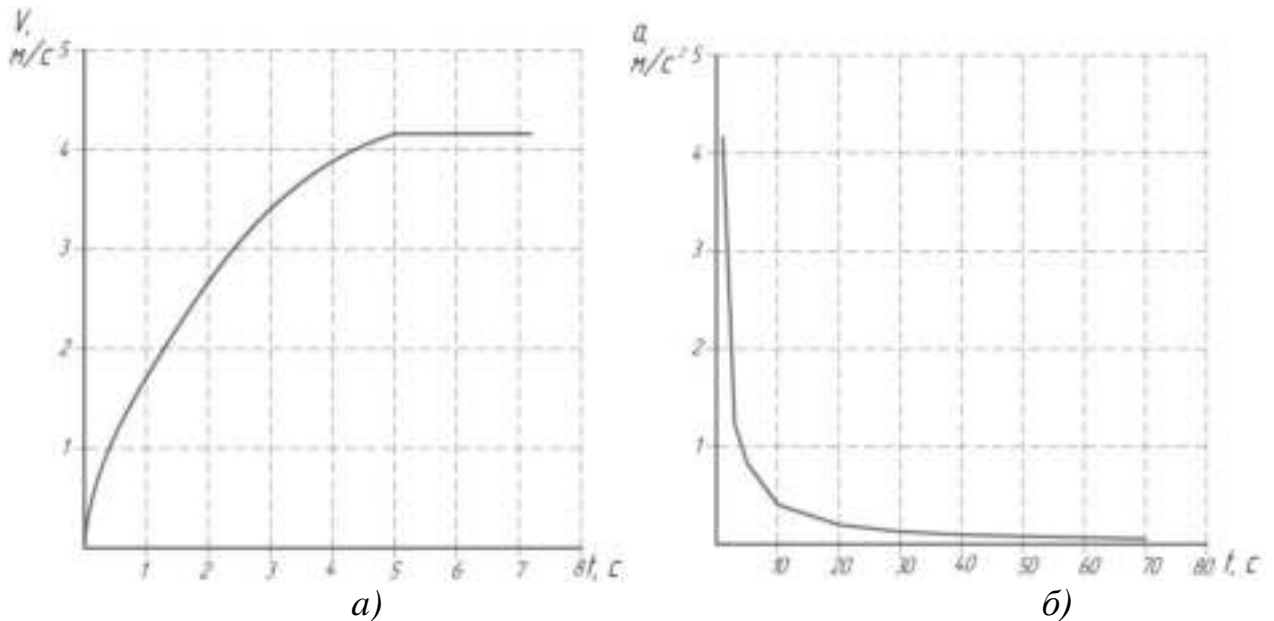


Рисунок 3.33 – Графики параметров движения: а – график изменения скорости; б – график изменения ускорения

Для определения автономности проведения УРП на примере технологической операции опрыскивания низкорастущих культур с магнитно-импульсной обработкой растений проведен расчет на основе анализа совокупности информации о состоянии насаждений (возраст, тип междурядий, плотность посадки), технических параметрах работа, используемого для выполнения задания; норматив времени и объём технологического задания [183].

Обобщенный показатель локальной автономности выполнения задания рассчитан по совокупности единичных показателей:

- показатель уровня выполнимости задания в автономном режиме в соответствии с приоритетами их выполнения (F^*);
- временные затраты на выполнение задания (F_1);
- энергетические затраты на выполнение задания (F_{en}); (рис. 3.34).



Рисунок 3.34 – Схема показателей автономности робототехнического средства

Расчёт обобщённого показателя локальной автономности F_a проведен в соответствии с функциональной зависимостью:

$$F_a = f(F^*, F_i, F_{en});$$

Для решения использовался метод расчёта функциональной зависимости F^*, F_i, F_{en} со взвешенной зависимостью коэффициентов:

$$F_a = k^* \cdot F^* + k_i \cdot F_i + k_{en} \cdot F_{en};$$

где k^*, k_i, k_{en} – весовые коэффициенты, определяющие влияние различных проявлений автономности на обобщённый показатель локальной автономности.

Расчет уровня выполнимости задания в автономном режиме F^* выполнен по формуле 3.14 [169]:

$$F^* = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^a \cdot F_i^m}{\sum_{i=1}^n F_i^m}; \quad (3.14)$$

где N_i^a – оценка возможности выполнения данного компонента задания в автономном режиме, F_i^m – функциональная значимость данного компонента задания, n – число компонентов задания.

Таким образом, F^* достигает максимального значения 1, если всё задание может быть выполнено роботом автономно, равняется 0, если робот может выполнять задание только в режиме дистанционного управления, и

принимает промежуточные значения, если часть задания выполняется автономно, а для части требуется вмешательство человека-оператора.

Расчет временных затрат на выполнение задания F_i выполнен по формуле 3.15 [169]:

$$F_i = F_{i*} \cdot \prod_{i=1}^m k_i^{c_i} \cdot p_i; \quad (3.15)$$

где F_{i*} – оценочное время выполнения задания без учёта вероятностных факторов, p_i – вероятность свершения события, ведущего к проявлению поправочного коэффициента, $k_i^{c_i}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние события на время выполнения задания. Значения поправочных коэффициентов определяются эмпирическим путём. Затем происходит сравнение со временем, допустимым для выполнения задания.

Расчет энергетических затрат на выполнение задания F_{en} выполнен по формуле 3.16 [169]:

$$F_{en} = F_{en*} \cdot \prod_{i=1}^m k_i^{c_i} \cdot p_i; \quad (3.16)$$

где F_{en} – оценочная величина затрат энергии роботом для выполнения задания без учёта вероятностных факторов, p_i – вероятность свершения события, ведущего к проявлению поправочного коэффициента, $k_i^{c_i}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние события на суммарные энергозатраты для выполнения задания. Затем происходит сравнение F_{en} с доступными для работа энергозапасами при выполнении задания [169].

По результатам расчёта обобщенный показатель локальной автономности выполнения задания робототехническим средством на опрыскивании низкорастущих культур с магнитно-импульсной обработкой растений составляет 57,2%:

$$F_a = (k^* \cdot F^* + k_i \cdot F_i + k_{en} \cdot F_{en}) \cdot 100\% = (0,8 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,129 + 0,9 \cdot 0,125) \cdot 100\% = 57,2\%$$

Предложенная методика расчета автономности не накладывает ограничений на номенклатуру и количество единичных и обобщенных показателей, принимаемых во внимание [183].

Полученное значение обобщенного показателя локальной автономности показывает, что для робототехнического средства сельскохозяйственного назначения этот показатель достаточно высокий в сравнении с другими аналогичными разработками.

3.6 Создание роботизированного манипулятора для съема плодов

3.6.1 Обоснование параметров роботизированного манипулятора для съема плодов

Предполагаемые массо-габаритные параметры роботизированного манипулятора: общая масса манипулятора -45 кг, масса поднимаемого груза на полном вылете плеча -2 кг, расстояние полного вылета верхнего плеча – 650 мм, расстояние полного вылета верхнего и нижнего плеч 2100 мм (3.35).



Рисунок 3.35 – Габаритные характеристики роботизированного манипулятора

Создана имитационная модель роботизированного манипулятора в среде Simulink. Кинематическая схема приведена на рисунке 3.36.

Манипулятор имеет 4 степени подвижности, 3 из которых вращательные и одно поступательное. Особенность этого привода в том, что вторая и третья подвижности управляются линейными приводами.

Решение задач кинематики

Построение специальной системы координат [184]

Построим системы координат Денавита-Хартенберга для данного манипулятора. Для этого:

1. Построим абсолютную систему координат $O_0X_0Y_0Z_0$, направив Z_0 вдоль оси первого сочленения в направлении схвата.
2. Инициализация и цикл: повторить шаги 3-6 для $i = 1, 2$.
3. Направить Z_i , вдоль оси $(i + 1)$ – го шарнира. При $i = N$ ось Z_N сонаправлена Z_{N-i} .
4. Начало i – й системы координат – в точке пересечения осей Z_{i-1} и Z_i или в точке пересечения оси Z_i и общей нормали к осям Z_{i-1} и Z_i (если они не пересекаются).
5. Направить ось X_i вдоль общей нормали к осям Z_{i-1} и Z_i (вдоль вектора $z_{i-1} \times z_i$, где z_{i-1} и z_i – орты соответствующей системы координат).
6. Направить ось Y_i так, чтобы полученная система координат была правосторонней.
7. Найти параметры по пунктам 8-11 для $i = 1, 2$.
8. Параметр d_i равен расстоянию от начала $(i - 1)$ системы координат до точки пересечения осей Z_{i-1} и X_i , измеренному в направлении оси Z_{i-1} .
9. Параметр a_i равен расстоянию от точки пересечения осей Z_{i-1} и X_i до начала i -й системы координат, измеренному в направлении оси X_i .

10. Параметр q_i равен углу поворота оси X_{i-1} вокруг оси Z_{i-1} до совпадения с осью X_i . В нашем случае является обобщенной координатой во всех трёх звеньях.

11. Параметр α_i равен углу поворота оси Z_{i-1} вокруг оси X_i до совпадения с осью Z_i (табл. 3.7).

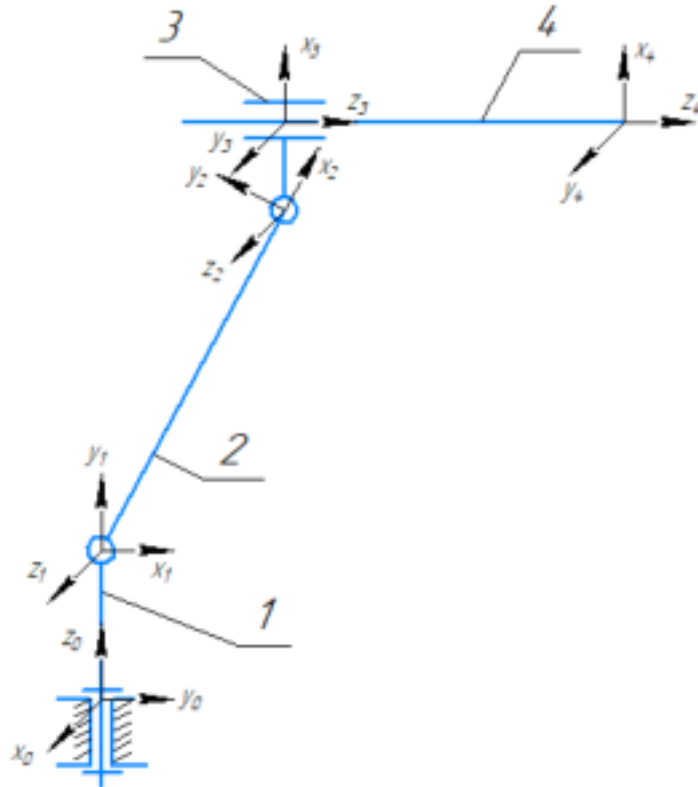


Рисунок 3.36 – Кинематическая схема заданного манипулятора.

Прямая задача кинематики. Системы координат, привязаны к сочленениям степеней подвижности манипулятора

Таблица 3.7 – Параметры Денавита-Хартенберга для манипуляционного робота

	a	d	q	α
1	0	L1	q1	$\pi/2$
2	L2	0	q2	0
3	L3	0	q3	$\pi/2$
4	0	q4	0	0

q_1, q_2, q_3 – обобщенные координаты, определяющие положение вращательных степеней подвижности.

q_4 – обобщенная координата поступательной степени подвижности.

Длины звеньев: $L_1 = 0.22$, $L_2 = 1.05$, $L_3 = 0.13$. Матрица преобразования между двумя степенями подвижности в общем виде в координатах Денавита-Хартенберга. Прямая позиционная задача состоит в том, чтобы по заданному вектору обобщенных координат $q = (q_1, q_2, \dots, q_N)^T$ найти положение и ориентацию его схвата $s = f(q)$. Положение и ориентацию схвата найдём в форме матрицы однородного преобразования [185], формула 3.17:

$$T = \begin{pmatrix} R & p \\ 000 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

Пусть $A_i, i = 1, 2, \dots, N$ – однородные матрицы, задающие переход от системы координат i – го звена к системе координат $(i - 1)$ – го звена. Тогда $T_N = A_1 A_2 \dots A_N$ – решение поставленной задачи. Также введем $T_i = T_{i-1} A_i$ для $i = 1, 2, \dots, N$, при этом $T_0 = E$.

Представив каждое из преобразований для совмещения систем координат в виде соответствующей матрицы, получим формулу 3.18:

$$A_i(d_i, a_i, q_i, \alpha_i) = \begin{pmatrix} c_i & -c_{\alpha i} s_i & s_{\alpha i} s_i & a_i c_i \\ s_i & c_{\alpha i} c_i & -s_{\alpha i} c_i & a_i s_i \\ 0 & s_{\alpha i} & c_{\alpha i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

Здесь: $c_i = \cos q_i$, $s_i = \sin q_i$, $c_{ij} = \cos(q_i + q_j)$, $s_{ij} = \sin(q_i + q_j)$.

Подставим в матрицы преобразования параметры, найденные ранее, тогда:

$$T_1 = A_1 = \begin{pmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$T_2 = A_1 * A_2 = \begin{pmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & l_1 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & l_1 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{pmatrix} c_1 c_2 & -c_1 s_2 & s_1 & l_1 c_1 c_2 \\ s_1 c_2 & -s_1 s_2 & -c_1 & l_1 s_1 c_2 \\ & s_2 & c_2 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 \\ & & & 1 \end{pmatrix} \\
T_3 = T_2 * A_3 &= \begin{pmatrix} c_1 c_2 & -c_1 s_2 & s_1 & l_1 c_1 c_2 \\ s_1 c_2 & -s_1 s_2 & -c_1 & l_1 s_1 c_2 \\ & s_2 & c_2 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 \\ & & & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & l_2 c_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & l_2 s_3 \\ & 0 & 0 & 1 \\ & 0 & 0 & 0 \\ & & & 1 \end{pmatrix} = \\
&= \begin{pmatrix} c_1 c_2 c_3 - c_1 s_2 s_3 & -c_1 c_2 s_3 - c_1 s_2 c_3 & s_1 & c_1 c_2 l_2 c_3 - c_1 s_2 l_2 s_3 + l_1 c_1 c_2 \\ s_1 c_2 c_3 - s_1 s_2 s_3 & -s_1 c_2 s_3 - s_1 s_2 c_3 & -c_1 & s_1 c_2 l_2 c_3 - s_1 s_2 l_2 s_3 + l_1 s_1 c_2 \\ & s_2 c_3 + c_2 s_3 & -s_2 s_3 + c_2 c_3 & 0 \\ & & & s_2 l_2 c_3 + c_2 l_2 s_3 + l_1 s_2 \\ & & & 0 \\ & & & 0 \\ & & & 0 \\ & & & 1 \end{pmatrix} \\
&= \\
&= \begin{pmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 & c_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2) \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 & s_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2) \\ & s_{23} & c_{23} & 0 \\ & & & l_2 s_{23} + l_1 s_2 \\ & & & 0 \\ & & & 0 \\ & & & 0 \\ & & & 1 \end{pmatrix} \quad (3.19)
\end{aligned}$$

Координаты центра схвата: $x = c_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2)$;

$y = s_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2)$;

$z = l_2 s_{23} + l_1 s_2$.

Решение обратной задачи кинематики

При заданном положении и ориентации схвата $s = s^*$ или $T_N = T_N^*$ можно найти обобщенные координаты $q^* = (q_1^*, q_2^*, \dots, q_N^*)'$.

Задаются они соотношением $q^* = f_T^{-1}(T_N^*)$. Таким образом, необходимо найти обратную матрицу для T_3 .

$A^{-1} = \frac{1}{|A|} * A^T$, здесь A^T – транспонированная матрица алгебраических дополнений соответствующих элементов матрицы A ,

$|A|$ – определитель матрицы A .

$$\begin{aligned}
|T| &= -c_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2) \begin{pmatrix} s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 \\ s_{23} & c_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
&+ s_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2) \begin{pmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 \\ s_{23} & c_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -(l_2 s_{23} + l_1 s_2) * \begin{pmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 \\ s_{23} & c_{23} & 0 \end{pmatrix} = \\
& = (c_1^2 + s_1^2)(c_{23}^2 + s_{23}^2) \quad (3.20)
\end{aligned}$$

Найдём матрицу миноров по формуле 3.21:

$$\begin{aligned}
M &= \begin{pmatrix} c_1 c_{23} & s_1 c_1 c_{23} + s_1 s_{23}^2 & c_{23}^2 s_1 + s_{23}^2 s_1 & 0 \\ -s_1 c_{23} & c_1 s_{23} & c_1 (c_{23}^2 + s_{23}^2) & 0 \\ c_1^2 s_{23} + s_1^2 s_{23} & -c_1^2 c_{23} - s_1^2 c_{23} & 0 & 0 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 \end{pmatrix} \\
m_1 &= (c_1^2 + s_1^2)(s_{23}(l_2 s_{23} + l_1 s_2) - c_{23}(l_2 c_{23} + l_1 c_2)) \\
m_2 &= (c_1^2 + s_1^2)(s_{23}(l_2 c_{23} + l_1 c_2) - c_{23}(l_2 s_{23} + l_1 s_2)) \\
m_3 &= c_1 c_{23}(-s_1 s_{23}(l_2 s_{23} + l_1 s_2) - c_{23}(s_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2))) - \\
& -s_1 c_{23}(-c_1 s_{23} s_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2) - c_{23} c_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2)) + \\
& + s_{23}(-c_1 s_{23}(l_2 s_{23} + l_1 s_2) + s_1 s_{23} c_1(l_2 c_{23} + l_1 c_2)) \\
m_4 &= c_{23}^2(c_1^2 - s_1^2) + s_{23}^2(c_1^2 + s_1^2) \quad (3.21)
\end{aligned}$$

Отсюда матрица алгебраических дополнений находится исходя из того, что $A_{ij} = (-1)^{i+j} * M_{ij}$, по формуле 3.22:

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} * M$$

A^T

$$= \begin{pmatrix} c_1 c_{23} & s_1 c_{23} & s_{23}(c_1^2 + s_1^2) & -m_1 \\ -s_1(c_1 c_{23} + s_{23}^2) & c_1 s_{23} & c_{23}(c_1^2 + s_1^2) & m_2 \\ s_1(c_{23}^2 + s_{23}^2) & -c_1(c_{23}^2 + s_{23}^2) & 0 & -m_3 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{pmatrix}$$

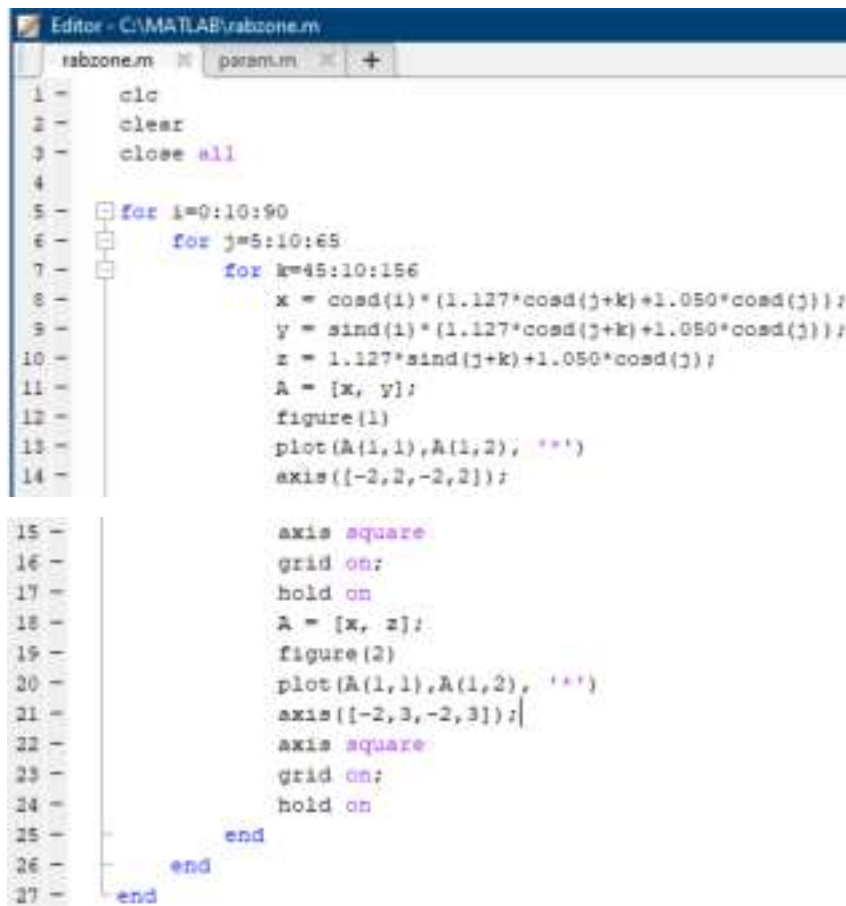
$$T^{-1} = \frac{1}{|T|} * T^T = \frac{1}{(c_1^2 + s_1^2)(c_{23}^2 + s_{23}^2)} *$$

$$* \begin{pmatrix} c_1 c_{23} & s_1 c_{23} & s_{23}(c_1^2 + s_1^2) & -m_1 \\ -s_1(c_1 c_{23} + s_{23}^2) & c_1 s_{23} & c_{23}(c_1^2 + s_1^2) & m_2 \\ s_1(c_{23}^2 + s_{23}^2) & -c_1(c_{23}^2 + s_{23}^2) & 0 & -m_3 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{pmatrix} \quad (3.22)$$

Границы рабочего пространства. Решение прямой позиционной задачи позволяет определить положение и ориентацию захвата манипулятора при условии, что известны значения обобщенных координат манипулятора $q_i, i = 1, 2 \dots N$.

Обобщенные координаты могут изменяться в пределах, обусловленных конструкцией механизма: в нашем случае $|q_1| \leq 90^\circ$, $5^\circ \leq q_2 \leq 65^\circ$, $45^\circ \leq q_3 \leq 156^\circ$. Эти условия определяют область изменения обобщенных координат – рабочее пространство манипулятора.

Из решения прямой позиционной задачи мы получили уравнения координаты центра захвата: $x = c_1(l_2c_{23} + l_1c_2)$; $y = s_1(l_2c_{23} + l_1c_2)$; $z = l_2s_{23} + l_1s_2$. Используем их для построения графиков рабочего пространства для заданных изменений координат (рис. 3.37-3.39).

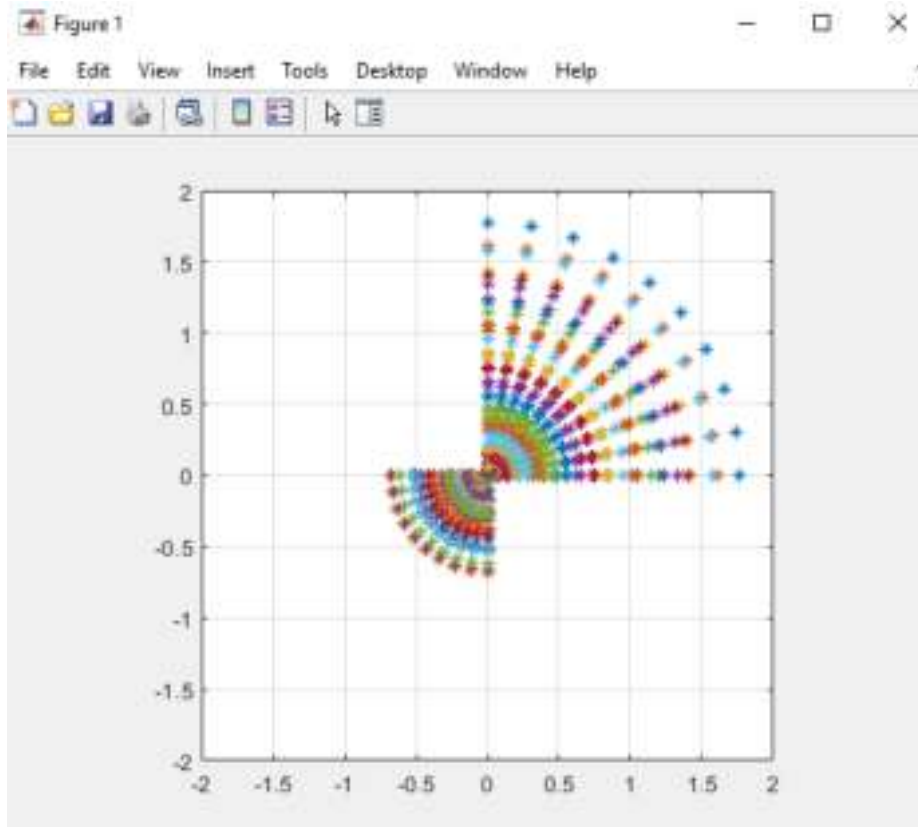
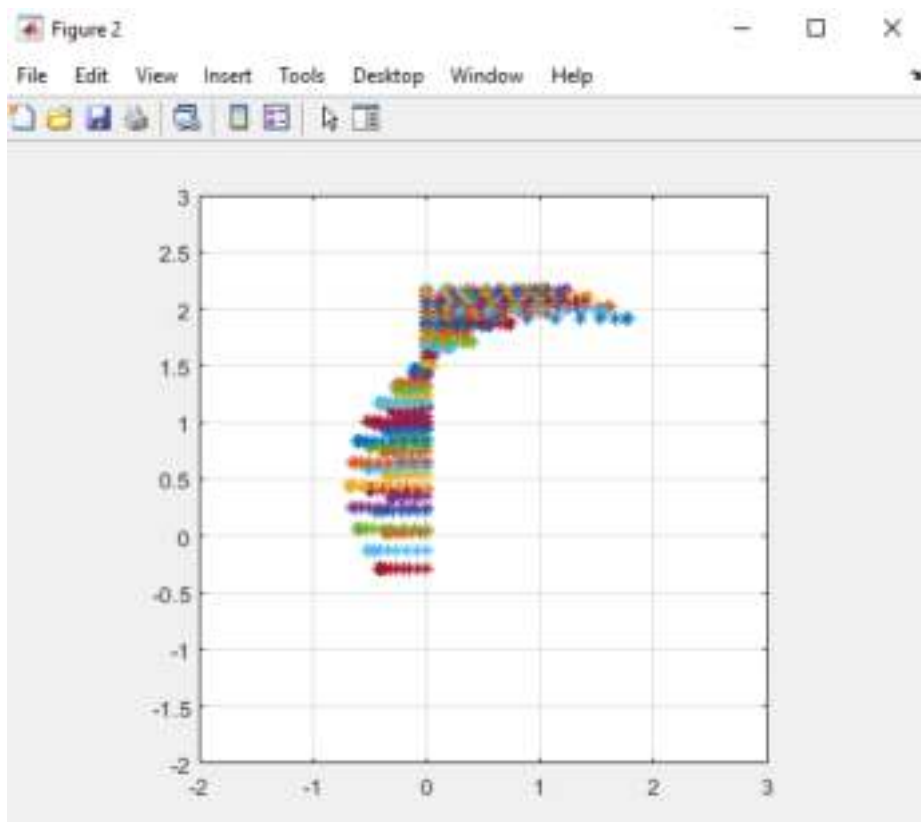


```

Editor - C:\MATLAB\rsbzone.m
rsbzone.m  param.m  +
1 -  clc
2 -  clear
3 -  close all
4
5 -  for i=0:10:90
6 -      for j=5:10:65
7 -          for k=45:10:156
8 -              x = cosd(i)*(1.127*cosd(j+k)+1.050*cosd(j));
9 -              y = sind(i)*(1.127*cosd(j+k)+1.050*cosd(j));
10 -             z = 1.127*sind(j+k)+1.050*cosd(j);
11 -             A = [x, y];
12 -             figure(1)
13 -             plot(A(1,1),A(1,2), '*')
14 -             axis([-2,2,-2,2]);
15 -
16 -             axis square
17 -             grid on;
18 -             hold on
19 -             A = [x, z];
20 -             figure(2)
21 -             plot(A(1,1),A(1,2), '*')
22 -             axis([-2,3,-2,3]);
23 -             axis square
24 -             grid on;
25 -             hold on
26 -         end
27 -     end
end

```

Рисунок 3.37 – Текст программы построения рабочей зоны

Рисунок 3.38 – График рабочей зоны в осях Ox, Oy Рисунок 3.39 – График рабочей зоны в осях Ox, Oz

Функция обратной задачи кинематики в Matlab. На рисунках 3.40-3.42 изображены схема подключения функции и текст функции обратной кинематики, реализованной в Matlab. Они показывают движение робота в соответствии с вычислениями функции до заданного константами конечного положения и работу захватного устройства.

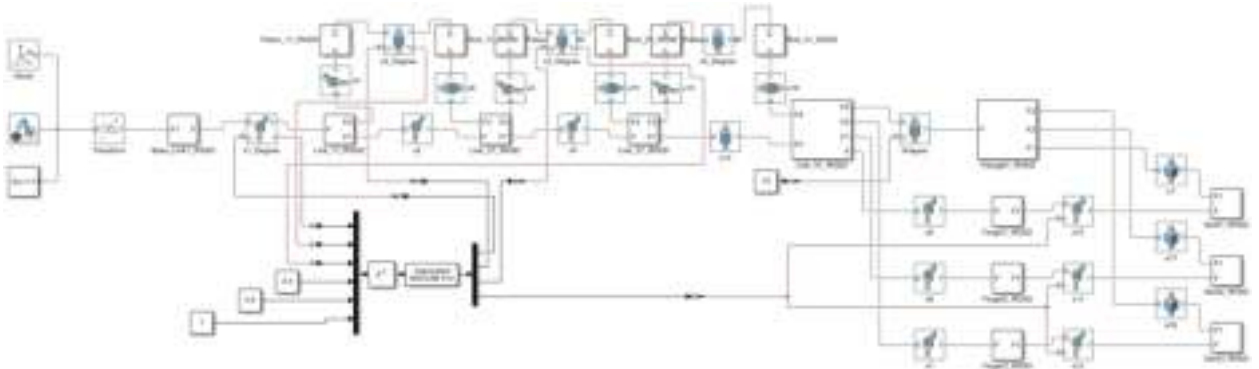


Рисунок 3.40 – Модель с подключенной функцией обратной кинематики в Simulink

```

param.m x +
1  function Q_req = param(qinput)
2      %длины звеньев и углы оклонения
3  -  a(2)=1;
4  -  a(3)=1;
5  -  a(1)=0;
6  -  d = [0 0 0];
7  -  x_y_z = [qinput(4); qinput(5); qinput(6); 1];
8  -  q(1)=qinput(1);
9  -  q(2)=qinput(2);
10 -  q(3)=qinput(3);
11 -  %Q = [q(1); q(2); q(3); 1];
12 -  alph(1)=pi/2;
13 -  alph(2)=0;
14 -  alph(3)=0;
15
16 -  for i=1:3
17 -      c(i)=cos(q(i));
18 -  end
19
20 -  for i=1:3
21 -      s(i)=sin(q(i));
22 -  end

```

Рисунок 3.41 – Текст функции обратной кинематики

```

23
24 -   T = ones(4,4,3);
25
26 -   for i=1:3
27 -       aa = [c(i) -cos(alpha(i))*s(i) sin(alpha(i))*s(i) a(i)*c(i)];
28 -       b = [s(i) cos(alpha(i))*c(i) -sin(alpha(i))*c(i) a(i)*s(i)];
29 -       cc = [0 sin(alpha(i)) cos(alpha(i)) d(i)];
30 -       dd = [0 0 0 1];
31 -       A = [aa; b; cc; dd];
32 -       T(:,:,i) = A;
33 -       % for j=1:4
34 -       %     for k=1:4
35 -       %         T(j:k:i) = A(j,k)
36 -       %     end
37 -       % end
38 -       % A(i)=[aa,b,cc,dd];
39 -   end
40
41 -   inv(T(:,:,3))
42
43 -   Q_req = inv(T(:,:,3)) * x_y_z
44 -   end

```

Рисунок 3.42 – Текст функции обратной кинематики

Дополнительный вариант решения ОЗК. Поскольку для управления манипулятором в этой задаче достаточно управлять 3 степенями подвижности, 4 степень подвижности будет зафиксирована. Решение ОЗК было произведено численно следующим образом:

```

function res = invrese_kin(pos)

function y = func1(Q) %функция, корни которой ищем

y = [0 0 0];

y(1) = (1*sin(Q(2)+Q(3))+1.05*cos(Q(2))+0.13*cos(Q(2)+Q(3)))*cos(Q(1))-
pos(1); %из уравнений ПЗК отнимаются значения x, y, z
y(2) = (1*sin(Q(2)+Q(3))+1.05*cos(Q(2))+0.13*cos(Q(2)+Q(3)))*sin(Q(1))-
pos(2);
y(3) = 1.05*sin(Q(2))-1*cos(Q(2)+Q(3))+0.13*sin(Q(2)+Q(3))+0.222-pos(3);

end

options = optimoptions('fsolve','Algorithm','levenberg-marquardt'); %выбор
%алгоритма решения Лвенберга-Маркардта
res = [0 0 0];
preq1 = atan(pos(2)/pos(1)); %предварительное вычисление q1
if (pos(1)<0 && pos(2)>0)
    preq1=preq1+pi;
else
    if (pos(1)<0 && pos(2)<0)
        preq1=preq1-pi;
    end
end

```

Динамика манипулятора. Определяются эллипсы ускорений, которые вычисляются с учетом ограничений в приводах и массо-инерционных характеристик манипулятора. Зная необходимую траекторию движения, выбираем из вышеуказанного эллипса необходимое ускорение захватного устройства.

Для этого ускорения решается обратная задача динамики, то есть определяются моменты на приводах, которые обеспечивают движение с заданным ускорением.

Также обратной задачи динамики позволяет определять величину и направление внешних сил, действующих на захват, это позволяет создать замкнутую кинематическую цепь и решать задачи, в которых необходимо силомоментное ощущение.

Решение обратной задачи динамики будем искать в уравнениях Лагранжа 2 рода записывают в предположении идеальности всех связей, наложенных на движение звеньев механизма. Связи должны быть голономными, т. е. уравнения связей являются либо геометрическими (содержат только координаты), либо дифференциальными (содержат и производные от координат), но в последнем случае они должны быть интегрируемыми.

При составлении уравнений Лагранжа вначале выбирают вектор обобщенных координат, включающий минимальное число независимых координат, которые однозначно определяют движение системы. Для манипулятора, представляющего собой разомкнутую кинематическую цепь, целесообразно выбрать вектор $q = (q_1, q_2 \dots q_N)^T$ относительных перемещений звеньев.

При сделанных предположениях можно записать уравнения Лагранжа 2 рода для манипулятора с N степенями подвижности следующим образом, формула 3.23:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_1} \right) - \frac{\partial K}{\partial q_1} = Q_i \quad (3.23)$$

где K – кинетическая энергия системы N твердых тел Дж., Q_i – обобщенная сила, приведенная к обобщенной координате q_i , H

Обобщенные силы определяют исходя из того, что элементарную работу всех действующих сил можно представить в виде соотношения, формула 3.24:

$$\delta A = \sum_{j=1}^N Q_j \delta q_j \quad (3.24)$$

Кинетическую энергию системы твердых тел определяют как, формула 3.25:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^n \text{tr } m_v v_v v_v^T \quad (3.25)$$

Для вычисления скоростей v_v удобно воспользоваться однородными координатами, формула 2.26:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^n \text{tr } m_v \dot{T}_v \rho_v \rho_v^T \dot{T}_v^T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \text{tr } (\dot{T}_i H_i \dot{T}_i^T) \quad (3.26)$$

H_i – матрица инерции твердого тела.

Например, для твердого тела относительно системы координат с началом в центре масс $H = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix}$

T_i – матрица перехода от системы координат, связанной с i звеном.

$$\dot{T}_i = \sum_{j=1}^i U_{ij} \dot{q}_j \quad (3.27)$$

$$U_{ij} = \frac{\partial T_i}{\partial q_j} \quad (3.28)$$

$$U_{jkm} = \frac{\partial U_{jk}}{\partial q_m} = \frac{\partial^2 T_j}{\partial q_k \partial q_m}, U_{jkm} = U_{jmk} \quad (3.29)$$

После вычисления производных $\frac{\partial K}{\partial q_1}$, $\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_1}$ и преобразований, уравнение динамики манипулятора принимает компактный вид, формула 3.30:

$$A(q)\ddot{q} + b(q, \dot{q}) + d(q) = \mu \quad (3.30)$$

$A(q)$ – симметрическая матрица $N \times N$, определяющая инерционные свойства манипуляционного механизма, при этом:

$$a_{ij} = \sum_{j=\max(i,k)}^N \text{tr } (U_{jk} H_j U_{ji}^T) \quad (3.31)$$

$b(q, \dot{q})$ – вектор $N \times 1$, характеризующий Кориолисовы силы и центробежные силы, действующие на звенья механизма [186]. Каждая компонента этого вектора представляет собой квадратичную форму относительно обобщенных скоростей, формулы 3.32, 3.33.

$$b_i = \sum_{j=\max(i,k,m)}^N \sum_{l=\max(i,k,m)}^N b_{iklm} q'_k q'_l \quad (3.32)$$

$$b_{iklm} = \sum_{j=\max(i,k,m)}^N \text{tr} (U_{jkm} H_j U_{ji}^T) \quad (3.33)$$

$d(q)$ – вектор $N \times 1$, который учитывает внешние силы и моменты, действующие на механизм. В частности, если на звенья действуют только силы веса, то компоненты этого вектора равны:

$$d_i = - \sum_{j=1}^N m_j g'^T U_{ji} \rho_j \quad (3.34)$$

где μ – моменты или силы в приводах.

Таким образом, уравнение $A(q)\ddot{q} + b(q, \dot{q}) + d(q) = \mu$ представляет собой уравнение движения N -звенного манипулятора, на который действуют силы или моменты, приложенные в сочленениях, а также силы веса звеньев.

Создание имитационной модели системы распознавания плода. Модель в Simscare выглядит следующим образом (рис. 3.43, 3.44).

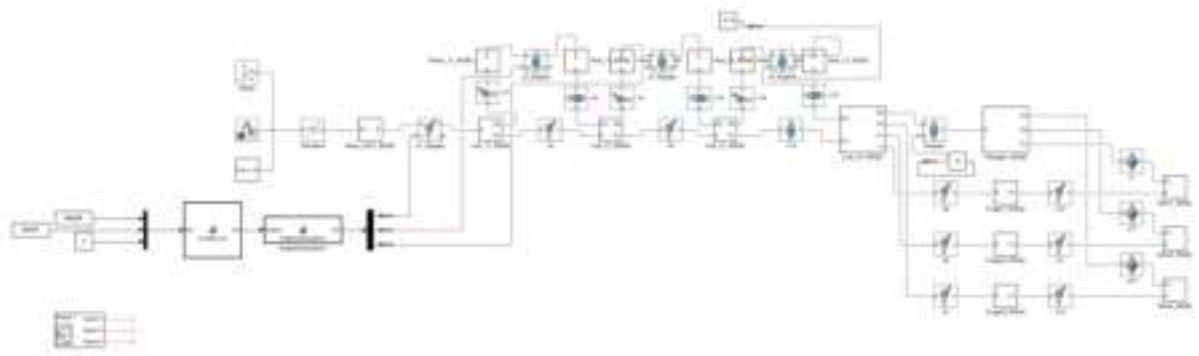


Рисунок 3.43 – Общий вид модели в SimMultiBody



Рисунок 3.44 – Приближенный вид управляющего блока

Модель получает данные с workspace, в который те попали в результате обработки изображения с камеры из CoppeliaSim. Функция Angles2Actuators преобразует углы поворота сочленений в положение привода.

Для выполнения эксперимента требуется расположить объект на сцене, запустить симуляцию в Coppelia, выполнить файл mycode.m, затем запустить симуляцию в Simscape.

3D зрение на основе стереопары. Для распознавания объектов манипулирования решено использовать систему стереозрения. Стереозрение - это процесс, в ходе которого снимаются 2 изображения одной и той же сцены, а затем создается карта диспаратности сцены. С помощью этой карты диспаратности можно измерить расстояние до объекта и создать трехмерную карту из сцены.

Чтобы идентифицировать цель, нам нужна одна камера, а для измерения расстояния до нее нам нужны как минимум две камеры (стереозрения), поэтому мы решили использовать стереокамеру для получения координаты цели.

В этом проекте было реализовано программное обеспечение Python с использованием библиотеки OpenCV для калибровки камер и измерения расстояния до объектов на сцене.

Модель камеры. Использование камер с линзами вызывает два разных типа искажения:

- радиальная деформация
- тангенциальное искажение

Радиальное искажение обусловлено формой самого объектива, а тангенциальное искажение - геометрией камеры. Затем изображения можно исправить с помощью математических методов (рис. 3.45).

Процесс калибровки позволяет сформировать модель геометрии камеры и модель объектива. Эти модели формируют внутренние параметры камеры.

Фокусное расстояние. Относительный размер изображения, проецируемого на поверхность в камере, зависит от фокусного расстояния. В модели точечного отверстия фокусное расстояние - это расстояние между отверстием и областью, на которую проецируется изображение.

Тогда теорема Фалеса дает при:

- x : изображение объекта (знак минус происходит из-за того, что изображение перевернуто)
- X : размер объекта.
- Z : расстояние от отверстия до объекта.
- f : фокусное расстояние, расстояние от отверстия до изображения

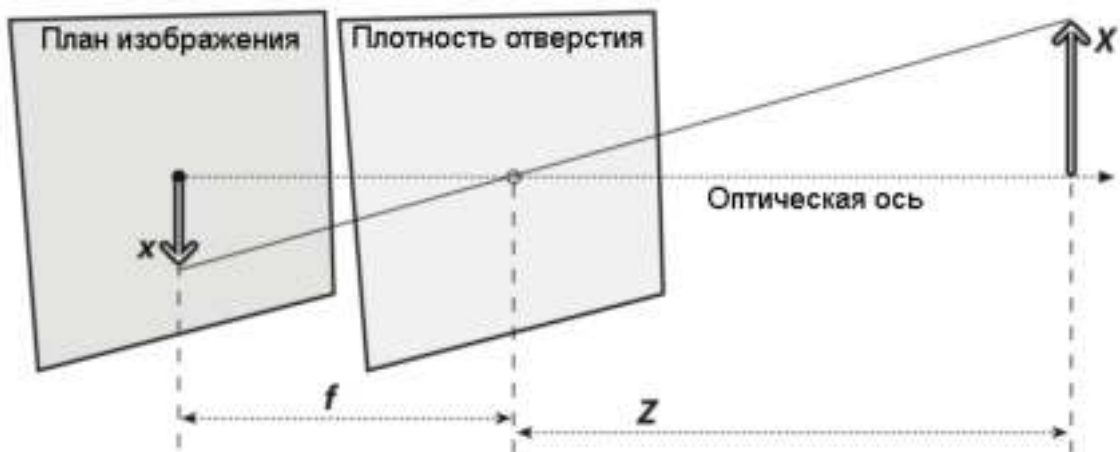


Рисунок 3.45 – Проектируемый объект

Поскольку линза не идеально отцентрирована, вводятся два параметра, S_x и S_y для горизонтального и вертикального смещения линзы соответственно. Фокусные расстояния по осям X и Y также различаются,

поскольку область изображения прямоугольная. Это дает следующую формулу для положения объекта на поверхности.

Таким образом, проецируемые точки реального мира на поверхность изображения можно смоделировать следующим образом. M - Внутренняя матрица, формула 3.35.

$$q = M * Q \text{ where } q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

В оптическом центре нет радиального искажения, и оно становится все больше и больше по мере приближения к краям. На практике это искажение остается небольшим; достаточно сделать разложение Тейлора до третьего члена. В результате получаются следующие формулы 3.36, 3.37.

$$x_{corrected} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (3.36)$$

$$y_{corrected} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (3.37)$$

x и y - координаты исходной точки на поверхности изображения, и положение исправленной точки вычисляется с их помощью.

Также существует тангенциальное искажение, потому что линза построена не идеально параллельно поверхности изображения. Чтобы исправить это, вводятся два дополнительных параметра, p_1 и p_2 , формулы 3.38, 3.39.

$$x_{corrected} = x + [2p_1 y + p_2(r^2 + 2x^2)] \quad (3.38)$$

$$y_{corrected} = y + [2p_2 x + p_1(r^2 + 2y^2)] \quad (3.39)$$

Калибровка с библиотекой OpenCV. Библиотека OpenCV позволяет нам рассчитывать внутренние параметры с помощью определенных функций, этот процесс называется калибровкой. Это стало возможным благодаря различным видам шахматной доски (рис. 3.46).



Рисунок 3.46 – Фотография во время съемки изображений для калибровки

Программа для фотосъемки для последующей калибровки называется `get_images.py`. Эти изображения используются позже для калибровки в основной программе `single_camera_calibration.py`.

OpenCV рекомендует иметь не менее 10 изображений для каждой камеры, чтобы получить хорошую калибровку. Чтобы откалибровать камеры, код Python ищет углы шахматной доски на каждом изображении для каждой камеры с помощью функции OpenCV: `cv2.findChessboardCorners`.

Положение углов для каждого изображения затем сохраняется в одном векторе изображения, а точки объекта для 3D-сцены сохраняются в другом векторе. Эти `Imgpoints` и `Objpoints` затем используются в функции `cv2.calibrateCamera`, которая возвращает на выходе матрицу камеры, коэффициенты искажения, векторы поворота и сдвига (рис. 3.47).



Рисунок 3.47 – Процесс калибровки

После калибровки с помощью OpenCV получаем для наших камер матрицы (рис. 3.48).

```

right_cam.yml
-----
NYAML:1.0
***
K: !!opencv-matrix
  rows: 3
  cols: 3
  dt: d
  data: [ 6.3887502718212738e+02, 0., 3.2413554765779406e+02, 0.,
          0.4840808118343130e+02, 2.4844109146381066e+02, 0., 0., 1. ]
D: !!opencv-matrix
  rows: 1
  cols: 5
  dt: d
  data: [ 1.7643357482731896e-01, -1.6092070948739648e+00,
          -4.3498932874918628e-03, -1.0857918846571789e-03,
          6.4294211581821337e+06 ]

```

Рисунок 3.48 – Матрица M для правой камеры

Стерео изображение. Стереозрение позволяет распознавать глубину изображения, проводить измерения на изображении и выполнять трехмерную локализацию. Для этого, необходимо найти точки, которые совпадают между двумя камерами. Отсюда вы можете определить расстояние между камерой и точкой. Геометрия системы используется для упрощения расчета.

Создание стереоизображения состоит из четырех этапов:

1. Устранение радиальных и тангенциальных искажений математическими расчетами. Это дает вам неискаженные изображения.

2. Исправление угол и интервал между изображениями. На этом этапе оба изображения могут быть копланарными по оси Y , что упрощает поиск соответствий, и нужно искать только по одной оси (а именно по оси X).

3. Найти одну и ту же функцию на правом и левом изображениях. Это дает карту несоответствия, которая показывает различия между изображениями по оси X .

4. Последний шаг - триангуляция. Карта диспаратности преобразуется в расстояния путем триангуляции.

То есть:

Шаг 1: устранение искажения

Шаг 2: Исправление

Шаг 3. Обнаружение одной и той же функции на обоих изображениях

Шаг 4: Триангуляция

Триангуляция

На последнем этапе, триангуляции, предполагается, что оба проекционных изображения копланарны и что горизонтальная строка пикселей левого изображения выровнена с соответствующей горизонтальной строкой пикселей левого изображения.

Используя предыдущие гипотезы, теперь можно построить следующую картину (рис. 3.49).

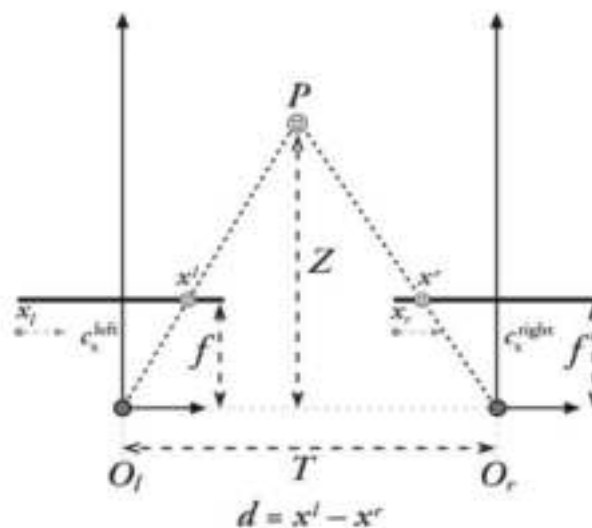


Рисунок 3.49 – Триангуляция

Точка P находится в окружающей среде и отображается на pl и pr на левом и правом изображениях с соответствующими координатами x_l и x_r . Это позволяет нам ввести новую величину - диспаратность: $d = x_l - x_r$. Видно, что чем дальше точка P , тем меньше размер d . Таким образом, несоответствие обратно пропорционально расстоянию.

Настройка среды моделирования совместного функционирования манипулятора и системы технического зрения. Для реализации имитационной модели выбрана среда CoppeliaSim. Данный симулятор обладает широким перечнем возможностей по моделированию роботов с различными кинематическими схемами, датчиков внутреннего состояния и датчиков среды, в том числе камер и RGBD-сенсоров. Архитектура симулятора позволяет использовать различные высокоуровневые языки программирования и подключать распространенные пакеты в том числе MATLAB.

На первом этапе реализации модели с помощью камеры в среде CoppeliaSim получаем координаты объекта (в нашем случае шар), данные координаты передаются в Simulink SimScape, где производится решение обратной задачи кинематики по методике, описанной выше, вследствие чего манипулятор начинает движение к целевой точке. Далее показаны изображения из рабочего пространства при проведении компьютерного моделирования траекторий движения манипулятора относительно осей X, Y, Z (рис. 3.50-3.52).



Рисунок 3.50 – Траектория движения относительно оси X



Рисунок 3.51 – Траектория движения относительно оси Y



Рисунок 3.52 – Траектория движения относительно оси Z

Для дальнейшего приближения симуляции к имитационной модели использованы основные объекты среды CoppeliaSim. На основе трёхмерной модели собираемого объекта и объектов на которых он позиционируется создается элемент сцены с помощью элементов Joints-звенья и Shapes-формы. Модель яблока в среде CoppeliaSim зададим в виде файла с расширением OBJ. С помощью функционала симулятора зададим текстуру из файла с расширением jpeg итоговый результат представлен на рисунке 3.53.



Рисунок 3.53 – Яблоко в симуляторе CoppeliaSim

Сцена дополняется сенсорной системой и манипуляционным роботом, как показано на рисунке 3.54.



Рисунок 3.54 – Сцена симуляции сбора плодовой культуры в симуляторе CoppeliaSim

В симуляторе возможно размещение манипуляционного робота на мобильную платформу и обеспечение взаимодействия собираемого объекта с захватным устройством.

3.6.2 Разработка конструкции роботизированного манипулятора для съема плодов

Предполагаемая конструкция роботизированного манипулятора включает в себя 3 подвижных звена и поворотный стан. Привод поворотного стана осуществляется через зубчатую передачу и шаговый электродвигатель. Шаговый электродвигатель оснащен датчиком обратной связи - магнитный

датчик углового перемещения. Конструкция плеч манипулятора состоит из алюминиевых профилей сваренных в единые балки.

Наклон и перемещения плеч манипулятора осуществляется посредством актуаторов со встроенными датчиками обратной связи-датчики линейного перемещения.

Захватывающее устройство трехпалого типа состоит из полимерных материалов. Открытие и закрытие устройства будет происходить с помощью актуатора, встроенного в конструкцию самого захвата. Там же (внутри устройства) будет установлена камера для точной подстройки захватывающего устройства к координатам плодов на кроне дерева. После полного закрытия захвата, будет осуществляться поворот захвата вокруг своей оси посредством синхронного двигателя постоянного тока.

Все линейные актуаторы имеют влагозащищенный корпус, встроенную обратную связь (внутри корпуса стоит линейный потенциометр). Двигатель актуаторов коллекторный постоянного напряжения. Управление осуществляется с помощью драйвера для DC двигателей посредством PWM (табл. 3.8,3.9).

Таблица 3.8 – Линейные актуаторы используемые на манипуляторе

№	Наименование	Сила	Рабочий цикл	Скорость выдвижения, втягивания	Напряжение питания	Управление
1	Линейный актуатор САНВ-22Е	2300 Н	20%	42 мм/с	24 В	Контроллер DC двигателям и PLN 40
2	Линейный актуатор САЛА36А	600 Н	5%	25 мм/с	24 В	Контроллер DC двигателям и PLN 20

Таблица 3.9 – Шаговый двигатель

№	Наименование	Момент при 200 об/мин	Напряжение питания	Управление
3	PL86HD113-D12.7	15 кг•см	90 В	Биполярный драйвер шагового двигателя SL-DM860D

В результате проведенных теоретических исследований разработана 3D модель (рис. 3.55) и комплект конструкторской документации (рис. 3.56) роботизированного манипулятора.



Рисунок 3.55 – 3D модель роботизированного манипулятора

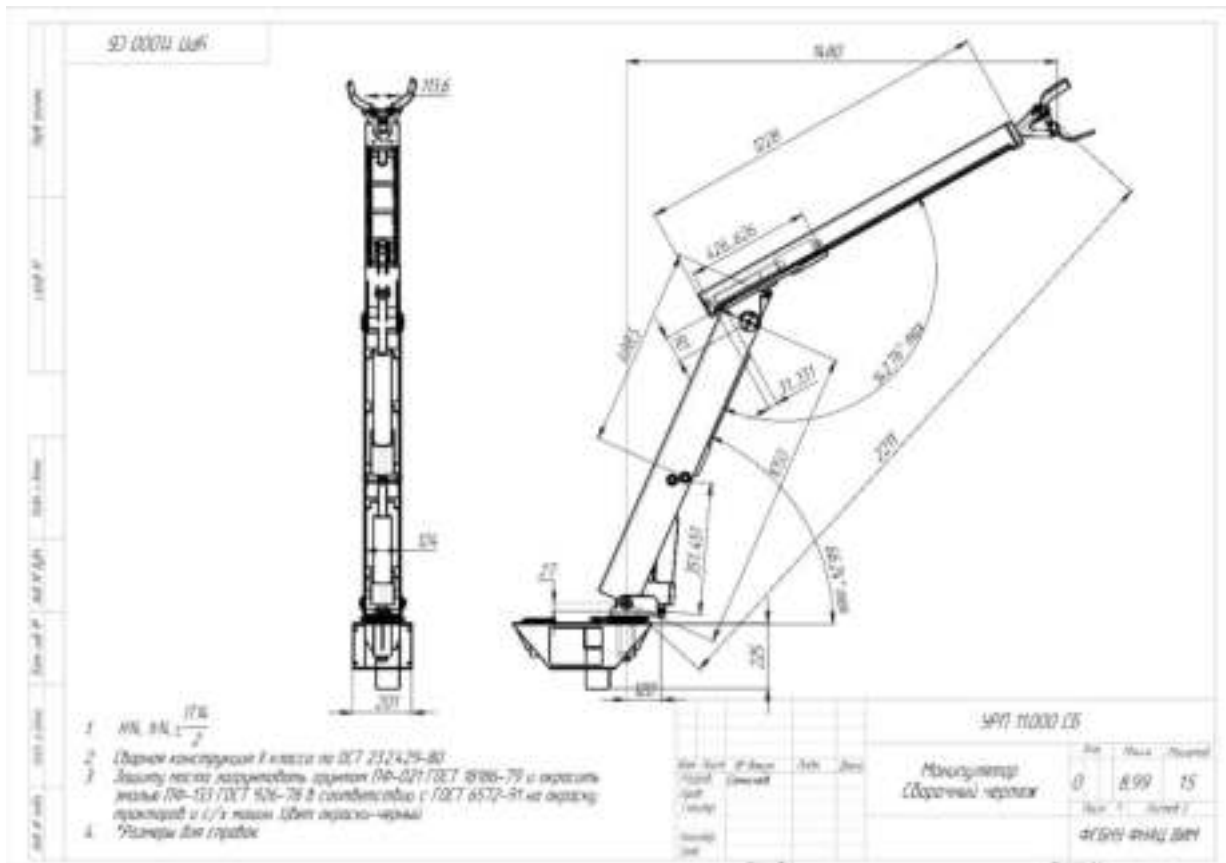


Рисунок 3.56 – Сборочный чертеж манипулятор

Разработанная структурная схема системы управления манипулятором представлена на рисунке 3.57.

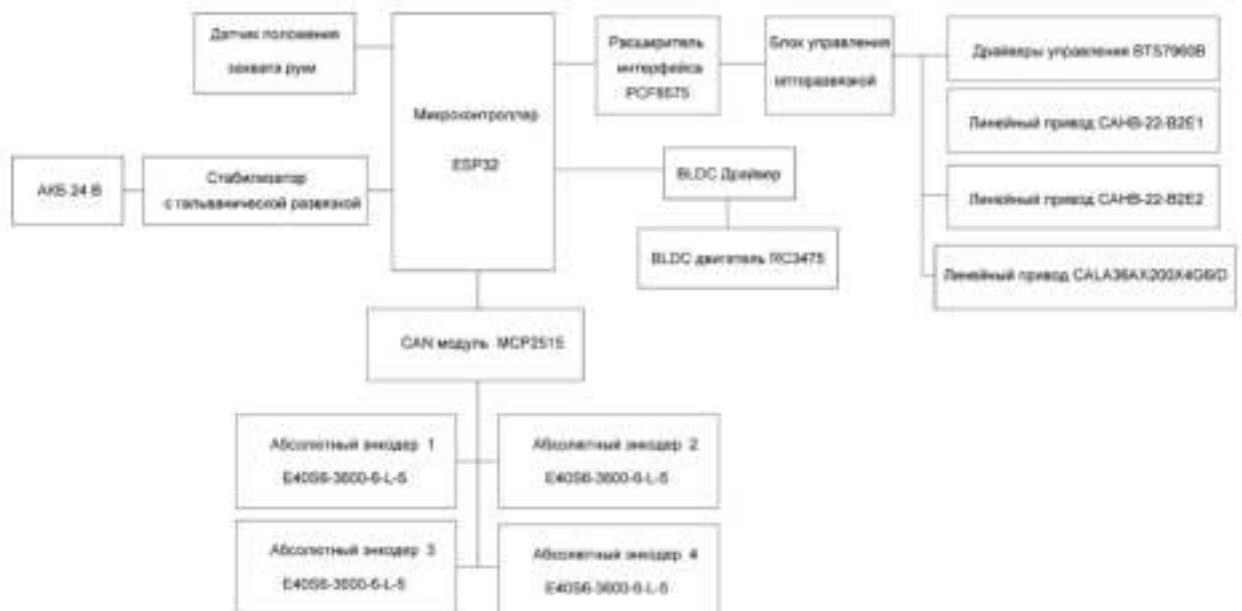


Рисунок 3.57 – Структурная схема работы манипулятора

Для управления электроникой манипулятора используется 32 битный микроконтроллер ESP32-S3R8V.. Питание ESP32 осуществляется от 24 В, которые понижаются через стабилизатор с гальванической развязкой до 5 В.

Для гальванической развязки силовой части двигателей и микроконтроллера используется блок управления опторазвязкой, которая управляется расширителем интерфейса PCF8575. Для управления линейными приводами серии CALA и САНВ используются драйвера щеточных двигателей BTS7960 с возможностью электронного торможения. Для фиксации положения линейных двигателей используются оптические абсолютные энкодеры, которые подключены через CAN протокол. CAN модуль MCP2515 служит для преобразование интерфейса абсолютных энкодеров CAN в протокол I2C. Для вращения захватывающего устройства используется бесщеточный двигатель RC3475, который управляется с помощью BLDC драйвера.

В результате проведенных исследований изготовлен опытный образец роботизированного манипулятора и установлен на роботизированную платформу (рис. 3.58). Описание приведено в Приложениях Е, Ж.



Рисунок 3.58 – Опытный образец манипулятора

Функционально система управления роботизированным устройством для сбора плодов разделена на несколько блоков. К ним относятся узел стереопар, являющийся основной частью, направленной на взаимодействие с внешней средой, электронный блок управления (ECU), включающий два отдельных контура управления, обусловленных программными и аппаратными особенностями, блок управления положением вертикальной оси (стойки) роботизированного устройства, блок управления положением подъемника (стрелы) роботизированного устройства, блок управления положением захвата. Структурная схема системы управления представлена на рисунке 3.59.

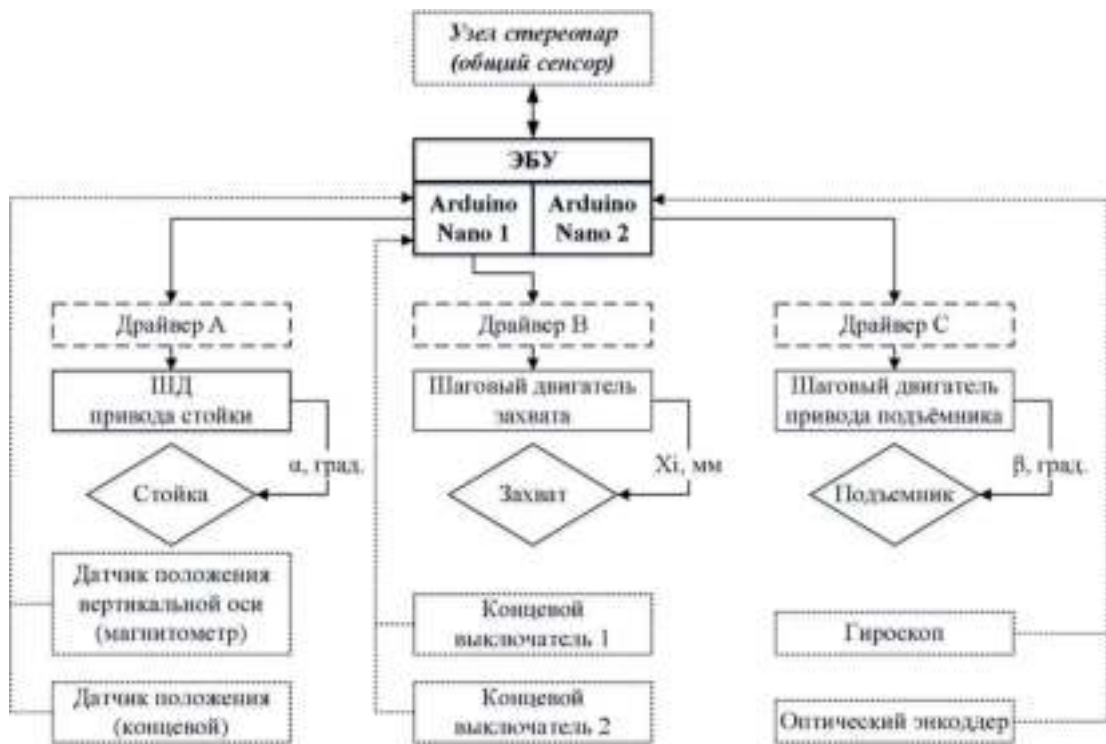


Рисунок 3.59 – Структурная схема системы управления роботизированным устройством при сборе яблок

Электронный блок управления, имеет два обособленных контура управления, построен на базе двух однотипных микроконтроллеров Arduino Nano. Узел стереопар включает в себя нескольких отдельных видеокamer с минимальной задержкой передачи изображения. Данное техническое

решение позволяет определять положение объекта относительно параллакса изображения.

Движение и оперирование при помощи манипулятора реализовано в трёх плоскостях, что позволяет выполнить операцию съёма плода в промышленных садовых насаждениях различных типов (рис. 3.60).

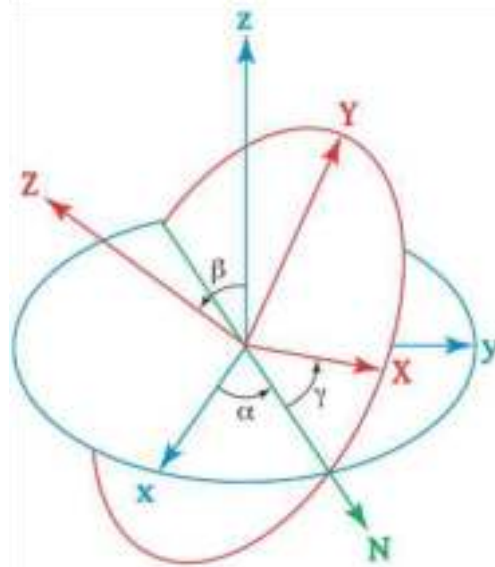


Рисунок 3.60 – Пространство работы манипулятора (координатные оси и углы Эйлера)

Максимальный момент вращения необходим на валу шагового двигателя, осуществляющего поворот стойки манипулятора вокруг своей оси. Минимальный – при наклоне и опускании стрелы. Минимальное усилие требуется для приведения в действие захвата стрелы. Контроль работы линейных и шаговых двигателей происходит при помощи драйверов – устройств, преобразующих импульсы управляющих команд в электрические сигналы, обеспечивающие заданный угол поворота штоков и их удержание в определённом положении при необходимости. В свою очередь, драйверы двигателей получают управляющие команды от центрального блока управления, выполненного на базе нескольких контроллеров Arduino Nano, работающих под управлением специально адаптированного для решения поставленной задачи программного обеспечения.

Сенсорная система (система технического зрения) состоит из нескольких цифровых видеокамер различного назначения, видеопоток с которых

передаётся на серверную часть оборудования и при помощи обработки отдельным специализированным программным обеспечением позволяет получать на имеющемся видеоряде идентифицированные плоды

Структура работы программного обеспечения комплекса для роботизированного съёма плодов представлена на рисунке 3.61.



Рисунок 3.61 – Структура программного обеспечения роботизированного комплекса для съёма плодов

Автономная работа роботизированного устройства реализована на основе Агисо маркеркеров и нейронной сети [8]-[17]. В основе работы рассматриваемой технической системы лежит взаимодействие и совместная работа двух подсистем – подсистемы компьютерного зрения (КЗ) и подсистемы контроля перемещения и удержания положения манипулятора. В перечень задач машинного зрения входят получение и обработка с помощью математических алгоритмов информации, содержащейся на изображениях, формируемых в процессе работы системы, в контексте поставленной задачи [18]-[21]. Система технического зрения содержит следующий ряд элементов: чувствительные элементы (сенсоры, датчики), вычислитель (процессор, ПК), ПО для обработки и функционирования, каналы связи, источники света. Алгоритм работы КЗ выглядит следующим образом (рис. 3.62).

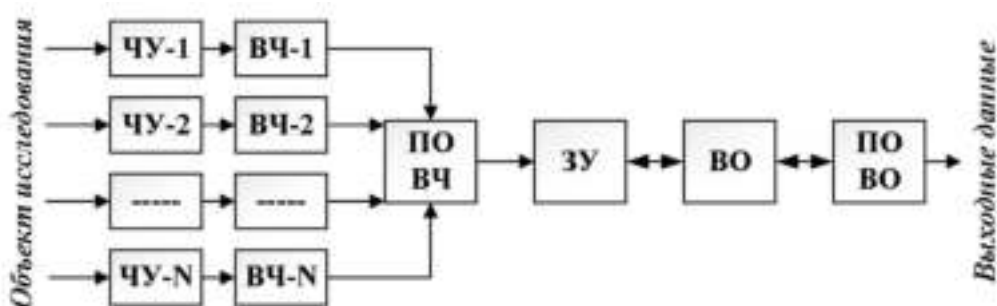


Рисунок 3.62 – Обобщённый алгоритм работы системы КЗ

ЧУ-1, ЧУ-2, ЧУ-N – чувствительные элементы, ВЧ-1, ВЧ-2, ВЧ-N – вычислители чувствительных элементов, ПО ВЧ – программное обеспечение вычислителей чувствительных элементов, ЗУ – запоминающее устройство, ВО – вычислитель общий (основной), ПО ВО – программное обеспечение основного вычислителя. Работа комплекса происходит по следующему сценарию. При запуске комплекса и его последующем выходе на рабочий режим происходит задействование чувствительных элементов (ЧУ) – видеокамер, и получение с них информации в форме видеоряда. Одновременно с этим программное обеспечение вычислителей чувствительных элементов (ПО ВЧ) производит обработку и кодирование поступающей информации – видеоряда, в формат, пригодный для совершения различных операций в среде программного обеспечения основного вычислителя (ПО ВО). Программное обеспечение основного вычислителя, получая обработанную информацию в виде видеоряда, задействует алгоритмы поиска и распознавания искомых объектов в зоне видимости чувствительных элементов. При отсутствии объекта в кадре последующие действия не выполняются. При наличии распознанных объектов в зоне видимости определяется имеющий наибольшую вероятность распознавания (степень достоверности обнаружения).

3.7. Обоснование параметров и разработка захвата для роботизированного съёма плодов

Для установления закономерности работы робототехнических средств при уборке урожая в интенсивном садоводстве исследованы физико-механические свойства плодов яблони. При взаимодействии рабочих органов роботизированных машин с плодом в процессе их отделения от кроны смещение плода описывается следующим образом [187], формулы 3.40, 3.41:

$$x = (L_s + D_g)(\sin\beta - \sin\beta_0) \quad (3.40)$$

$$y = (L_s + D_g)(\cos\beta - \cos\beta_0)\alpha_{\varpi} \quad (3.41)$$

где L_s - длина плодоножки, мм., D_g – реакция сопротивления силе тяжести, β - угол отклонения плодоножки в момент отрыва, град., β_0 -угол отклонения плодоножки в момент захвата плода, град., α_{ϖ} - угол поворота плода, град (рис. 3.63).

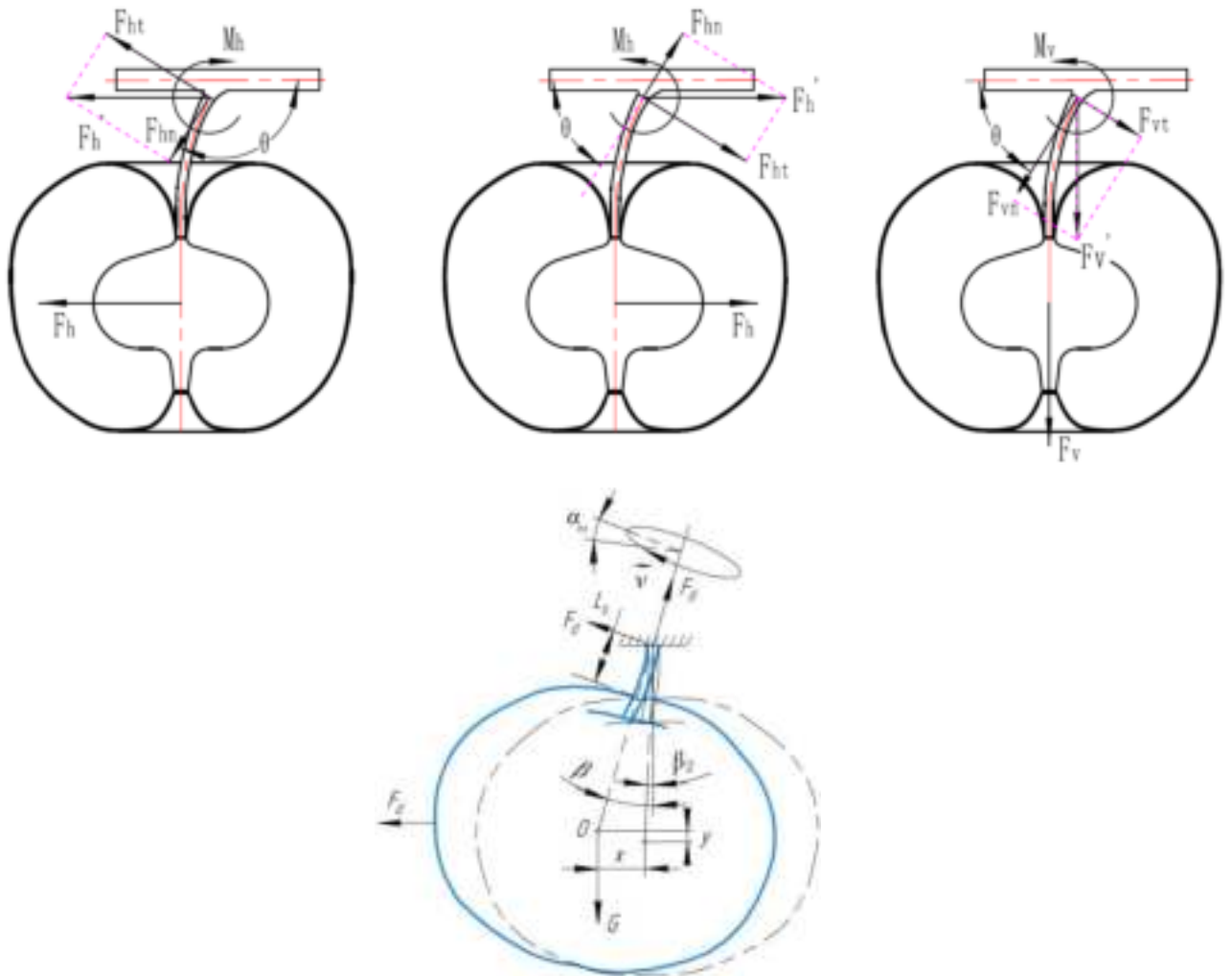


Рисунок 3.63 – Моделирование смещения плода в процессе отрыва

Сила отрыва плода с одновременным поворотом вокруг оси y представляется в следующем виде, формула 3.42:

$$F_D = \frac{Gx + G(L_s + D_g)\sin\beta + k_0 \left(\arcsin\left(\frac{x}{L_s + D_g} + \sin\beta_0 \right) - \beta_0 \right)}{(L_s + D_g)\cos\beta_0} \quad (3.42)$$

где Gx - вес плода, г., k_0 - коэффициент жесткости плодоножки.

Из схем на рисунке 3.63 видно, что в процессе отделения плода с кроны со стороны рабочего органа кроме сил, распределенных по поверхности контакта действуют касательные силы [187], возникающие из-за статического трения и, следовательно, в каждой точке контакта имеют направление, расположенное в плоскости контакта.

Графоаналитическим методом определяем радиус лап необходимый для захвата и удержания плода нормированного диаметра до 100 мм (рис. 3.64).

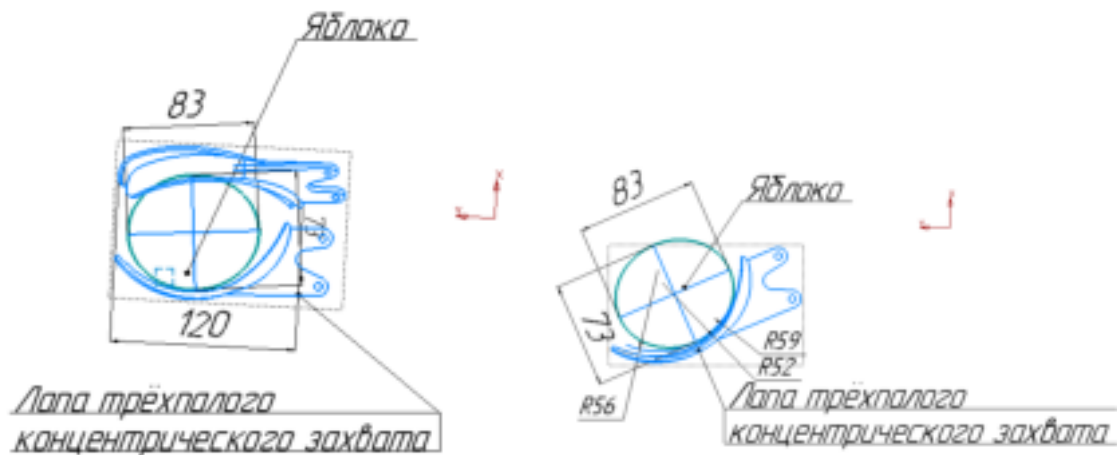


Рисунок 3.64 – Схема формы лапы для продольного положения яблока

Из рисунка 3.66 видно, что для захвата больших яблок необходим размер не менее 120 мм в длину, при этом при яблоке размером 83x73мм, захват не полностью закрывается, т.е необходимо ограничение по силе удержания для предотвращения повреждения яблок. Уменьшение длины лапы приведёт к ухудшению удержания больших яблок или потребует увеличения удерживающей силы, что в свою очередь увеличит вероятность повреждения плодов. Увеличение же длины лапы приведёт к потере яблок малых размеров.

Расчет необходимого хода подвижного элемента. Для обеспечения диаметра раскрытия 103 мм, ход лапы должен составлять 51,5 мм примем 52 мм, тогда на оси крепления подвижного элемента ход будет составлять, формула 3.43:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{S1}{S2} \quad (3.43)$$

Тогда ход подвижного элемента:

$S2 = 52 \times (31/130) = 12,4$ мм – необходимый ход подвижного элемента

(рис. 3.65, 3.66).

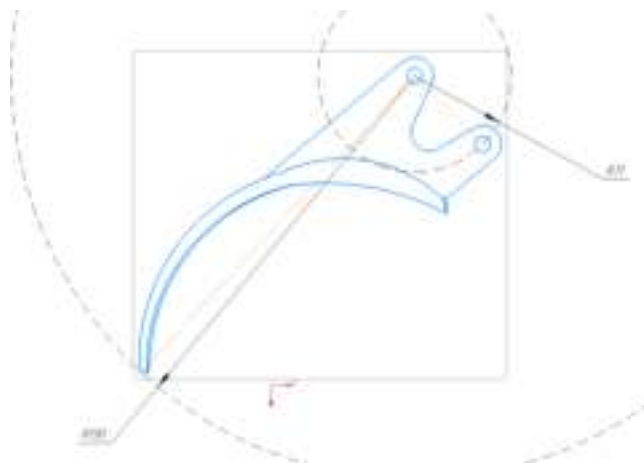


Рисунок 3.65 – Определение радиусов креплений лапы захвата

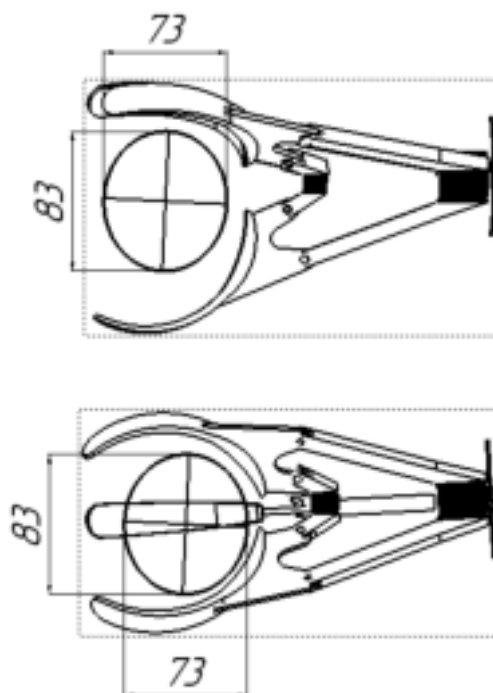


Рисунок 3.66 – Моделирование процесса захвата яблока

Параметры приводного механизма. Для надёжного удержания яблока лапы трёхпалого концентрического захвата должны развивать силу равную

максимальному весу яблока плюс силу равную силе отрыва яблока от плодоножки, формула 3.44.

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{тяжяб}} + F_{\text{отрыва}} \quad (3.44)$$

где, $F_{\text{общ}}$ – общая сила развиваемая захватом, Н;4

$F_{\text{тяжяб}}$ – вес яблока, Н;

$F_{\text{отрыва}}$ – сила необходимая для отрыва яблока, Н.

Согласно данным полученным в главе 3 максимальный вес яблока 215,1 г, для расчётов примем 350 г, что соответствует $F_{\text{тяжяб}} = 3,44$ Н.

Сила необходимая для отрыва яблок согласно литературным источникам $F_{\text{отрыва}} = 10$ Н.

Тогда:

$$F_{\text{общ}} = 3,44 + 10 = 13,44 \text{ Н};$$

Для простоты расчётов округлим $F_{\text{общ}} = 15$ Н;

Наиболее нагруженной будет нижняя лапа захвата представим её схему нагружения (рис. 3.67).

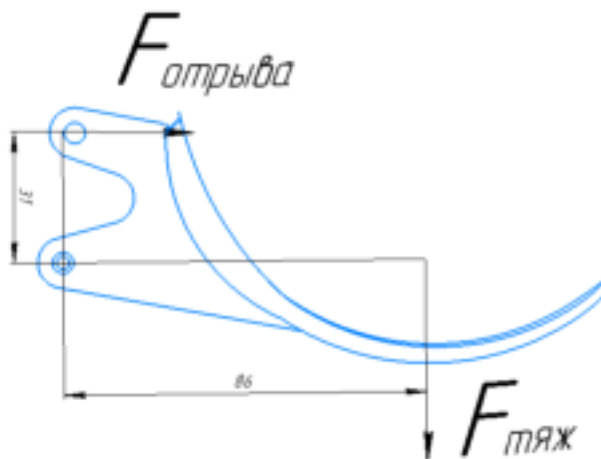


Рисунок 3.67 – Схема нагружения лапы захвата

Сила тяжести создаёт крутящий момент равный:

$$M_{\text{тяж}} = F_{\text{тяжяб}} \cdot 0,86 = 2,967 \approx 3 \text{ Н}$$

Где 0,86 длина рычага силы

Сила, действующая на ось крепления подвижного элемента, формула 3.45:

$$F_{\text{тяжос}} = \frac{M_{\text{тяж}}}{0,31} = \frac{3}{0,31} = 9,677 \approx 10 \text{ Н} \quad (3.45)$$

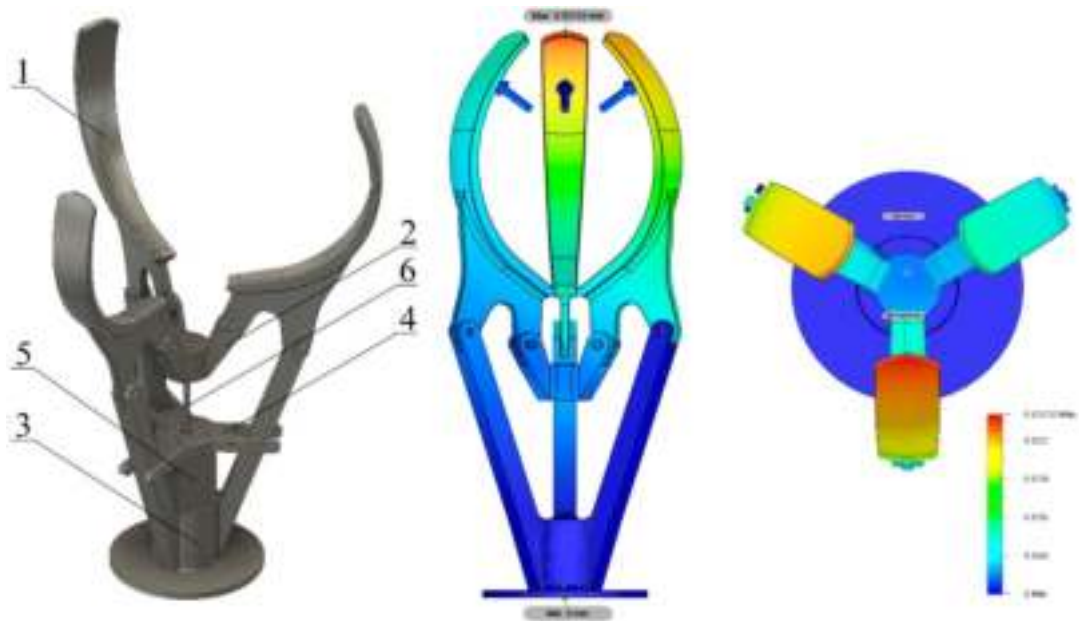
Сила отрыва направлена вдоль оси поэтому её можно перенести непосредственно к оси крепления подвижного элемента, тогда общая сила, приходящаяся на подвижный элемент, формула 3.46:

$$F_{\Sigma} = F_{\text{тяжос}} + F_{\text{отрыва}} = 10 + 10 = 20 \text{ Н} \quad (3.46)$$

Данная сила фактически будет действовать через три лапы на подвижный элемент и определять необходимую силу привода.

По результатам расчетов для роботизированной уборки плодов выбран трёхпалый концентрический захват, который развивает сумму сил равную максимальному весу и силе отрыва яблока от плодоножки с прокручиванием плода вокруг вертикальной оси.

В результате проведенных исследований в программной среде САПР Autodesk Fusion 360 разработана 3D модель устройства для съема плодов (рис. 3.68, 3.69). В качестве исполнительного механизма использован линейный шаговый актуатор Nema 18, имеющий следующие технические характеристики: масса 80 г, длина штока 110 мм, максимальная скорость хода штока 4 мм/с, точность позиционирования 0.001 мм, номинальное напряжение питания 4.2 В, максимальный потребляемый ток 0.5 А. Согласно вычисленным нагрузкам был проведён прочностной расчёт. Установлено, что нагрузки не превышают допустимые, запас прочности более 15 МПа. Максимальные нагрузка на лапы захвата составляет 9,3 МПа, максимальная деформация 0,3 мм.



1 – лапы захвата; 2 – толкатель; 3 – основание; 4 – крепление шагового двигателя; 5 – линейный шаговый двигатель; 6 – шток линейного шагового двигателя

Рисунок 3.68 – 3D модель захвата для съема плодов, результаты анализа напряженно-деформированного состояния конструкции

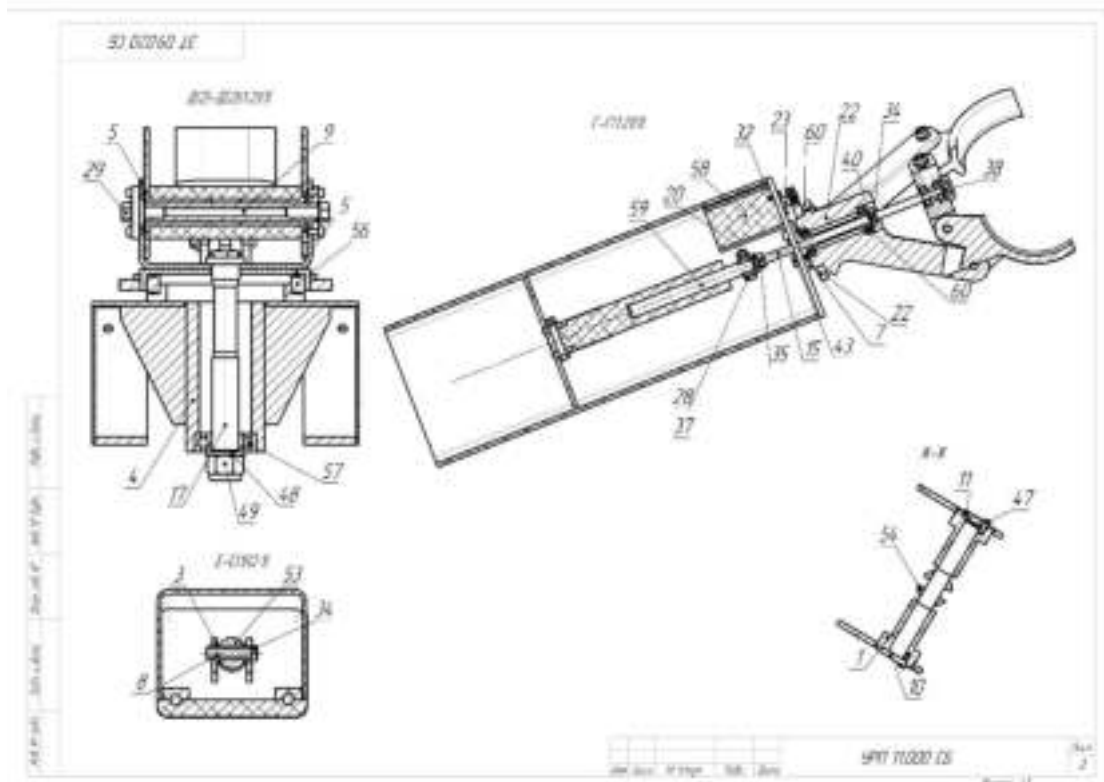


Рисунок 3.69 – Фрагмент сборочного чертежа захвата

Разработана структурная схема системы управления для автоматизированного съема плодов, которая включает в себя комплекс

аппаратных и программных средств, микроконтроллер (МК), датчик срыва плода (ДСП), датчик давления плода (ДДП), драйвер шагового двигателя (ДШД), линейный актуатор (ЛА), компьютер управления манипулятором и системой распознавания плодов (К) (рис.3.70).

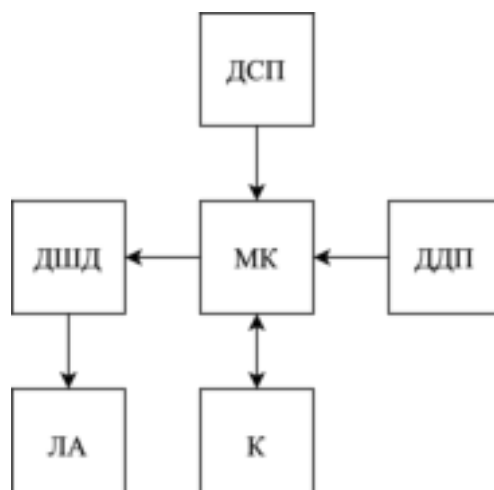


Рисунок 3.70 – Структурная схема системы управления для автоматизированного съема плодов

Все элементы аппаратной части находятся внутри основания устройства для съема плодов, через аналоговые порты приходят данные с датчиков давления и срыва плода. Связь с компьютером осуществляется с помощью стандартного последовательного интерфейса UART. Программная часть устройства представляет собой программный код, который управляет положением шагового линейного актуатора, обрабатывает данные с датчиков давления и срыва плода, считывает и отправляет данные в компьютер. В качестве программируемого микроконтроллера использован Atmel ATmega328p в корпусе 28-PDIP. Используемый восьмиразрядный микроконтроллер имеет хорошую производительность, а из-за техпроцесса в 60 нм имеет низкое энергопотребление. В зависимости от величины подаваемого напряжения в диапазоне от 1.8 В до 5.5 В данный микроконтроллер может работать на частоте от 4 МГц до 20 МГц. Внутренний источник тактирования Atmega328p работает на частоте 8 МГц, но так как в схеме управления процессами захвата имеются устройства, которые требуется обрабатывать с высокой скоростью, использован внешний источник тактирования на 16-20 МГц.

Разработка датчика контроля отрыва плода. При выполнении технологической операции сбора плодов в полевых условиях робот-манипулятор должен сорвать плод, а после переместить его в тару для хранения. Если захват не сможет точно зафиксировать момент срыва плода, то он продолжит тянуть плод после его отрыва от плодоножки. Наличие в системе датчика срыва плода позволит сократить время сбора плодов, так как не будет производиться лишних движений манипулятора. При срыве плода захватом, если не придерживать ветку, на которой висит плод, плодоножка от ветки отделится не сразу, для срыва необходимо использовать некоторое усилие. При этом, в момент, когда плодоножка отсоединилась от ветки, захват получает резкое ускорение в сторону отрыва плода. Это резкое ускорение и будет показывать момент отрыва плода от ветки. Для регистрации данного ускорения, применен датчик акселерометр. При выборе акселерометра учитывалось ускорение во всех направлениях, для этого применен трёх осевой акселерометр ST Microelectronics LIS331DLHTR, напряжения питания 1.5-3.6 В, тип интерфейса i2c, spi, чувствительность 0.1 м/с^2 подключенный по схеме (рис. 3.71).

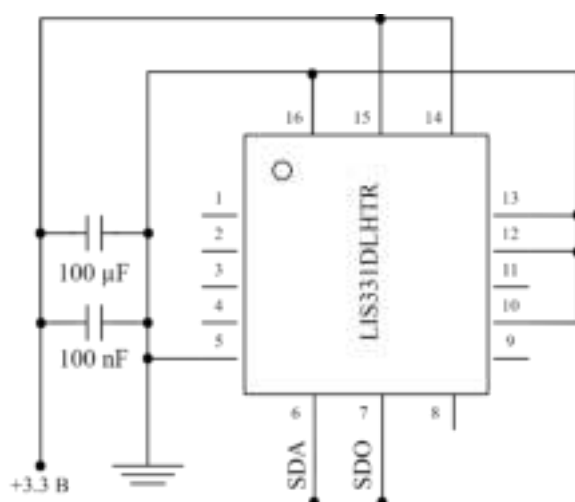


Рисунок 3.71 – Схема подключения датчика акселерометра ST Microelectronics LIS331DLHTR

Акселерометр ST Microelectronics LIS331DLHTR подключен к микроконтроллеру ATmega 328 через последовательный периферийный интерфейс spi. Для питания акселерометра использован регулятор

напряжения Analog Devices ADP3338AKCZ-3.3RL7 с малым падением напряжения и стабилизацией напряжения в 3.3 В подключенный по схеме (рис. 3.72).

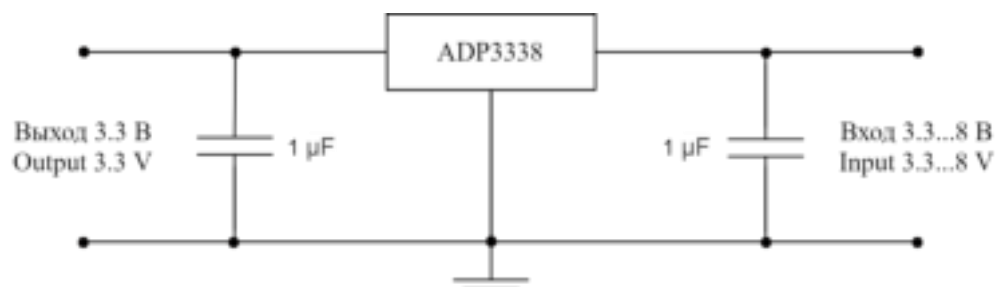


Рисунок 3.72 – Схема подключения регулятора напряжения Analog Devices ADP3338

Для калибровки датчика отрыва плода, он закреплен на опытном образце автоматизированного устройства для съема плодов, который работает в совокупности с манипулятором. Работа манипулятора велась вручную с помощью пульта дистанционного управления. Робот-манипулятор эмитировал работу по сбору одного яблока, она начиналась от момента начала срыва, а заканчивалась моментом складывания яблока в емкость для транспортировки.

К датчику отрыва плода подключен компьютер, который непрерывно снимает показания с датчика акселерометра. В результате получили данные ускорения по оси x (рис. 3.73), по оси y (рис. 3.74), по оси z (рис. 3.75).

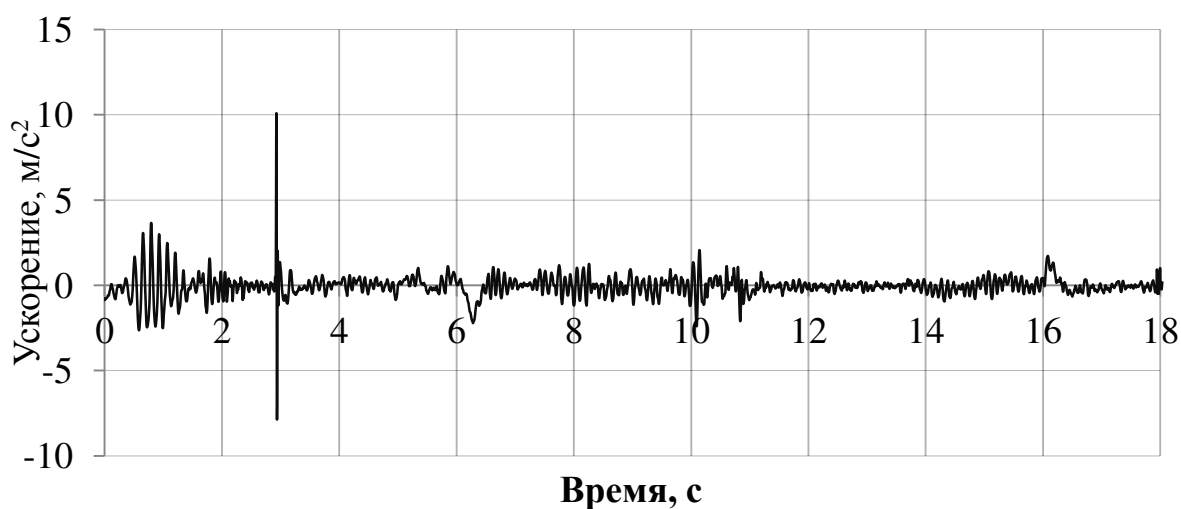


Рисунок 3.73 – Ускорение по оси x

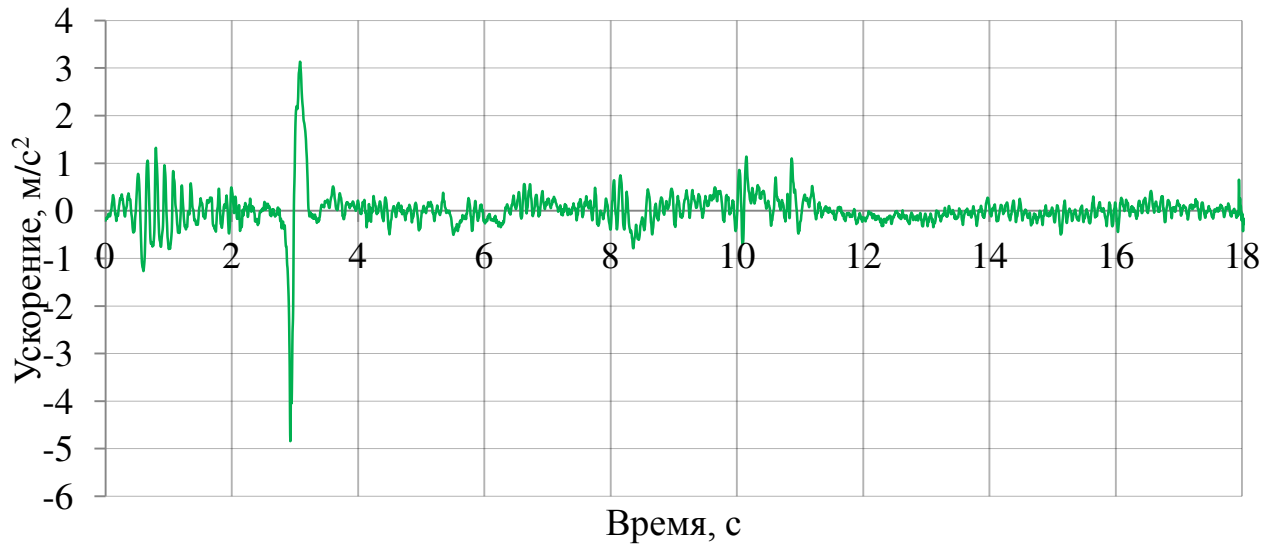


Рисунок 3.74 – Ускорение по оси y

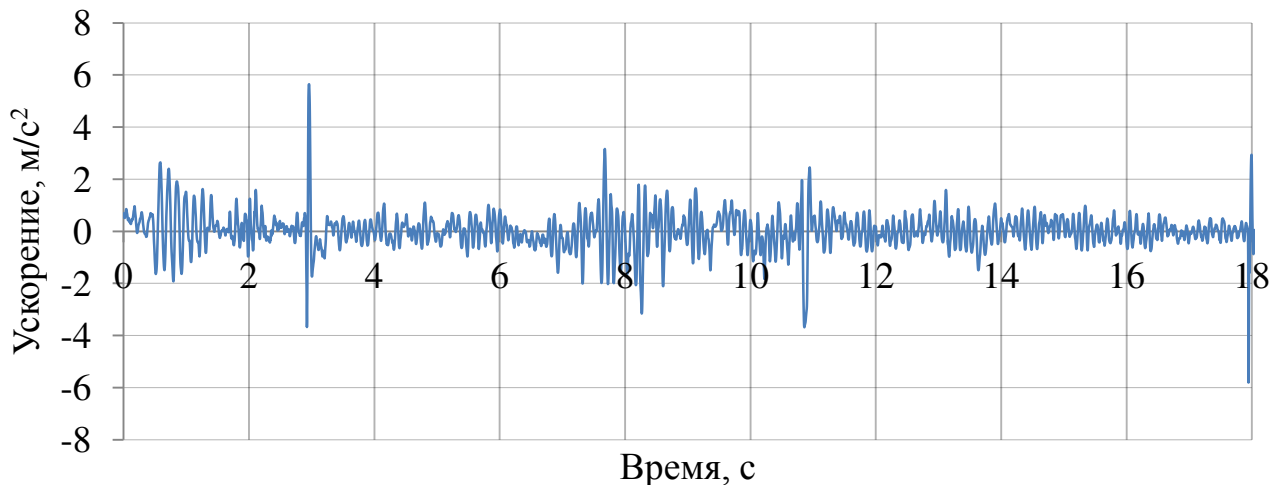


Рисунок 3.75 – Ускорение по оси z

В промежутке от 0 секунд до 2.7 секунд по всем трем осям видны колебания с максимальной амплитудой по оси x 3.8 м/с^2 , которые совершает устройство для съема плодов с зафиксированным яблоком в лапах захвата, в момент начала движения манипулятора. С 2.8 секунды происходит резкое повышение ускорения, это момент отрыва плодоножки от ветки дерева. После отрыва плодоножки, манипулятор набирает ускорение с максимальной амплитудой по оси x в 10 м/с^2 . На промежутке от 3.2 секунд до 18 секунд манипулятор перемещает яблоко в емкость для его транспортировки. Для обработки полученных данных найден модуль ускорения, который вычисляется по известной формуле 3.47.

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \quad (3.47)$$

где a_x^2, a_y^2, a_z^2 – данные ускорения акселерометра по осям x, y, z , м/с^2 .

На графике значений модуля ускорения (рис. 3.76), в промежутке от 2,8 секунд до 3,2 секунд происходит увеличение модуля ускорения с максимальным значением до $11,8 \text{ м/с}^2$.

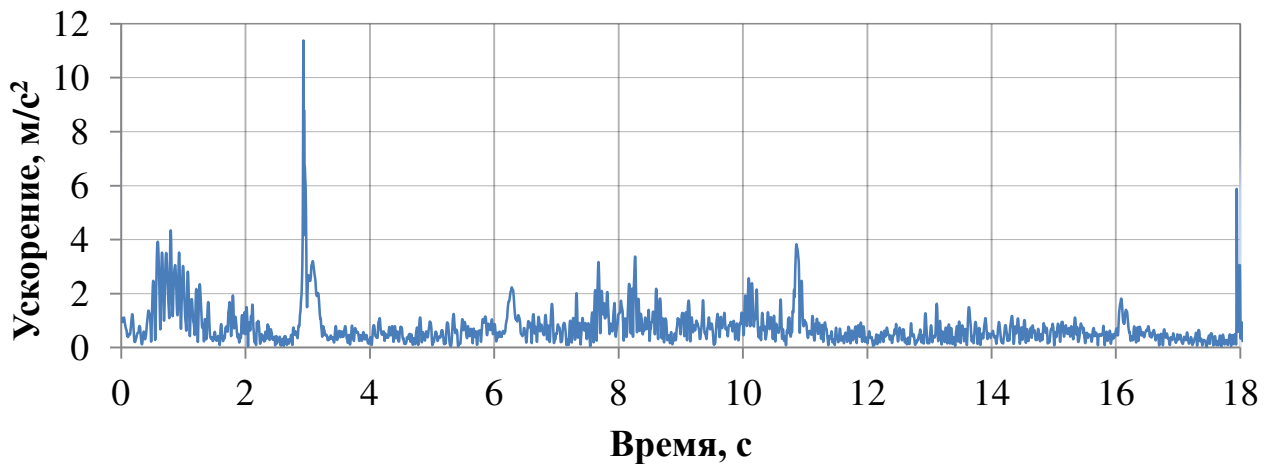


Рисунок 3.76 – Модуль ускорения

При считывании сигнала с акселерометра микроконтроллер определяет максимальное значение модуля ускорения, это значение и будет моментом отрыва плодоножки от ветки дерева.

Разработка датчика давления на плод. При захвате яблока лапами роботизированного захвата необходимо обеспечить такое усилие, при котором яблоко не повредится, но при этом будет надежно зафиксировано в лапах. Для автоматизации регулирования степени давления лап захвата на плод, разработан алгоритм, который в автоматическом режиме подбирает степень усилия давления лап захвата на плод. Для понимания степени давления лап захвата на плод разработан датчик контроля давления на плод.

Датчик давления плода работает на принципе изменения тока в обмотке шагового двигателя, чем больше ток в обмотке, тем с большим давлением лапы захвата захватывают плод. Необходимо с помощью датчика тока измерить ток в обмотке, данные тока обрабатываются с помощью микроконтроллера.

Датчик давления плода состоит из датчика тока, подключенного к микроконтроллеру. Датчик тока подключен на одну из обмоток шагового двигателя (рис.3.77).

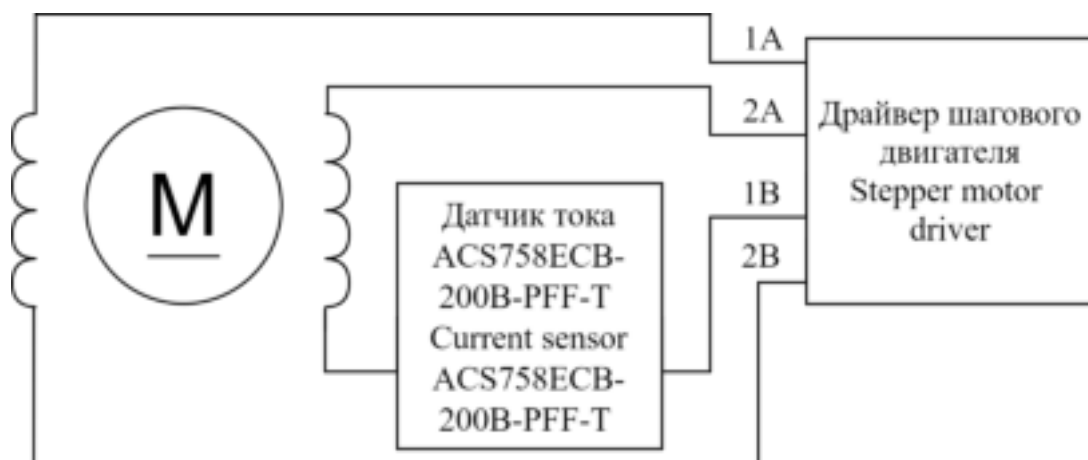


Рисунок 3.77 – Схема подключения датчика тока к драйверу шагового двигателя

В качестве датчика тока использован Allegro MicroSystems ACS758ECB-200B-PFF-T, данный датчик способен измерять ток до 200 А с точностью до 3 мА. Датчик подключен в разрыв измеряемой цепи. Показания тока преобразовываются в напряжение, которое следует перевести в величину измеряемого тока.

Выбор внешнего аналогово-цифрового преобразователя. Так как микропроцессор не может работать с аналоговыми сигналами требуется устройство, для преобразования аналогового сигнала в цифровой (АЦП). В качестве АЦП использован AD7706BNZ, который имеет необходимое разрешение и работает на необходимом для микроконтроллера интерфейсе: архитектура сигма-дельта, разрешение 16 Бит, частота дискретизации 500 выб/с, напряжение питания от 2В до 5.5 В. Схема подключения датчика давления плода приведена на рисунке 3.78.

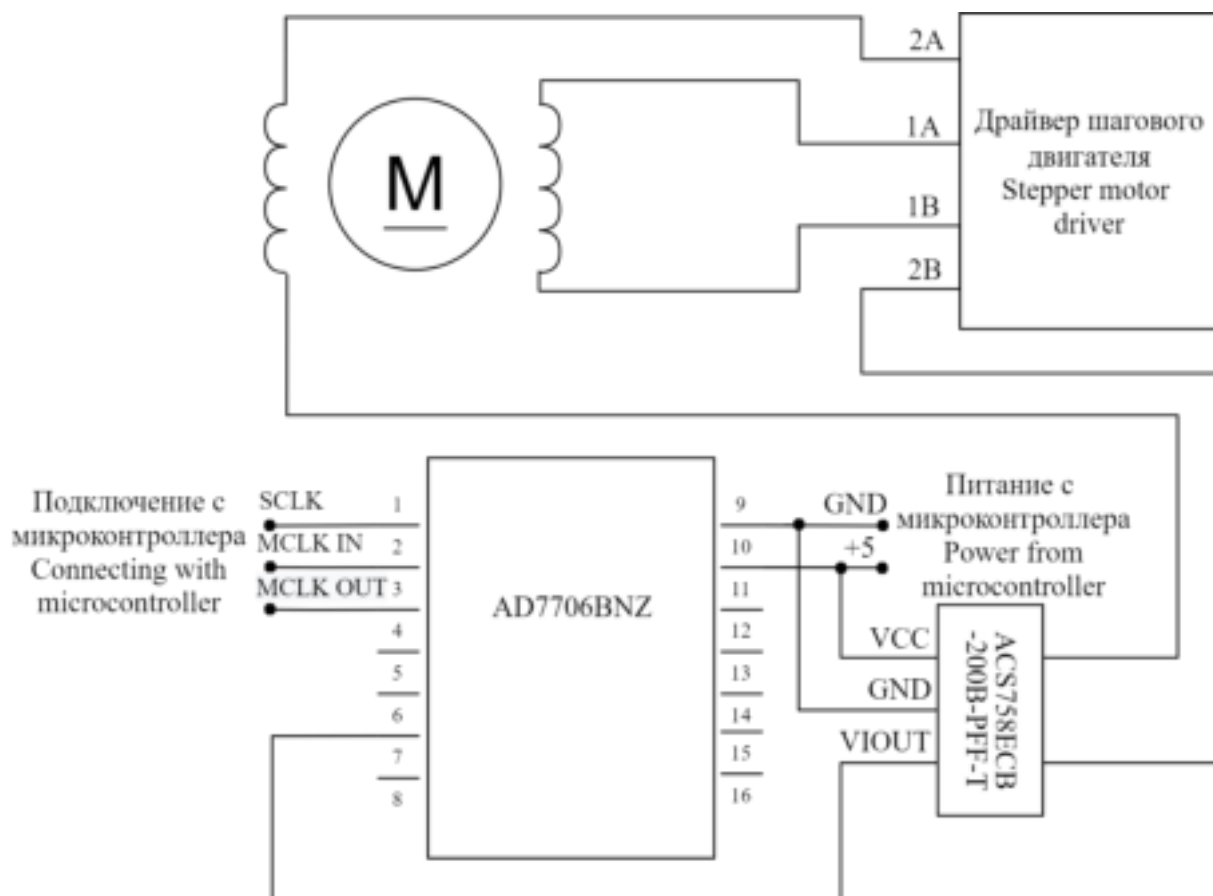


Рисунок 3.78 – Схема соединения датчика давления плода

Разработанный датчик представляет собой совокупность устройств измерения тока в обмотке шагового двигателя и телеметрии, которые следят за изменением тока. Изменение тока в обмотке происходит пропорционально изменению давления лап захвата на плод. При захвате устройством съема плода происходит включение линейного шагового двигателя, который приводит в движение лапы захвата. При захватывании плода происходит увеличение тока в обмотке шагового двигателя с помощью датчика тока этот ток измеряется и преобразуется в аналоговый сигнал, который в свою очередь, подается на АЦП для преобразования в цифровой сигнал для последующей обработки с помощью микроконтроллера. Величина тока и давления лап захвата на плод калибруется и настраивается экспериментально под конкретный плод.

Выводы по Главе 3

1. Проанализированы основные физико-механические свойства плодовых насаждений интенсивного типа, установлено, что некоторые параметры достаточно хорошо изучены, например, типы подвоев и корневых систем, плотность посадки и расположение плодов в кроне, система защиты и др., а некоторые требуют уточнения при экспериментальном тестировании роботизированных машин такие как: толщина коры, повреждаемость штамба при соприкосновении с механическим щупом, толщина кожицы плода и другие. Базовые физико-механические свойства плодовых интенсивных насаждений использованы при формировании технико-технологических требований и разработке конструкций автоматизированных и роботизированных машин.

2. Для выполнения технологической операции магнитно-импульсной обработки садовых насаждений обоснованы параметры и разработан технологический модуль с аппаратом для автоматизированной магнитно-импульсной обработки растений. Выявлено, что адаптер должен иметь регулируемую ширину захвата 140-180 см и возможность регулировки наклона рабочих индукторов в диапазонах 30-45 град., что позволит расширить его применение в интенсивном садоводстве.

3. Обоснованы параметры машины для гидравлического удаления сорной растительности в приствольных зонах деревьев. Для автоматической регулировки давления, отклонения штанги, объёмной подачи жидкости и изменения расстояния до обрабатываемой поверхности рабочий орган машины оснащен микроконтроллером, ультразвуковым датчиком контроля высоты сорной растительности, грязевой вращающейся форсункой-фрезой с диаметром отверстия 0,5 мм, и двумя линейными электроприводами. Конструктивные параметры машины: привод рабочего органа - гидравлический, максимальное давление насосной станции 1000 бар, расход

11,4 л/мин в направлении сопла форсунок, скорость вращения вала отбора мощности 500-600 об/мин, давление сброса 1250 бар.

4. Обоснованы параметры и разработана универсальная роботизированная платформа (УРП), спроектированная по блочно-модульному принципу, для выполнения трудоемких и вредных для здоровья человека технологических операций. УРП отличается от аналогов увеличенным агропросветом, повышенной мощностью электропривода, проходимостью и высокоточной системой автоматического управления.

5. Установлено что для выполнения базовых технологических операций (обработка междурядий, опрыскивание и уборка урожая) по уходу за садовыми насаждениями с междурядьями 2,5 - 4 м, высотой кроны деревьев до 3-3,5 м в интенсивных технологиях необходимы следующие конструктивные параметры платформы: агропросвет не менее 1200 мм, регулируемая колея 1840-2080 мм, масса не более 400 кг., грузоподъемность не менее 1000 кг., мощность силовой установки не менее 5 кВт.

6. В программном комплексе многотельного проектирования UM (универсальный механизм) создана математическая модель подвижности роботизированной платформы, представленная в виде совокупности тел с различными упругодемпфирующими характеристиками, что позволило еще на этапе проектирования провести оптимизацию конструктивных параметров. По результатам моделирования получены графики динамики разгона и движения роботизированной платформы с полной загрузкой массы. Время набора рабочей скорости 4 м/с составляет не более 5 секунд.

7. Проведен расчет автономности роботизированной платформы при проведении технологической операции опрыскивания садовых растений. Локальная автономность выполнения задания на опрыскивании составляет 57,2%, что является приемлемым для этой операции, так как опрыскиватель необходимо регулярно заправлять рабочей жидкостью. Установлено, что на операциях ухода за насаждениями и уборки урожая уровень автономности должен быть не менее 80%.

8. Обоснованы оптимальные параметры роботизированного манипулятора для работы в полуплоской кроне плодового дерева с расположением плодов по высоте кроны от 600 до 2000 мм: габаритные размеры 200x700x600мм, количество степеней свободы – 4, углы поворота вращательных звеньев от 5 до 156 град.

9. Выбран трёхпалый концентрический захват для роботизированной уборки плодов, который развивает сумму сил равную максимальному весу и силе отрыва яблока от плодоножки с прокручиванием плода вокруг вертикальной оси. Сила необходимая для отрыва спелого яблока с минимальным повреждением составляет 8-13 Н.

10. В результате проведенных теоретических исследований разработана интеллектуальная система управления оборудованием роботизированного устройства для съёма плодов, которая способна в кратчайшее время определить момент срыва плода с плодоножки, а также способна контролировать степень давления лап захвата на плод.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА, АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ИНТЕНСИВНОМ САДОВОДСТВЕ

4.1 Программа экспериментальных исследований

Для решения задач, поставленных в данной работе, программа экспериментальных исследований включала:

- лабораторно-полевые исследования параметров системы распознавания плодов и установление качества распознавания в зависимости от освещенности;

- лабораторно-полевые исследования по установлению коэффициентов отражения спектров в зависимости от типов повреждений поверхности плодов;

- сравнительные исследования работы программно-аппаратных средств при формировании машинных агротехнологий с учётом изменяющихся метеоусловий;

- лабораторно-полевые исследования опытного образца агрегата для автоматизированной магнитно-импульсной обработки садовых насаждений;

- лабораторно-полевые исследования опытного образца машины для борьбы с сорной растительностью в приствольных зонах садовых насаждений;

- лабораторно-полевые исследования опытного образца универсальной роботизированной платформы с модулем горячего тумана для обработки садовых насаждений;

- лабораторно-полевые исследования опытного образца роботизированного манипулятора для съёма плодов яблони с кроны деревьев;

- лабораторные исследования влияния конструктивных параметров трехпалого захвата на травмируемость снимаемых плодов.

Лабораторные исследования направлены на определение рациональных режимных параметров системы распознавания плодов и установление зависимости качества распознавания в зависимости от окружающей освещенности, коэффициентов отражения спектров и скорости движения роботизированной платформы при мониторинге и сборе урожая с целью адаптации алгоритмов распознавания к естественным условиям.

Полевые исследования направлены на установление достоверности выведенных теоретических зависимостей для определения конструктивных и режимных параметров машин, рациональных и оптимальных режимов работы в промышленных условиях опытных образцов агрегата для магнитно-импульсной обработки садовых насаждений, машины для гидравлической обработки почвы в приствольных зонах садовых насаждений, роботизированной платформы с модулем горячего тумана для химической обработки садовых насаждений, роботизированного манипулятора для съема плодов яблони с кроны деревьев.

Исходными данными для разработки программы послужили задачи исследований, теоретические разработки и выводы, а также общая программа исследований с учетом методик проведения полевого опыта и обработки экспериментальных данных Б.А. Доспехова, Р.Р. Усманова, А.М. Валге и других [188-190].

4.2 Экспериментальные исследования аппаратного программного комплекса (ПАК) «Агроинтеллект ВИМ»

4.2.1 Исследования программно-аппаратного комплекса при анализе спектральных изображений повреждений плодов на основе гиперспектральной визуализации

Лабораторно-полевые исследования ПАК при работе со спектральными изображениями включала в себя несколько этапов: сбор спектральных изображений, выбор спектральных каналов для анализа изображений с

измерением отражательной способности и установлением модифицированного индекса отражения Браунинга (MBRI) для каждого вида повреждения, статистическая обработка и систематизация полученной информации в базе данных ПАК.

Изображения, содержащие гиперспектральные коэффициенты отражения, снимались с помощью кадрового гиперспектрометра IQ (SPECIM, Финляндия). Для каждого пикселя гиперспектрального изображения регистрировали спектр отражения (спектральный диапазон 400-1000 Нм; спектральное разрешение 1 Нм) против стандарта отражательной способности из материала Spectralon при естественном освещении либо освещении двумя 150-Вт люминесцентными лампами дневного света (для снятых с дерева плодов).

Для исследования были выбраны плоды яблони сортов Голден Делишес (зеленого цвета), Лигол и Гала (красного цвета) с признаками повреждения солнечным ожогом, паршой яблони или без них. Плоды выращивались в экспериментальном саду Федерального научного центра имени Мичурина (Мичуринск, Тамбовская область, Россия) и в производственном саду плодово-ягодной компании “Сады Карачаево Черкесии” (Карачаево-Черкесская Республика, Россия).

В некоторых случаях изображения HRI были получены при окружающем освещении. Затем плоды были перенесены в лабораторию в течение одного часа после сбора, где коэффициент отражения той же стороны, был измерен с помощью обычного спектрофотометра (измерения “точечного” типа).

Измерения проводились с 10:00 до 11:00 утра. Для каждого пикселя гиперспектрального изображения (512×512 пикселей) был записан спектр отражения (спектральный диапазон 400-1000 нм; спектральное разрешение 1 нм) по стандарту отражательной способности, изготовленному из Spectralon® при окружающем освещении. Средняя интенсивность солнечного излучения за период измерения составила 850 мкмоль.

Номинальные кванты $m=2$ с -1 , измеренные квантовым счетчиком LI-850 (LiCOR, Линкольн, Нью-Йорк, США). При построении спектрального индекса на основе отдельных спектров был подготовлен набор данных “исследования”. Эти спектры были отобраны вручную и отображены из изображений HRI визуально однородных областей плодов, имеющих признаки повреждений или отсутствующих (обозначенных как “здоровый зеленый”, “здоровый красный” и “поврежденный”). В целом, для набора данных “исследование” было отобрано 143 спектра. Выборка спектральных данных и визуализация индексных изображений была выполнена с использованием оригинального программного обеспечения для обработки гиперспектральных изображений Gelion, разработанной А.А. Николенко (МФТИ) в соавторстве с Б.М. Шурыгиным и А.Е. Соловченко (МГУ им. М.В. Ломоносова) [11].

В качестве примера результатов анализа оптических свойств плодов представлены спектры отражения здоровых и повреждённых поверхностей красных (содержащих антоцианы) плодов сорта Лигол (рис. 4.1). Наиболее выраженные изменения (снижение) коэффициентов отражения яблок наблюдали в синем и зелёно-оранжевом спектральных диапазонах.

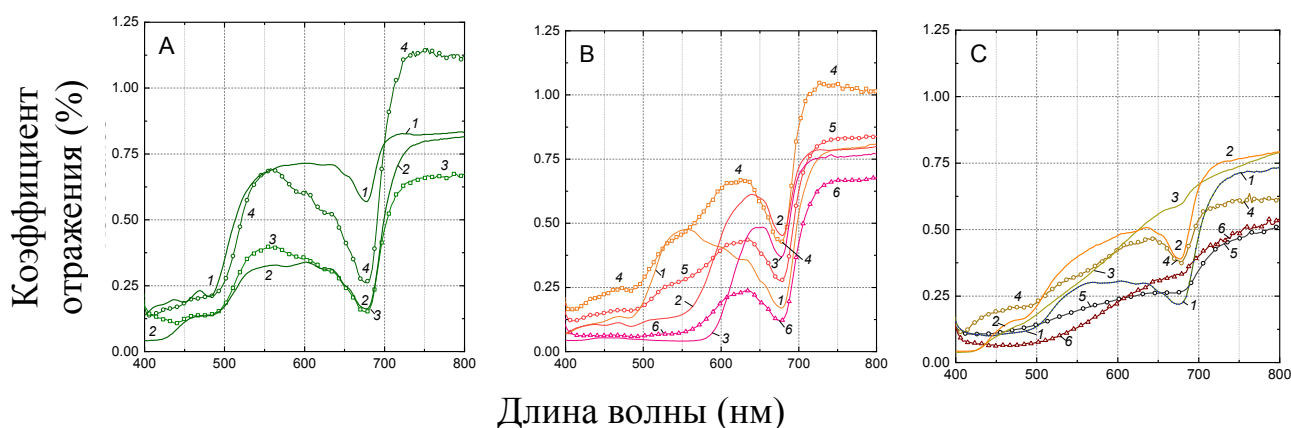


Рисунок 4.1 – Сопоставление гиперспектральных признаков повреждённых тканей плодов яблоки, полученных методами контактного и дистанционного оптического мониторинга.

Гиперспектральные коэффициенты отражения (А) здоровой поверхности зелёных плодов, не содержащих антоцианов; (В) здоровой

поверхности красных плодов, содержащих антоцианы; а также (С) поверхности плодов, повреждённой солнечным ожогом. Представлены репрезентативные спектры, измеренные традиционным спектрофотометром («точечные» измерения – линии, кривые 1–3), а также спектры, снятые гиперспектрометром (символы, кривые 4–6).

В целом, исследованные сорта демонстрировали синхронную динамику содержания каротиноидов и хлорофиллов в ходе созревания [206]. На участках поверхности яблок сортов Лигол и Гала, обращённых к периферии кроны (т.н. солнечной поверхности) регистрировали интенсивный биосинтез антоцианов, который отсутствовал у плодов сорта Голден Делишес. Как отмечено выше, накопление антоцианов в плодах Лигол и Гала вызывало значительное снижение отражения света плодами. Наряду с побурением, развитие солнечного ожога сопровождалось синхронным исчезновением (выцветанием) полос поглощения каротиноидов и хлорофилла (рис. 4.2, 4.3) вследствие их фотоокислительного разрушения.

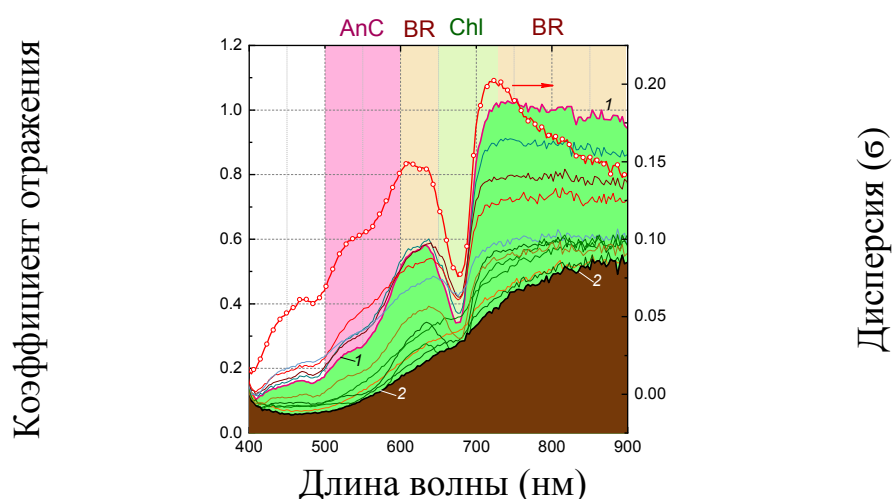


Рисунок 4.2 – Анализ спектрального распределения дисперсии коэффициентов отражения при развитии повреждения солнечным ожогом и фитопатогенами (по данным гиперспектральной камеры)

Представлены репрезентативные спектры отражения плодов с разной степень развития повреждений (линии, левая шкала) и рассчитанный на их основе спектр стандартного отклонения коэффициентов отражения (символы, правая шкала).

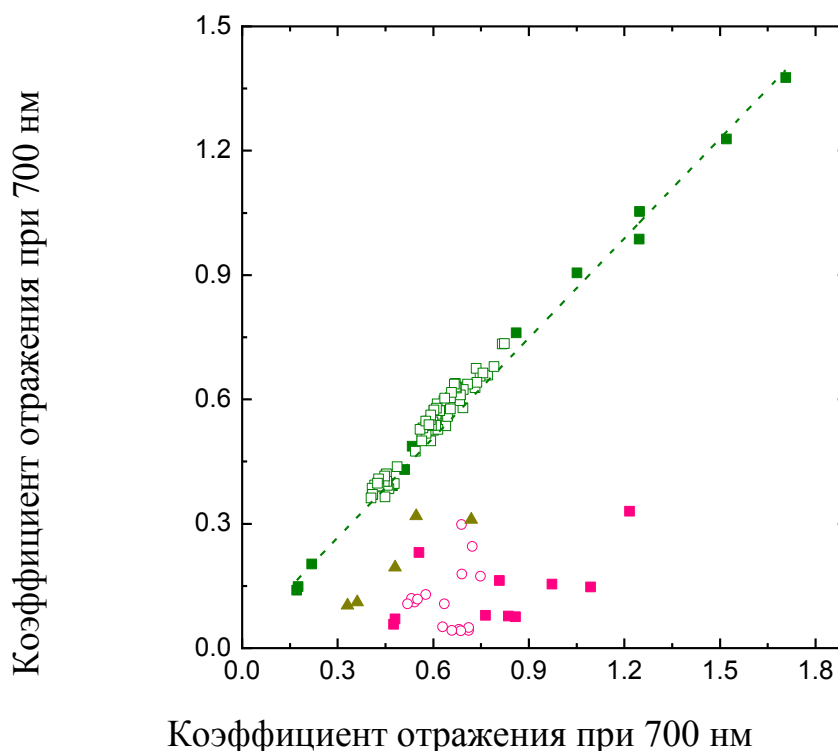


Рисунок 4.3 – Нарушение сильной линейной зависимости коэффициентов отражения при 700 и 550 нм (зелёные точки) при накоплении антоцианов (розовые точки) и повреждениях (треугольники) (по данным гиперспектральной камеры)

Представленные на рисунках 4.2, 4.3 данные подтверждают высокую корреляцию R_{550} и R_{700} . Эта корреляция существует, когда в этих спектральных диапазонах нет иных пигментов, поглощающих свет, кроме хлорофиллов.

Аналогичная закономерность была выявлена и при анализе данных, полученных с помощью гиперспектральной камеры. Накопление антоцианов и (или) меланин-подобных пигментов при повреждении тканей (побурении) вызывало значительное ослабление этой корреляции. На основании найденных закономерностей обратная величина R_{700} применялась для коррекции помех в составе коэффициентов отражения в зеленой области, обусловленных поглощением хлорофилла в этой области спектра. Использование данного подхода позволило точнее определять содержание пигментов, накапливающихся при побурении. В совокупности, эти закономерности изменения спектров отражения послужили основой для

разработки индекса BRI (Browning Reflectance Index), применяемого для оценки степени побурения:

$$\text{BRI} = [R_{550}^{-1} - R_{700}^{-1}] \cdot R_{750}^{-1} \quad (4.1)$$

где R_{750} и R_{550}^{-1} — компоненты, пропорциональные степени побурения, а R_{700}^{-1} — компонент, пропорциональный содержанию хлорофилла, необходимый для коррекции помех от его поглощения при 550 нм. Однако этот индекс не позволял отличить здоровые плоды с антоциановой окраской от плодов с симптомами повреждений. С этой целью данный индекс был модифицирован: в него был добавлен коэффициент отражения в ИК-области, а также полоса в жёлто-оранжевой области, менее чувствительная к действию антоцианов, но чувствительная к накоплению пигментов побурения. Доработанный индекс принял следующий вид:

$$\text{mBRI} = [R(590)^{-1} - R(700)^{-1}] \cdot R(900)^{-1} \quad (4.2)$$

Модифицированный индекс BRI позволил проследить развитие побурения, индуцированного солнечным ожогом. Для здоровых яблок, не имеющих симптомов поражения солнечным ожогом или паршой, были характерны низкие значения индекса независимо от содержания других пигментов.

Величина значений и распределение индекса в случае плодов, созревающих на дереве, соответствовала распределению и динамике развития визуальных симптомов ожога. В целом, результаты позволяют рекомендовать модифицированный индекс BRI для дистанционного оптического мониторинга развития ожога и иных повреждений, связанных с побурением тканей яблок, независимо от содержания в них антоцианов. Существенно, что использование этого индекса позволяет выделять на гиперспектральных изображениях плодов области, пораженные солнечным ожогом и некрозами, не всегда заметные невооружённым глазом (рис. 4.4).

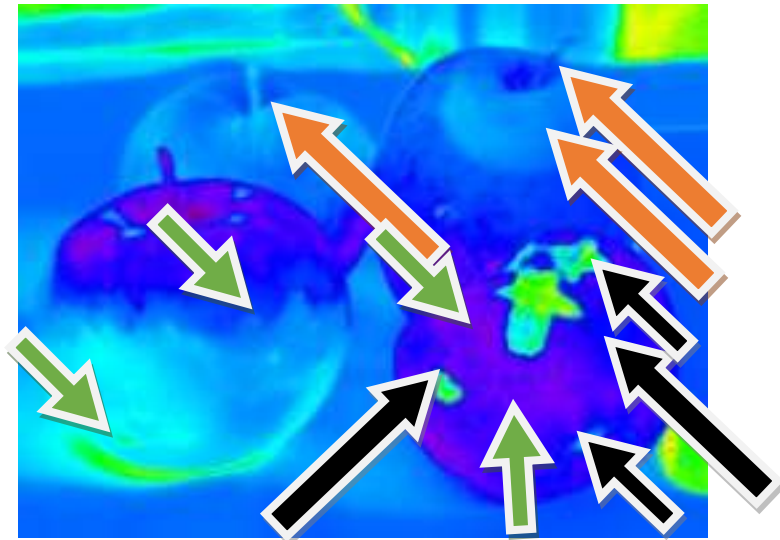


Рисунок 4.4 – Классификация участков поверхности плодов яблони по основным спектральным и гиперрастровым признакам на поврежденные и здоровые методом дистанционного оптического мониторинга

Пример 1. Показано гиперспектральное изображение плодов с некрозами (чёрные стрелки) и поражением солнечным ожогом (оранжевые стрелки), трансформированное в значения модифицированного индекса BRI. Зелёные стрелки — участки здоровой поверхности (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Классификация участков поверхности плодов яблони по основным спектральным и гиперрастровым признакам на поврежденные и здоровые методом дистанционного оптического мониторинга

Пример 2. Детекция поражений солнечным ожогом с помощью гиперспектрометра, формирующего изображение, и модифицированного индекса BRI. Представлено RGB-изображение плодов сорта Лигол с

поражение солнечным ожогом (стрелки). Врезка: изображение распределения значений модифицированного индекса BRI для тех же самых плодов с областями поражения солнечным ожогом (рис. 4.6).

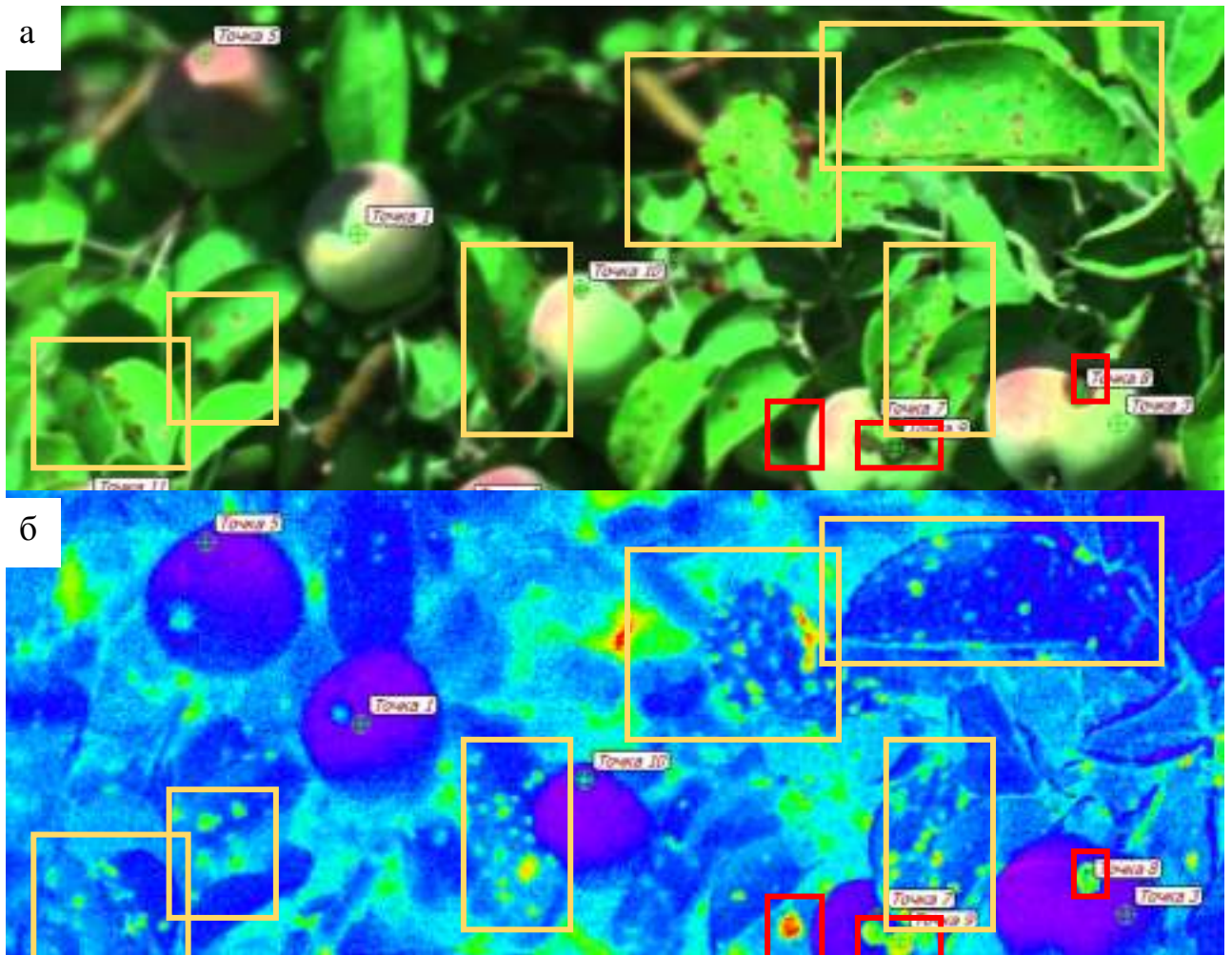


Рисунок 4.6 – Классификация участков поверхности плодов яблони по основным спектральным и гиперрастровым признакам на поврежденные и здоровые методом дистанционного оптического мониторинга

Пример 3. Исходное гиперспектральное изображение в RGB-представлении (а) и рассчитанное на его основе индексное изображение (б) для модифицированного индекса BRI. Красными прямоугольниками выделены повреждения плодов, оранжевыми прямоугольниками — повреждения листьев (некрозы, вызванные атаками фитопатогена — парши яблони *Venturia inaequalis*)

Для оценки отражательной способности был предложен индекс отражения Браунинга (MBRI) в виде:

$$mBRI = (R_{640}^{-1} + R_{800}^{-1}) - R_{678}^{-1} \quad (4.3)$$

где R_{640} , R_{800} и R_{678} - коэффициенты отражения в полосах, обозначенных индексами (рис.4.7).

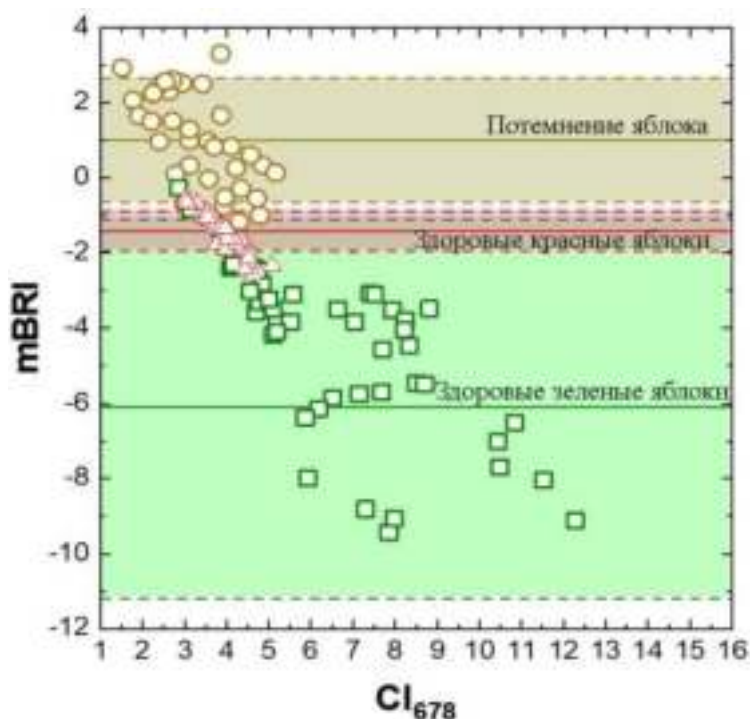


Рисунок 4.7 – Сравнение значений индекса mBRI, рассчитанного на основе гиперспектральных изображений отражения, полученных ВГ для здорового зеленого (квадраты; $-6,09 \pm 5,00$, $n = 43$), здорового красного (треугольники, $-1,41 \pm 0,52$, $n = 50$), а также те, которые пострадали от потемнения, вызванного паршой и ожогом (круги; $1,00 \pm 1,66$, $n = 50$), плоды яблок, нанесенные на график, против CI_{678} – соотношение R_{800} / R_{678} , показатель хлорофилла (Chl)

Средние значения \pm STD представлены на графике сплошными и пунктирными горизонтальными линиями соответственно. Все средние значения достоверно различались по t-критерию Стьюдента на уровне $p < 0,05$.

Как правило, здоровые плоды демонстрировали значения mBRI ниже - 1,0 независимо от содержания в них хлорофилла (Chl) и антоцианов (ANC), тогда как фрукты, даже слегка пострадавшие от потемнения, имели значения mBRI выше - 0,9. Средние значения индекса mBRI, рассчитанные для пораженных плодов, значительно отличались ($p < 0,05$) от значений для здорового чтения и здорового зеленого. Таким образом, индекс mBRI может

быть использован для количественной оценки солнечных ожогов и других заболеваний, сопровождающихся потемнением, а также болезней растений, поражающих близкие соотношения между коэффициентами отражения при 550 и 700 нм с использованием изображений HRI.

Для установления спектральных характеристик повреждений плодов от 250 до 500 Нм проведено сравнение спектров флуоресценции здоровых и поврежденных поверхностей яблока.

Прецизионные измерения флуоресценции плодов яблок проводили с использованием Fluorescence Spectrometer Lumina (Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, U.S.).

Источник излучения флуориметра ксеноновая лампа 150 Вт. Спектральная ширина щели монохроматоров возбуждения и регистрации во время измерения спектров составляла 5 Нм. Напряжение на PMT (Photomultiplier tube) 800В, время интегрирования 20 мс, время сканирования 1200 Нм/мин.

В качестве образцов использовались срезы с поверхности яблок.

Образцы: Яблоки, сорт «Сенатор», заболевание – «Парша точечная».

Образцы яблок перед использованием длительное время (~ 1-2 месяцев) содержались в холодильнике.

В приборе возбуждающий вход и эмиссионный выход находятся под углом 90 градусов, поэтому для измерения в качестве держателя образца использовали стандартную прозрачную со всех сторон кварцевую кювету (10×10×45 мм) (рис. 4.8).

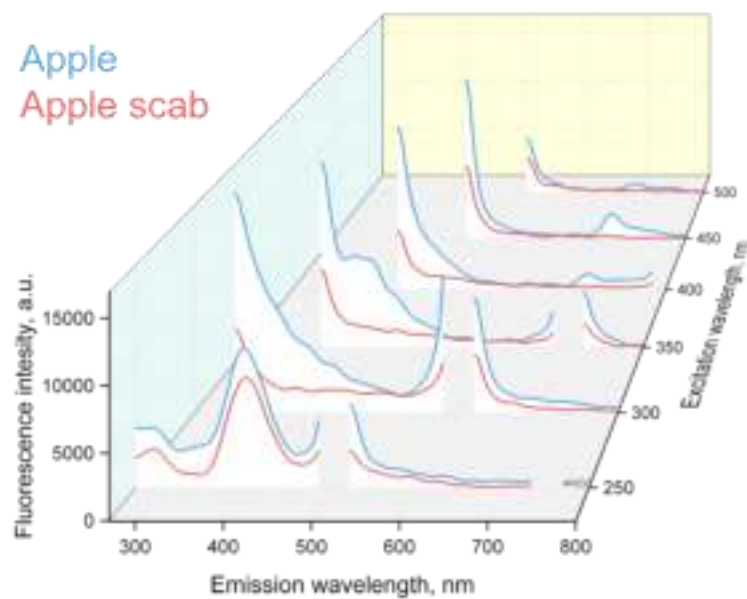
A



B



C



А) – яблоко сорт «Сенатор» с заражением паршой, В) – яблоко после вырезания проб, С) – спектры флуоресценции незараженной (синий) и зараженной паршой (красный) поверхности яблок сорта «Сенатор»

Рисунок 4.8 – Общий вид плодов яблок и спектры флуоресценции поверхности яблок

Срезы поверхностных тканей толщиной ~ 0.5 мм с помощью кварцевых пластин шириной ~ 12 мм закрепляли по диагонали кварцевой кюветы на высоте луча и помещали в прободержатель прибора.

Для того, чтобы можно было сравнивать спектры на разных длинах волн измерения были выполнены без использования фильтров. Из-за этого пришлось сдвигать начало измерения спектров эмиссии на 30 нм от возбуждающего излучения и делать пробел в спектре на месте второго порядка возбуждения.

Разрывы на графиках на длинах волн 500 ± 30 , 600 ± 30 , 700 ± 30 , 800 ± 30 нм обусловлены наличием высокоинтенсивного второго порядка возбуждения от излучения в диапазоне длин волн 250...400 нм. Один из наиболее простых методов сравнения множества спектров — нахождение и анализ их корреляций.

В таблице 4.1 показан коэффициент корреляций для спектров, возбужденных разными длинами волн для яблока.

Таблица 4.1 – Коэффициенты корреляции спектров здоровой поверхности яблока и зараженной паршой для возбуждений с разными длинами волн

Длина волны, нм	250	300	350	400	450	500
Без нормировки	0.975	0.922	0.935	0.976	0.977	0.980
После нормировки	0.985	0.834	0.922	0.881	0.508	0.734

Наименьшая корреляция, а, следовательно, наибольшие различия, для яблока выявлены для длин волн возбуждения 300-350 нм.

Обычно для сравнения спектров разных образцов делают их нормировку. Из-за небольших изменений в пространственном расположении образцов спектры их флуоресценции могут существенно различаться. Нормировка может быть выполнена несколькими способами. Один из них — это нормировка по площади спектра.

В этом случае площадь под любым спектром приравняется к единице. Эта нормировка хорошо работает в случае, когда спектры флуоресценций (пики на определенных частотах) у образцов схожие, и разница в амплитуде пиков возникает из-за различий в пространственном расположении.

В нашем случае спектры флуоресценций различаются не только по амплитуде, но и по наличию пиков.

Например, для образца яблока, зараженного паршой, отсутствует пик на 680 нм, который есть в контрольном образце в спектре с возбуждением на 400 - 450 нм.

Кроме непосредственной нормировки убраны части спектров ± 50 нм из-за наличия артефактных подъемов связанных с первым, вторым (для возбуждения 250–400 нм) и третьим (для возбуждения 250 нм) порядком воздействующего излучения.

Процедура нормировки сделала более яркими различия между образцами яблок (рис. 4.9). Особенно это заметно при возбуждении 450 нм, где коэффициент корреляции уменьшился с 0,98 до 0,51.

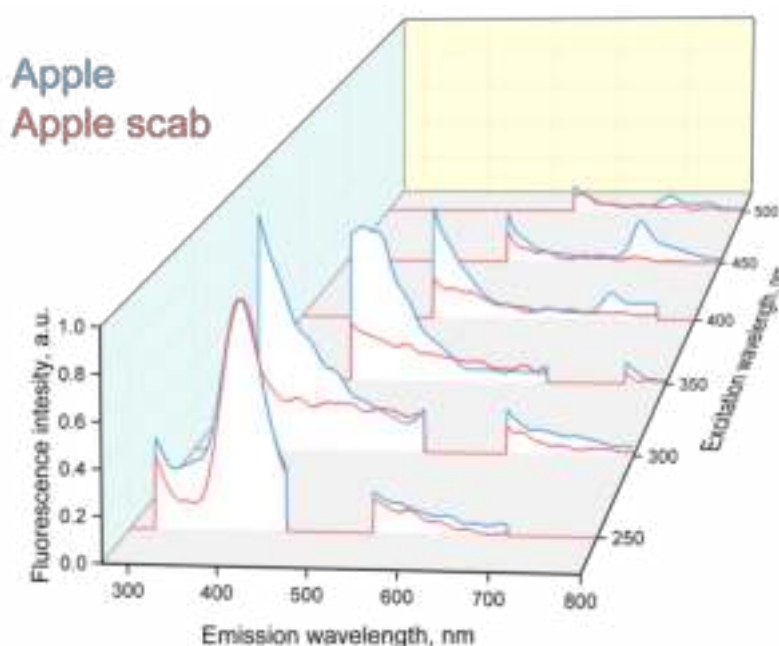


Рисунок 4.9 – Нормированные по высоте пика на длине волны 400 нм (возбуждении 250 нм) спектры флуоресценции незараженной (синий) и зараженной паршой (красный) поверхности яблок сорта «Сенатор»

Другой метод, часто используемый в спектральном анализе связан с уменьшением количества измерений и выбора среди множества данных наиболее значимых компонент. В методе сходные коррелированные спектральные переменные заменяются меньшим количеством некоррелированных линейных комбинаций, охватывающих наибольшую часть вариации данных.

На рисунке 4.10 представлены результаты анализа главных компонент для яблока для исходных и нормированных данных.

Здесь 530 мерное пространство (длина волны эмиссии от 270 до 800 нм) редуцировано до двумерного представления охватывающих более 50% исходной дисперсии.

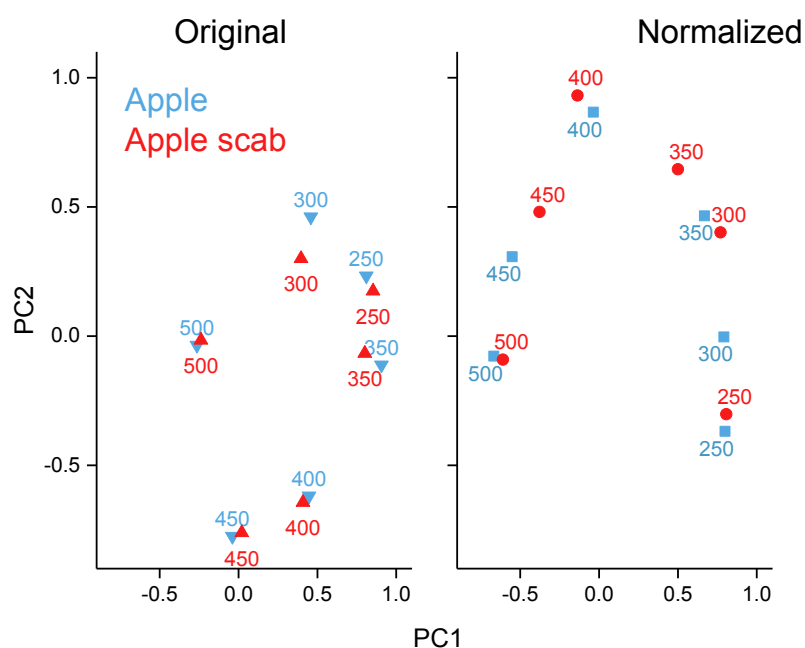


Рисунок 4.10 – Результаты анализа главных компонент первичных данных (слева) и после нормировки (справа) для незараженной (синий) и зараженной паршой (красный) поверхности яблок сорта «Сенатор»

Чтобы не было разрыва в данных в анализе PCA (начало спектров эмиссии и зона второго порядка возбуждения, значение интенсивностей в этих зонах приняли равными нулю. Нормирование данных улучшает их разделение с помощью метода PCA.

Основной вклад в разделение здоровой поверхности яблока и яблока с паршой вносят измерения при возбуждении 300 нм и в меньшей степени на 350 и 450 нм.

Кроме того, нормирование данных увеличило дисперсию, описываемую первыми двумя компонентами PC1 и PC2, с 50.8% до 62.2%. Основные различия в спектрах эмиссии здорового и зараженного паршой яблока лежат в области 400–450 нм при возбуждении 300–400 нм, а также в диапазоне длин волн 680–750 нм при возбуждении 400–500 нм.

В целом использование метода PCA дает схожую картину с ранее проведенным анализом корреляций. Спектры эмиссии кожуры яблока, возбужденных в УФ и сине-зеленой области, в целом похожи на спектры эмиссии зеленых листьев. При возбуждении на 350 нм спектры эмиссии кожуры яблока и эпидермиса зеленых листьев имеют максимум в районе 440 нм, однако есть и различия.

При обработке спектральных изображений различных видов повреждений плодов яблок зарегистрированы спектры флуоресценции красного и желтого участков здорового яблока (рис. 4.11).

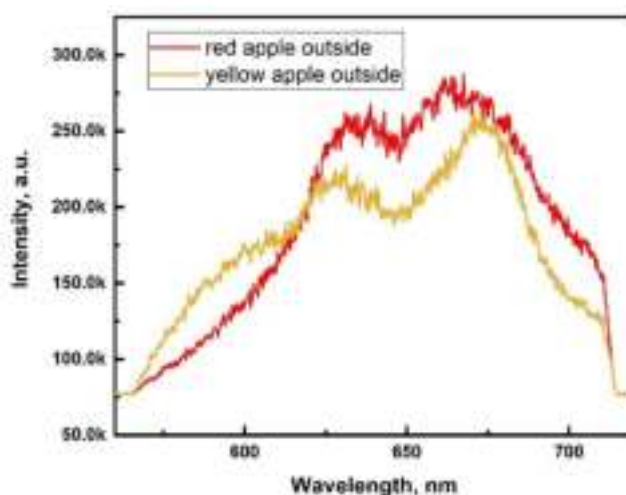


Рисунок 4.11 – Сравнение спектров флуоресценции красного и желтого участков хорошего яблока

Здоровый плод разрезали и зарегистрировали спектры флуоресценции для мякоти и косточек (рис. 4.12).

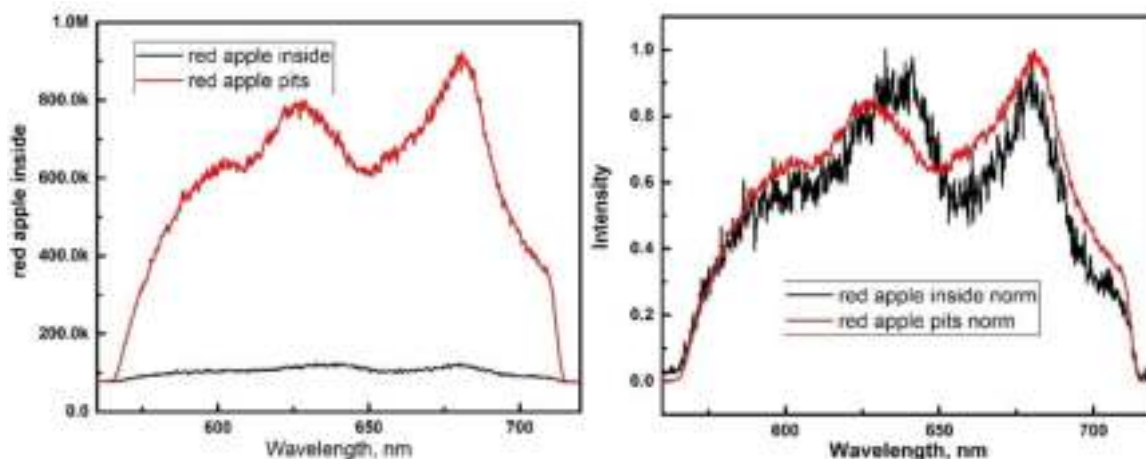


Рисунок 4.12 – Общие и нормированные спектры флуоресценции косточек и мякоти красного хорошего яблока

Установленные зависимости между коэффициентами отражения и видом повреждений плодов в различных диапазонах спектров включены в разработанную базу данных «Спектральные изображения плодов и других культур» (рис. 4.13), которая показала свою работоспособность в составе программно-аппаратного комплекса Агроинтеллект ВИМ по цифровому мониторингу состояния насаждений с дальнейшей обработкой информации нейронной сетью.



Рисунок 4.13 – Главное окно представления информации в базе данных Спектральные изображения плодов (Свидетельство о регистрации базы данных 2021620285, 16.02.2021)

4.2.2 Исследования программно-аппаратного комплекса при мониторинге урожая плодовых культур на основе нейронной сети

В результате проведенных исследований разработан и реализован алгоритм, включающий в себя операции по определению координат плодов

яблони, степени их спелости и расчёту расстояния до плода. С помощью камеры происходит снятие потокового видео, полученные видеок кадры сохраняются и обрабатываются в оперативной памяти ПК. Для каждого найденного плода рассчитываются координаты осей X, Y и Z. Координаты заносятся в целочисленный массив для дальнейшей обработки. Фактор размера позволяет изменять разрешение, получаемое с камеры, что даёт возможность регулировки детализации изображения и увеличения быстродействия реализованного алгоритма компьютерного зрения [5].

Получение изображений для тестовой обработки осуществляли при искусственном освещении с использованием фотокамер Canon EOS 1100D и Canon EOS 40D расположив 14 плодов различного размера и окраса на поверхности с зелёным однотонным фоном с расстояния 0,5 м. Для анализа полученных изображений использована разработанная и описанная в главе 2 «Нейронная сеть для распознавания плодов и ягод садовых культур» (ИНС) (свидетельство программы для ЭВМ № 2020660182 от 28.08.2020). При этом, количество снимков, полученных с 2 камер различается в 4 раза (8 и 32 соответственно), поскольку на камере Canon EOS 40D были использованы различные значения освещённости.

Основной дата-сет состоит из 193 и 289 снимков, выполненных на камеры Canon EOS 1100D и Canon EOS 40D. Часть изображений, около 5% от общего числа снимков, включённых в итоговую выборку, отбракованы по причине наличия посторонних объектов в кадре, плохого качества изображения или нарушения условий проведения эксперимента.

Используемые приборы и материалы: рулетка измерительная с длиной ленты 3 м, экран из зелёной ткани (размеры 2000x1500 мм), искусственное дерево (модель), люксметр Radex LUPIN, 4 сорта плодов по 3 шт. каждый (яблок различной окраски), фотокамера Canon EOS 1100D, фотокамера Canon EOS 40D, фотокамера Canon SpeedLite 430EX2, персональный компьютер с предобученной тестируемой искусственной нейронной сетью (ИНС).

Варьируемые факторы:

- расстояние до распознаваемого объекта, см, X1;
- общий уровень освещённости, лк, X2;
- разрешение получаемого кадра, Мпикс, X3;

Выходной параметр – достоверность (степень) распознавания плодов яблони на изображении. Определяется, как отношение количества обнаруженных и распознанных с помощью ИНС плодов к общему числу плодов, присутствующих на фотографии и идентифицированных вручную человеком.

Факторы, интервалы их варьирования, план эксперимента представлены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 – Факторы и интервалы их варьирования

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
x1:	300	9000	17700	8700	Освещённость, лк
x2:	0,5	1	1,5	0,5	Расстояние, м
x3:	10	11	12	1	Разрешение, Мпикс

Таблица 4.3 – План эксперимента и выходные параметры опытов

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (Точность определения, %)		
	x1	x2	x3	Освещённость, лк	Расстояние, м	Разрешение, Мпикс	y(u, 1)	y(u, 2)	y(u, 3)
1	-1	-1	-1	3000	0,5	10	75,78	75,91	75,81
2	+1	-1	-1	17700	0,5	10	81,25	80,26	80,92
3	-1	+1	-1	3000	1,5	10	65,31	64,6	65,65
4	-1	-1	+1	3000	0,5	12	75,81	75,05	75,92
5	+1	-1	+1	17700	0,5	12	81,88	80,29	81,78
6	+1	+1	-1	17700	1,5	10	64,77	65,63	65,01
7	-1	+1	+1	3000	1,5	12	69,65	69,96	68,59
8	+1	+1	+1	17700	1,5	12	67,8	66,54	66,74

В результате анализа основного дата-сета с помощью ИНС были выявлены следующие закономерности. Учитывая общую точность распознавания по всей выборке, лучший результат был получен при использовании камеры с более высоким разрешением матрицы: 61,7% - D40, с матрицей 10,2 Мрiх и 70,27% D1100, с матрицей 12,2 Мрiх. Наилучший результат обнаружения, полученный при общем анализе тестового дата-сета, в разрезе по условиям съёмки анализируемого кадра, получен при минимизации расстояния до объекта – 0,5 м, нахождении объекта в фокусе, использовании максимально возможного разрешения (12,2 Мрiх) и отсутствии увлажнения поверхности плодов, составляет 75,8%. При этом, при наличии влаги на поверхности, результат получается несколько хуже, снижая точность обнаружения до 74,5%.

Гораздо большее влияние на конечный результат оказывает расстояние до объекта и освещённость. При изменении расстояния с 0,5 до 1,5 м с шагом в 0,5 м, точность обнаружения изменяется с 75,8% (0,5 м) до 57,8% (1,5). Промежуточное значение полученной точности обнаружения (1 м) при этом составляет 66,03%. При изменении среднего уровня освещённости со 10000 лк до 30000 лк, степень точности определения изменяется с 64,1% до 74,3%. При этом, при отсутствии фокусировки на объекте съёмки, наличии бликов на изображении и общем засвечивании, результат определения получается наиболее неточным – около 43%, в разрезе анализа снимков данного типа по дата-сету. Также установлено, что точность распознавания зависит от качества материала, содержащегося в изначальном дата-сете и возрастает по мере его дополнения и повторного обучения ИНС (рис. 4.14).

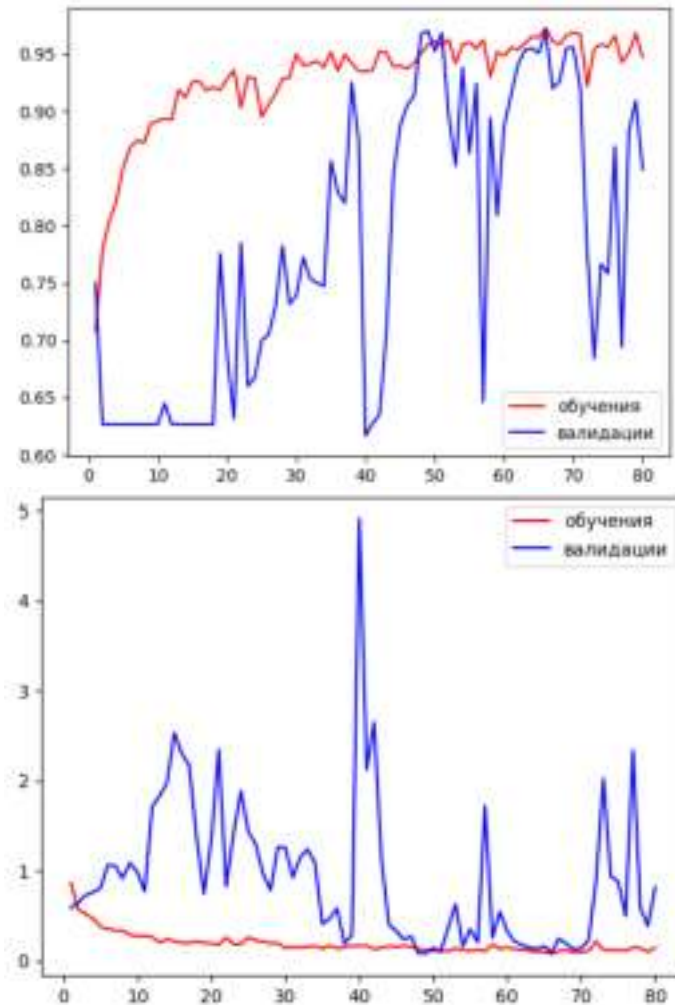


Рисунок 4.14 – Зависимости достоверности результатов от периодизации обучения

Главное отличие используемого алгоритма определения (детектирования) от существующих заключается в определении вероятности присутствия искомого объекта на всём изображении, в каждом из его сегментов, не зависимо от их количества. Поиск производится по предварительно настроенным дескрипторам по всему полю изображения, затем, на основе концентрации вероятностей делается вывод о наличии искомого объекта на изображении. В результате анализа полученных результатов получено уравнение математической модели (формула 4.4):

$$y = 71,73 - 1,278 \cdot x_1 - 4,331x_2 + 1,757 \cdot x_3 - 5,593x_1^2 + 5,54 \cdot x_2^2 - 3,49 \cdot x_3^2 + 1,834 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2,729 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,843 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (4.4)$$

Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах: 83,109. Число степеней свободы: 20. Табличное значение критерия Стьюдента: 2,09

Дисперсия адекватности математической модели: 114,079. Число степеней свободы при значимых коэффициентах: 9. Табличное значение критерия Фишера: 2,39. Расчетное значение критерия Фишера: 1,37. По адекватности математической модели, по критерию Фишера уравнение математическая модель является адекватной.

Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора $x_1=0$ (9000) (формула 4.5):

$$y = 71,73 - 4,331 \cdot x_2 + 1,757 \cdot x_3 + 5,54 \cdot x_2^2 - 3,49 \cdot x_3^2 + x_2 + 0x_3 - 0,843 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (4.5)$$

Наличие экстремума функции отклика: экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет $Y_{opt} = 71,028$. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $x_2 = 0,406$ (1,203) и $x_3 = 0,203$ (11,203) при $x_1=0$ (9000).

Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора $x_2 = 0$ (1) (формула 4.6):

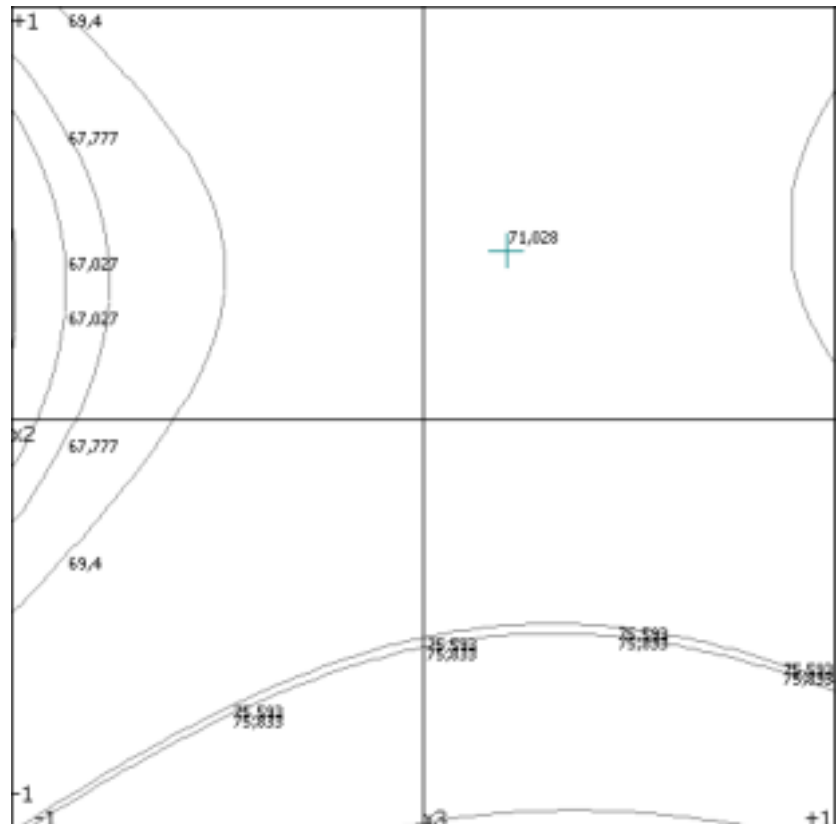
$$y = 71,73 - 1,278 \cdot x_1 + 1,757x_3 - 5,593x_1^2 - 3,49 \cdot x_3^2 + x_1 + 2,729x_1 \cdot x_3 + x_3 \quad (4.6)$$

Наличие экстремума функции отклика: экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет $Y_{opt}=71,968$. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $x_1=-0,058$ (8495,4) и $x_3=0,229$ (11,229) при $x_2=0$ (1).

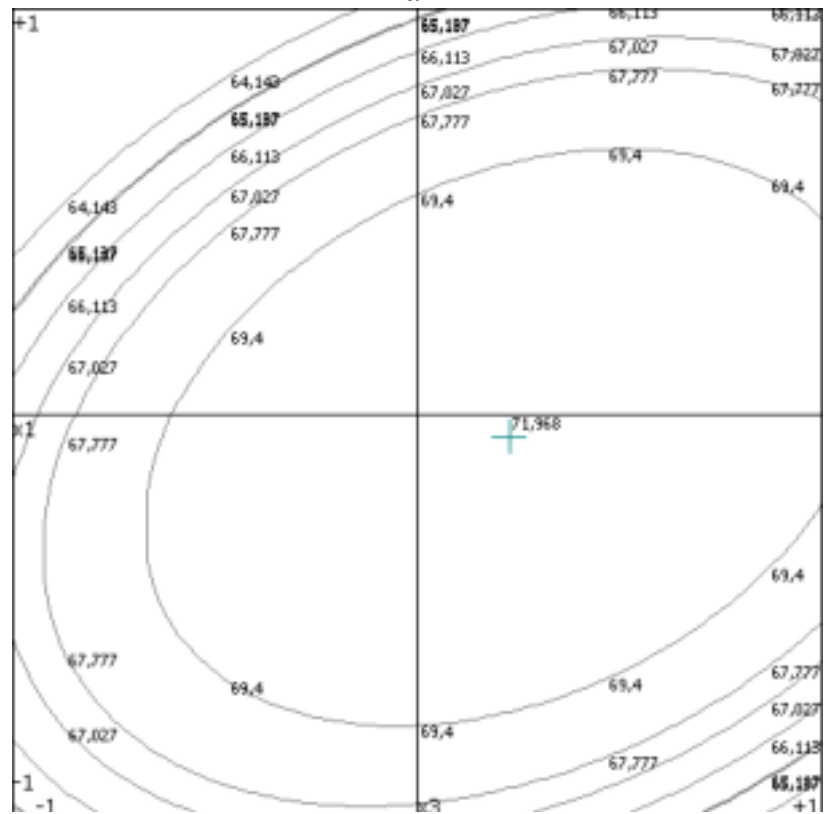
Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора $x_3=0$ (11) (формула 4.7):

$$y=71,73 - 4,331 \cdot x_2 + 1,757 \cdot x_3 + 5,54 \cdot x_2^2 - 3,49 \cdot x_3^2 + x_2 + x_3 - 0,843 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (4.7)$$

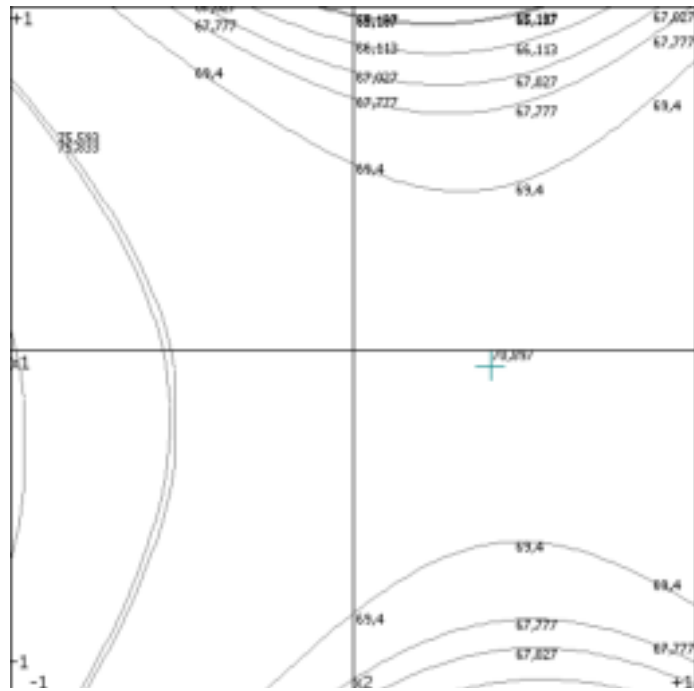
Наличие экстремума функции отклика: экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет $Y_{opt}=70,897$. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $x_1=-0,049$ (8573,7) и $x_2=0,399$ (1,2) при $x_3=0$ (11) (рис. 4.15).



a



б



В

а) – поверхность отклика при $x_1=0$; б) – поверхность отклика при $x_2=0$;
в) – поверхность отклика при $x_3=0$.

Рисунок 4.15 – Графическое представление поверхностей отклика.

Значения экстремума функции отклика представлено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Значения экстремума и параметров функции отклика

Экстремум функции отклика	Освещённость в кодированном (натуральном виде), лк	Расстояние в кодированном (натуральном виде), м	Разрешение в кодированном (натуральном виде), Мпикс
$Y_{opt}=71,028$	$x_1=0$ (9000)	$x_2=0,406$ (1,203)	$x_3=0,203$ (11,203)
$Y_{opt}=71,968$	$x_1=-0,058$ (8495,4)	$x_2=0$ (1)	$x_3=0,229$ (11,229)
$Y_{opt}=70,897$	$x_1=-0,049$ (8573,7)	$x_2=0,399$ (1,2)	$x_3=0$ (11)

Установлено, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. В результате анализа полученного дата-сета, точность распознавания плодов ИНС составила 88,4% для изображений, полученных с камеры 1100D и 93,9% - с 40D, соответственно. В результате анализа основного дата-сета с помощью ИНС были выявлены следующие закономерности. Учитывая общую точность распознавания по всей выборке, лучший результат был получен при использовании камеры с более высоким

разрешением матрицы: 61,7% - D40, с матрицей 10,2 Мрiх и 70,3% D1100, с матрицей 12,2 Мрiх.

Наилучший результат обнаружения, полученный при общем анализе тестового дата-сета, в разрезе по условиям съёмки анализируемого кадра, получен при минимизации расстояния до объекта – 0,5 м, нахождении объекта в фокусе, использовании максимально возможного разрешения (12,2 Мрiх) и отсутствии увлажнения поверхности плодов, составляет 75,8%. При этом, при наличии влаги на поверхности, результат получается несколько хуже, снижая точность обнаружения до 74,5%. Гораздо большее влияние на конечный результат оказывает расстояние до объекта и освещённость. При изменении расстояния с 0,5 до 1,5 м с шагом в 0,5 м, точность обнаружения изменяется с 75,8% (0,5 м) до 57,8% (1,5 м). Промежуточное значение полученной точности обнаружения (1 м) при этом составляет 66 %.

При изменении среднего уровня освещённости со 1000 лк до 3000 лк, степень точности определения изменяется с 64,1% до 74,3%. При этом, при отсутствии фокусировки на объекте съёмки, наличии бликов на изображении и общем засвечивании, результат определения получается наиболее неточным – около 43%, в разрезе анализа снимков данного типа по дата-сету.

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность разработанного алгоритма на основе искусственных нейронных сетей для программно-аппаратного комплекса при идентификации плодов яблони. Созданные алгоритмы обработки входных графических данных и работы системы компьютерного зрения позволяют распознавать плоды яблони с высокой степенью точности (до 93,9%).

Расстояние до распознаваемого объекта, освещённость и качество изображения существенно влияют на обнаружение плодов яблони и определение их местоположения, что в дальнейшем будет сказываться на эффективности уборки урожая с помощью роботизированного манипулятора.

Результаты работы разработанной нейронной сети глубокого обучения в лабораторных условиях представлены на рисунке 4.16.



а – расстояние съёмки 0,2м, б – расстояние съёмки 0,5 м; в – расстояние съёмки 1 м

Рисунок 4.16 – Результаты подсчета количества плодов

Полевые исследования разработанной нейронной сети. Для настройки и проверки рассчитанных параметров ПАК, проведен анализ его работы при оценке линейных размеров яблок на промышленной плантации яблоневого сада (ФГБНУ ВНИИСПК, Орловская обл., Жилина). Для сбора фотографий при обучении нейронной сети использовано несколько фотоаппаратов Nikon D3500 AF-S 18-140 VR, объектив Nikon Nikkor AF-P DX F 18-55 мм, определены расстояния для съемок 0,2 м, 0,5 м и 1,0 метр, с ракурсов, которые перекрывают друг друга. Произведена съемка более 25000 фотографий заданных классов яблок.

На первом этапе анализа нейронная сеть проверяет изображение на наличие искомого объекта и выделяет его в рамку. На втором этапе анализа нейронная сеть определяет точные границы искомого объекта. Использован алгоритм пошагового уменьшения качества изображения для поиска известных зависимостей (отличительных особенностей или закономерностей искомого объекта на изображении).

Для подготовки выборки для обучения в первом подходе было решено разделить яблоки на 2 класса: яблоко и фон, и сделать разметку фотографий.

Проведена оценка геометрических свойств яблока, таких как: площадь, длина главной оси и длина малой оси, на изображениях с точки зрения количества пикселей. Длину главной оси каждого яблока оценивали путем сложения размеров отдельных пикселей вдоль главной оси плода [130] (рис. 4.17).

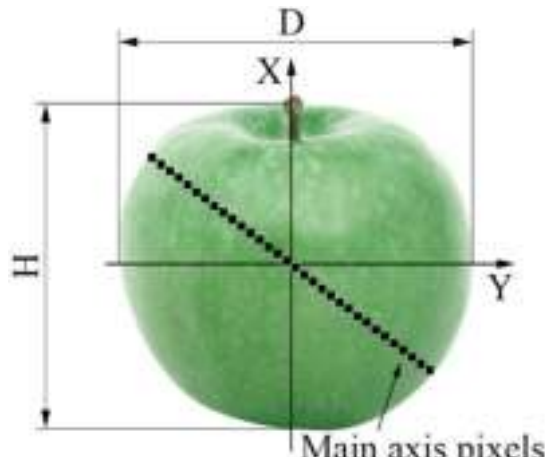


Рисунок 4.17 – Замер главной оси яблока как сумма пикселей вдоль главной оси

Чтобы избежать ошибок при оценке размера, вызванных частично скрытыми яблоками, в исследовании рассматривались только полностью видимые яблоки (по крайней мере с одной стороны полога). Для этого было отобрано 150 яблок, исходя из их видимости на изображении на случайно выбранном дереве. Большая и малая ось этих яблок за трехкратную повторность эксперимента определена в пикселях (элементах двумерного цифрового изображения) с помощью разработанного ПАК и измерением с помощью штангенциркуля ШЦ-1 с пределами измерений 0...125 мм и точностью измерения 0,1 мм. Найденная с помощью ПАК длина главной оси, зная фокусное расстояние используемой камеры, переведена в миллиметры. Используемые в эксперименте яблоки были помечены на деревьях с помощью 3D-камеры ZED Stereo, чтобы гарантировать, что одни и те же яблоки использовались и для сравнения фактического размера и размера плодов, полученного с помощью разработанного ПАК (рис. 4.18).

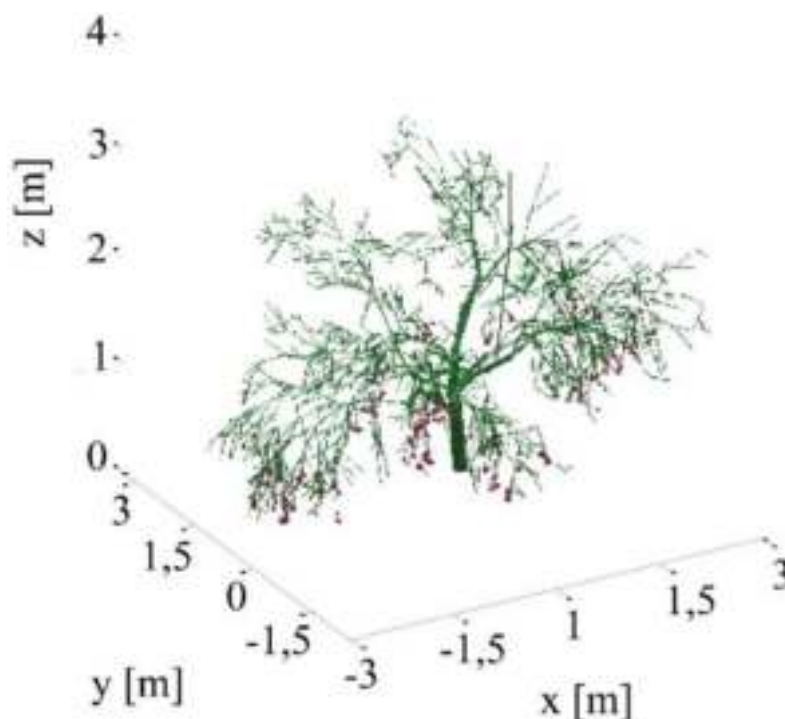


Рисунок 4.18 – Модель яблони сорта Северный Синап используемой в эксперименте, 150 плодов без учета частично скрытых

Оценка полученных размеров главной оси яблок и их сравнение с истинным значением (измеренным вручную с помощью штангенциркуля) проведено путем вычисления средней абсолютной процентной ошибки с использованием уравнения, формула 4.5:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|L_a - L_e|}{L_a}, \quad (4.8)$$

где L_a – фактическая длина главной оси, мм;

L_e – расчетная длина главной оси при использовании ПАК, мм;

N – количество яблок, шт.

Принято классифицировать плоды по форме на плоские, округлые и удлиненные в зависимости от коэффициента K , формула 4.6:

$$K = \frac{D}{H}, \quad (4.9)$$

где D – максимальный поперечный диаметр плода, мм;

H – высота, мм.

При этом у плоских плодов $K > 1$, округлых $K = 1$ и удлиненных $K < 1$.

В таблице 4.5 приведены полученные результаты измерений размерных параметров плодов с помощью разработанного ПАК, соотношения между

основными размерами яблок сорта Северный Синап. Установлено, что более мелкие плоды имеют в поперечном разрезе почти правильную окружность, разница между максимальным и минимальным размерами возрастает с увеличением размера плодов.

Таблица 4.5 – Результаты статистической обработки размерных показателей плодов яблони сорта Северный Синап

Показатель	Диаметр сечения плода D, мм	Высота плода H, мм
Среднее, мм	55	53
Стандартная ошибка	3,11	3,03
Стандартное отклонение, мм	13,38	13,56
Дисперсия выборки, мм ²	194,05	183,89
Коэффициент асимметрии	-0,0063	0,0405
Минимум, мм	34	31
Максимум, мм	74	73
Сумма, мм	15602	14728
Уровень надежности (95,0%)	6,52	6,35
Коэффициент К (D_{max}/H_{cp})	1,39	

Приведенные в таблице 4.5 средние размеры плодов не характеризуют распределение плодов по степени их крупности. Показательными в этом отношении являются вариационные ряды изменения максимальных диаметров и вариационные ряды изменения высоты (рис. 4.19, 4.20).

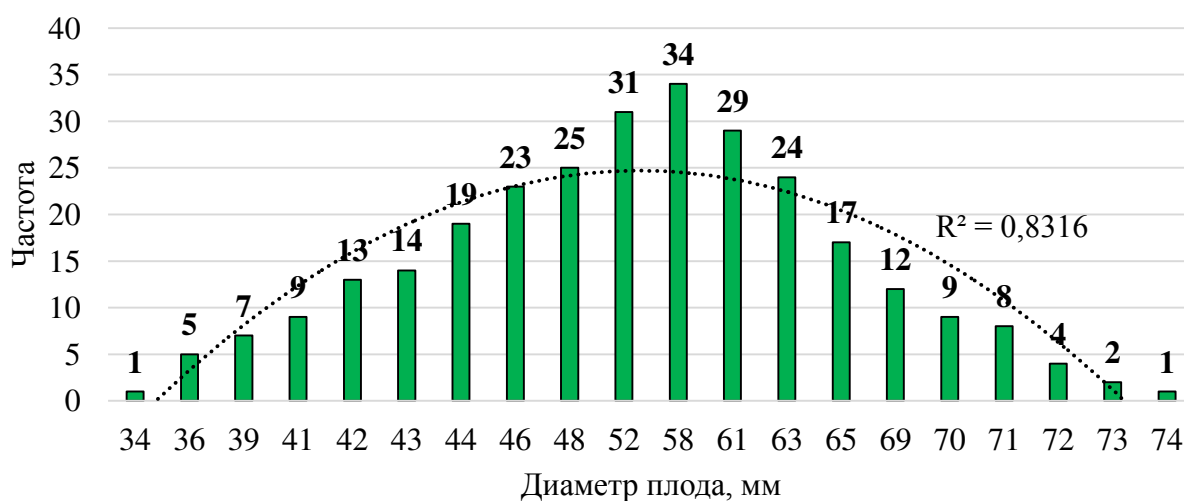


Рисунок 1.19 – Распределение плодов яблони сорта Северный Синап по максимальному диаметру

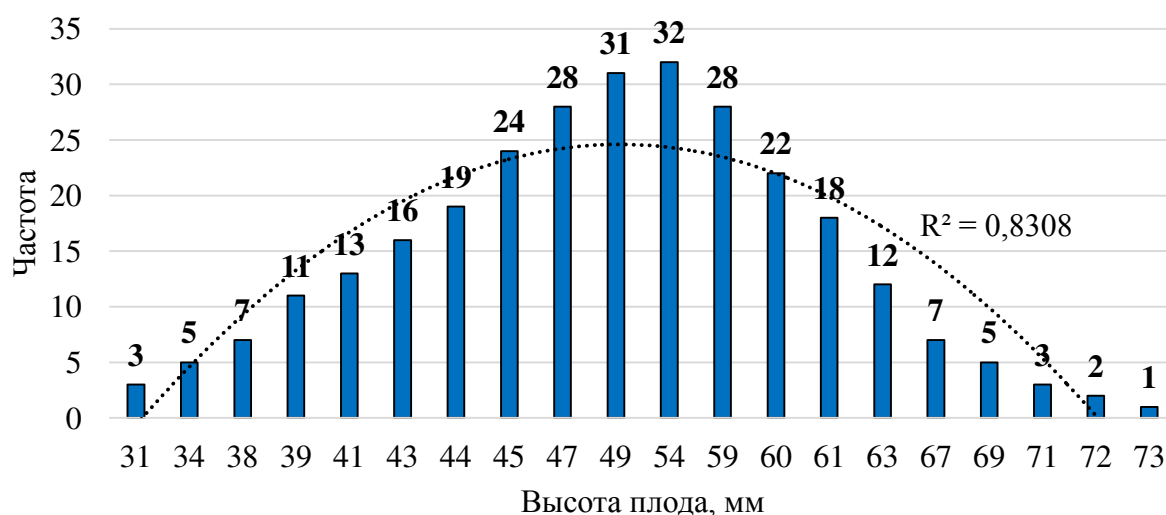


Рисунок 4.20 – Распределение плодов яблони сорта Северный Синап по максимальной высоте

Анализ полученных графиков показал, что размеры плодов меняются не только между изучаемыми помологическими сортами, но и внутри одного сорта. Определение плодов в пределах каждого сорта является крайне неравномерным, однако основная масса плодов имеет диаметр средней величины. Необходимо отметить, что структура вариационного ряда существенно меняется в зависимости от года сбора, участка сада, почвенных и климатических условий.

Размерные показатели яблок сорта Северный Синап с достаточной степенью точности описываются нормальным законом распределения. Фактические размеры яблок и расчетные с помощью разработанного ПАК полученные при освещенности 72600 люкс приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Сравнение точности двух различных методов оценки размера яблок

№	Реальный размер яблок, мм	Размер при использовании ПАК, мм	Абсолютная процентная ошибка, %
1	83	92	10,8
2	85	91	7,1
3	91	99	8,8
4	76	86	13,2
5	87	96	10,3
6	79	88	11,4
7	86	93	8,1

8	69	77	11,6
9	84	92	9,5
10	88	98	11,4
11	94	102	8,5
12	85	94	10,6
13	91	98	7,7
14	90	102	13,3
15	84	91	8,3
-	-	-	-
145	71	81	14,1
146	69	75	8,7
147	92	101	9,8
148	91	104	14,3
149	87	96	10,3
150	75	81	8,0
Средняя абсолютная процентная ошибка, %			10,4

Средняя абсолютная процентная ошибка измерения главной оси яблок с помощью ПАК не превышала 10,4% по сравнению с реальными размерами яблок полученными измерениями вручную. В результате проведенных исследований установлено, что размер плодов полученный с помощью разработанного ПАК, как правило, был завышен по сравнению с фактическим размером плодов (рис. 4.21).

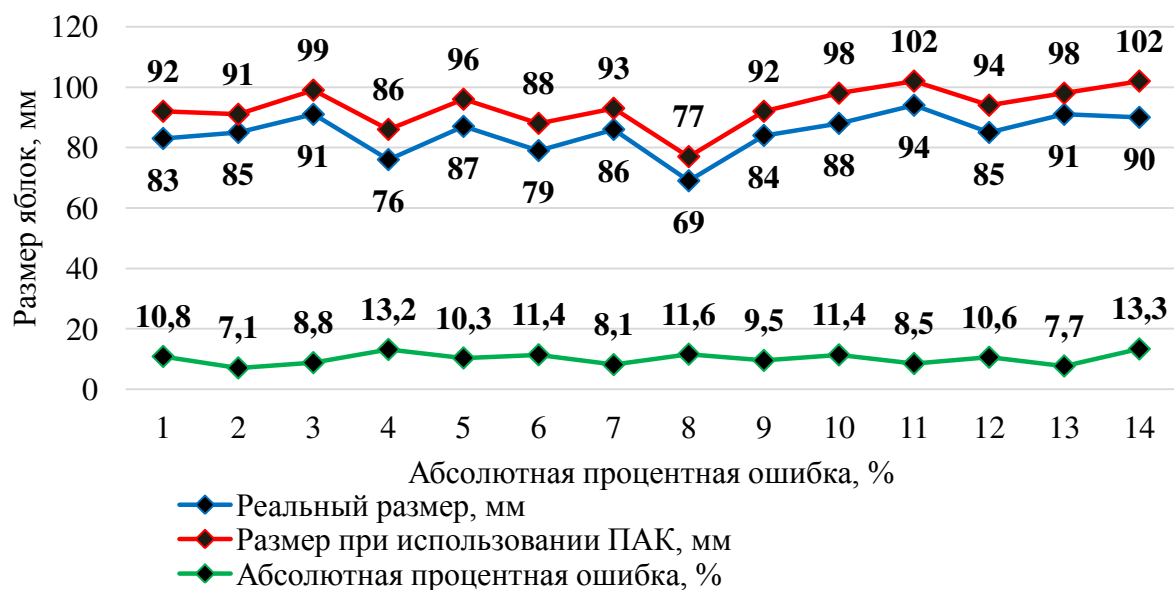


Рисунок 4.21 – Фрагмент графика сравнения размеров главной оси яблок при использовании ПАК и при ручном измерении

Таким образом, точность оценки размера яблока при расчете на основе размера пикселя по сравнению с истинным значением, измеренным вручную не превышала 84,8%. Суммарный диаметр 150 яблок при измерении с помощью разработанного ПАК составил 14728 мм, что на 5,6% меньше по сравнению с измерением яблок проведенным вручную (15602 мм). Основными источниками ошибок при оценке размера яблок с помощью ПАК были ошибки, связанные с сегментацией изображений с низким разрешением в связи с обнаружением только частичных областей яблок или ошибочным восприятием окружения/фона как областей яблок, что привело к неточности при идентификации пикселей на изображениях. Кроме того, неточности в оценке размера яблок обусловлены низким разрешением изображений. Эти ошибки в оценке размера яблок потенциально могут быть уменьшены за счет повышения разрешения камеры до 3840×2160 .

Распознавание спелости плодов

Для распознавания спелости плодов по цветовому тону и их координат на расстоянии от 0,3 м до 2 м нами использована камера Basler acA1920-155uc с интерфейсом GigE, CMOS-матрицей Sony IMX174 с частотой 164 кадра в секунду и библиотека компьютерного зрения Open Source Computer Vision Library (OpenCV). Матрица камеры имеет разрешающую способность до 1920 x 1200 пикселей, разрешение 2,3 Мпикс. Для проведения экспериментов, измерения освещенности, использован люксметр Radex Lupin (Quarta Rad, Россия), относительная погрешность измерения 10%. Программный код системы компьютерного зрения разработан в текстовом редакторе Sublime Text.

Кадры с видеоряда переводятся в цветовую палитру HSV. Для калибровки цветов в палитре HSV (Hue, Saturation, Value - тон, насыщенность, значение) реализована функция отображения цвета в координатах. Красный цвет в палитре HSV расположен на границах двух цветовых тонов $H = 5/6$ и $H = 1/6$. Для определения степени спелости плодов

по цветовому тону указаны цветовые диапазоны спелых и не спелых плодов. После указания цветовых диапазонов создаётся маска для наложения на изображения.

При определении координат плодов в связи с высокой плотностью размещения пикселей и высокой чувствительности ISO на полученных изображениях проявляются шумы (хаотически разбросанные пиксели случайного цвета и яркости не соответствующих зарегистрированному свету). Для того, чтобы их нивелировать к изображению применены морфологические трансформации (Morphological Transformations) библиотеки OpenCV открытого и закрытого типа. Нормально открытый фильтр позволяет удалить шумы с изображения, а нормально закрытый убирает отверстия в распознанных объектах. После создания фильтров маски накладываются на основное изображение и удаляют лишние цвета, оставляя только установленные диапазоны цветовых тонов, которые соответствуют спелым S_1 и неспелым S_2 плодам (рис. 4.22).

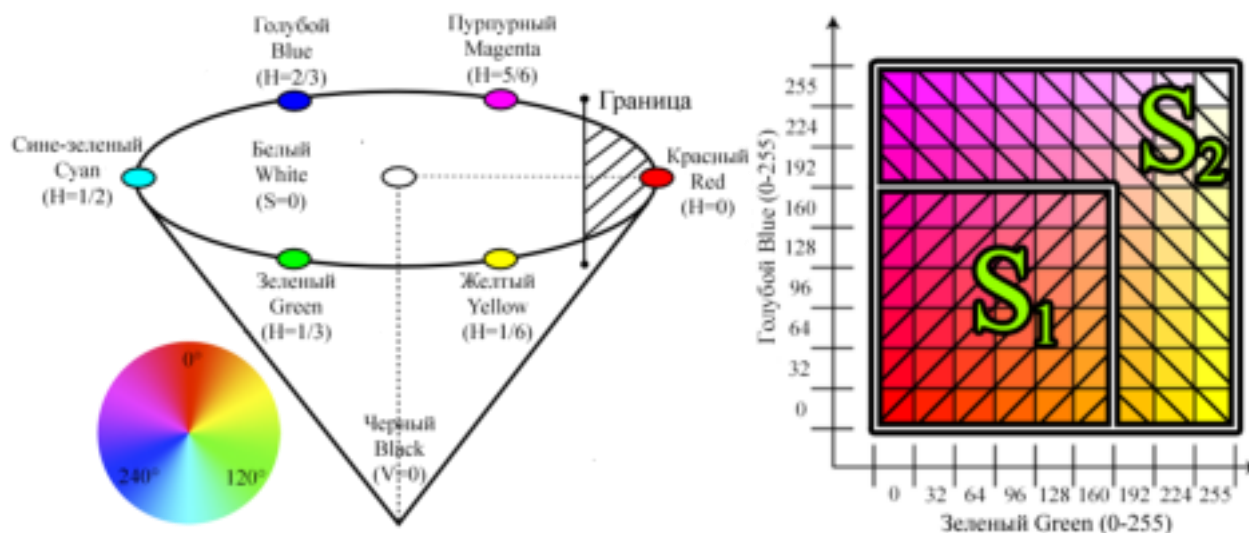


Рисунок 4.22 – Выделение цветового диапазона для определения степени спелости плодов

Для сглаживания контура применена функция размывания контура. Из всех найденных контуров создается массив, содержащий сам контур и его координаты. В цикле для каждого контура определяются его координаты X ,

Y и Z, после чего алгоритм переходит к следующему найденному плоду и цикл повторяется, пока в области сбора не останется спелых плодов.

Для настройки программного обеспечения, проверки рассчитанных параметров, проведен полевой эксперимент. В яблоневом саду сорта северный синап (ФГБНУ ВНИИСПК, Орловская обл., Жилина) установлен штатив Selecline с камерой Basler acA1920-155uc (рис. 4.23).



Рисунок 4.23 – Проведение полевого эксперимента

В условиях различной освещенности, в разное время суток (с 9:00 AM до 18:00 PM) с помощью разработанного алгоритма проведены замеры видимой камерой площади плодов. С помощью разработанного алгоритма системы компьютерного зрения обработано 6000 изображений (рис. 4.24).

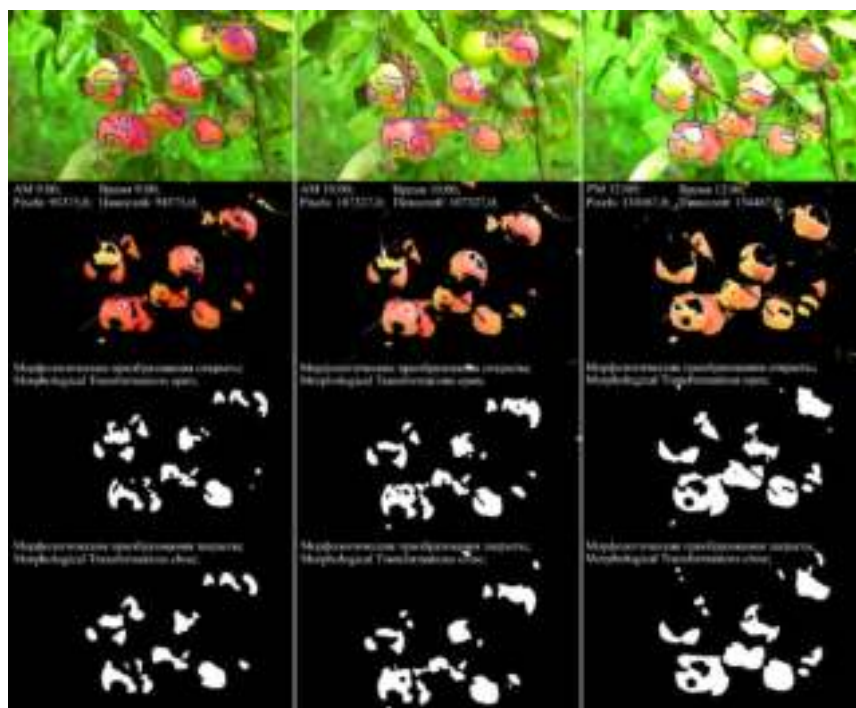


Рисунок 4.24 – Определение площади пикселей красного цвета и распознавание контура плодов яблони сорта Северный синап
Площадь плодов за трехкратную повторность эксперимента определена в пикселях. Найденная площадь, зная фокусное расстояние камеры используемой камеры Basler, переведена в квадратные сантиметры.

Результаты проведенного эксперимента представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7– Результаты эксперимента по определению площади плодов

Показатели	Найденная площадь плодов яблони в различных условиях освещённости, см ²					
	AM 9:00	AM 10:00	PM 12:00	PM 14:00	PM 16:00	PM 18:00
Замер 1	113,2	128,8	161,4	102,7	87,9	58,1
Замер 2	114,5	127,9	160,1	103,6	86,6	56,8
Замер 3	114,7	126,9	161,2	103,5	87,1	57,9
Среднее значение, см ²	114,1	127,9	160,9	103,2	87,2	57,6
Среднеквадратическое отклонение, см	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
Дисперсия, см ²	0,7	0,9	0,5	0,2	0,4	0,5

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных показала, что плоды можно отличить от дерева и листьев (фона), используя их цветовые характеристики. Установлено, что успешная сегментация плодов и фона существенно зависит от климатических условий и освещения (рис. 4.25).

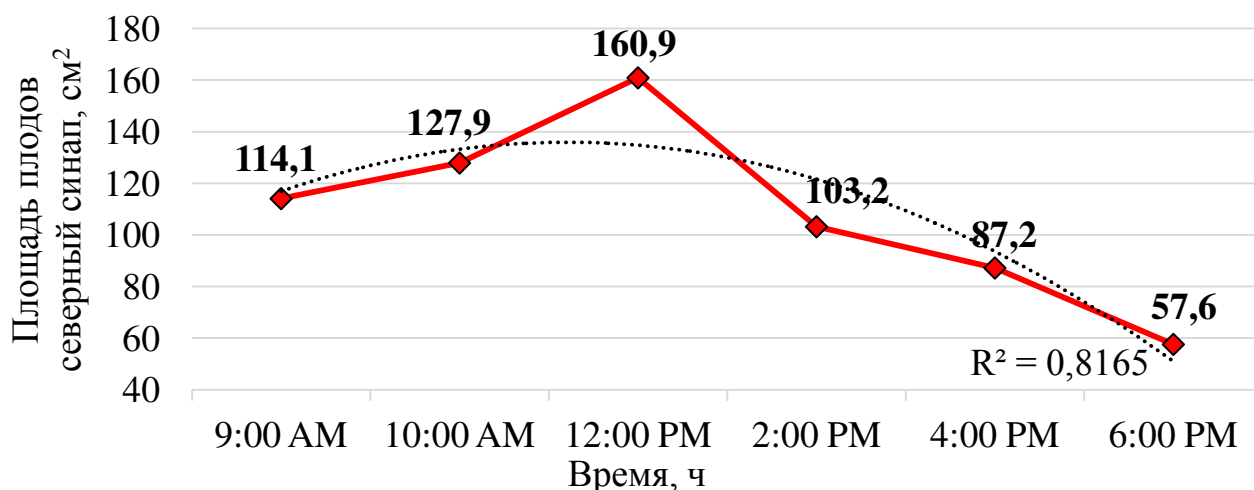


Рисунок 4.25 – График зависимости определения площади плодов северный Синап от времени суток

Эффективность обнаружения плодов яблони сорта Северный синап их площади и границ с помощью камеры Basler acA1920-155uc и библиотеки OpenCV при освещенности 74500 люкс достигает 95,6%. Обнаруженная площадь плодов в 12:00 PM составила 160,9 см² при реальной площади плодов 197,3 см² (из 131607 пикселей плодов яблони камерой обнаружено 107327 пикселя). При уменьшении освещенности до 53500 лк в 6:00 PM средняя площадь найденных плодов уменьшилась до 58,1 см² (из 131607 пикселей плодов обнаружено 48457,5 пикселя). Размах вариации полученных экспериментальных данных распознанной компьютерным зрением площади плодов с 9:00 AM до 6:00 PM составил 103,3 см².

В результате проведенных исследований установлено, что условия освещенности оказывают существенное влияние на обнаружение плодов, их площади и границ. Разработанный алгоритм обработки входных видеоданных, поиска плодов и определения их степени спелости являются работоспособными, позволяют распознавать плоды сорта Северный синап с высокой степенью точности, однако определение координат плодов по цветовому тону в связи с большой палитрой цветов плода и высокой чувствительности ISO недостаточно. Для более точного определения координат необходимо использование свёрточной рекуррентной нейронной сеть глубокого обучения, так как ее использование позволяет с высокой

точностью распознавать контур плодов и очаги болезней на них в условиях изменяющихся климатических параметров.

Разработанный программно-аппаратный комплекс на основе созданной нейросети позволяет осуществлять цифровой мониторинг как по фотоматериалам, так и по видеопотоку в режиме онлайн. С использованием созданной нейросети и алгоритмов выделения классов, разрабатываемый ПАК устойчиво функционирует в условиях промышленных насаждений независимо от размера и помех листвы, определяет окрас поверхности плода, размер плода, идентифицирует наличие болезней и дефектов плодов с долей вероятности не менее 90 %.

4.2.3 Тестирование программно-аппаратного комплекса при построении вариативных машинных агротехнологий в садоводстве

Для повышения эффективности управления сформированных технологий разработано и протестировано мобильное приложение для проведения полевых осмотров ПАК «АгроинтеллектВИМ». Для загрузки электронных карт в систему необходимо сформировать их и загрузить в форматах .shape или .kml. После их загрузки контура садов автоматически появятся на карте и станет доступен полевой журнал сада (рис. 4.26).

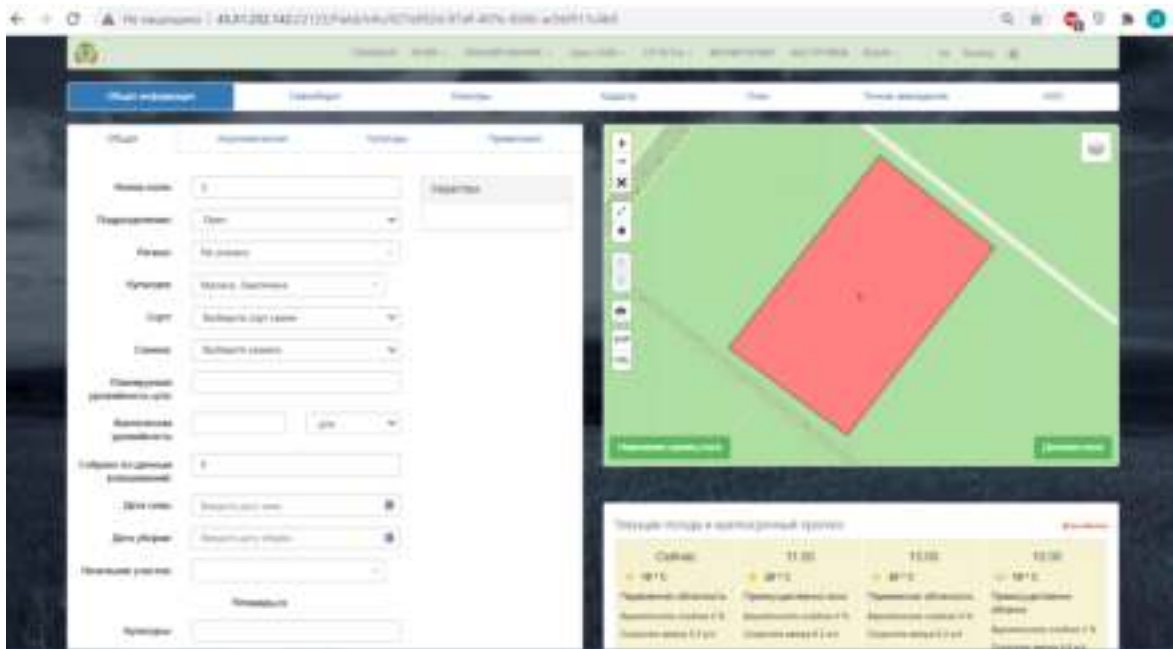


Рисунок 4.26 – Полевой журнал автоматизированной системы управления агротехнологиями в садоводстве

Далее для выбранных садов подбирается оптимальная технологическая карта. Операции технологической карты привязываются ко всем выбранным на карте садам, а параметры операций рассчитываются в зависимости от площади каждого сада.

В разработанной системе происходит постоянный сбор данных с метеостанций и датчиков, и их аналитика. Координаты расположения метеостанций автоматически указываются на карте (рис. 4.27).

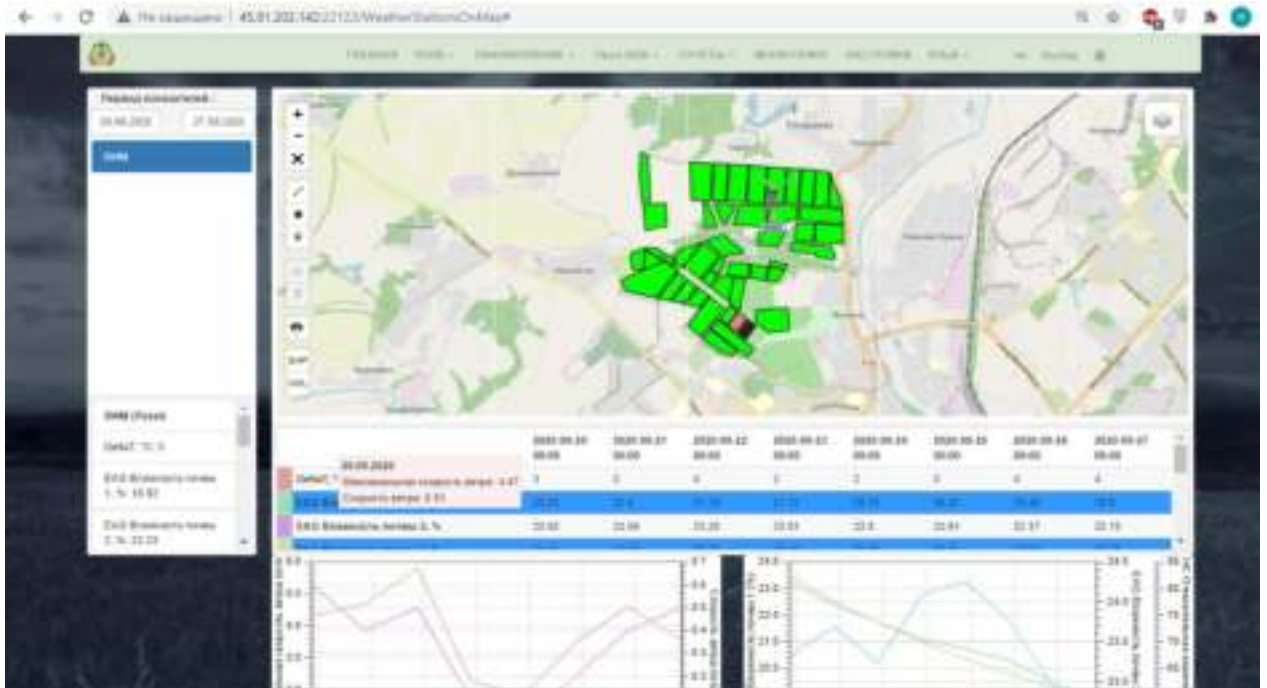


Рисунок 4.27 – Отображение расположения метеостанций на карте в интерфейсе системы

При отклонении данных, полученных с метеостанций, от нормативных значений реализована возможность автоматического формирования событий (тревог). В тревоге отображается информация о причинах её формирования и рекомендации по корректировке технологических карт. Пользователь имеет возможность вносить корректировки в технологические карты вручную, либо согласует рекомендации и тогда корректировки применяются в автоматическом режиме. Для добавления новых тревог необходимо прежде всего в интерфейсе системы указать тип добавляемой тревоги. После выбора типа задаются правила формирования тревоги, оповещаемые пользователи, способы оповещений и частота проверки установленных правил (рис. 4.28).

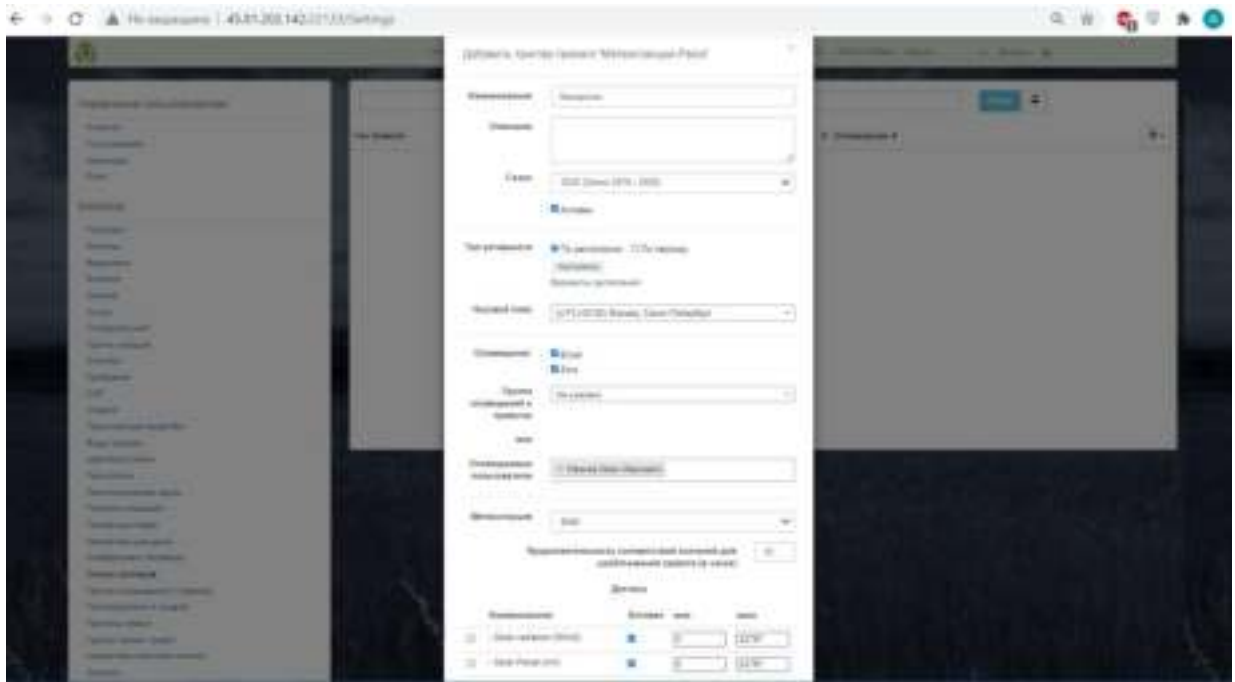


Рисунок 4.28 – Меню настройки добавления наступления различных видов тревог

При появлении новых тревог необходимо проанализировать место и причину их появления и подтвердить корректировки в плане технологических операций, если это необходимо. Корректировка технологических карт требуется при получении новой информации из сформированных тревог или наземных осмотров. Для корректировки технологических карт необходимо зайти на страницу корректируемой операции и выбрать нужные подоперации. В появившемся окне можно изменить сроки выполнения подоперации и другие параметры ее выполнения.

При больших площадях садовых насаждений и большом количестве персонала, занятого в производстве, важным является скорость передачи информации между персоналом. Включение автоматических тревог и оповещений при обнаружении болезней, сорной растительности, вредителей в садах позволяет автоматически рассылать информацию по sms, e-mail или telegram - месседжеру заданным сотрудникам и за счет этого повысить оперативность обмена информацией и, следовательно, принятия управленческих решений по обработкам садов.

При добавлении нового осмотра агроном-технолог делает фотографию с помощью мобильного устройства и заполняет параметры осматриваемого сада: общее состояние, состояние почвы, состояние растений, наличие болезней, сорной растительности, вредителей и др., одновременно с этим фиксируется текущее местоположение мобильного устройства. Таким образом любой осмотр состоит из трех составляющих: координаты местоположения агронома в момент осмотра, фотография и параметры, заполненные агрономом в момент осмотра. В дальнейшем все проведенные осмотры визуализируются на единой карте в интерфейсе системы, за счет чего можно оперативно оценить, как развивается сад в том или ином месте и понять в каких зонах сада распространяются болезни, сорная растительность или вредители (рис. 4.29).

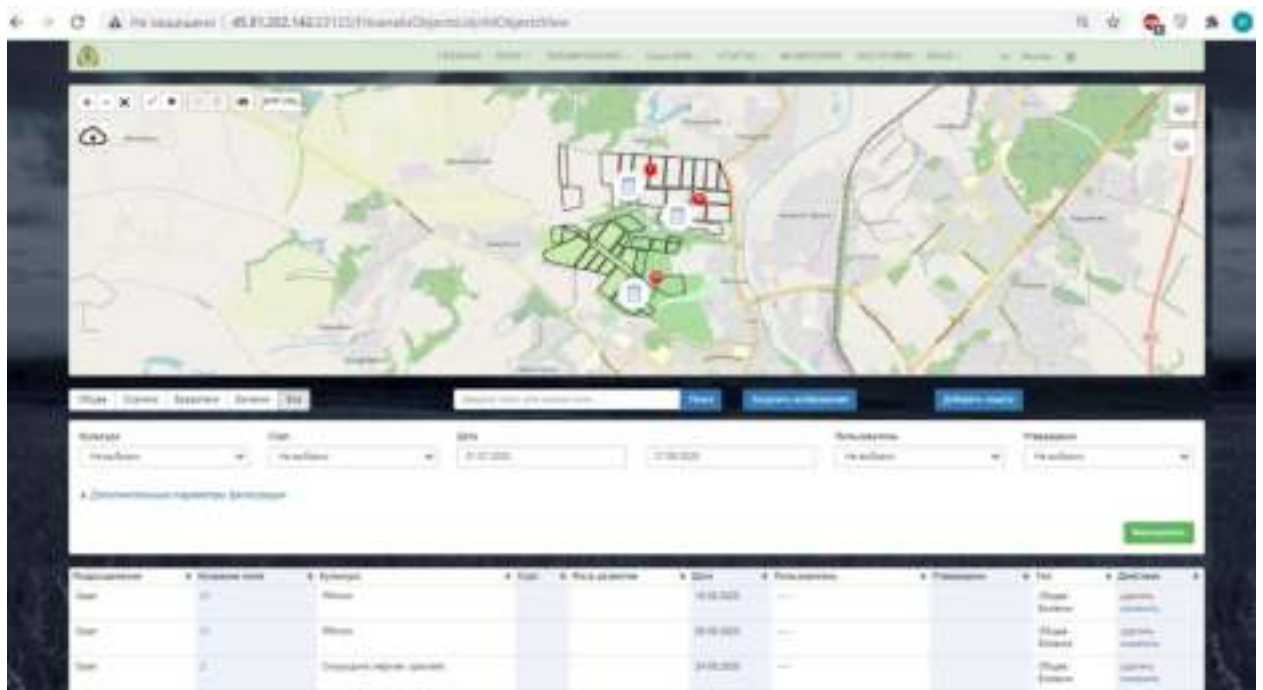


Рисунок 4.29 – Результаты проведения наземных осмотров садовых насаждений в интерфейсе разработанной системы

За счет проведения наземных осмотров в цифровом виде менее квалифицированные агрономы могут обращаться за советом к своим более опытным коллегам. При этом им не приходится объяснять на словах где и что они обнаружили, а достаточно предоставить ссылку на проведенный осмотр с фотографиями и местом его проведения из мобильного приложения

и на основании этих данных они могут получить рекомендацию по принятию дальнейших решений (рис. 4.30).

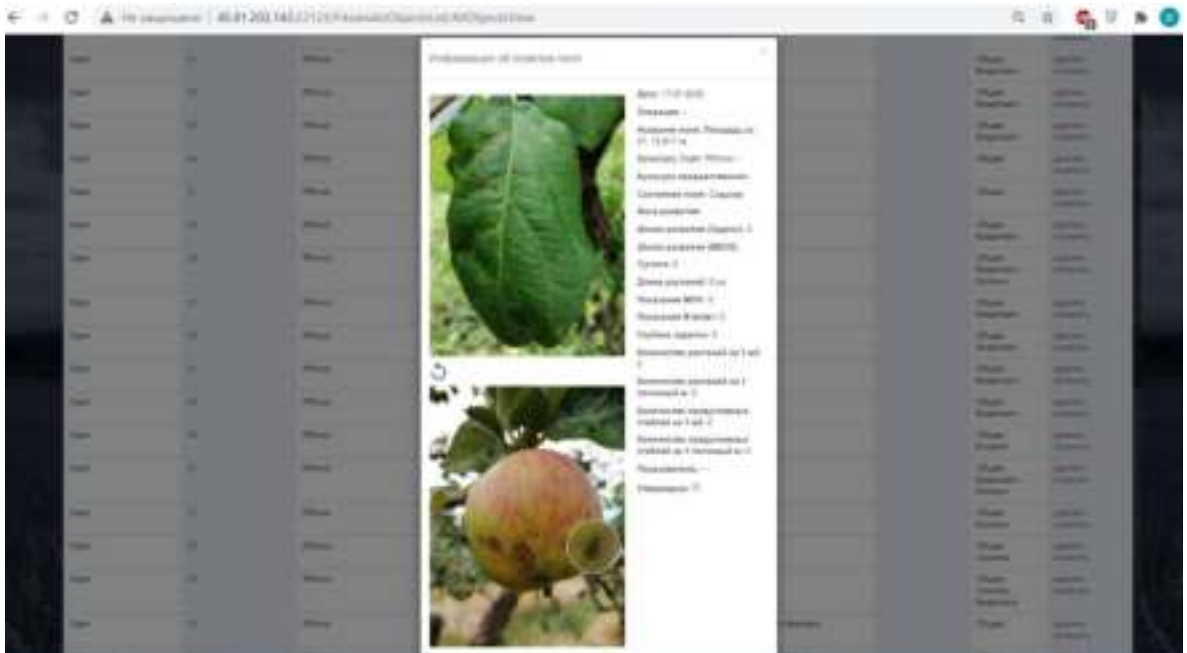
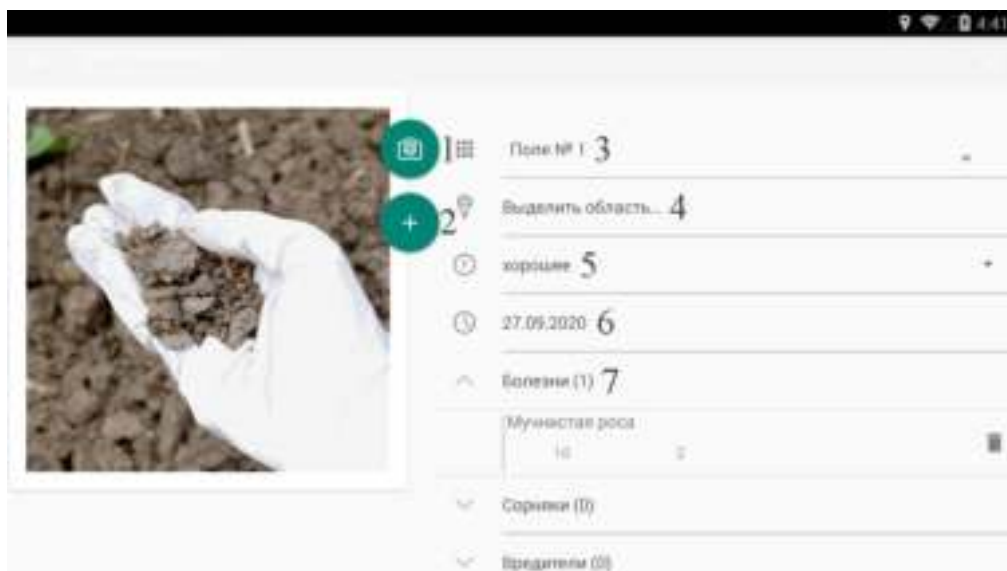


Рисунок 4.30 – Меню результатов проведения наземных осмотров садовых насаждений в мобильном приложении

В результате проведенных исследований разработан порядок проведения наземных осмотров агрономами с помощью мобильного приложения. Сначала необходимо открыть приложение и пройти авторизацию. В главном меню необходимо выбрать пункт «Осмотры». Для создания осмотра в открывшемся окне необходимо нажать на «+», после чего откроется окно создания осмотра, которое можно разделить на несколько пунктов (рис. 4.31).



а



б

а – меню добавления осмотров, б – меню добавления различных видов тревог;

Рисунок 4.31 – Интерфейс мобильного приложения для проведения наземных осмотров садовых насаждений

В графе 1 инструмент «+» позволяет добавлять к осмотру болезни, вредителей и сорную растительность, обнаруженные специалистом. В графе 2 инструмент «камера» позволяет прикреплять к осмотру фотографии, причем фотографии можно сделать как с камеры, так и загрузить уже имеющиеся в памяти мобильного телефона. В графе 3 отображается участок поля, на котором находится проводящий осмотр агроном, его координаты автоматически определяются по гео-позиции мобильного телефона. Графа 4 используется для обозначения площади проведенного осмотра, где указывается область поля, в которой проводился осмотр. На карте по значению гео-позиции, пользователем расставляются точки, которые образуют замкнутую область. В графе 5 указывается общее состояние участка поля, можно выбрать одно из четырех значений: плохое, среднее, хорошее, отличное. В графе 6 указывается дата проведения осмотра, по умолчанию, установлена дата создания осмотра. В графе 7 указываются выявленные на участке болезни, сорная растительность и вредители. В дополнительной информации указывается информация о развитии растений (качественные изменения). После заполнения всей необходимой

информации, осмотр сохраняется путем нажатия на «V» в правом верхнем углу мобильного приложения и выполняется автоматическая синхронизация мобильного приложения с системой для передачи полученных данных. Для поиска проведенных осмотров добавлен фильтр в меню «Осмотры».

Разработанная система автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве обеспечивает оперативную обработку в реальном времени информационных потоков, определяющих особенности роста и состояния растений в критические фазы их развития от современных регистрирующих приборов (метеостанции, пробоотборники, анализаторы), оптимизацию машинных технологий возделывания кустарниковых ягодных культур по биологическим (реализация потенциальной биологической продуктивности культур) и экономическим (повышение эффективности использования производственных ресурсов) критериям.

В результате проведенных исследований сформирована структура управления агротехнологиями в садоводстве, оперативного управления производственным процессом многолетних культур с онлайн сервисом и мобильным приложением, позволяющие анализировать информацию, поступающую от датчиков и регистрирующих приборов и вырабатывать оптимальные управляющие решения при построении и управлении технологией с целью минимизации потерь урожая, вызванных отклонением факторов погодно-климатических условий от их оптимальных значений.

Результаты автоматизированного построения вариативных технологий проверялись методом индивидуальной аналитической экспертной оценки, основанным на усредненной оценке ответов экспертов с учетом их компетентности [43]. В рамках настоящей работы был проведен опрос экспертов путем анкетирования. Методика и результаты ответов экспертов, обработанные с учетом их компетентности приведены в Приложении Д.

Общий анализ полученных результатов показывает высокую степень оценки ПАК «Агроинтеллект ВИМ». По мнению экспертов при построении машинных технологий возделывания плодов ПАК позволяет на 75,2%

снизить трудозатраты. Высоко оценена потребность в автоматизированном построении технологии на 9,94 балла и возможность системы обеспечивать решение поставленных задач, а именно возможность использования в научной деятельности 8,82 балла и решение задач по управлению производственным процессом 8,58 балла, что говорит о целесообразности разработки и перспективности данного научного направления.

4.3 Результаты экспериментальных исследований комплекса инновационных технических средств

4.3.1 Результаты исследований агрегата для магнитно-импульсной обработки садовых насаждений

Объектом исследований являлся молодой яблоневоый сад интенсивного типа, возраст 2 года, сорт плодов «Лобо», обработанный магнитно-импульсным полем посредством разработанного автоматизированного агрегата и индукционного аппарата МИО.

Цель исследований оценить влияния МИО на вегетирующую часть и корневую систему растений выбранного сорта (рис. 4.32).



Рисунок 4.32 – Схема участка проведения экспериментальных исследований и процесс проведения операции МИО

Обработка проведена с помощью разработанного аппарата, который позволяет производить управляемую магнитно-импульсную обработку садовых растений на различных режимах (частота, скважность, магнитная индукция, время экспозиции и т.д.).

В качестве воздействующих факторов учитывались: частота импульсов магнитной индукции – $X_1 = 8, 24, 32$ Гц; скважность излучения (отношение периода следования импульсов (повторения) к длительности импульсов) – $X_2 = 12, 16, 20$; и магнитная индукция в зоне обработки – $X_3 = 4, 5, 6$ мТл; направление вектора магнитной индукции – вертикально вниз.

План проведения эксперимента приведен в таблице 4.8.

Таблице 4.8 – План проведения эксперимента, натуральные значения переменных факторов

Номер опыта		Натуральные значения переменных		
		Частота, Гц	Скважность	Индукция, мТл
1	1,1	32	20	6
	1,2	32	20	6
	1,3	32	20	6
2	2,1	8	20	6
	2,2	8	20	6
	2,3	8	20	6
3	3,1	32	12	6
	3,2	32	12	6
	3,3	32	12	6
4	4,1	8	12	6
	4,2	8	12	6
	4,3	8	12	6
5	5,1	32	20	4
	5,2	32	20	4
	5,3	32	20	4
6	6,1	8	16	4
	6,2	8	16	4
	6,3	8	16	4
7	7,1	32	12	4
	7,2	32	12	4
	7,3	32	12	4
8	8,1	8	12	5

	8,2	8	12	5
	8,3	8	12	5
9	Контроль			

В таблице 4.9 представлены результаты проведения эксперимента, значения выходных параметров.

Таблица 4.9 – Значения выходных параметров эксперимента

Номер опыта		Масса корневой системы, гр	Объем вытесненной жидкости корневой системы, мл	Высота растения, мм
1	1,1	20	20	600
	1,2	22	22	650
	1,3	40	40	770
2	2,1	28	28	480
	2,2	18	18	580
	2,3	38	38	660
3	3,1	10	10	550
	3,2	12	12	560
	3,3	22	22	630
4	4,1	5	5	540
	4,2	5	5	470
	4,3	10	10	520
5	5,1	20	20	520
	5,2	38	38	720
	5,3	20	20	650
6	6,1	20	20	690
	6,2	5	5	510
	6,3	38	38	640
7	7,1	4	4	520
	7,2	18	18	560
	7,3	5	5	680
8	8,1	20	20	650
	8,2	5	5	670
	8,3	45	45	700
9		45	45	720

Сравнение проведено между обработанными и контрольными образцами по объему корневой системы (мл), свежему приросту биологической массы (мм) и высоте (мм). Оценка результатов эксперимента

проведена путем взвешивания сухой и сырой массы корней, определения объема корневой системы (длины и толщины) и степени развития культуры.

В ходе исследования определялся объем корневой системы, предварительно хорошо отмытой в проточной воде, осуществляли путем погружения ее в мерный прозрачный цилиндр по количеству вытесненной воды. Метод определения объема корней позволяет определять объем с ошибкой не более 5-7%.

Замеры прироста свежей биологической массы и высоты растения производили с помощью штангенциркуля и линейки. При проверке равнозначности по критерию Кохрена полученные данные являются достоверными и для всех трех показателей, характеризующих рост, равнялась 0,95.

В результате обработки данных оценили влияние факторов на три зависимые переменные. Наибольшее влияние на объем корневой системы оказывают совместно все три фактора, затем взаимодействие факторов, а по отдельности значимым фактором для объема корневой системы является – скважность. С увеличением скважности происходит увеличение объема корневой системы. Стоит отметить, что частота импульсов и время воздействия по полученным данным влияет только на рост растения и никак не оказывают влияние на объем корневой системы.

Получено уравнение регрессии по влиянию факторов низкочастотного магнитного поля на объем корневой системы, формула 4.7:

$$Y_{\text{об.корн.сист.}}(x_1, x_2, x_3) = 19,21 + 0,04x_1 + 1,63x_2 - 0,041x_3 + 5,79x_1x_2 + 1,79x_1x_3 + 6,87x_2x_3 - 7,96x_1x_2x_3 \quad (4.10)$$

Так как третий фактор (индукция) влияет не значительно на процесс формирования корневой системы на данном этапе мы исключили его и получим уравнение регрессии (формула 4.7) с графиком (рис. 4.33), отражающим влияние частоты и скважности:

$$Y_{\text{об.корн.сист.}}(x_1, x_2) = 19,21 - 0,04x_1 + 1,63x_2 + 5,79x_1x_2 \quad (4.11)$$

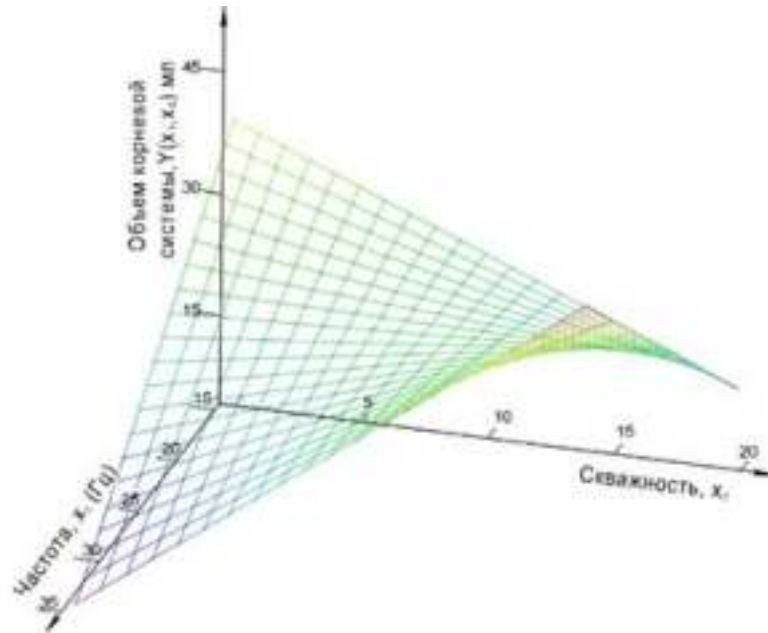


Рисунок 4.33 – Влияние частоты и скважности низкочастотного магнитного поля на формирование объема корневой системы

Уравнение регрессии (формула 4.9) и график (рис. 4.34) по влиянию факторов низкочастотного магнитного поля на высоту растения:

$$Y_{\text{высоты побегов}}(x_1, x_2, x_3) = 800 - 0,83x_1 + 4,17x_2 + 584x_3 + 100x_1x_2 + 3,33x_1x_3 + 100x_2x_3 - 2,5x_1x_2x_3$$

$$Y_{\text{высоты побегов}}(x_1, x_2) = 80,0 - 0,83x_1 + 4,17x_2 + 10,0x_1x_2 \quad (4.12)$$

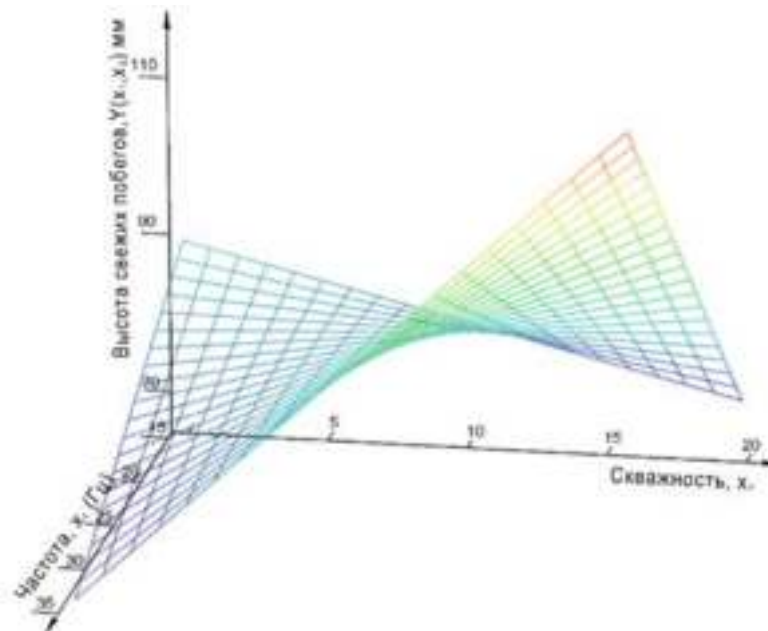


Рисунок 4.34 – Влияние частоты и скважности низкочастотного магнитного поля на рост плодового дерева

Уравнение регрессии по влиянию факторов низкочастотного магнитного поля на высоту растения. Высота измерялась для наблюдения дальнейшей динамики роста (рис. 4.35).

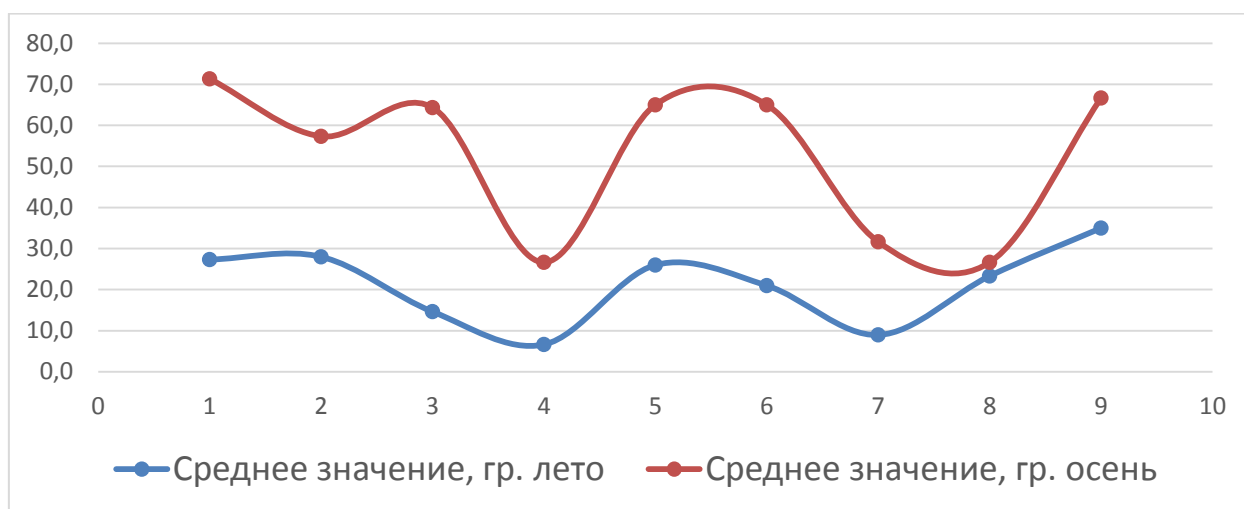


Рисунок 4.35 – Изменение массы корневой части

В ходе анализа и визуального наблюдения определены рациональные режимы использования магнитно-импульсного излучения на вегетирующую часть: частота импульсов магнитной индукции – $X_1 = 36$ Гц; скважность излучения – $X_2 = 20$; магнитная индукция в зоне обработки практически не оказывает значительного влияния на корневую систему и прирост свежей зеленой массы.

4.3.2 Результаты исследований машины для борьбы с сорной растительностью в приствольных зонах садовых насаждений

Для выявления наиболее эффективных режимов работы машины для гидравлического уничтожения сорной растительности на промышленной плантации яблоневого сада возрастом 5 лет в научно-производственном отделе испытаний ФГБНУ ВСТИСП (Московская обл., Ленинский район, поселок Булатниково) проведен факторный эксперимент (рис. 4.36). Параметры насаждений представлены в таблице 4.10.



Рисунок 4.36 – Выполнение устройством технологической операции гидравлического удаления сорной растительности

Таблица 4.10 – Параметры насаждений промышленной плантации

Наименование показателей	Значение показателей
Культура, сорт	яблоня, «Мелба»,
Состав агрегата	МТЗ-82.1 + Устройство для ГУСР
Возраст насаждений, лет	5
Расстояния между деревьями, м	2
Отклонение штамба от осевой линии ряда, см	5,3
Высота сорной растительности, см	12
Тип почвы	дерново-подзолистые почвы
Название по механическому составу	Суглинистая
Предшествующая обработка - глубина обработки, см	Культивация (ранняя весна), 6
Угол наклона рельефа, °	ровный склон, до 0,3

В качестве изменяемых факторов выбраны давление подачи рабочей жидкости, расстояние до поверхности почвы и скорость движения агрегата. Эксперимент проведен в двукратной повторности, задействовано 16 рядков садовых насаждений по 100 м. Факторный план эксперимента с параметрами работы МТА представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Условия планирования факторного эксперимента

Факторы	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
x1	600	800	1000	200	Давление, бар
x2	10	20	30	10	Расстояние, см
x3	2	4	6	2	Скорость движения, км/ч

В качестве выходного фактора принят коэффициент эффективности удаления сорной растительности $K_э$, найденный как процентное отношение площади участков почвы с сохранившимися растениями к общей площади обработанного участка (рис. 4.37):

$$K_э = \frac{\sum_{i=1}^n S_n}{S_{уч}} \quad (4.13)$$

где $\sum_{i=1}^n S_n$ – суммарная площадь отдельных участков обработанной поверхности с сохранившимися растениями и их корневой системой, $S_{\text{уч}} = ad_p$ – общая площадь обработанного участка.

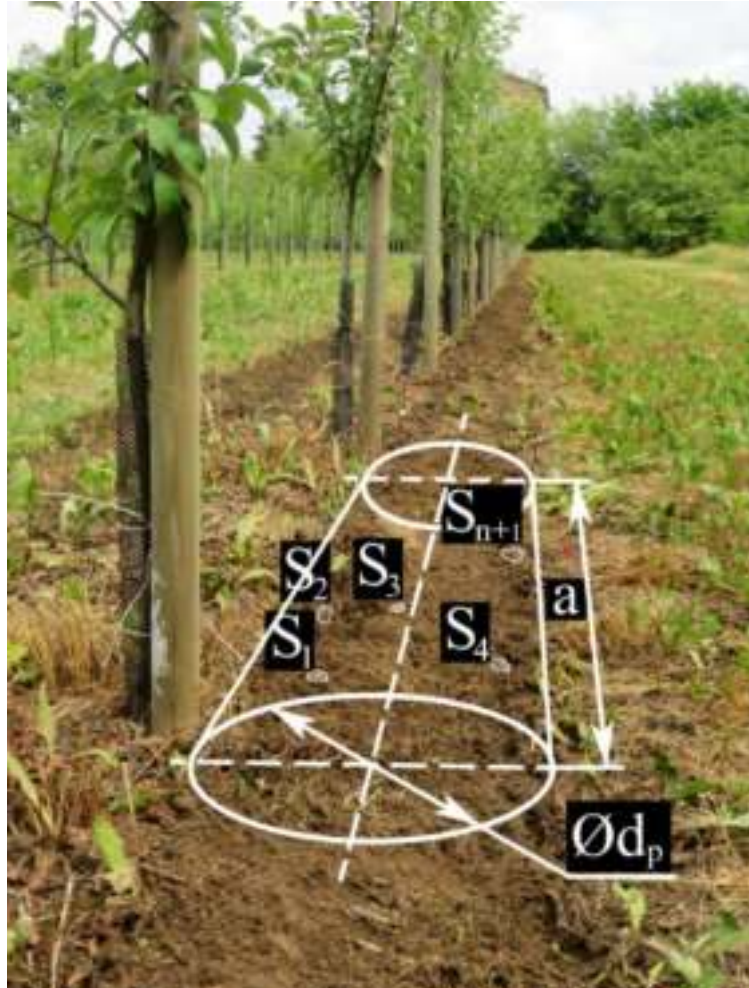


Рисунок 4.37 – Схема определения эффективности удаления сорной растительности

Статистическая обработка полученных результатов эксперимента проведена с помощью математического моделирования методом планирования полевых экспериментов [10]. План факторного эксперимента с кодированным значением входных и выходных факторов приведен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Планирование трехфакторного эксперимента

Номер опыта number	Матрица планирования			Значения переменных		
	x ₁	x ₂	x ₂	Давление, бар	Расстояние, см	Скорость движения, км/ч
1	+1	+1	+1	1000	30	6
2	-1	+1	+1	600	30	6
3	+1	-1	+1	1000	10	6
4	-1	-1	+1	600	10	6
5	+1	+1	-1	1000	30	2
6	-1	+1	-1	600	30	2
7	+1	-1	-1	1000	10	2
8	-1	-1	-1	600	10	2

При обработке данных и расчете натуральных значений факторов использовались стандартные методы: линейная интерполяция, проверка адекватности моделей по критерию Стьюлента, Фишера и дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах.

Согласно нормативным документам крошение почвы до прохода машины и не ранее чем через 1 час после проведения технологической операции удаления сорной растительности определено по пробам, отбираемым в четырех точках участка. Размер учетной площадки для отбора пробы – 0,25 м² на глубину обработки [11-13]. Отобранные пробы разделены при помощи комплекта решет в порядке уменьшения отверстий. Влажность почвы определена с помощью электронного измерителя РН300, твердость почвы определена с помощью Твердомера ИП-232.

Перед проведением эксперимента проведена оценка величины давления воды, создаваемого водяным насосом машины, в зависимости от частоты вращения ВОМ трактора. Полученный график представлен на рисунке 4.38.

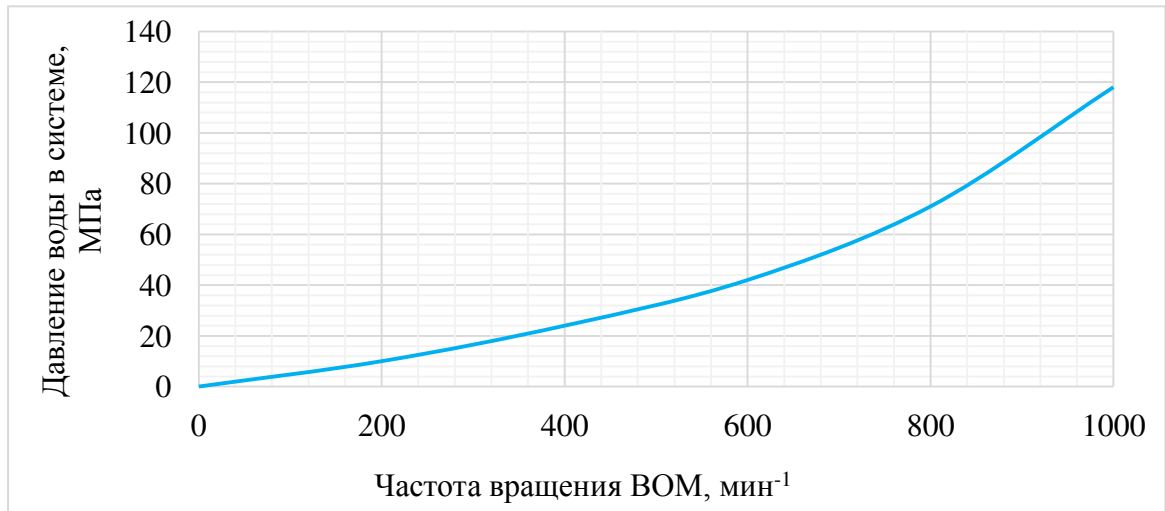


Рисунок 4.38– Зависимость давления воды в системе машины от оборотов ВОМ

Установлен диапазон требуемых оборотов двигателя для соблюдения режимов работы для проведения эксперимента.

Внешний вид обработанных приствольных зон до и после однократного прохода агрегата представлен на рисунке 4.39.

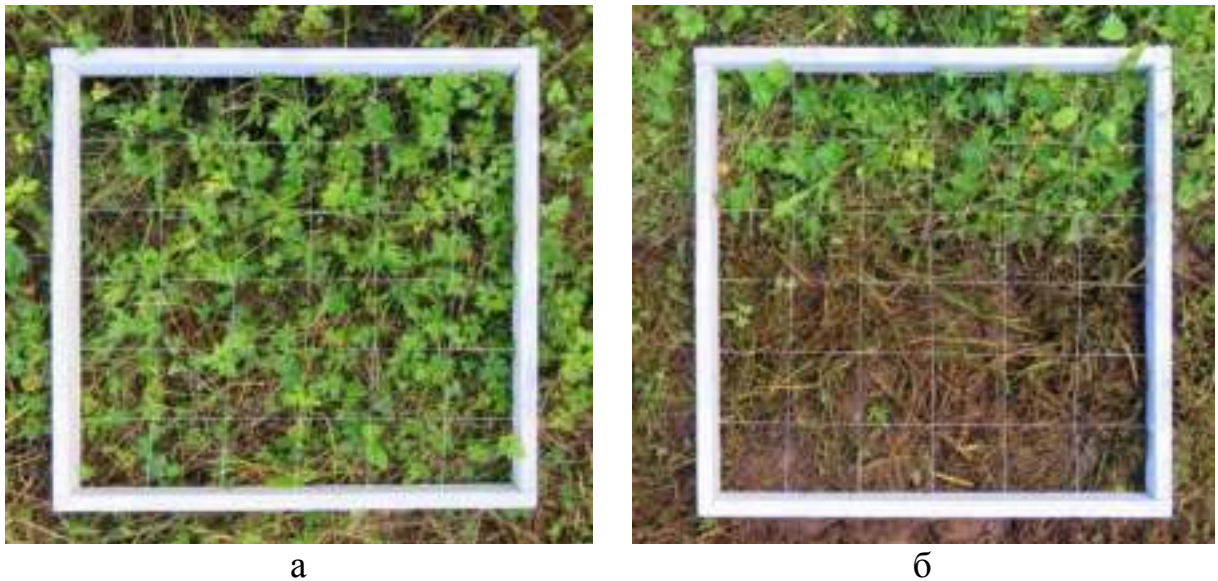


Рисунок 4.39 – Внешний вид приствольных зон: а - до прохода агрегата, а - после однократного прохода агрегата

Основные показатели, полученных в результате статистической обработки данных представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Результаты статистической обработки полученных данных

Показатель	Значение
Степень свободы	10
Значение критерия Стьюдента	2,23
Степень свободы при значимых коэффициентах	1
Табличное значение критерия Фишера	4,96
Расчетное значение критерия Фишера	2,19

По результатам анализа полученных данных рассчитаны коэффициенты математической модели. Найдена функция отклика, уравнение математической модели:

$$y = 0,025 + 0,003 x_1 + 0,018 x_2 + 0,019 x_3 + 0,013 x_1^2 + 0,022 x_2^2 + 0,013 x_3^2 - 0,013 x_1 x_2 + 0,003 x_1 x_3 - 0,008 x_2 x_3 \quad (4.14)$$

По критерию Фишера математическая модель признана адекватной ($F = 2,19 < F_{\text{табл.}} = 4,96$).

В результате преобразования получены три варианта математической модели: $y = f(x_2, x_3)$ при $x_1 = \text{const}$, $y = f(x_1, x_3)$ при $x_2 = \text{const}$ и $y = f(x_1, x_2)$ при $x_3 = \text{const}$. Уравнения математической модели с учетом постоянного фактора:

при $x_1 = \text{const}$:

$$y = 0,025 + 0,018 x_2 + 0,019 x_3 + 0,022 x_2^2 + 0,013 x_3^2 + 0 x_2 + 0 x_3 - 0,008 x_2 x_3 \quad (4.15)$$

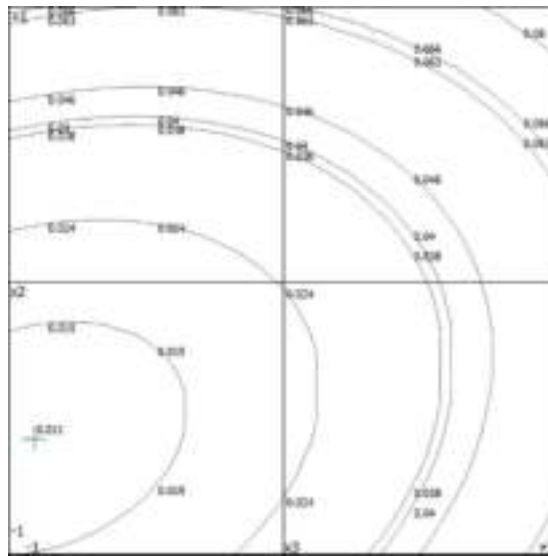
при $x_2 = \text{const}$:

$$y = 0,025 + 0,003 x_1 + 0,019 x_3 + 0,013 x_1^2 + 0,013 x_3^2 + x_1 + 0,003 x_1 x_3 + x_3 \quad (4.16)$$

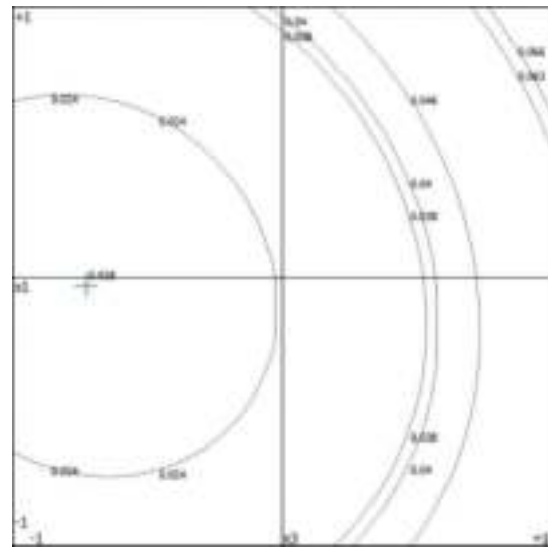
при $x_3 = \text{const}$:

$$y = 0,025 + 0,003 x_1 + 0,018 x_2 + 0,013 x_1^2 + 0,022 x_2^2 - 0,013 x_1 x_2 \quad (4.17)$$

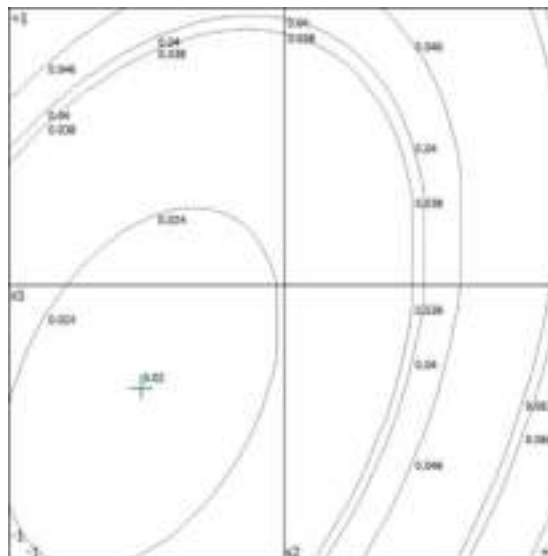
В результате проведенных исследований установлено, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования факторов. Построена графическая интерпретация функции трех переменных и диаграмма проекции трехмерных поверхностей отклика на плоскости (рис. 4.40).



а



б



в

Рисунок 4.40 – График сечения поверхности функции отклика по оптимуму:
 а - $y=f(x_2, x_3)$ при $x_1=\text{const}$, б - $y=f(x_1, x_3)$ при $x_2=\text{const}$, в - $y=f(x_1, x_2)$ при $x_3=\text{const}$

В таблице 4.14 приведены значения экстремума функции отклика и соответствующие ему значения факторов в кодированном и натуральном виде

Таблица 4.14 – Значения экстремума функции отклика и соответствующие ему значения факторов

Экстремум функции отклика	Давление в кодированном (натуральном виде), бар	Расстояние в кодированном (натуральном виде), см	Скорость движения в кодированном (натуральном виде), км/ч
$Y_{\text{опт.}} = 0,011;$	$x_1 = 0; (800);$	$x_2 = - 0,574; (14,26);$	$x_3 = - 0,907; (2,186);$
$Y_{\text{опт.}} = 0,491;$	$x_1 = - 0,031 (793,8);$	$x_2 = 0; (20);$	$x_3 = - 0,727 (2,546);$
$Y_{\text{опт.}} = 0,32;$	$x_1 = - 0,375; (725);$	$x_2 = - 0,52; (14,8);$	$x_3 = 0; (4);$

Проведена оценка рыхления почвы приствольной зоны и глубины проникновения струй.

Статический режим обработки для оценки глубины проникновения струй с экспозициями 10, 5 и 3 сек показал глубину проникновения соответственно 62, 34 и 12 мм. Диаметры следа составили: в первом случае 350 мм внешний и 330 мм внутренний (ширина реза 24 мм); во втором и третьем – 340 мм для внешнего и 328 мм для внутреннего (ширина реза 16 мм).

В результате проведенного эксперимента установлено, что машина способна обеспечить качественную обработку приствольной зоны при использовании воды центрального водоснабжения (рис. 4.41) Расход воды на погонный метр составил 32 литра.



Рисунок 4.41 – Внешний вид приствольных зон

Статистический анализ данных факторного эксперимента показал, что для выполнения технологической операции гидравлического удаления сорной растительности наиболее эффективными являются следующие режимы работы устройства:

- расстояние между почвой и распыляющей головкой – 14,5 см;
- давление подачи рабочей жидкости – 759 бар;
- скорость движения – 2,4 км/ч;

В результате проведенных исследований выявлено, что качественное рыхление почвы на глубину 10 мм обеспечивается при скорости движения агрегата 2,5 км/ч. Оценка твердости, влажности и крошения почвы в приствольной зоне до и после проведения технологической операции гидравлического удаления сорной растительности представлена в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Характеристики экспериментального участка до и после проведения технологической операции

Наименование показателей	Значение показателей до проведения технологической операции удаления сорной растительности	Значение показателей после проведения технологической операции удаления сорной растительности
Влажность почвы на различной глубине, % - от 0 до 5 см: - свыше 5 до 10 см: - от 10 до 20 см:	8,1 13,4 16,2	37,5 28,4 21,3
Твердость почвы, МПа, в слоях - от 0 до 5 см: - свыше 5 до 10 см: - от 10 до 20 см:	0,7 1,5 2,2	0,2 0,6 1,2
Крошение почвы, по фракциям, % - более 50 мм: - 25-30 мм: - 10-25 мм: - 4-11 мм: - 1,5-4 мм: Содержание эрозионно опасных частиц, %	41,2 18,9 13,6 11,5 7,7 7,1	16,4 21,2 20,9 17,3 16,6 7,6
Удаление сорной растительности в приствольной зоне, %	-	87,9

В результате двукратного выполнения технологической операции гидравлического удаления сорной растительности в приствольной зоне процентное содержание сорной растительности не превышает 87,9%. После прохода агрегата при изначально 90% покрытии поверхности сорной растительностью остается только 20-30% видимой зеленой массы, остальное перемешано с почвой. При двукратном проходе агрегата не поврежденной корневая система сорной растительности осталась на 10-13% площади. Расчётная производительность агрегата составила 3,12 га/см. Твердость почвы в слоях от 5 до 20 см уменьшилась до 71,4%. Содержание эрозионноопасных частиц не превышает 7,6%.

Приведенный выше анализ результатов работы устройства для гидравлического удаления сорной растительности свидетельствует, что устройство удовлетворяет требования технологической операции удаления сорной растительности в приствольной зоне без использования гербицидов при достаточно высоких технологических показателях.

4.3.3 Результаты исследований универсальной роботизированной платформы

Целью исследований является определение соответствия технических характеристик новой универсальной роботизированной платформы исходным агротехническим требованиям, техническому заданию и конструкторской документации.

Испытания проводились в условиях производственной базы ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2020-2021 гг. Техническая характеристика на УРП представлена в таблице 4.16. Акт испытаний представлен в Приложении 3.



Рисунок 4.42 – Общий вид универсальной роботизированной платформы

Таблица 4.16 – Техническая характеристика УРП

№	Основные параметры	Значение
1.	Марка машины	УРП
2.	Снаряжённая масса, кг	850
3.	Грузоподъёмность, кг	500
4.	Распределение нагрузок по осям, кг: - на переднюю ось, % - на заднюю ось, %	40,0 60,0
5.	Характеристика ходовой системы: Размер колёс, мм: - диаметр, не более - ширина, не более Крутящий момент на каждом из приводных колес, Нм Колесная формула	колесный тип 650 200 330 4*2
6.	Габариты машины, не более, мм: -длина -ширина, регулируемая - высота, не более	2800,0 1840,0;1960,0;2080,0 1600
7.	Ширина колеи, база, мм: - передних колёс - задних колёс -база	1800 1800 1900
8.	Дорожный просвет, мм	1200
9.	Угол статической устойчивости, град. -продольной -поперечной	12
10.	Наименьший радиус поворота, не более, мм	3500
11.	Скорость поступательного движения, км/ч -рабочая -транспортная	2-6 8
12.	Преодолеваемый подъем, град. Угол въезда, град. Угол съезда, град.	15 20 18
13.	Энергетическая установка: -тип -мощность генератора, Вт -напряжение силовой сети, В	Бензо-генератор 5500 48
14.	Привод: -тип и количество -мощность, кВт -крутящий момент мотора, Нм - скорость вала двигателя, об./мин -скорость вала колеса -длина двигателя с редуктором, мм -ширина двигателя, мм Диаметр колеса, мм Длина оси колеса, мм	Электродвигатель с планетарным редуктором, 2 шт. 0.6-0,8 кВт 334 3000 532 156 650 202 26

продолжение таблицы 4.16

15	Управление с техническим зрением	Автономная система управления содержит дальномер оптического диапазона (Лидар), 4-видеокамеры, лазерные датчики расстояния, GPS навигационную станцию, бортовой компьютер.
16	Управление с пультом дистанционного управления	Дистанционная Драйвер тяговых двигателей PLN 40 Двухканальный потенциометр MCP42010-E/SL Преобразователь AS117 Усилитель AD310 Драйвер мотора PLN40 Контроллер управления движением на основе микроконтроллера STM-32
17	Рулевое управление, (тип, конструкция) Шаговый двигатель: Рулевой редуктор	Рулевой механизм червячного типа с электроприводом ST57-100 Драйвер двигателя DM556E LEADSHINE Преобразователь питания повышающий QS-488CCCV-1800W УАЗ 469340001411
18	Тормозная система (тип, конструкция)	Торможение электродвигателем
19	Пульт дистанционного управления (состав, размеры, привязки)	Fly Sky – T6 FS Частота передатчика 2.4 GHz Ширина канала: 500KHz Тип модуляции: GFSK Длина антенны: 26мм Чувствительность: -105dBm

Параметры, характеризующие условия работы платформы при испытаниях, должны находиться в пределах, соответствующих требованиям ТЗ на испытываемую платформу. Испытания проводили при нормальных значениях факторов окружающей среды по ГОСТ Р 54783-2011 [191].

Программа испытаний включает:

- Первичную техническую экспертизу УРП;
- Оценку технических параметров изделия;
- Оценку функциональных показателей.

Первичная техническая экспертиза УРП проведена согласно по ОСТ 10 2.1. Результаты приведены в таблице 4.17, 4.18.

Таблица 4.17 – Результаты первичной технической экспертизы УРП

№ пп	Параметр	Соответствие
1	Оценка соответствия ТЗ конструкторской документации	Соответствует
2	Оценка соответствия КД конструктивным показателям макетного образца УРП	Соответствует
3	Оценка параметров агрегатирования	Соответствует
4	Оценка безопасности конструкции на предмет: - видимых течей рабочих жидкостей через уплотнения, повреждений деталей, арматуры; видимых течей, - блокировок, средств сигнализации; - ограждения опасных узлов и механизмов; - надписей по технике безопасности; - мест и устройств для зачаливания;	Соответствует не имеется не имеется имеются имеются имеются
5	уровень заполнения емкостей рабочими жидкостями.	Соответствует
6	Работоспособность блокировок, средств сигнализации и ограждений	Обеспечена

Оценка технических параметров УРП показала соответствие заявленных технических характеристик техническому заданию.

Оценка функциональных показателей проведена в соответствии с номенклатурой функциональных показателей сельскохозяйственных энергетических средств по стандартам ОСТ 10 13.1-2000.

Таблица 4.18 – Основные функциональные параметры УРП

Наименование параметра	Метод определения параметра	Соответствие
Габаритные размеры изделия, агрегата в рабочем, транспортном и подготовленном для хранения положениях, мм: - длина - ширина - высота	ГОСТ 26025	Соответствует
База, мм	ГОСТ 7057	Соответствует
Ширина колеи, мм	ГОСТ 26025 ГОСТ 7057	Соответствует
Дорожный просвет, мм	ГОСТ 26025, ГОСТ 7057	Соответствует
Конструкционная ширина захвата, м	ГОСТ 26025	Соответствует
Минимальный радиус поворота, м: - наружный - внутренний	ГОСТ 26025	Соответствует
Диаметр окружности поворота, м (колесных тракторов):	ГОСТ 30752	Соответствует
Необходимая ширина поворотной полосы (с указанием способа поворота), м	ГОСТ 27257	Соответствует
Высота (погрузки, выгрузки, загрузки), м	ГОСТ 25353, ГОСТ Р 52758	Соответствует
Вместимость емкостей, м	ГОСТ 7057	Соответствует
Угол поперечной статической устойчивости ^о	ГОСТ 12.2.002	Соответствует
Угол свеса, ^о	ГОСТ 30745	Соответствует
Тип и состояние дороги	ГОСТ 26953	Соответствует
Общая масса, кг	ГОСТ 26025	Соответствует
Масса, кг: - конструкционная - эксплуатационная	ГОСТ 26025, ГОСТ 23734,	Соответствует
Распределение эксплуатационной массы по опорам (осям), кг	ГОСТ 26025	Соответствует
Давление воздуха в шинах, МПа	ГОСТ 7463	Соответствует
Установленная мощность, кВт	ГОСТ Р 52777	Соответствует

Для обеспечения навигации универсальной роботизированной платформы по территории сада были расположены радиомаяки на каждой стороне сада. При помощи встроенного в каждый маяк компаса координаты

системы позиционирования привязывались к координатам карты сада (рис. 4.43). Для управления движением УРП по заданной траектории и мониторинга его местоположения в реальном времени выбрана система Marvelmind локального позиционирования, соответствующую следующим требованиям:

- возможность определения местоположения в реальном времени;
- передача информации на сервер для построения карт движения;
- реализация движения УРП по заданной траектории;
- оснащение маяков мобильным источником питания;
- передача информации о местоположении маяка на встроенный в УРП микропроцессорный контроллер по стандарту RS-485;
- площадь покрытия 100 м²;
- точность определения местоположения: ± 5 см.

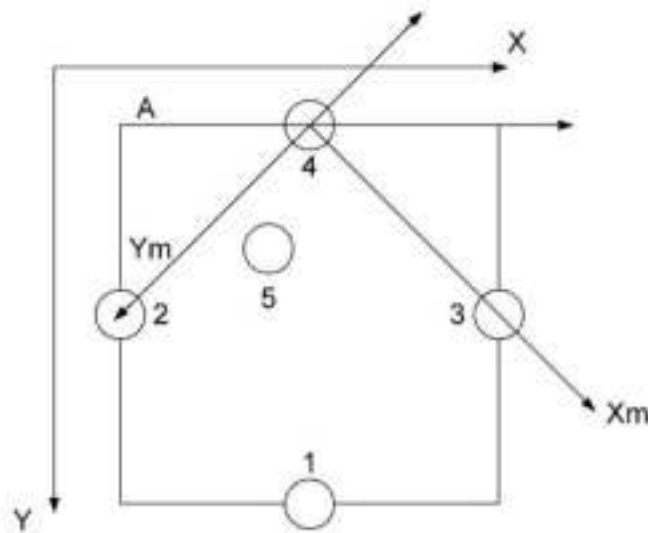


Рисунок 4.43 – Полевая проверка алгоритма управления движением роботизированной платформы

Для привязки координатных систем карты и системы позиционирования определялся азимут базовой стороны сада, на котором расположен маяк 1, это положение является началом координат системы

позиционирования и имеет координаты $(0,0)$. Для определения начала координат карты располагали мобильный маяк в точке А, определение координат маяка в системе Marvelmind и знание азимута базовой стороны сада позволили посчитать угол между осями карты сада и карты системы позиционирования.

Программное обеспечение системы Marvelmind находится в свободном доступе. На территории сада устанавливают маяки на расстоянии не более 50 м друг от друга (рис. 4.44). Мобильный маяк фиксируют на работе для позиционирования относительно стационарных маяков [17].



1-4 – расположение стационарных маяков, 5 – расположение мобильного маяка, X, Y – системы координат карты сада; Xm, Ym
Рисунок 4.44 – Взаимное расположение систем координат Marvelmind и сада

Для построения маршрута движения УРП разработан программный модуль, позволяющий отображать траекторию движения платформы с указанием точности позиционирования в каждой точке движения относительно дерева, скорости движения и угла поворота колес (рис. 4.45).



Рисунок 4.45 – Точность позиционирования и траектория движения УРП в саду

С помощью программного модуля выдаются координаты X, Y, скорости и азимута движения, а также визуализируются перемещения платформы по заданным траекториям поворота в интенсивном саду (рис. 4.46-4.49).

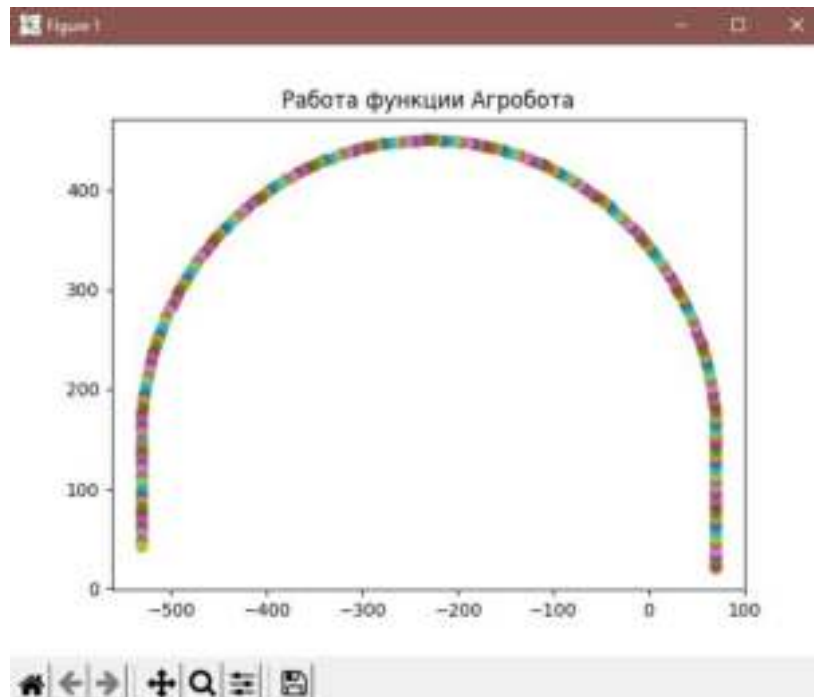


Рисунок 4.46 – Разворот через 1 ряд

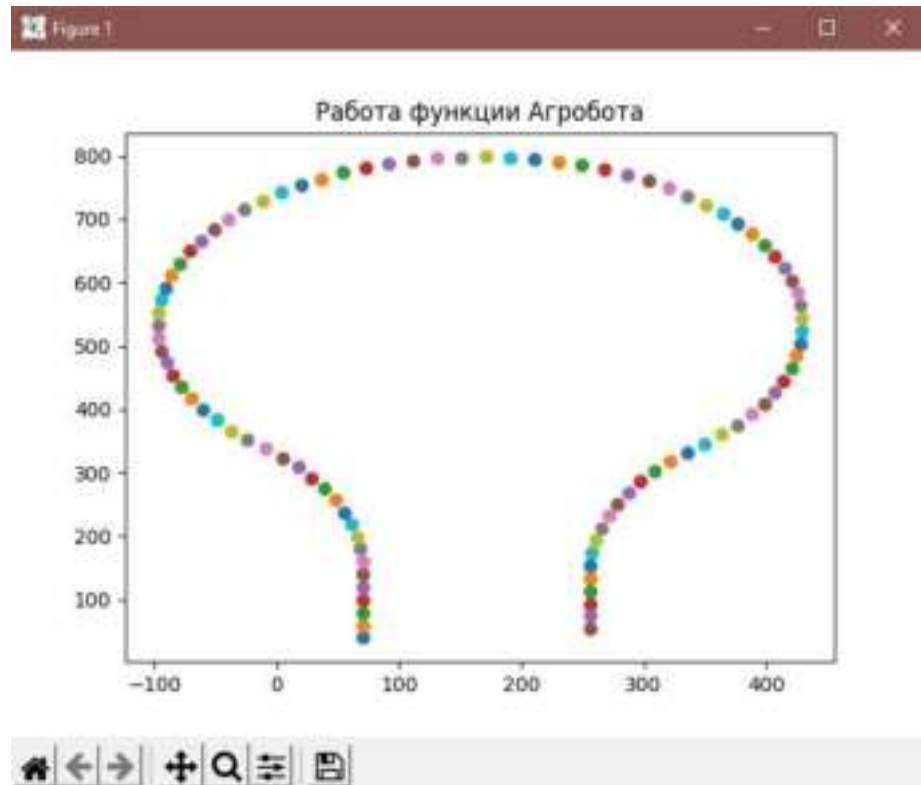


Рисунок 4.47 – Разворот большого радиуса

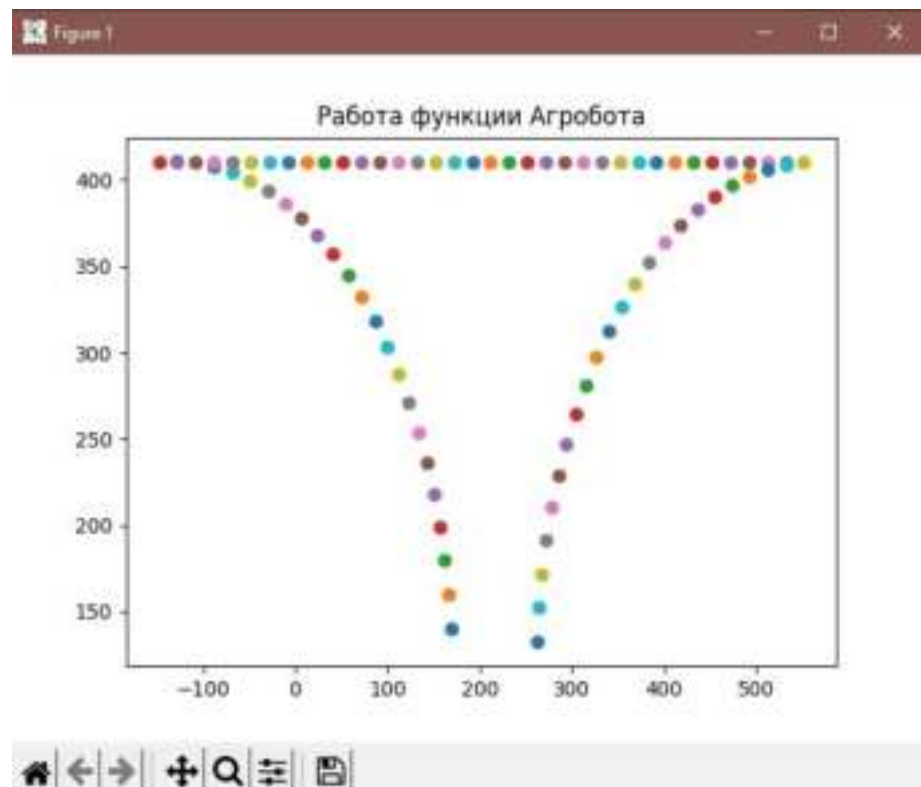


Рисунок 4.48 – Разворот с помощью заднего хода

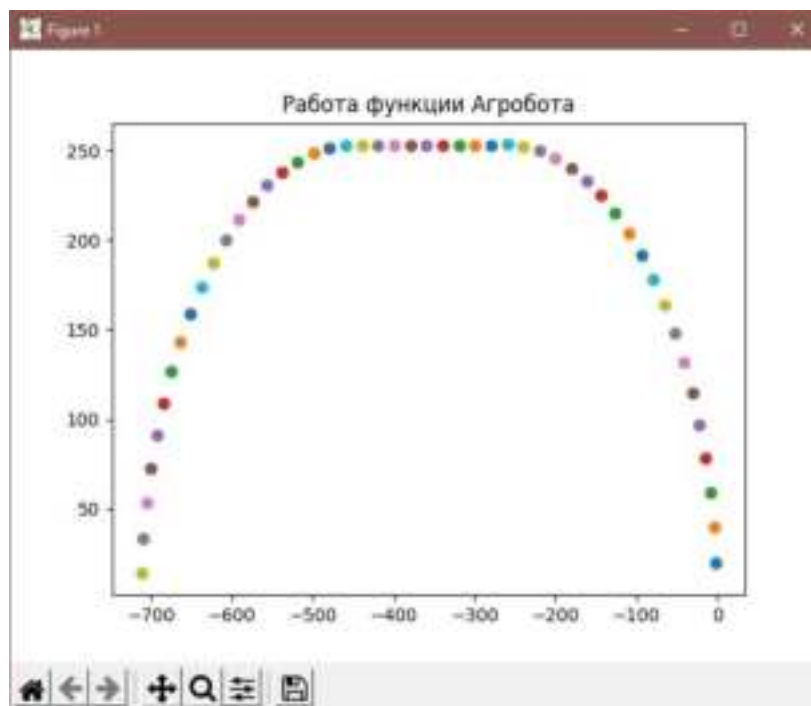


Рисунок 4.49 – Разворот с проездом по прямой

На примере наиболее сложного разворота с помощью заднего хода построена хронология выполнения маршрута, данные занесены в таблицу 4.19.

Таблица 4.19 – Хронология выполнения маршрута «Разворот с помощью заднего хода»

Старт программы, начало движения, с	0
Начало поворота рулевой части налево, с	7
Поворот завершен, угол $\approx 30^\circ$, выполнение поворота налево на 90° , с	9
Поворот завершен, остановка, включение заднего хода, с	30
Движение задним ходом завершенно, остановка, поворот рулевой части налево, с	73
Поворот завершен, угол $\approx 30^\circ$, выполнение поворота налево на 90° , с	75
Поворот завершен, движение прямо	91
Остановка платформы и программы, с	100

В результате анализ полученных экспериментальных данных подтверждена заданная точность позиционирования. После сопряжения и калибровки маяков погрешность определения местоположения не превышала 3 см.

4.3.4 Результаты исследований универсальной роботизированной платформы с модулем горячего тумана для химической обработки садовых насаждений

Для проведения исследований использована разработанная универсальная роботизированная платформа (УРП) с закрепленным на ней аэрозольным генератором тумана (рис. 4.50).

Для внесения средств защиты растений использовано устройство распыляющее подогретую жидкость с диаметром частиц, соответствующим туману (генератор тумана). Горячий туман образуется в результате нагревания средств защиты растений в виде рабочей жидкости, испарения и конденсации её при встрече с холодным воздухом. Под давлением жидкость подается на форсунку и распыляется на мелкие частицы, размер которых не превышает 30 микрон. Технические аэрозольного генератора тумана приведены в таблице 4.20.



Рисунок 4.50 – Роботизированная платформа с установленным на нее аэрозольным генератором тумана

Таблица 4.20 – Технические характеристики аэрозольного генератора тумана

Наименование	Значение показателя
Габариты, см	198x62x58
Тип двигателя	бензиновый, реактивно-импульсный.
Мощность камеры сгорания, Вт	36775
Емкость бензобака, л	5,5
Расход топлива, л/ч	4
Емкость резервуара для раствора, л	60
Расход рабочей жидкости, л/ч	до 40
Температура тумана на выходе из сопла, °С.	40-60
Размер частиц аэрозоля, микрон	1-30
Дальность проникновения тумана, м	до 80

Для определения наиболее эффективных режимов работы роботизированной платформы на промышленной плантации яблоневого сада возрастом 5 лет в научно-производственном отделе испытаний ФГБНУ ВСТИСП (Московская обл., Ленинский район, поселок Булатниково) проведен факторный эксперимент.

В качестве изменяемых факторов при выполнении технологической операции внесения СЗР приняты скорость движения роботизированной платформы, расстояние до кроны дерева и расход рабочей жидкости. Интервал варьирования факторов выбран исходя из проведенных предварительных полевых исследований. Эксперимент проведен в двукратной повторности. Факторный план эксперимента с режимами работы приведен в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Условия планирования факторного эксперимента

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
x ₁	1,5	3	4,5	1,5	Скорость движения, км/ч
x ₂	1	1,5	2	0,5	Расстояние до кроны дерева, м
x ₃	20	40	60	20	Расход рабочей жидкости, л/ч

Выходным параметром принята густота покрытия листьев рабочей жидкостью, %. Так как капли горячего тумана имеют более высокую температуру, чем обрабатываемые объекты, они быстро испаряются. Для анализа густоты покрытия, подсчета количества капель на квадратном сантиметре, использована водочувствительная бумага Syngenta (Швейцария). Водочувствительную бумагу (карточки) крепили на листьях яблони на различной высоте 1 м, 1,5 м, 2 м и на различной глубине с шагом 0,3 м в кроне дерева незадолго до опрыскивания. После опрыскивания карточки окрашиваются в темно-синий цвет в результате попадания на ее поверхность капель рабочей жидкости СЗР (рис. 4.51).



Рисунок 4.51 – Закрепленные на дереве карточки водочувствительной бумаги после попадания капель водного раствора СЗР

В качестве рабочего раствора использован фунгицид «Хорус», дозировка 2 гр./10 л воды.

Проведена статистическая обработка полученных результатов полевого эксперимента. Математическое моделирование с использованием метода планирования полевых экспериментов проведено в программе PlanExp v.1.0. План факторного эксперимента со значениями входных и выходных факторов в кодированном и натуральном виде приведены в таблице 4.22.

Таблица 4.22 – Планирование трехфакторного эксперимента

Номер опыта	Матрица планирования			Значения переменных		
	x1	x2	x2	Скорость движения, км/ч	Расстояние до кроны дерева, м	Расход рабочей жидкости, л/ч
1	-1	-1	-1	1,5	1	20
2	+1	-1	-1	4,5	1	20
3	-1	+1	-1	1,5	2	20
4	-1	-1	+1	1,5	1	60
5	-1	0,19	0,19	1,5	1,595	43,8
6	0,19	-1	0,19	3,2	1	43,8
7	0,19	0,19	-1	3,2	1,595	20
8	-0,29	+1	+1	2,65	2	60
9	+1	-0,29	+1	4,5	1,355	60
10	+1	+1	-0,29	4,5	2	34,2

Определена линейная интерполяция, проведена проверка адекватности модели по критерию Стьюдента и Фишера, найдена дисперсия воспроизводимости в проведённых параллельных опытах.

На эффективность проведения технологической операции внесения СЗР существенное влияние оказывают погодные условия, отклонение которых может привести к многократному снижению или отсутствию эффективности, а также может нанести вред окружающей среде. При проведении полевого эксперимента температура воздуха варьировалась от 18 до 21 °С, влажность воздуха составляла от 75 до 80%, скорость ветра не превышала 4,5 м/с, осадки отсутствовали, в том числе туман и роса, что соответствуют агротехническим требованиям опрыскивания садовых насаждений [195].

В результате проведения полевого эксперимента определена густота покрытия капель при выполнении технологической операции внесения СЗР на различных режимах работы генератора тумана (рис. 4.52) [192].

В результате проведенных исследований выявлено, что равномерность распределения капель по высоте, длине и глубине проникновения

обрабатываемой зоны дерева соответствует норме распределения по агротехническим требованиям.

Установлено, что равномерность распределения капель горячего тумана по высоте кроны дерева в основном связана с углом наклона форсунок генератора относительно горизонтальной плоскости, а равномерность распределения по длине кроны зависит преимущественно от скорости создаваемого генератором горячего тумана воздушного потока и линейного размера капель.

Для анализа полученных результатов использованы онлайн сервис «Water-sensitive paper analysis» и увеличительное двояковыпуклое стекло. Проведен подсчет среднего числа и диаметр капель на см² каждой карточки (рис. 4.53).

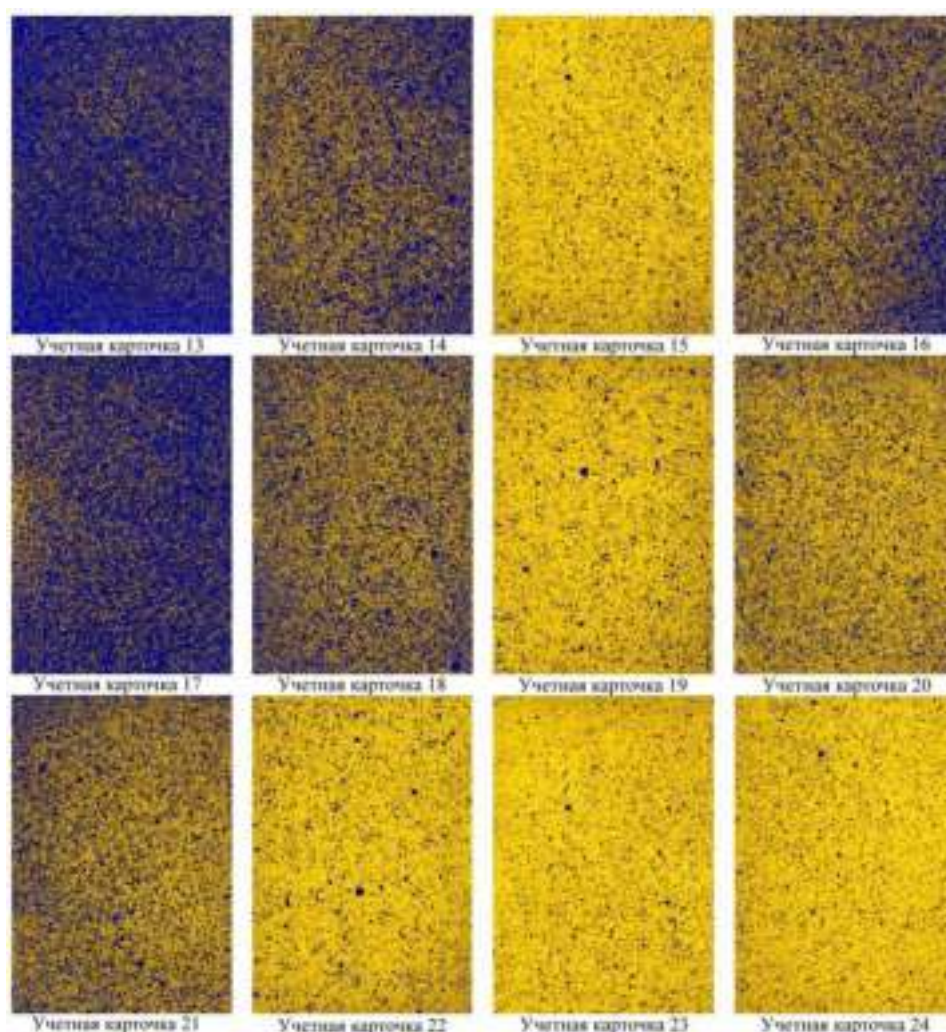


Рисунок 4.52 – Результаты проведения полевого исследования, учетные карточки среднего яруса при скорости движения платформы 1,5 км/ч



Рисунок 4.53 – Анализ полученных результатов в онлайн сервисе «Water-sensitive paper analysis»

Анализ полученных результатов позволил определить поярусную степень проникновения капель рабочего раствора внутри кроны дерева (рис.4.54).

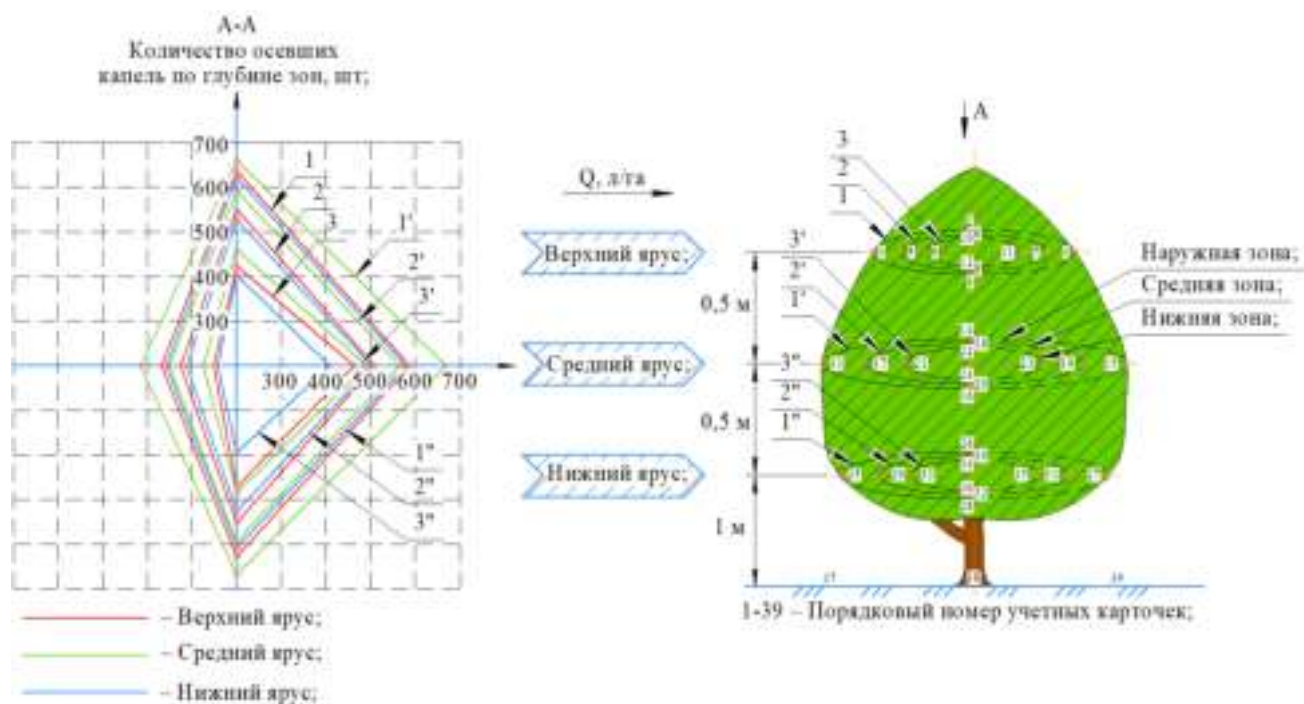


Рисунок 4.54 – Схема расположения учетных карточек и диаграмма степени проникновения капель рабочего раствора

Установлено, что количество капель на см^2 учетных карточек на среднем ярусе дерева больше на 18,1% (684) чем на верхнем ярусе (579) и

больше на 21,7% чем на нижнем ярусе (562). На учетных карточках, находящихся на земле (37-39) количество капель на см^2 по сравнению со средним ярусом меньше на 31,3% (521).

Построен график проницаемости капель горячего тумана по проекции кроны дерева в поперечной плоскости (рис. 4.55).



Рисунок 4.55 – Проницаемость капель горячего тумана по проекции кроны дерева

Установлена густота капель в точке пересечения кривой с осью ординат [192]. За один проход роботизированной платформы по междурядью в плоскости равной глубины проникновения, проходящей через ось ряда, густота капель составляет 480 шт/см^2 . При обработке этого ряда с другой стороны количество капель удваивается.

Результаты статистической обработки данных факторного эксперимента приведены в таблице 4.22.

Таблица 4.22 – Результаты статистической обработки данных полевого эксперимента

Показатель	Значение
Степень свободы	10
Критерий Стьюдента	2,23
Дисперсия адекватности математической модели	432,6
Степень свободы при значимых коэффициента	5
Табличное значение критерия Фишера	3,33
Расчетное значение критерия Фишера	1,43

Найдены коэффициенты математической модели. Получено уравнение математической модели:

$$y = 649,143 - 58,12 x_1 - 59,072 x_2 + 2,516 x_3 - 49,1 x_1^2 - 68,683 x_2^2 - 8,431 x_3^2 - 5,235 x_1 x_2 + 1,107 x_1 x_3 + 10,877 x_2 x_3 \quad (4.18)$$

Анализ математической модели по критерию Фишера позволил определить её адекватность ($F = 2,77 < F_{\text{табл.}} = 3,48$).

В результате проведения преобразования получены три варианта математической модели при $y = f(x_2, x_3)$ при $x_1 = \text{const}$, $y = f(x_1, x_3)$ при $x_2 = \text{const}$ и $y = f(x_1, x_2)$ при $x_3 = \text{const}$. Математической модели с учетом постоянного фактора принимают вид:

при $x_1 = \text{const}$:

$$y = 649,143 - 59,072 x_2 + 2,516 x_3 - 68,683 x_2^2 - 8,431 x_3^2 + 0 x_2 + 0 x_3 + 10,877 x_2 x_3 \quad (4.19)$$

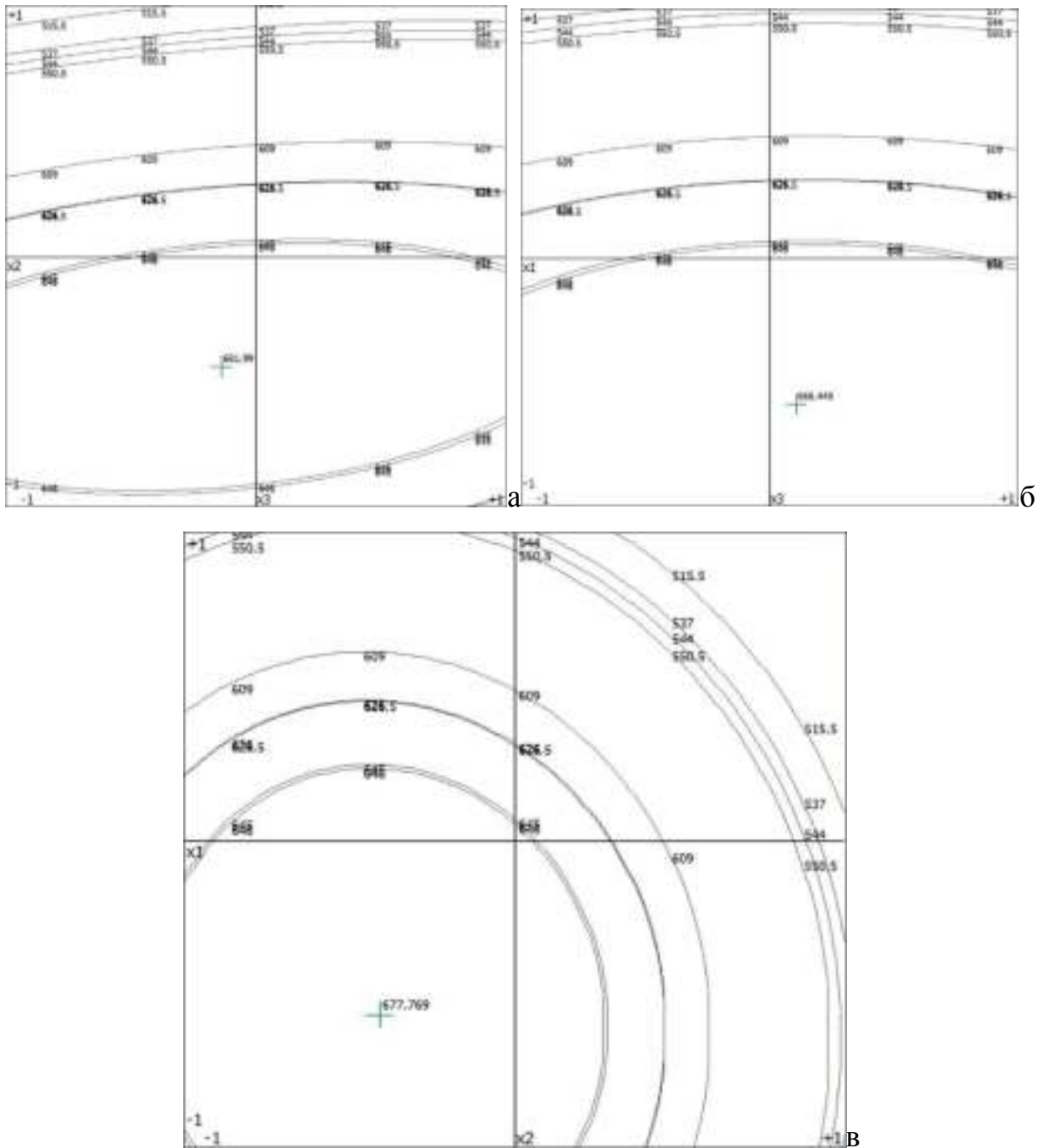
при $x_2 = \text{const}$:

$$y = 649,143 - 58,12 x_1 + 2,516 x_3 - 49,1 x_1^2 - 8,431 x_3^2 + 0 x_1 + 1,107 x_1 x_3 + 0 x_3 \quad (4.20)$$

при $x_3 = \text{const}$:

$$y = 649,143 - 58,12 x_1 - 59,072 x_2 + 0 - 49,1 x_1^2 - 68,683 x_2^2 + 0 - 5,235 x_1 x_2 + 0 x_1 + 0 x_2 \quad (4.21)$$

Установлено что экстремум функции отклика математической модели находится в пределах варьирования факторов. Графическая интерпретация функции трех переменных и диаграмма проекции трехмерных поверхностей отклика на плоскости приведена на рисунке 4.56.



а) – $y = f(x_2, x_3)$ при $x_1 = \text{const}$; б) – $y = f(x_1, x_3)$ при $x_2 = \text{const}$;

в) – $y = f(x_1, x_2)$ при $x_3 = \text{const}$

Рисунок 4.56 – Графики проекции трехмерных поверхностей отклика на плоскости по оптимуму.

Определены значения экстремума функции отклика и соответствующие ему значения факторов в кодированном и натуральном виде (табл. 4.22).

Таблица 4.23 – Полученные значения факторов в кодированном и натуральном виде

Экстремум функции отклика	Скорость движения, км/ч	Расстояние до кроны дерева, м	Расход рабочей жидкости, л/ч
$Y_{\text{опт.}} = 661,99;$	$x_1 = 0 (3)$	$x_2 = -0,441 (1,28)$	$x_3 = -0,135 (37,3)$
$Y_{\text{опт.}} = 666,445;$	$x_1 = -0,591 (2,114)$	$x_2 = 0 (1,5)$	$x_3 = 0,11 (42,2)$
$Y_{\text{опт.}} = 677,769;$	$x_1 = -0,57 (2,145)$	$x_2 = -0,408 (1,296)$	$x_3 = 0 (40);$

Статистический анализ данных проведенного факторного эксперимента позволил определить, что для выполнения операции внесения средств защиты растений с помощью генератора тумана, установленного на роботизированную платформу наиболее эффективны следующие режимы: скорость движения роботизированной платформы – 2,1 км/ч, расстояние до кроны дерева от форсунки генератора тумана – 1,28 м, расход рабочей жидкости – 39,75 л/ч. Средний расход топлива составил – 2,5 л/ч.

Проведенное исследование распределения капель горячего тумана на кроне дерева показали, что наибольшее покрытие каплями обрабатываемой поверхности происходит в непосредственной близости от генератора горячего тумана, при этом среднее значение количества капель на 1 см² кроны дерева составляет 507 штук при времени экспозиции 10 секунд. Средний размер капель на листьях дерева составил 26,6 микрон. Коэффициент вариации размера капель составил $v = 32,4\%$. Это свидетельствует о высоком влиянии погодных условий на равномерность получаемых капель вследствие изменений, температуры и влажности воздуха и скорости ветра. Установлено, использование генератора горячего тумана позволяет до 50 раз уменьшить количество используемого СЗР, что ведет к сокращению временных затрат. Наибольший размер капель наблюдается на краях кроны дерева, что обусловлено инерционным распределением капель горячего тумана [193].

В результате проведенных исследований определены причины потерь рабочего раствора. Установлено, что до 8% потерь приходится на капли размером менее 10 микрон, испарившихся в воздухе, до 12% потерь приходится на капли унесенные за пределы зоны обработки воздушными потоками, до 14% приходятся потери на крупные капли, более 100 микрон, не удержавшиеся на листе под действием силы тяжести.

Проведенные исследования позволили определить основные преимущества и недостатки применения генератора горячего тумана, установленного на роботизированную платформу. Преимущества: небольшой расход СЗР на 1 га, высокая равномерность распределения капель горячего тумана по поверхности растений, возможность обработки деревьев на значительном расстоянии от форсунки, высокая производительность и большая ширина захвата, сокращение сроков проведения обработок. Недостатки: невозможность управления проведения технологической операции при существенном варьировании скорости и направления ветра, присутствия восходящих потоков воздуха, необходимость введения дополнительных защитных зон вокруг обрабатываемых участков, несовместимость со всеми видами препаратов из-за нагрева рабочей жидкости.

Проведенный анализ результатов полевых исследований разработанной роботизированной платформы с аэрозольным генератором горячего тумана в плодовом саду свидетельствует, что устройство удовлетворяет требования технологической операции внесения средств защиты растений при достаточно высоких технологических показателях.

4.3.5. Результаты исследований роботизированного манипулятора для съёма плодов яблони с кроны деревьев

Лабораторные испытания работоспособности роботизированного манипулятора проведены в условиях научной лаборатории 8.2 ФГБНУ

ФНАЦ ВИМ в соответствии с разработанной и утвержденной программой и методикой. Акт о результатах лабораторных испытаний приведен в Приложении 3.

Цель лабораторных испытаний - определение работоспособности опытного образца роботизированного манипулятора для съёма плодов и его готовности к проведению экспериментальных исследований с целью отработки технологии роботизированного сбора плодов в агрегате с универсальной роботизированной платформой (УРП) в условиях промышленных садовых насаждений.

Программа и методика лабораторных исследований включала в себя:

1. Проверку работоспособности узлов [194].

При включении устройства и последующей передаче управляющих команд должна быть продемонстрирована работоспособность по разработанному алгоритму:

- привод поворотного стана – поворот конструкции вокруг своей оси на 360°;

- привод нижнего плеча – подъём и опускание нижнего плеча манипулятора в пределах полного выдвижения штока нижнего актуатора;

- привод верхнего плеча – подъём и опускание верхней стойки манипулятора в пределах полного выдвижения штока верхнего актуатора, а также изменение вылета верхнего плеча в пределах выдвижения штока актуатора перемещения верхнего плеча;

- работа захвата – вращение захвата вокруг своей оси на 360°, сжимание и разжимание лепестков захвата посредством актуатора сжимания и разжимания;

Устройство считается выдержавшим испытание при выполнении указанных условий.

2. Проверку выполнения тестовых функций.

Устройство должно быть способным выполнять поворот на заданный угол: поворот всего манипулятора в сборе.

Устройство должно быть способно выполнять выдвижение верхнего плеча на заданное расстояние в пределах конструктивных возможностей.

Устройство должно быть способно выполнять разведение и сведение лепестков захвата.

3. Тестирование системы управления манипулятором на определение координат плодов, размещенных на разных уровнях глубины по горизонтали, тестирования.

Устройство считается выдержавшим испытание при определении координат не менее 90% плодов с отклонениями координаты по трем осям не более 1 см.

4. Тестирование системы контроля степени сдавливания плода захватывающим устройством.

Устройство считается выдержавшим испытание при отсутствии повреждений на плоде.

Определение обобщенной координаты плодов, размещенных на разных уровнях глубины по горизонтали проводилось с использованием разработанной системы управления на основе нейронной сети в условиях искусственного освещения с освещенностью 2000-50000 Лк (рис. 4.57).



Рисунок 4.57 – Лабораторные исследования роботизированного манипулятора при определении координат плодов

Наилучший результат идентификации плодов и определения их координат получен при минимизации расстояния до объекта – 0,5 м, нахождении объекта в фокусе, использовании максимально возможного разрешения (12,2 Мрiх) и отсутствии увлажнения поверхности плодов. При этом, при наличии влаги на поверхности, результат получается хуже, снижая точность обнаружения до 74,48%. Гораздо большее влияние на конечный результат оказывает расстояние до объекта и освещённость. При изменении расстояния с 0,5 до 1,5 м с шагом в 0,5 м, точность обнаружения изменяется с 88,39% (0,5 м) до 57,8% (1,5 м). Промежуточное значение полученной точности обнаружения (1 м) при этом составляет 66,3%. При изменении среднего уровня освещённости со 20000 лк до 30000 лк, степень точности определения изменяется с 64,1% до 74,3%. При этом, при отсутствии фокусировки на объекте съёмки, наличии бликов на изображении и общем засвечивании, результат определения получается наиболее неточным 43%.

Результаты эксперимента подтвердили работоспособность системы распознавать координаты 90% плодов с отклонениями координаты +- 8мм. Результаты визуализированы на рисунке 4.58.



Рисунок 4.58 – Результаты идентификации и определения их координат плодов яблони и обработки изображений с помощью нейронной сети

Для проверки работоспособности разработанного захватывающего устройства для съема плодов провели тестирование системы контроля силы давления на плоды различных размеров и с различным расположением в кроне. В результате проведенной серии в 25 экспериментов подтверждена работоспособность захвата, он деликатно захватывает плод и надёжно удерживает его (рис. 4.59).

Выявлены следующие характеристики работы захвата:

- время на полный захват яблока: 3,5-5 сек, в зависимости от размера яблок;
- максимальный размер захватываемого яблока: 85x80 мм
- максимальный вес захватываемого яблока: 400 г



Рисунок 4.59 – Процесс проведения лабораторного эксперимента, захват плода разработанным устройством

Определено допустимое давление лап захвата на плод. Захват яблок осуществляется с различным усилием, после чего испытуемые образцы фотографируются и по фотографии с помощью написанного кода с библиотекой OpenCV распознаёт место повреждения и определяет его площадь (рис. 4.60, 4.61) [19-20, 198, 199].



Рисунок 4.60 – Повреждения яблок после испытаний



Рисунок 4.61 – Определение степени повреждений

Площадь яблок за трехкратную повторность эксперимента определена в пикселях. Найденная площадь в пикселях, зная фокусное расстояние используемой камеры (Basler acA1920-155uc, CMOS-матрица Sony IMX174), переведена в миллиметры. Определив площадь воздействия захвата на яблоко, $S = 0,001421 \text{ м}^2$, определены предельные значения давления на поверхность плода (табл. 4.24). Замеры усилий проведены с помощью разработанного датчика давления на плод, путем замеров силы тока, которая находится в прямой зависимости от приложенного усилия.

Таблица 4.24 – Результаты предельных значений давления на поверхность плода

Параметр	Значение					
	12	10	8	6	4	2
Сила действия, Н	13780,1	6891,7	5513,4	3445,8	2415,4	1515,7
Давление, Па	13780,1	6891,7	5513,4	3445,8	2415,4	1515,7
Средний процент повреждения, %	7,79	3,56	0,72	0,57	0,25	0,14

Установлено, что при усилии линейного шагового двигателя на толкатель в 8Н, обеспечивается сохранность яблока с минимальными повреждениями, при этом яблоко надежно зафиксировано в лапах захвата.

Полевые испытания универсальной роботизированной платформы с модулем манипулятором проведены в производственных условиях ФНЦ Садоводства (Московская область, п. Измайлово) в 2020-2021 гг. на уборке плодов сорта северный Синап в насаждениях интенсивного типа с междурядьями 3 м.

Определено время сбора одного плода в полевых условиях. Для постановки эксперимента были выбраны деревья с идентичной кроной и расположением плодов в кроне. Эксперимент проведен в трехкратной повторности. Входными параметрами стали номера яблок с различным расположением. Расстояние от нулевой точки манипулятора до кроны варьировались в пределах 0,3-0,5 м. Выходным параметром стало время отрыва яблока от плодоножки с момента начала движения манипулятора.

Нацеливание манипулятора осуществляется по принципу захвата объекта в поле зрения и перемещению его в центр изображения видеоряда, после чего происходит выдвигание стрелы с захватом. В случае успешного захвата искомого объекта (плода), происходит срабатывание концевого датчика, расположенного на захвате, который сразу после этого оттягивается назад, при этом происходит его смыкание, за счёт чего осуществляется срыв плода. После выполнения данной операции реализован возврат стрелы манипулятора в исходное положение и его раскрытие с последующим сбросом плода. При наличии в кадре других идентифицированных объектов

процедура повторяется, при этом нацеливание происходит на ближайший объект, имеющий наибольшую степень распознавания.

Этапы работы манипулятора: 1. начало движения; 2. момент нацеливания захватывающего устройства; 3. отрыв плода; 4. транспортировка плода (рис. 4.62).



Рисунок 4.62 – Процесс съема плодов роботизированным манипулятором

По результатам проведенных исследований, установлено, что среднее время уборки одного плода яблони разработанным манипулятором

составляет 15,5 секунд, минимальное время составляло 9,5 сек., максимальное 16,5 сек. Результаты приведены на рисунке 4.63.

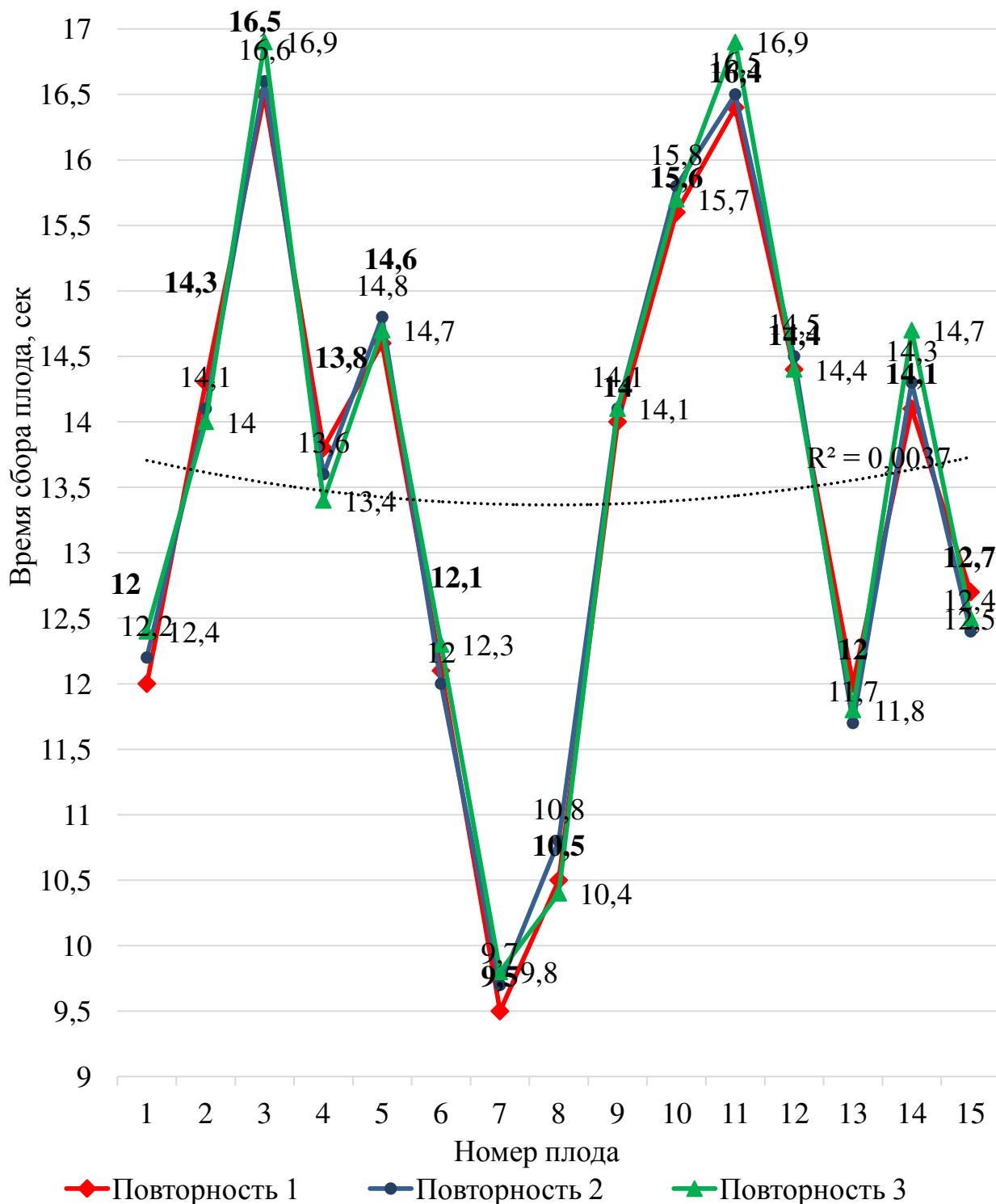


Рисунок 4.63 – Фрагмент графика по результатам определения времени уборки плодов

Сравнение результатов компьютерного моделирования и полученных экспериментальных данных в полевых условиях по определению времени на

его захват подтвердило время на захват одного плода не более 15 секунд (рис. 4.64).



Рисунок 4.64 – Сравнение результатов компьютерного моделирования и полевого исследования процесса съема плодов яблони

Выявлены отклонения траекторий движения манипулятора в полевых условиях при работе в среднем и верхнем ярусе кроны: максимальные значения отклонений траектории движения захвата манипулятора от расчётной не превышала 5,8 см. Дисперсия полученных значений не превышал 3 см². Полученные значения времени сбора одного плода полностью соответствуют агротехническим требованиям к производительности уборочного процесса.

Выводы по Главе 4

1. Получены ключевые гиперспектральные характеристики, позволяющие классифицировать здоровые плоды и плоды с признаками повреждений, и использовать значения модифицированного гиперспектрального индекса в работе программно-аппартного комплекса при мониторинге состояния плодов на кроне дерева.

2. Анализ корреляций коэффициентов отражения и содержания пигментов показал, что особенности и закономерности, полученные для «точечных» измерений гиперспектральных коэффициентов отражения, в целом, верны и для спектральных данных, полученных с помощью формирующего изображение гиперспектрометра. Таким образом,

информация из данного источника позволяет классифицировать плоды яблони по степени их повреждённости высокими потоками солнечной радиации и температурой (солнечный ожог) и фитопатогенами (парша и другие патогены).

3. Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность разработанного алгоритма на основе искусственных нейронных сетей для программно-аппаратного комплекса при идентификации плодов яблони. Созданные алгоритмы обработки входных графических данных и работы системы компьютерного зрения позволяют распознавать плоды яблони с высокой степенью точности (до 93,9%).

4. Экспериментально установлено влияние таких параметров как расстояние до распознаваемого объекта, освещённость и качество изображения на точность обнаружения плодов яблони и определение их местоположения при роботизированной уборке.

5. В результате проведенных исследований разработаны и реализованы алгоритмы, включающие в себя операции по определению координат плодов яблони, степени их спелости и расчёту расстояния до плода.

6. Разработаны технические средства и проведены экспериментальные исследования по определению оптимальных режимов их работы в полевых условиях:

- автоматизированный адаптер для магнитно-импульсной обработки вегетативной части садовых насаждений. Установлены зависимости влияния магнитных импульсов на развитие саженцев яблони, а именно увеличение корневой системы и биологической массы растения от увеличения скважности с 12 до 16 и частоты импульсов МИО с 16 до 32 Гц.

- устройство для выполнения технологической операции гидравлического удаления сорной растительности. Установлены наиболее эффективные режимы работы: расстояние между почвой и распыляющей

головкой – 14,5 см; давление подачи рабочей жидкости – 750 бар; скорость движения – 2,4 км/ч.

- универсальная роботизированная платформа, предназначенная для выполнения технологических операций в садоводстве: мониторинг насаждений, опрыскивание насаждений, междурядная и приствольная обработка почвы, роботизированный сбор и транспортировка урожая. Технические и функциональные параметры платформы при испытаниях, находились в пределах технического задания и соответствовали ГОСТ Р 54784 и функциональным показателям сельскохозяйственных энергетических средств по стандарту ОСТ 10 13.1-2000: рабочая скорость поступательного движения составила 2-6 км/ч, транспортная – 8 км/ч, преодолеваемый подъем 15 град, угол въезда 20 град., угол съезда 18 град., крутящий момент на каждом из приводных колес 330 Нм, наименьший радиус поворота 3500 мм.

- роботизированный манипулятор с захватывающим устройством и системой технического зрения, обеспечивающие быстроедействие при сборе одного плода не более 15 сек., деликатный съем плода яблони трехпальным захватом с минимальной травмируемостью при давлении лап захвата на плод 8Н. Выявлены отклонения траекторий движения манипулятора в полевых условиях при работе в среднем и верхнем ярусе кроны: максимальные значения отклонений траектории движения захвата манипулятора от расчётной не превышала 5,8 см. Полученные значения времени на сбор одного плода полностью соответствуют агротехническим требованиям к производительности уборочного процесса.

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ САДОВОДСТВЕ.

5.1 Методика экономической оценки эффективности применения разработанных цифровых систем и технических средств в промышленном садоводстве

Экономическую оценку эффективности разработанных программных и технических средств и на их основе машинных технологий проводили по методике в соответствии с ГОСТ Р 53056-2008 и методики ВИМ «Топливо-энергетическая оценка производства продукции растениеводства», суть которых заключается в определении сравнительных показателей энергетической эффективности применяемых и вновь разработанных технологий и средств их механизации [200-202]. Исходной информацией для расчётов послужили результаты производственных испытаний разработанных программно-аппаратных средств, автоматизированных и роботизированных машин, полученные в хозяйствах центрального региона РФ (Московской, Тульской, Орловской областях). (Приложение К).

Выполнен сравнительный анализ интенсивных технологий возделывании плодового сада: реализуемой в производственной деятельности ООО «Одоевские сады» Тульской области и предлагаемой технологии с применением разработанных технических средств, и программного аппаратного комплекса «Агроинтеллект ВИМ», включающего базу данных для интеллектуальной системы управления производственными процессами многолетних культур (свидетельство № 2016620036 от 12.01.2016) [203,204]. В предлагаемую технологию включены следующие операции: 3-х кратный цифровой мониторинг состояния насаждений, 4-х кратная обработка приствольных полос вместо гербицидной обработки, магнитно-импульсная обработка растений с одновременной культивацией междурядий, и роботизированная уборка плодов.

Выбрав последовательно в диалоговых окнах ПАК: тип конечной продукции, почвенные условия, сорт, а также варианты технических средств для новых операций по возделыванию плодовых культур, программа выдает сформированную технологию. В таблице 5.1 желтым цветом выделены операции, добавленные в технологическую карту и разработанные технические средства.

Таблица 5.1 – Технологическая карта возделывания плодового сада по предлагаемой технологии

№	Наименование работ	Состав агрегата								
		ед. изм.	в физ. выр.	эта л.с ме н.в ыр аб.	в ус.эт ал. га	календа рн.сроки	рабо чих дней	марка трак.	с/м а ш и ны марка	кол -во
		В	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Перевозка саженцев	час	8	5,6	6	апр.- май	1	УРП	Контейне р	1
2	Внесение гербицидов 2-х кр.	га	50	5,6	48	апр.- сент.	8,6	УРП	Гидромул ьчер	1
3	2-х.кр.	га	50	8,8	53	апр.- сент.	6,1	ДТ-75	БДСТ-2,5	1
4	Культивация междуряд.2-х кр. + МИО	га	50	5,6	48	май- июль	8,6	УРП	Агрегат МИО	1
5	Вспашка междурядий	га	50	8,8	106	сентябр ь	12,0	ДТ-75	ПН-4-35	1
6	Погрузка органических удобр.	т	1200	5,6	34	сентябр ь	6	ЭО- 3322		1
7	Перевозка органич .удобрен.	т	1200	5,6	420	сентябр ь	75	МТЗ-80	2ПТС-4	1
8	Разбрасывание органич .удобр.	га	50	5,6	109	сентябр ь	19,5	МТЗ-80	РПТМ-2	1
9	Погрузка минеральн.удобр ен.	т	9,6	5,6	2	май.сен т.	0,4	МТЗ-80	ПНФ-1	1
10	Измельчение минерал.удобр.	т	4,8	2,4	1	май.сен т.	0,2	Т-25	ИСУ-1	1
11	Перевозка минеральн.удобр ен.	т	4,8	5,6	3	май.сен т.	0,5	МТЗ-80	1-РМГ-4	1
12	Внесение минеральн.удобр ен.	га	50	5,6	26	май.сен т.	4,6	МТЗ-80	1-РМГ-4	1

продолжение таблицы 5.1

13	Транспортировка труб 2-х кр.	га	50	5,6	140	июнь-июл.	25	МТЗ-80	2-ПТС-4	1
14	Полив 3-х кратн.	га	50	8,8	259	июнь-июл.	29,4	ДТ-75	ДДН-70	1
15	Опрыскивание 5-ти крат.	га	50	5,6	41	апр.-авгус.	7,4	УРП	Генератор горячего тумана	1
16	Мониторинг состояния насаждений	га	50	5,6	168	апр.-авгус.	30,0	Мобильное приложение	ПАК "АгроинтеллектВИМ"	1
17	Скашивание травы в межд.. 5-раз.	га	50	5,6	44	май-авгус	7,8	МТЗ-80	КИУ-2А	1
	итого:	X	X	X	1507	X	242,2	X	X	X
18	Полив деревьев	сот.шт.	5,56	X	X	апр.-май	1,1	вручную	X	0
19	Контроль дерев.после полива	сот.шт.	5,56	X	X	апр.-май	1,4	вручную	X	0
20	Мотыжение прист.кругов 3-х кр.	сот.м.кв.	1700	X	X	июнь-авг.	354,2	вручную	X	0
21	Удаление корневой поросли	сот.дер.	55,6	X	X	сентябрь	16,2	вручную	X	0
22	Обрезка с формированием	дер.	5560	X	X	апрель	69,5	вручную	X	0
23	Погрузка.разгрузка труб 2-х кр.	час	80	X	X	июнь-июль	10,0	вручную	X	0
24	Монтаж.демонтаж труб 2-х кр.	час	80	X	X	июнь-июль	10,0	вручную	X	0
25	Раскладка труб	га	10	X	X	июнь-июль	5,0	вручную	X	0
26	Обслуживание насос.станции	час	144	X	X	июнь-июль	18,0	электрик	X	0
27	Приготовление раст.ядохим.	т	40	X	X	апр.-авг.	7,3	СЗС-10	X	0
28	Сбор урожая	т/га	60	X	X	август	14,0	УРП	Робот-манипулятор	1
	итого	X	X	X	X	X	839,4	X	X	X
	ВСЕГО	X	X	X	1507	X	1098,6	X	X	X

Для определения количества с/х машин в зависимости от производительности машин и длительности выполняемого процесса воспользовались следующей зависимостью [204]:

$$K_M = \frac{Iif(S \times K_{об})}{W_m \times D} - \frac{Int(S \times K_{об.раб})}{W_m \times D} \quad (5.1)$$

где K_M - количество машин, шт., S - площадь возделывания, га., D - длительность технологического процесса, дн., W_m - производительность машины, га/ч, $K_{об.раб}$ - коэффициент объёма работ.

Для определения количества топлива, в зависимости от выбранного пользователем технического средства, его расхода топлива и площади возделывания культуры применена логическая модель, с функцией «Если»:

$$K_T = Pf(\text{Код_энерг. средства}=1; Int S \times R) \quad (5.2)$$

Оценка эффективности технических средств проведена по экономическому критерию - стоимости выполнения операции:

$$Z_{кор} = W_{см}(u, l) \times R(u, l) \times T_{год} \times C_{топ} \times K_{исп} + \sum C_{п}, \quad (5.3)$$

где R - расход топлива, л/га, $C_{топ}$ - стоимость топлива, руб/л, $\sum C_{п}$ - суммарные прямые эксплуатационные затраты на выполнение машинной технологической операции, руб.

Определение металлоемкости робототехнических средств (кг/т продукции) осуществлено по формулам:

- при выполнении технологических операций:

$$g_{lji} = \frac{d_i M_{Mj} (a_{Mj} + r_{Mj})}{10^2 W_{is} \acute{O}T_{Mj}} \quad (5.4)$$

где M_{Mj} - масса роботизированной машины j -го вида, кг, a_{Mj}, r_{Mj} - коэффициенты годовых отчислений на реновацию и ремонт, % от стоимости (принимаются по факту для данного хозяйства) [21];

T_{Mj} - годовая загрузка, ч (принимается фактической по данным хозяйства);

- при транспортировке производственных ресурсов:

$$g_{lji} = \frac{H_{ji} M_{Mj} (\dot{a}_{Mj} + r_{Mj})}{10^2 W_{ij} \dot{O} T_{Mj}} \quad (5.5)$$

где W_i - производительность, т/ч основной продукции.

Определение расхода минеральных, органических и комплексных удобрений, пестицидов, и других химических препаратов j -го вида, применяемых на операциях по защите сада, а также воды для приготовления их рабочих растворов, рассчитывались по формуле (кг/т продукции):

$$g_{xji} = \frac{10^3 H_{\dot{o}ji} d_i}{T_{\dot{o}j} \dot{O}} \quad (5.6)$$

где $\dot{I}_{\dot{o}ji}$ - норма расхода препарата j -го вида, т/га;

$\dot{O}_{\dot{o}j}$ - срок действия препарата (минерального удобрения, пестицида - 1 год, органики - 3 года, извести - 5 лет).

В случае, когда энергетический эквивалент средства химизации приведен в МДж/кг д.в., его расход в кг д.в./т продукции определялся по формуле:

$$g_{\dot{o}ji} = \frac{10 H_{\dot{o}ji} \gamma_j d_i}{T_{\dot{o}j} \dot{O}}, \quad (5.7)$$

где γ_j - содержание д.в. в препарате, %.

Сравнительную оценку разработанных машин и базовых проводили по следующим основным показателям: годовой экономический эффект, срок окупаемости дополнительных капиталовложений, верхний предел цены разработанной техники.

Капиталовложения (Кг) на годовой объем работ определялись по формуле:

$$K_{\Gamma} = K_{\text{у}} * V_{\text{з}} \quad (5.8)$$

Приведенные затраты, в рублях, базовой или новой технологии на единицу наработки продукции определялись по формуле:

$$П_{\Gamma} = E * K_{\Gamma} + И_{\Gamma} \quad (5.9)$$

где E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E = 0,15$).

Приведенные затраты, в рублях, на годовой объем работ ($Пг$) определялись по формуле:

$$Пг = Пу * Вз \quad (5.10)$$

Годовой экономический эффект, в рублях, от внедрения новой интенсивной технологии с учетом изменения количества получаемой продукции:

$$Эг = (Пуб. - Пун) Вз \quad (5.11)$$

5.2 Оценка экономической эффективности применения ПАК «Агроинтеллект ВИМ» в промышленном садоводстве

Обоснование цены программного комплекса является одной из основных задач, так как цена любого программного продукта определяет успех его внедрения, объёмы продаж и получаемую прибыль от реализации программного продукта. Помимо цены, одними из основных показателей, характеризующих созданный ПАК, являются: экономический эффект и срок окупаемости капиталовложений [205].

Расчёт цены на ПАК производился исходя из размера желаемой прибыли. Закладываемый в расчет размер планируемой прибыли составляет 30% [47]. Цена разработанного ПАК определялась по формуле:

$$Ц_{np} = C_{np} + \frac{C_{np} \cdot Пр}{100\%} \quad (5.12)$$

где $Ц_{np}$ – цена ПАК, руб.,

C_{np} – себестоимость ПАК, руб.,

$Пр$ – ожидаемая прибыль, руб.

Отсюда, цена программного продукта составила:

$$C_{np} = 536230,54 + \frac{536230,54 \cdot 30\%}{100\%} = 697099,7 \quad (5.13)$$

Расчет экономической эффективности от внедрения ПАК в процесс построения машинных технологий включал в себя учёт затрат на выполнение работ по построению технологий и мониторинга урожайности вручную и при использовании комплекса, амортизацию оборудования (компьютер, сервер, метеостанция, периферийные сенсорные устройства и др.) время его работы за год и годовой размер заработной платы необходимых специалистов.

Анализ хозяйственной деятельности в «Одоевские сады» и НПО ФНЦ Садоводства показал, что при работе с данным программным комплексом обработка и ввод информационных данных занимает не более 40 часов в течение сезона производства плодовых культур (с 15 апреля по 15 августа). В то время как ручная обработка информации по построению технологий занимает свыше 450 часов [11]. Это также подтверждается результатами экспертного анкетирования, приведёнными в Главе 4. Исходные данные для расчета экономической эффективности ПАК отображены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчета экономической эффективности

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение	Значение
Затраты времени на машинную обработку информации в год	ч	T_m	40
Затраты времени на обработку информации вручную за год	ч	T_p	450
Стоимость оборудования (компьютер, датчики, метеостанция и др.)	руб..	C_k	550000
Ставка технолога	руб.	C_{on}	65 000
Фактическое время работы оборудования за год	ч	$T_{фz}$	2000

Амортизация оборудования за 1 м/ч вычисляется по формуле:

$$Am_k = \frac{C_k \cdot H_{Ak}}{T_{фz} \cdot 100\%} \quad (5.14)$$

$$Am_k = \frac{550000 \cdot 15\%}{2000 \cdot 100\%} = 41,25 \text{ руб.} \quad (5.15)$$

Основная заработная плата технолога (оператора) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = \frac{C_{он}}{\Phi_v} \quad (5.16)$$

$$Z_{осн} = \frac{65000}{167} = 389,22 \text{ руб.} \quad (5.17)$$

Дополнительная заработная плата технолога (оператора) вычисляется по следующей формуле:

$$Z_{дон} = \frac{Z_{осн} \cdot H_{дон}}{100\%} \quad (5.18)$$

$$Z_{дон} = \frac{389,22 \cdot 50\%}{100\%} = 194,61 \text{ руб.} \quad (5.19)$$

Общая часовая заработная плата технолога (оператора) получается суммированием основной и дополнительной зарплат:

$$Z_{общ} = 389,22 + 194,61 = 583,83 \text{ руб.} \quad (5.20)$$

Отчисления на соцстрах, фонд занятости и пенсионный фонд вычисляются по формуле:

$$Отч = 30,2\% \cdot \frac{Z_{общ}}{100\%} \quad (5.21)$$

где $Z_{общ}$ - общая заработная плата оператора, руб.;

30,2% – процент отчислений в бюджет.

$$Отч = 30,2\% \cdot \frac{583,83}{100\%} = 176,3 \text{ руб.} \quad (5.22)$$

Экономический эффект от внедрения программно-аппаратного комплекса рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = C_1 - C_2 \quad (5.23)$$

где C_1 – стоимость базового варианта обработки информации агрономом-технологом (вручную);

C_2 – стоимость обработки информации с использованием программного комплекса.

Стоимость первого варианта рассчитывается по формуле:

$$C_1 = \left(C_d \cdot \frac{T_p}{\Phi_g} \right) \cdot n \quad (5.24)$$

где C_d – ставка агронома-технолога, руб.;

T_p – затраты времени на обработку информации вручную, ч;

Φ_g – фонд рабочего времени в месяц, ч;

n – продолжительность сезона, месяцев.

$$C_1 = \left(65000 \cdot \frac{450}{167} \right) \cdot 4 = 700598,8 \text{ руб.} \quad (5.25)$$

Стоимость обработки информации с использованием программы [67] вычисляется по формуле:

$$C_2 = \left(\frac{C_{on} \cdot T_m}{\Phi_g} + C_{м/ч} \cdot T_m \right) \cdot n + C_{np} \quad (5.26)$$

где C_{on} – ставка технолога, руб.;

Φ_g – фонд рабочего времени в месяц, ч;

T_m – затраты времени на машинную обработку, ч;

$C_{м/ч}$ – стоимость одного машинного часа, руб.

C_{np} – стоимость программного комплекса, руб.

n – продолжительность сезона, месяцев;

$$C_2 = \left(\frac{65000 \cdot 40}{167} + 2,05 \cdot 40 \right) \cdot 4 + 536230,54 = 598835,34 \text{ руб.} \quad (5.27)$$

Годовой экономический эффект от внедрения данного программного продукта составляет:

$$\mathcal{E}_r = 700598,8 - 598835,34 = 101\,763,46 \text{ руб.}$$

Определяем срок окупаемости капиталовложений:

$$T_{cp} = \frac{C_{np}}{\mathcal{E}_r} \quad (5.28)$$

где C_{np} – стоимость ПАК, руб.;

\mathcal{E} – экономический эффект, руб.

$$T_{cp} = \frac{598835,34}{101763,46} = 5,8 \text{ года} \quad (5.29)$$

Экономическая эффективность от вложенных средств:

$$\mathcal{E}\phi = \frac{1}{T_{cp}} \quad (5.30)$$

$$\mathcal{E}\phi = \frac{1}{5,8} = 0,17 \quad (5.31)$$

5.3 Оценка экономической эффективности применения разработанных автоматизированных и роботизированных технических средств в промышленном садоводстве

Расчет экономической эффективности проведения технологической операции МИО проведен в сравнении с типовой технологической картой ухода за насаждениями плодового сада интенсивного типа второго года посадки. Предложено применение роботизированной платформы в агрегате с технологическими модулями по обработке междурядий и автоматизированной магнитно-импульсной обработкой.

В результате разработана технологическая карта по уходу за плодовым садом (площадь 10 га, схема посадки 3,5x 1м) при выполнении операции МИО с помощью автоматизированного агрегата и культивации междурядий.

В соответствии с методикой экономической оценки [202] рассчитана стоимость изготовления автоматизированного агрегата МИО, включающего разработанный аппарат МИО с индукторами и автоматизированный агрегат для выполнения операции МИО на базе роботизированной платформы в условиях ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (табл. 5.3).

Таблица 5.3 – Затраты на изготовление автоматизированного адаптера МИО к роботизированной платформе УРП

Наименование параметра	Аппарат МИО с индукторами	Автоматизированный агрегат МИО
Затраты на изготовление деталей, руб.	17500,00	45000,00
Общая стоимость покупных деталей, руб.	28 000,00	185 000,00
Общепроизводственные (цеховые) накладные расходы на изготовление устройства, руб.	37 000,00	65000,00
Затраты на оплату труда производственных рабочих, занятых на сборке, руб.	25 000,00	35 000,00
Общие, цеховые затраты на изготовление, руб.	107 500,00	330000,00

Рассчитаны материальные и денежные затраты по технологической карте ухода за плодовым садом без использования и с использованием адаптера МИО к роботизированной платформе (табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Расчет экономической эффективности проведения технологической операции МИО

Показатели	Базовая технология	Предлагаемая технология
Основная зарплата, руб.	27329,27	22774,39
Горюче-смазочные материалы, руб.	16156,85	13464,04
Ядохимикаты (всего), руб.	6552,00	250,00
Оросительная смесь, руб.	32435,00	12678,00
Амортизация, техническое обслуживание, текущий ремонт, руб.	16381,30	19821,20
Итого прямых затрат, руб.	98854,42	68987,64
Накладные расходы – 9,5%, руб.	9391,17	6553,83

Сметная прибыль – 8%, руб.	7908,35	5519,01
Страховые платежи – 2%, руб.	1977,09	1379,75
ЕСН – 30,2%, руб.	31633,42	22076,04
НДС, руб.	17793,80	12417,77
Итого всего затрат, руб.	167558,25	116934,04
Урожайность, ц/га.	650,00	663,00
Цена реализации, руб.ц.	5000,00	5000,00
Доход, руб./га.	3250000,00	3315000,00
Прибыль, руб./га.	3082441,75	3198065,96
Рентабельность, %	1839,62	2734,93
Стоимость включения разработок в технологию	-	437500,00
Срок окупаемости, лет	-	0,14

Проведенные расчёты позволили определить стоимость изготовления автоматизированного адаптера МИО к роботизированной платформе в размере 437 500 руб. в условиях ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, включая аппарат МИО – 107 500 руб. и автоматизированный агрегат 330 000 руб.

Расчет материальных и денежных затрат по разработанной технологической карте ухода за плодовым садом второго года с использованием технологической операции МИО показал, что срок окупаемости капитальных вложений на приобретение или изготовление образца агрегата МИО и его использования для площади 10 га составит 0,14 года при увеличении потенциальной урожайности на 2%.

По аналогии с автоматизированным адаптером МИО, проведена экономическая оценка выполнения технологической операции удаления сорной растительности с помощью разработанного устройства для гидравлического удаления сорной растительности. Расчет экономической эффективности проведен в сравнении с типовой технологической картой

ухода за насаждениями яблоневого сада на площади 10 га. Согласно этой технологии, для приствольной обработки садовых насаждений используется опрыскиватель гербицидный ЗУБР НШ 06.41. Нами предложено заменить опрыскиватель ЗУБР НШ 06.41 на устройство для гидравлического удаления сорной растительности.

Рассчитаны материальные и денежные затраты по технологической карте ухода за яблоневым садом без использования и с использованием устройства для гидравлического удаления сорной растительности (табл. 5.5).
Таблица 5.5 – Техничко-экономические показатели применяемой и предлагаемой технологии ухода за приствольными полосами в плодовом саду

Показатели	Применяемая технология	Устройство для гидравлического удаления сорной растительности	Расчёт
Основная зарплата, руб.	230893,40	231919,39	Σ зп.раб.
Горюче-смазочные материалы, руб.	24535,91	49071,82	Э гсм.
Гербициды (всего)/Рабочая жидкость (вода), руб.	60000,00	2250,00	Σ ядохим.
Амортизация, техническое обслуживание, текущий ремонт, руб.	10500,00	45000,00	$\text{Э} = \text{Э}_a + \text{Э}_o$
Итого прямых затрат, руб.	325929,31	328241,21	$\text{ПЗ} = \Sigma \text{зп.раб.} + \text{Э гсм.} + \text{З мульч.} + \Sigma \text{ядохим.} + \text{О смесь} + \text{Э}$
Накладные расходы – 9,5%, руб.	30963,28	31182,92	$\text{НР} = \text{ПЗ} * 0,095$
Сметная прибыль – 8%, руб.	26074,34	26259,30	$\text{Ссмета} = \text{ПЗ} * 0,08$

Страховые платежи – 2%, руб.	6518,59	6564,82	Сстрах. = ПЗ*0,02
ЕСН – 30,2%, руб.	104297,38	105037,19	ЕСН = ПЗ*0,32
НДС, руб.	58667,28	59083,42	НДС = ПЗ*0,18
Итого всего затрат, руб.	552450,18	556368,85	Σ затр. = ПЗ + НР + Ссмета + Сстрах. + ЕСН + НДС
Урожайность, т/га.	70,00	70,00	М ур.
Цена реализации, руб.т.	50000,00	50000,00	Ц реал.
Доход, руб./га.	3500000,00	3500000,00	Д = Ц реал.*М ур.
Прибыль, руб./га.	2947549,82	2943631,15	П = Д - Σ затр.
Рентабельность, %	533,54	529,08	Ре = П / Σ затр.*100%
Цена агрегата МИО	350000,00	1510600,56	Ц изг.
Срок окупаемости, лет	0,12	0,51	СО = Ц изг. / П

Проведенные расчёты позволили определить стоимость изготовления устройства для удаления сорной растительности в приствольной зоне садовых насаждений, которая составляет 1 510 600,56 руб.

Расчет экономической эффективности, материальных и денежных затрат показал, что снижение общих затрат на выполнение операции составляет 15%, за счет полного исключения внесения гербицидных препаратов. Экономия денежных средств в натуральном выражении составляет 5,8 тыс. руб. с 1 га. Расчетный срок окупаемости машины составляет 0,51 года. Экономически целесообразно использование машины на площади от 10 га.

Расчет экономической эффективности, материальных и денежных затрат на применение роботизированной платформы с манипуляторным устройством для сбора плодов в интенсивном садоводстве приведен в сравнении с затратами на ручной сбор 1 тонны яблок и включал следующие исходные данные: площадь 1 га, урожайность 60 т/га., стоимость роботизированного устройства с интеллектуальной системой управления 4000000 руб., количество роботизированных устройств – 1шт., время рабочего времени смену 18 ч., сменная производительность выполнения уборочного процесса (7 часов) – 400 кг/см., средняя оптовая цена яблок 30 руб./кг. Результаты расчёта занесены в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Техничко-экономические показатели применяемой и предлагаемой технологии уборки урожая плодов яблони

Показатели	Ручная уборка	Роботизированная уборка
Стоимость роботизированного устройства с интеллектуальной системой управления, руб.	-	4000000
Количество рабочих/роботов	25	1
Время работы сборщика урожая в смену, ч.	7	18
Продолжительность уборки, дн.	4	4
Количество собранных яблок за смену, кг.		4320
Средняя цена урожая, руб/кг.	30	30
Стоимость собранного урожая за смену, руб.	12000	129600
Урожайность сада с 1 га, кг.	60000	
Затраты на оплату труда за период уборки, руб.	400000	53800
Себестоимость уборки урожая, руб/кг.	6,6	3,3
Доход, руб./га	1 800 000	1 800 000
Прибыль от собранного урожая (доход - затраты) , руб./га	1 400 000	1 794 630
Срок окупаемости (цена работа/прибыль), год	-	2,2

Анализ выполненных расчетов показывает, что разработанное роботизированное устройство способно заменить рабочих на 1 га в количестве 12 чел. Срок окупаемости роботизированного устройства при стоимости 4 млн. руб. составляет 2,2 года, что подтверждает экономическую целесообразность внедрения роботизированных технологий.

Сформированная технологическая карта возделывания и уборки промышленного сада с применением разработанных технических средств и программного аппаратного комплекса «Агроинтеллект ВИМ» с учетом вышеприведенных расчетов представлена на рисунке 5.1. Срок окупаемости комплекса разработанных цифровых систем и технических средств составляет 1,3 года.

Выводы по Главе 5

1. Проведена оценка эффективности сформированной интенсивной технологии возделывания плодов с использованием разработанных средств цифрового мониторинга состояния насаждений, автоматизированных и роботизированных технических средств в сравнении с базовой технологией. Установлено, что при дополнительных капитальных вложениях 5,5 млн. рублей на закупку новых технических средств рост производительности выполнения процессов составляет 45%, снижение удельной трудоемкости выполнения процессов при возделывании 1 га интенсивного сада 28%.

2. Расчет экологической эффективности комплекса роботизированных технических средств для ухода за насаждениями и уборки урожая показывает, что его применение позволяет снизить экологическую нагрузку на конечную продукцию в 2-4 раза, за счет исключения гербицидов из производственных процессов, раннего определения начала заболеваний деревьев.

3. При стоимости программного комплекса для цифрового мониторинга плодов и технологических процессов 536,2 тыс. руб. и годовая подписка 120 тыс. руб. производители экономят 101,76 тыс. руб. с 1 га за счет использования программного средства.

4. Высокоточный цифровой мониторинг урожайности обеспечит своевременное заключение договоров поставок с торговыми сетями и рациональное привлечение сезонных рабочих в уборочный период. При этом стоит учитывать, что ошибки при визуальном мониторинге урожайности могут достигать 20% от потенциальной урожайности.

5. Расчет эффективности роботизированных машин для уборки плодов показывает снижение временных затрат на уборку 1 га площади сада в 10 раз, замену двумя машинами 25 рабочих, и увеличение прибыли с 1,5 до 1,8 млн. руб/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ интенсивных технологий возделывания садовых культур показал, что:

- существующие агротехнологии и специализированные технические средства в садоводстве имеют низкий уровень автоматизации технологических процессов, не обеспечивают цифровой мониторинг биологических объектов и не снижают экологическую нагрузку на агроценоз, по причине большого количества обработок насаждений пестицидами и гербицидами, что негативно сказывается на экосистеме плодового сада;

- наиболее трудоемкими операциями при возделывании плодовых культур являются посадка саженцев – 160 чел.ч/га, уход за приствольными зонами деревьев – 270 чел.ч/га и уборка урожая – 300 чел.ч/га.;

- наиболее перспективным направлением для садоводства является роботизация процессов, позволяющая использовать прецизионный подход к каждому растению и управлять его продукционными и технологическими процессами на основании цифровых систем мониторинга, алгоритмов искусственного интеллекта и автоматизированных систем поддержки принятия решений;

- наиболее эффективными с точки зрения автоматизации и роботизации процессов в интенсивных технологиях являются операции по предпосадочной разметке участков, высокоточной закладки саженцев, обработке междурядий и приствольных полос, химической защите насаждений, уборки и транспортировке урожая.

2. Разработана методика дистанционного мониторинга плодов на основе анализа изображений в спектральном диапазоне от 250 до 1000 Нм и измерения флуоресценции. Доказано, что спектральные данные, полученные в полевых условиях при помощи гиперспектральной камеры, воспроизводят основные изменения, характерные для спектров отражения здоровых и повреждённых плодов, включая наличие сильной корреляции между коэффициентами отражения в зелёной и дальней красной области, $r^2 \{R550$

vs. R_{700} } > 0.9, и нарушение этой корреляции при развитии повреждений, $r_{2}\{R_{550}$ vs. $R_{700}\} < 0.4$. Для классификации плодов, а также участков поверхности в пределах одного плода по наличию/отсутствию повреждений получены оригинальные значения спектрального индекса $mBRI = [R(590)-1 - R(700)-1] \cdot R(900) - 1$.

3. Разработан алгоритм цифрового мониторинга урожайности плодов в производственных условиях на основе нейронных сетей глубокого обучения, обеспечивающий точность мониторинга не менее 93%. В результате работы алгоритма определяется количество плодов, окрас поверхности плода, размер плода, идентифицируется наличие болезней и дефектов плодов в условиях естественной освещенности от 10000 до 50000 Лк.

4. Разработан программно-аппаратный комплекс «Агроинтеллект ВИМ» с базой данных спектральных изображений, онлайн сервисом и мобильным приложением на основе нейронной сети, который осуществляет цифровой мониторинг урожайности плодов и управление производственными и технологическими процессами в условиях промышленных насаждений. База данных ПАК пополняемая, содержит более 50 таблиц, в которых имеется информация по двум интенсивным технологиям закладки и ухода за садовыми насаждениями, 150 наименований специализированных технических средств, 20 интенсивных сортов яблони, спектральные изображения семи болезней плодов. ПАК обеспечивает в режиме реального времени (Real-Time) обработку метеорологической и агротехнологической информации от метеостанций, цифровых датчиков и анализаторов, определяющих параметры развития растений и оптимизацию машинных технологий возделывания плодовых культур по критерию «скорость роста - качество урожая - затраты. Количество одновременно подключенных в ПАК датчиков может достигать 250 штук, интервал измерения данных 5-60 минут, интервал передачи данных 10-120 минут, передача данных осуществляется по GSM/GPRS каналам.

5. Выполнено теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров рабочих органов и технологических модулей для автоматизации и роботизации процессов в интенсивном садоводстве:

- машина для гидравлического удаления сорной растительности в приствольных зонах деревьев. Для автоматической регулировки давления, отклонения штанги, объёмной подачи жидкости и изменения расстояния до обрабатываемой поверхности рабочий орган машины оснащен микроконтроллером, ультразвуковым датчиком контроля высоты сорной растительности, грязевой вращающейся форсункой-фрезой с диаметром отверстия 0,5 мм, и двумя линейными электроприводами. Обоснованы конструктивные параметры машины: привод рабочего органа – гидравлический, максимальное давление насосной станции 1000 бар, расход 11,4 л/мин в направлении сопла форсунок, скорость вращения вала отбора мощности 500-600 об/мин, давление сброса 1250 бар;

- автоматизированный адаптер для магнитно-импульсной обработки насаждений. Установлено, что для работы в полевых условиях на насаждениях интенсивного типа аппарат МИО и его рабочие органы обеспечивают магнитную индукцию в зоне обработки от 0,1 до 15 мТл, частотный диапазон от 1 до 100 Гц, диапазон скважности 1 до 100. Предложенная конструкция аппарата позволяет автоматизировать процесс МИО растений с возможностью настройки к различным агротехнологическим параметрам насаждений;

- универсальная роботизированная платформа. Установлено что для выполнения базовых технологических операций (обработка междурядий, опрыскивание и уборка урожая) по уходу за садовыми насаждениями с междурядьями 2,5-4 м, высотой кроны деревьев до 3-3,5 м в интенсивных технологиях необходимы следующие конструктивные параметры платформы: агропросвет не менее 1200 мм, регулируемая колея 1840-2080 мм, масса не более 400 кг., грузоподъемность не менее 1000 кг., мощность силовой установки не менее 5 кВт;

- роботизированный манипулятор для уборки плодов. Обоснованы оптимальные параметры манипулятора для работы в полуплоской кроне плодового дерева с расположением плодов по высоте кроны от 600 до 2000 мм: габаритные размеры 200x700x600мм, количество степеней свободы – 4, углы поворота вращательных звеньев от 5 до 156 град.

6. Разработаны программно-аппаратный комплекс, технические средства и проведены экспериментальные исследования по выявлению оптимальных режимов их работы в полевых условиях:

- программно-аппаратный комплекс «Агроинтеллект ВИМ». Методом экспертной оценки установлено, что применение ПАК позволяет сократить затраты труда на построение машинных технологий в 15 раз, с 225 до 15 чел.ч. По 10 бальной шкале оценена потребность в автоматизированном построении агротехнологий – 9,94 балла, возможность использования в научной деятельности 8,82 балла, управление производственными и технологическими процессами 8,58 балла.

- устройство для выполнения технологической операции гидравлического удаления сорной растительности. Установлены наиболее эффективные режимы работы: расстояние между почвой и распыляющей головкой – 14,5 см; давление подачи рабочей жидкости – 750 бар; скорость движения – 2,4 км/ч.

- автоматизированный адаптер для магнитно-импульсной обработки посадочного материала садовых насаждений. Установлены зависимости влияния магнитных импульсов на развитие саженцев яблони, а именно увеличение корневой системы и биологической массы растения от увеличения скважности с 12 до 16 и частоты импульсов МИО с 16 до 32 Гц.

- универсальная роботизированная платформа, обеспечивает выполнение технологических операций в садоводстве: мониторинг насаждений, опрыскивание насаждений, междурядная обработка, роботизированный сбор и транспортировка урожая. Оценка технических и функциональных параметров платформы проведена по действующим

стандартам и показала соответствие заявленных технических характеристик: рабочая скорость поступательного движения составила 2-6 км/ч, транспортная – 8 км/ч, преодолеваемый подъем 15 град, угол въезда 20 град., угол съезда 18 град., крутящий момент на каждом из приводных колес 330 Нм, наименьший радиус поворота 3500 мм.

- роботизированный манипулятор с захватывающим устройством обеспечивает быстроедействие при сборе одного плода не более 15 сек., минимальную травмируемость плода при давлении лап захвата на плод 8 Н и деликатный сьем плодов яблони трехпалым устройством. Выявлены отклонения траекторий движения манипулятора в полевых условиях при работе в среднем и верхнем ярусе кроны: максимальные значения отклонений траектории движения захвата манипулятора от расчётной не превышала 5,8 см. Полученные значения времени на сбор одного плода полностью соответствуют агротехническим требованиям к производительности уборочного процесса.

7. Проведена оценка эффективности сформированной интенсивной технологии возделывания плодов с использованием разработанных средств цифрового мониторинга состояния насаждений, автоматизированных и роботизированных технических средств в сравнении с базовой технологией. Установлено, что при дополнительных капитальных вложениях 5,5 млн. рублей на закупку новых технических средств рост производительности выполнения процессов составляет 45%, снижение удельной трудоемкости выполнения процессов при возделывании 1 га интенсивного сада 28%. Расчет экологической эффективности разработанных программно-аппаратного комплекса и технических средств для ухода за насаждениями и уборки урожая показывает, что их применение позволяет снизить экологическую нагрузку на конечную продукцию в 2-4 раза, за счет исключения гербицидов из производственных процессов, раннего определения начала заболеваний деревьев и своевременного формирования вариантов корректировки сроков

выполнения технологических процессов. Срок окупаемости разработанных программных и технических средств составляет 1,3 года.

Рекомендации научно-исследовательским организациям

Предлагается использование полученных корреляционно-спектральных зависимостей повреждений плодов и алгоритмов работы нейросети для оценки качества урожая и совершенствования технологий интеллектуального цифрового мониторинга биологических объектов в сельском хозяйстве. При разработке новых интенсивных технологий в садоводстве рекомендуется использовать разработанные базы данных технологий и машин.

Рекомендации для сельхозтоваропроизводителей

В процессе выращивания садовых культур по интенсивным технологиям возделывания рекомендуется использовать программно-аппаратный комплекс с мобильным приложением «Агроинтеллект ВИМ», обеспечивающий оперативный контроль в реальном времени информационных потоков, определяющих особенности роста и состояния растений с помощью метеостанции, датчиков, пробоотборников, анализаторов, мобильного приложения, оптимизацию машинных технологий возделывания сельскохозяйственных культур по биологическим и экономическим критериям.

При выполнении трудоемких и вредных для здоровья человека операциях рекомендуется использовать разработанные автоматизированные и роботизированные технические средства, обеспечивающие модульное агрегатирование и высокую производительность процессов с минимальными затратами труда. Применение машин позволит снизить химическую нагрузку на агроценоз сада и исключить человеческий фактор при выполнении агротехнологии.

Рекомендации для предприятий сельхозмашиностроения

Оснастить машины серийными промышленными контроллерами и системами технического зрения с использованием программных и технических средств, разработанных в данной работе. Дополнить

разработанные автоматизированные и роботизированные машины технологическими модулями для выполнения высокоточной закладки садовых насаждений, контурной обрезки деревьев и кустарников, а также поточной уборки промышленных насаждений косточковых, семечковых, низкорастущих и кустарниковых ягодных культур.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные результаты создают предпосылки для расширения и внедрения технологий искусственного интеллекта при возделывании сельскохозяйственных культур.

Развитие цифровых интеллектуальных систем, технологий Интернета вещей и телематических сервисов обеспечит широкое применение предложенных методов мониторинга, прогнозирования состояния биообъектов и управления групповой работой робототехнических средств при возделывании плодовых и ягодных культур.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АСУ – система автоматизированного управления

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь.

ИБ – информационный блок.

ИСУ – информационная система управления.

КЗ(ТЗ) – компьютерное (техническое) зрение.

МК – микроконтроллер.

ОУ – объект управления.

ПК – персональный компьютер.

ПНМ – полунатурное моделирование.

ПО – программное обеспечение.

РТК – робототехнический комплекс.

САУ – система автоматического управления.

СЗР – средства защиты растений.

СНТК – сложный наукоемкий технический комплекс.

СТС – сложная техническая система.

СУ – система управления.

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

ЦВМ – цифровая вычислительная машина.

ШД – шаговый двигатель.

ЭБУ – электронный блок управления.

ЭБУ – электронный блок управления

ЭВМ – электронная вычислительная машина

ЭДС – электродвижущая сила

ЭМС – электромагнитная совместимость

ЦТ – цифровые технологии

ИТ – информационные технологии

ВЧ – высокая частота

ИМП – импульсное магнитное поле

МИО – магнитно-импульсная обработка
МП – магнитное поле
НЧ – низкая частота
ПМП – постоянное магнитное поле
ПеМП – переменное магнитное поле
ЭМП – электромагнитное поле
ГО – гидравлическая обработка почвы
ПЗ – приствольные зоны
ГУ – гидравлическое уничтожение сорняков
РГ – распыливающая головка
ТА – технологический адаптер
УРП – универсальная роботизированная платформа
СТЗ – система технического зрения
МУ – манипуляторное устройство
РУ – роботизированная уборка
РТС – робототехническое средство
СС – степень свободы
ТА – технологический адаптер
ДС – деликатный сбор
БД – база данных
БЗ – база знаний
ИК – инфракрасный диапазон
УФ – ультрафиолетовый диапазон
ФАР – фотосинтетически активная радиация
ФСА – фотосинтетический аппарат
 $R(\lambda)$ – коэффициент отражения при длине волны λ
 $T(\lambda)$ – коэффициент пропускания при длине волны λ
mBRI – Browning Reflectance Index
NDVI – нормализованный вегетационный индекс

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Манипулятор (manipulator) - машина, механизм которой обычно состоит из последовательности сегментов, перемещающихся вращательно или поступательно друг относительно друга с целью захвата и/или перемещения объектов (деталей или инструментов) обычно по нескольким степеням свободы.

Автономность (autonomy) - способность выполнять задачи по назначению на основе текущего состояния и восприятия внешней среды без вмешательства человека.

Робот (robot) - исполнительный механизм, программируемый по двум или более степеням подвижности, обладающий определенной степенью автономности и способный перемещаться во внешней среде с целью выполнения задач по назначению.

Робототехническое устройство (robotic device) - исполнительный механизм, обладающий характеристиками промышленного робота или сервисного робота, но не имеющий либо необходимого числа программируемых степеней подвижности, либо некоторой степени автономности

Робототехнический комплекс (robot system) - комплекс, состоящий из одного или нескольких роботов, их рабочих органов и любых механизмов, оборудования, приборов или датчиков, обеспечивающих выполнение роботом функционального назначения (задания).

Прямая кинематическая задача (forward kinematics) - математическое определение взаимосвязи между системами координат двух частей механического сочленения на основе значений положения шарниров данного сочленения.

Обратная кинематическая задача (inverse kinematics) - математическое определение значений положения шарниров механического сочленения на

основе взаимосвязи между системами координат двух частей данного сочленения.

Автоматизация – это процесс использования физических машин, компьютерного программного обеспечения и других технологий для выполнения задач, которые обычно выполняются людьми.

Робототехника – это процесс проектирования, создания и использования роботов для выполнения определенной технологической задачи.

Продукционный процесс – это совокупность взаимосвязанных процессов, происходящих в растении и формирующих урожай, из которых основными являются фотосинтез и дыхание.

Фитоценотический порог вредоносности – такое обилие сорняков, при котором они не причиняют культурным посевам вреда.

Критический порог вредоносности – такое обилие сорняков, которое вызывает статистически достоверные потери урожая. При такой засоренности потери обычно не превышают 3-6% фактической урожайности, хотя и могут иногда ощущаться хозяйством. Однако борьба с сорняками оказывается нецелесообразной, поскольку стоимость дополнительного урожая обычно не покрывает затраты на проведение истребительных мероприятий.

Модифицированный индекс Браунинга – вегетативный индекс, учитывающий коэффициент отражения в ИК-области, а также полосу в жёлто-оранжевой области.

База данных — совокупность данных, организованных в соответствии с концептуальной структурой, описывающей характеристики этих данных и взаимоотношения между ними, причём такое собрание данных, которое поддерживает одну или более областей применения

База знаний — это особого рода, разработанная для оперирования знаниями (метаданными).

Функциональное состояние растений – совокупность биометрических показателей, определяющие процессы, происходящие в растительном организме: почвенное, воздушное и гетеротрофное питание, синтез, транспорт и распад веществ, рост и развитие, взаимодействие с патогенами, реакции на неблагоприятные факторы внешней среды.

Методика дистанционного мониторинга – совокупность приемов идентификации, наблюдения, оценки и прогнозирования состояния измерительными системами в условиях отсутствия физического контакта с объектом с передачей полученной информации системе учета.

Методика экспресс-диагностики – совокупность ускоренных приемов прецизионных измерениях флуоресценции с определением коэффициентов корреляции спектров здоровой и зараженной поверхности исследуемого объекта с уменьшением количества измерений и выбора среди множества данных наиболее значимых компонент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/#/document/7458247>
2. Государственная программа развития сельского хозяйства регулирования рынков сельскохозяйственной продукции сырья продовольствия 2013-2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/doc/ISBN9785279035465-SCN0000.html>
3. Всероссийская конференция по развитию садоводства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agbz.ru/news/v-ingushetii-sostoyalas-vserossiyskaya-konferentsiya-po-razvitiyu-sadovodstva/>
4. Россия в цифрах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agbz.ru/news/v-ingushetii-sostoyalas-vserossiyskaya-konferentsiya-po-razvitiyu-sadovodstva/>
5. Рейтинг садоводческих хозяйств России: семечковые культуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/industries/fruitgrowing/rejting-sadovodcheskikh-khozyajstv-rossii-semechkovye-kultury.html>
6. Площади возделывания семечковых культур в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ермак-инфо.рф/2017/06/gde-v-rossii-yablok-urodilos-da-skolko/>
7. Сушков А.А. Организационно-экономический механизм развития садоводства в условиях импортозамещения (на примере Саратовской области): диссертация ... кандидата Экономических наук: 08.00.05, ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. – 2016. – 177 с.
8. Смирнов И.Г. Разработка технологических процессов и технических средств для интеллектуальных технологий возделывания

кустарниковых ягодных культур: диссертация доктора технических наук: 05.20.01, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – 2019. – 427 с.

9. Ланцев В.Ю. Механико-технологические основы создания комплекса для выращивания вегетативно размножаемых подвоев яблони: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.01 ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет. –2016. –313 с.

10. Завражнов А.И., Гордеев А.С., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю. Интеллектуальная следящая система для управления машинами и агрегатами в маточниках и питомниках. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. –2014. –№ 5. – С. 42-46.

11. Лачуга Ю.Ф. Состояние и перспективы производства специализированных машин для промышленного садоводства России // Вестник мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – №3. – С.12-19.

12. Alt V., Isakova S., Balushkina E. Digitalization: problems of its development in modern agricultural production // E3S Web of Conferences. 8. Sep. "Innovative Technologies in Science and Education, ITSE 2020". – 2020. – С. 10001.

13. Измайлов А.Ю., Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Кутырёв А. И. Анализ параметров работы устройства для гидравлического удаления сорной растительности // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29. – № 4. – С. 614-634.

14. Fountas S., Mylonas N., Malounas I., Rodias E., Hellmann Santos C., and Pekkeriet E., Agricultural Robotics for Field Operations // Sensors. – 2020. – vol. 20. – № 9. – p. 2672.

15. Ramin Shamshiri R. et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming // Int. J. Agric. Biol. Eng. – 2018. – vol. 11. – № 4. – pp. 1-11.

16. Bac C. W., van Henten E. J., Hemming J., Edan Y. Harvesting Robots for High-value Crops: State-of-the-art Review and Challenges Ahead, *J. F. Robot.* – 2014. – vol. 31. – № 6. – pp. 888-911.
17. Slaughter D. C., Giles D. K., Downey D. Autonomous robotic weed control systems: A review // *Comput. Electron. Agric.* – 2008. – vol. 61. – №1. – pp. 63-78.
18. Zhang Q., Karkee M., Tabb A. The use of agricultural robots in orchard management. – 2019. – pp. 187-214.
19. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems // *Biosyst. Eng.* – 2017. – vol. 153. – pp. 110-128.
20. Saiz-Rubio V., Rovira-Más F. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management // *Agronomy.* – 2020. – vol. 10. – №2. – p. 207.
21. Baillie C. P., Thomasson J. A., Lobsey C. R., McCarthy C. L., Antille D. L. A review of the state of the art in agricultural automation. Part I: Sensing technologies for optimization of machine operation and farm inputs. – 2018. – № 1801589.
22. Fue K., Porter W., Barnes E., Rains G. An Extensive Review of Mobile Agricultural Robotics for Field Operations: Focus on Cotton Harvesting // *AgriEngineering.* – 2020. – vol. 2. – № 1. pp. – 150-174.
23. Defterli S. G., Shi Y., Xu Y., Ehsani R. Review of Robotic Technology for Strawberry Production // *Appl. Eng. Agric.* – 2016. – vol. 32. – № 3. – pp. 301-318.
24. Aravind K. R., Raja P., Pérez-Ruiz M. Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review // *Spanish J. Agric. Res.* – 2017. – vol. 15. – №1.
25. Li P., Lee S., Hsu H.-Y. Review on fruit harvesting method for potential use of automatic fruit harvesting systems // *Procedia Eng.* – 2011. – vol. 23. – pp. 351-366.

26. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Цифровые агротехнологии в системе "Умный сад" // Садоводство и виноградарство. – 2018. – № 6. – С. 33-39.
27. Личман Г.И., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Применение систем технического зрения в машинных технологиях в садоводстве // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 10-17.
28. Lin G., Tang Y.-C., Zou X., Jun Tao X., Li J. Guava detection and pose estimation using a low-cost rgb-d sensor in the field // Sensors. – 2019. – vol. 19. – p. 428.
29. Liu X., Chen S., Aditya S., Sivakumar N., Dcunha S., Qu C., Taylor C. J., Das J., Kumar V. Robust fruit counting: Combining deep learning, tracking, and structure from motion // 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2018. – pp. 1045-1052.
30. Lin G., Tang Y., Zou X., Xiong J., Fang Y. Color-, depth-, and shape-based 3d fruit detection // Precision Agriculture. – 2019. – vol. 21. – pp. 1-17.
31. McCool C., Perez T., Upcroft B. Mixtures of lightweight deep convolutional neural networks: Applied to agricultural robotics // IEEE Robotics and Automation Letters. – 2017. – vol. 2. – №3. – pp. 1344-1351.
32. Santos T. T., Souza L., Santos A. A., Avila S. Grape detection, segmentation and tracking using deep neural networks and three dimensional association // Comput. Electron. Agric. – 2020. – vol. 170, – p. 105247.
33. Gonzalez S., Arellano C., Tapia J. E. Deepblueberry: Quantification of blueberries in the wild using instance segmentation // IEEE Access. – 2019. – vol. 7. – pp. 105776-105788.
34. Sa I., Ge Z., Dayoub F., Upcroft B., Perez T., McCool C., Deepfruits: A fruit detection system using deep neural networks // Sensors (Basel, Switzerland). – vol. 16. – 2016.
35. Quaglia G., Visconte C., Scimmi L. S., Melchiorre M., Cavallone P., Pastorelli S. Design of a UGV powered by solar energy for precision agriculture // Robotics. – 2020. – vol. 9. – №1.

36. Quaglia G., Cavallone P., Visconte C. Agri_q: Agriculture UGV for monitoring and drone landing // in Mechanisms and Machine Science. – 2019. – vol. 66, – pp. 413-423.
37. Quaglia G., Visconte C., Scimmi L. S., Melchiorre M., Cavallone P., and S. Pastorelli Design of the positioning mechanism of an unmanned ground vehicle for precision agriculture // in Mechanisms and Machine Science. – 2019. – vol. 73. – pp. 3531-3540.
38. Kang H., Chen C. Fast implementation of real-time fruit detection in apple orchards using deep learning // Computers and Electronics in Agriculture. – 2019. – vol. 168. – p. 105108.
39. Tian Y., Yang G., Wang Z., Li E., Liang Z. Detection of apple lesions in orchards based on deep learning methods of cyclegan and yolov3-dense // Sensors. – 2019. – №13. – pp. 7630926.
40. Lehnert C., Tsai D., Eriksson A., McCool C. 3d move to see: Multiperspective visual servoing towards the next best view within unstructured and occluded environments // in 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). –2019. – pp. 3890-3897.
41. Шомахов Л.А., Бербеков В.Н., Хажметов Л.М., Шекихачев Ю.А. Ресурсосберегающие технологические процессы и технические средства защиты плодовых насаждений от неблагоприятных метеорологических и агробиологических факторов Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – № 3. – С. 178-184.
42. Williams, Dominic, et al. A method for automatic segmentation and splitting of hyperspectral images of raspberry plants collected in field conditions // Plant methods. – 2017. – №13.1. – pp. 1-12.
43. Y. Tian et al. Fast Recognition and Location of Target Fruit Based on Depth Information // IEEE Access. – 2019. – vol. 7. – pp. 170553-170563.
44. Bechar A., Edan Y. Human-robot collaboration for improved target recognition of agricultural robots // Ind. Rob. – 2003. – № 30. – pp. 432-436.

45. Blok P. M., Barth R., W. van den Berg Machine vision for a selective broccoli harvesting robot // *IFAC-PapersOnLine*. – 2016. – vol. 49. – №16. – pp. 66-71.
46. Arad B., Kurtser P., Barnea E., Harel B., Edan Y., Ben-Shahar O., Controlled lighting and illumination-independent target detection for real-time cost-efficient applications. The case study of sweet pepper robotic harvesting // *Sensors (Switzerland)*. – 2019. – vol. 19. – №6.
47. Daniels Andries J., Poblete-Echeverría Carlos, Opara Umezuruike L., Nieuwoudt Hélène H. Measuring Internal Maturity Parameters Contactless on Intact Table Grape Bunches Using NIR Spectroscopy // *Frontiers in Plant Science*. – 2019. – vol. 10. – pp. 1517.
48. Daniel dos Santos Costa, Nelson Felipe Oliveros Mesa, Murilo Santos Freire, Rodrigo Pereira Ramos, Barbara Janet Teruel Mederos Development of predictive models for quality and maturation stage attributes of wine grapes using vis-nir reflectance spectroscopy // *Postharvest Biology and Technology*. – 2019. – vol. 150. – pp. 166-178.
49. Porep J.U., Mattes, A., Pour Nikfardjam M.S., Kammerer D.R., Carle R Implementation of an on-line near infrared/visible (NIR/VIS) spectrometer for rapid quality assessment of grapes upon receipt at wineries // *Australian Journal of Grape and Wine Research*. – 2015. №6. – vol. 21.
50. Malegori C., Beghi R., Giovenzana V., Civelli R., Guidetti R., Casiraghi E. Wavelength Selection with a View to a Simplified Handheld Optical System to Estimate Grape Ripeness // *American Journal of Enology and Viticulture*. – 2013. – №65 (1). – pp. 117-123.
51. Luo L., Tang Y., Lu Q., Chen X., Zhang P., Zou X. A vision methodology for harvesting robot to detect cutting points on peduncles of double overlapping grape clusters in a vineyard // *Comput. Ind.* – 2018. – vol. 99. – pp. 130-139.
52. Kurtser P., Ringdahl O., Rotstein N., Berenstein R., Edan Y. In-field grape cluster size assessment for vine yield estimation using a mobile robot and a

consumer level RGB-D Camera // IEEE Robot. Autom. Lett. – 2020. – № 2. – pp. 2031.

53. Nuske S., Wilshusen K., Achar S., Yoder L. Singh S. Automated visual yield estimation in vineyards // in Journal of Field Robotics. – 2014. – vol. 31. –№5. – pp. 837-860.

54. Zaidner G., Shapiro A. A novel data fusion algorithm for low-cost localisation and navigation of autonomous vineyard sprayer robots // Biosyst. Eng. – 2016. – vol. 146. – pp. 133-148.

55. Biber P., Weiss U., Dorna M., Albert A. Navigation System of the Autonomous Agricultural Robot BoniRob // Work. Agric. Robot. Enabling Safe. Efficient, Afford. Robot. Food Prod. – 2012.

56. Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG (AMAZONE). <http://www.amazone.de>. Last Accessed: 11 – 06 – 2020.

57. Juan David Gamba Camacho, Pal Johan From, and Antonio Candeia Leite A Visual Servoing Approach for Robotic Fruit Harvesting in the Presence of Parametric Uncertainties // in Proceedings XXII Congresso Brasileiro de Automática. – 2018.

58. Auat Cheein F., Steiner G., Perez Paina G., Carelli, R. Optimized EIF-SLAM algorithm for precision agriculture mapping based on stems detection // Comput. Electron. Agri. – 2011. – № 78. – pp. 195-207.

59. Lopes C. M. et al. Vineyard yield estimation by vinbot robot - preliminary results with the white variety viosinho – 2016.

60. Lopes C. M., Duarte Graça J., Monteiro A., Guzman R. Using an unmanned ground vehicle to scout vineyards for non-intrusive estimation of canopy features and grape yield // in 20th GiESCO International Meeting. – 2017.

61. Astolfi P., Gabrielli A., Bascetta L., Matteucci M. Vineyard Autonomous Navigation in the Echord GRAPE Experiment // IFAC-PapersOnLine. – 2008. – vol. 51. – №11. – pp. 704-709.

62. Roure F. et al. GRAPE: Ground robot for vineyard monitoring and protection // in *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018. – vol. 693. – pp. 249-260.
63. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа – М.: Наука, 1968. – С. 288.
64. Красногорская Н.В. Электромагнитные поля в биосфере // *Электромагнитные поля в атмосфере земли и их биологическое значение*. – М.: Наука, 1984. – Т.1. – С. 376.
65. Павлович Н.В., Павлович С.А., Галлиулин Ю.И. Биомагнитные ритмы. – Минск: Университетское. – 1991. – 136 с.
66. Presman, A.S. *Electromagnetic Fields and Living Nature (in Polish)*. – PWN, Warsaw, Poland. – 1971.
67. Хорт Д.О., Кутырёв А.И., Филиппов Р.А., Пупин Д.С. Особенности разработки автоматизированного аппарата для экологически безопасной стимуляции жизненных и ростовых процессов садовых культур. В сборнике: *Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии. сборник докладов международной молодежной конференции*. Обнинск. – 2019. – С.300-303.
68. Кутырев А.И. Обоснование параметров автоматизированного навесного агрегата для магнитно-импульсной обработки земляники садовой. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. –Москва. – 2019. – 210 с.
69. Смирнов И.Г., Артюшин А.А., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И., Цымбал А.А. Робототехнические средства в растениеводстве // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2016. – № 118. – С. 1651-1660.
70. Скачков М.В. Обоснование параметров мобильного агрегата для магнитно-импульсной обработки земляники: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.20.01. – М., 2011. – 21 с.

71. Упадышев М.Т., Донецких В.И., Бешнов Г.В., Цымбал А.А., Упадышева Г.Ю. Магнитно-импульсная обработка посадочного материала при разных способах размножения садовых культур // Плодоводство и ягодоводство России. – 2000. – Т. 7. – С. 119-127.

72. Кашин В.И., Упадышев М.Т., Донецких В.И., Цымбал А.А., Бешнов Г.В. Магнитно-импульсная обработка черенков садовых культур Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. – № 7. – С. 12-13.

73. Бешнов Г.В., Упадышев М.Т., Донецких В.И., Цымбал А.А. Магнитно-импульсная обработка садовых растений. В сборнике: Промышленное производство оздоровленного посадочного материала плодовых, ягодных и цветочно-декоративных культур. Материалы международной научно-практической конференции. – 2001. – С. 162-164.

74. Донецких В.И., Бешнов Г.В., Цымбал А.А., Упадышев М.Т. Технические средства для магнитно-импульсной обработки посадочного материала садовых культур // Плодоводство и ягодоводство России. – 2002. – Т.9. – С. 403-411.

75. Бешнов Г.В., Упадышев М.Т., Упадышева Г.Ю., Цимбал А.А., Донецких В.И. Магнитно-импульсная обработка посадочного материала некоторых садовых культур // Плодоводство и ягодоводство России. – 2003. – Т. 10. – С. 194-199.

76. Донецких В.И., Скачков М.В. Магнитно-импульсная обработка посадочного материала садовых растений // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – № 5. – С. 31-35.

77. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И., Артюшин А.А. Автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – № 4. – С. 624-642.

78. Monta M., Kondo N., Y. Shibano Agricultural robot in grape production system // Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nagoya, Japan. – 1995. – pp. 2504-2509. – vol.3.

79. Ogawa Y., Aoshi Kondo N., Itsuji Monta M., Sakaeshibusawa N. Spraying Robot for Grape Production // in Field and Service Robotics STAR. – 2006. – vol. 24. – pp. 539-548.
80. Oberti R. et al. Selective spraying of grapevine's diseases by a modular agricultural robot // J. Agric. Eng. – 2013. – vol. 44. – №2s.
81. Best S. et al. CROPS: Clever Robots for Crops. // Eng. Technol. Ref. – 2015.
82. Naio Technologies. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/vineyard weedingrobot/](https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/vineyard-weedingrobot/)
83. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Робототехнические средства для современного садоводства // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2. – С. 131-138.
84. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Информационно-аналитическое обеспечение машинных технологий производства посадочного материала плодовых и ягодных культур // Садоводство и виноградарство. – 2018. – № 2. – С. 61-67.
85. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырев А.И. Робототехническое средство с модулем магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2017. – № 1. – С. 28-30.
86. Измайлов А.Ю., Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Анализ параметров работы устройства для гидравлического удаления сорной растительности // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29. – № 4. – С. 614-634.
87. Coppock G. E., Hedden S. L. Design and Development of a Tree-Shaker Harvest System for Citrus Fruit // Trans. ASAE. – 1968. – vol. 11. № 3. – pp. 339-342.
88. Sumner H. R., Hedden S. L., Alfred L. Harvesting oranges with a full-powered positioning limb shaker // Floriad State Hortic. Soc. – 1975. – pp. 117-120.

89. Torregrosa A., Ortí E., Martín B., Gil J., Ortiz C. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain // *Biosyst. Eng.* – 2009. – vol. 104. – №1. – pp. 18-24.
90. Bulanon D. M., Kataoka T. A Fruit Detection System and an End Effector for Robotic Harvesting of Fuji Apples // in *Agricultural Engineering International: CIGR Journal.* – 2010. – vol 12. – pp. 203-210.
91. Tanigaki K., Fujiura T., Akase A., Imagawa J. Cherry-harvesting robot // *Comput. Electron. Agric.* – 2008. – vol. 63. – №1. – pp. 65-72.
92. L. van Herck. P. Kurtser. L. Wittemans, Edan Y. Crop design for improved robotic harvesting: A case study of sweet pepper harvesting // *Biosyst. Eng.* – 2020. – vol. 192. – pp. 294-308.
93. Bloch V., Degani A., Bechar A. A methodology of orchard architecture design for an optimal harvesting robot // *Biosyst. Eng.* – 2018. – vol. 166. – pp. 126-137.
94. Liu S., Carpin S. Global grasp planning using triangular meshes // in *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).* – 2015. – pp. 4904-4910.
95. Liu J., Li P., Li Z. A Multi-Sensory End-Effector for Spherical Fruit Harvesting Robot // *2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics.* – 2007. – pp. 258-262.
96. Jia B., Zhu A., Yang S. X., Mittal G. S. Integrated gripper and cutter in a mobile robotic system for harvesting greenhouse products // in *2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO).* – 2009. – pp. 1778-1783.
97. Dimeas, Fotios Sako, Dhionis Moulianitis, Vassilis Aspragathos, Nikos Design and fuzzy control of a robotic gripper for efficient strawberry harvesting // *Robotica.* – 2014. – №33. pp. 1-14.
98. B. Arad et al. Development of a sweet pepper harvesting robot // *J. F. Robot.* – 2020. – p. rob.21937.

99. Harvest Croo Robotics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://harvestcroo.com/>
100. Agrobot E-Series [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrobot.com>
101. Гришин А.П., Гришин В.А., Гришин А.А. Ключевые технологии и прогноз развития сельскохозяйственной робототехники Труды международной научно-технической конференции // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2016. – С. 66.
102. Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Информационные технологии в современном садоводстве // Сборник научных докладов ВИМ. – 2012. – Т. 2. – С. 483-489.
103. Garriz I., Gorroti I., Cambra C, Smart Agriculture European Platform; Navarra Agraria INTIA // Navarra, Spain. – 2017. – p. 223.
104. Agrivi App [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agrivi.com/en/re>
105. Armesto A., Lafarga, A., Goñi. J., Orcaay. L. La HAD NITRO de sigAGROsedor; Navarra Agraria INTIA: Navarra, Spain. – 2017. – pp. 26-37.
106. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Цифровые агротехнологии в системе «Умный сад» // Садоводство и виноградарство. – №6. – 2018. – С.33-39.
107. Zhu L., Holden J., Gonder. J. Trajectory Segmentation Map-Matching Approach for Large-Scale, High-Resolution GPS Data. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. – 2017. – №2645. – pp. 67-75.
108. Zhu L., Gonder J., Lin L. Prediction of Individual Social-Demographic Role Based on Travel Behavior Variability Using Long-Term GPS Data. J. Adv. Transp. – 2017. – №7290248.
109. Zaarane A., Slimani I., Al Okaishi W. Atouf I. Hamdoun A. Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera. – 2020. – №5. – 100016.

110. Aggarwal S. Photogrammetry and Remote Sensing Division Indian Institute of Remote Sensing, Dehra Dun. Available online: https://www.preventionweb.net/files/1682_9970.pdf#page=28 (accessed on 6 September 2021).
111. Salman Y.D., Ku-Mahamud K.R., Kamioka E. Distance measurement for self-driving cars using stereo camera // In Proceedings of the International Conference on Computing and Informatics, Kuala Lumpur, Malaysia. – 2017.
112. Zhang Z., Han Y., Zhou Y., Dai M. A novel absolute localization estimation of a target with monocular vision. *Optik*. – 2013. – №124. – pp. 1218-1223.
113. Seitz S.M., Curless B., Diebel J., Scharstein D., Szeliski R.A. Comparison and Evaluation of Multi-View Stereo Reconstruction Algorithms // In Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition New York, NY, USA. – 2006.
114. Bailey T. Durrant-Whyte, H. Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part II. *IEEE Robot. Autom. Mag.* – 2006. – №13. – pp. 108-117.
115. Choset H., Nagatani K. Topological simultaneous localization and mapping (SLAM): Toward exact localization without explicit localization // *IEEE Trans. Robot. Autom.* – 2001. – № 17. – pp. 125-137.
116. Schonberger J.L., Frahm J.M. Structure-from-motion revisited // In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA. – 2016.
117. Özye sil, O., Voroninski V., Basri R. Singer, A. A survey of structure from motion // *Acta Numer.* – 2017. – №26. – pp. 305-364.
118. Cadena C., Carlone L., Carrillo H., Latif Y. Scaramuzza D., Neira J. Reid, I. Leonard J.J. Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age // *IEEE Trans. Robot.* – 2016. – № 32. – pp. 1309-1332.
119. Rankin A., Huertas A., Matthies L., Bajracharya M., Assad C., Brennan S., Bellutta, P., Sherwin, G.W. Unmanned ground vehicle perception

using thermal infrared cameras // In Proceedings of the Unmanned Systems Technology XIII. International Society for Optics and Photonics, SPIE Defense, Security and Sensing, Orlando, FL, USA. – 2011.

120. Hyperspectral Imaging and Obstacle Detection for Robotics Navigation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA486436.pdf>

121. Gomez R.B. Hyperspectral imaging: A useful technology for transportation analysis // Opt. Eng. – 2002. – №41. – pp. 2137-2143.

122. Killinger D. Lidar (Light Detection and Ranging) // Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. – 2014. – pp. 292-312.

123. Kragh M.F. Lidar-Based Obstacle Detection and Recognition for Autonomous Agricultural Vehicles // AU Library Scholarly Publishing Services: Aarhus, Denmark. – 2018.

124. Larson J. Trivedi, M. Lidar based off-road negative obstacle detection and analysis. In Proceedings of the 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Washington, DC, USA. – 2011.

125. Manjunath, A., Liu Y., Henriques B., Engstle A. Radar based object detection and tracking for autonomous driving // In Proceedings of the in 2018 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), Munich, Germany. – 2018.

126. Matthies L., Bergh C., Castano A., Macedo J., Manduchi R. Obstacle Detection in Foliage with Ladar and Radar. In Proceedings of the Eleventh International Symposium Robotics Research, Siena // Springer Berlin/Heidelberg, Germany. – 2005. – vol. 15. – pp. 291-300.

127. Reina G., Underwood J., Brooker G. Durrant-Whyte H. Radar-based perception for autonomous outdoor vehicles // J. Field Robot. – 2011. – №28. – pp. 894-913.

128. Jing X., Du Z.C., Li F. Obstacle detection by Doppler frequency shift // Electron. Sci. Technol. – 2013. – №26. – pp. 57-60.

129. Gusland D., Torvik B., Finden E., Gulbrandsen F., Smestad R. Imaging radar for navigation and surveillance on an autonomous unmanned ground vehicle capable of detecting obstacles obscured by vegetation // In Proceedings of the 2019 IEEE Radar Conference (RadarConf), Boston, MA. – 2019.

130. Антонов Н.М., Искуснов Ю.В. Результаты исследований размерно-массовых показателей плодов яблок // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. ВолГАУ. – 2013. – №1 (26). – С. 137141.

131. Хорт Д.О., Кутырёв А.И., Филиппов Р.А. Система компьютерного зрения для распознавания плодов яблони // Интернаука. – 2019. – № 40-2 (122). – С. 33-37.

132. Распознавание объектов в режиме реального времени на iOS с помощью YOLOv3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/460869/>

133. Lu R., Van Beers R., Saeys W., Li C., Cen H. Measurement of optical properties of fruits and vegetables: A review. Postharvest Biol // Technol. – 2020. – 159. – 111003.

134. Gitelson A., Solovchenko A., Viña A. Foliar absorption coefficient derived from reflectance spectra: A gauge of the efficiency of in situ light-capture by different pigment groups // J. Plant Physiol. – 2020. – №254. – 153277.

135. Fu P., Meacham-Hensold K., Guan K., Wu J., Bernacchi C. Estimating photosynthetic traits from reflectance spectra: A synthesis of spectral indices, numerical inversion, and partial least square regression // Plantcell Environ. – 2020. – pp. 1241-1258.

136. Solovchenko A., Yahia E.M., Chen C., Pigments. In Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables // Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. – 2019. – pp. 225-252

137. Sabzi S., Abbaspour-Gilandeh Y., García-Mateos G., Ruiz-Canales A. Molina-Martínez J., Arribas J. An Automatic Non-Destructive Method for the

Classification of the Ripeness Stage of Red Delicious Apples in Orchards Using Aerial Video // *Agronomy*. – 2019. – №9. – pp. 84.

138. Gross, J. *Pigments in Fruits*; Academic Press: Orlando, FL, USA, 1987.

139. Blanke M., Lenz F. Fruit photosynthesis. *Plantcell Environ.* – 1989. – №12. – pp. 31-46.

140. Takaichi S. Tetraterpenes: Carotenoids. In *Natural Products* // Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. – 2013. – pp. 3251-3283.

141. Saure M. External control of anthocyanin formation in apple: A review // *Sci. Hortic.* – 1990. – №42. – pp. 181-218.

142. Solovchenko A., Merzlyak M. Screening of visible and UV radiation as a photoprotective mechanism in plants // *Russ. J. Plant Physiol.* – 2008. – №55. pp. 719-737.

143. Liakopoulos G., Nikolopoulos D., Klouvatou A., Vekkos K.-A., Manetas Y., Karabourniotis G. The photoprotective role of epidermal anthocyanins and surface pubescence in young leaves of grapevine (*Vitis vinifera*) // *Ann. Bot.* – 2006. – №98. – pp. 257-265.

144. Merzlyak M., Solovchenko A., Gitelson A. Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit // *Postharvest Biol. Technol.* – 2003. – №27. – pp. 1970-212.

145. Holloway P., Cutler D., Alvin K., Price C. Structure and histochemistry of plant cuticular membranes: An overview // *In The Plant Cuticle*; Cutler, D., Alvin, K., Price, C., Eds.; Academic Press: London, UK. – 1982, – pp. 1-32.

146. Liakopoulos G., Stavrianakou S., Karabourniotis G. Analysis of epicuticular phenolics of *Prunus persica* and *Olea europaea* leaves: Evidence for the chemical origin of the UV-induced blue fluorescence of stomata // *Ann. Bot.* – 2001. №87. – 641-648.

147. Solovchenko A., Merzlyak M. Optical properties and contribution of cuticle to UV protection in plants: Experiments with apple fruit. // Photochem. Photobiol. Sci. – 2003. – №2. – pp. 861-866.

148. Merzlyak M., Solovchenko A., Chivkunova O. Patterns of pigment changes in apple fruits during adaptation to high sunlight and sunscald development // Plant Physiol. Biochem. – 2002. – №40. – pp. 679-684.

149. Chivkunova O.B., Solovchenko A., Sokolova S., Merzlyak M.N., Reshetnikova I., Gitelson A.A. Reflectance spectral features and detection of superficial scald-induced browning in storing apple fruit // J. Russ. Phytopathol. Soc. – 2001. – № 2. – pp. 73-77.

150. Ferguson I., Volz R., Woolf A. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit // Postharvest Biol. Technol. – 1999. – №15. – pp. 255-262.

151. Gitelson A., Solovchenko A. Generic algorithms for estimating foliar pigment content // Geophys. Res. Lett. – 2017. – №44. – pp. 9293-9298.

152. Якушев В.П., Якушев В.В. Информационное обеспечение точного земледелия. Санкт-Петербург. – 2007. – 384 с.

153. Основы программирования урожайности полевых культур [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://doc.knigi-x.ru/22kulturologiya/5032-1-osnovi-programmirovaniya-urozhaynosti-polevih-kultur-sortovoy-agrotehniki-kratkiy-kurs-lekciy-dlya-aspi.php>

154. Агроценоз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.entelehia.ru/lec-2042.html>

155. Нарушев В.Б. Основы программирования урожайности полевых культур и их сортовой агротехники. Краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство» профиля подготовки – Растениеводство ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов. – 2014. – 34 с.

156. Wu A., Zhu J., Ren T. Detection of apple defect using laser-induced light backscattering imaging and convolutional neural network Computers and Electrical Engineering. – 2020. – №81. – pp. 106454.

157. Sofu M.M., Er O., Kayacan M.C., Cetisli B. Design of an automatic apple sorting system using machine vision // Computers and Electronics in Agriculture. – 2016. – №127. – pp. 395-405.

158. Федоренко В.Ф., Черноиванов В.И., Гольпяпин В.Я., Федоренко И.В. Мировые тенденции интеллектуализации сельского хозяйства // Научный аналитический обзор. – Москва. – 2018.

159. Bhatt A.K., Pant. D. Automatic apple grading model development based on back propagation neural network and machine vision, and its performance evaluation // AI & Soc. – 2015. – 30(1). – pp. 45-56.

160. Kavdır İ., Guyer D.E. Evaluation of different pattern recognition techniques for apple sorting Biosystems engineering. – 2008. – 99. –211-219.

161. Zhang B., Huang W., Gong L., Li J., Zhao C., Liu C., Huang D Computer vision detection of defective apples using automatic lightness correction and weighted RVM classifier Journal of Food Engineering. – 2015. – №146. – pp. 143-151.

162. Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples Journal of Food Engineering. – 2005. – 69. – pp. 41-49.

163. Unay D., Gosselin B., Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F., Debeir O. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision // Computers and Electronics in Agriculture. – 2011. – №75. – pp. 204-212.

164. Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. Категорная теория систем, функциональных систем и биомашсистем // XIX Международная научно-техническая конференция "НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2017". Сб. науч. трудов: в 2-х частях. – 2017. С. 131-138.

165. Kavdir I., Guyer D. E. Comparison of artificial neural networks and statistical classifiers in apple sorting using textural features *Biosystems Engineering*. – 2004. – №89. – pp. 331-344.

166. Gene-Mola J., Gregorio E., Guevara J., Auat F., Sanz-Cortiella R., Escola A., Lorens J., Morros J.-R., Ruiz-Hidalgo J., Vilaplana V., Rosell-Polo J. R. Fruit detection in an apple orchard using a mobile terrestrial laser scanner *Biosystems engineering*. – 2019. – №187. – pp. 171-184.

167. Gongal A., Amatya S., Karkee M., Zhang Q., Lewis K. Sensors and systems for fruit detection and localization: a review // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2015. – №116. – pp. 8-19.

168. Steinbrener J., Posch K., Leitner R. Hyperspectral fruit and vegetable classification using convolutional neural networks // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2019. – 162. – pp. 364-372.

169. Ермолов И.Л. Расширение функциональных возможностей мобильных технологических роботов путём повышения уровня их автономности с использованием иерархической комплексной обработки бортовых данных диссертация ... доктора технических наук: 05.02.05 ФГОУ ВПО "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН" . – 2012 г. -280с.

170. Tripathi M. K., Maktedar D. D. A role of computer vision in fruits and vegetables among various horticulture products of agriculture fields: A survey *Information Processing in Agriculture*, Available online. – 2019.

171. Li S., Luo H., Hu M., Zhang M., Feng J., Liu Y., Dong Q., Liu B. Optical non-destructive techniques for small berry fruits: A review *Artificial Intelligence in Agriculture*. – 2019. – №2. – pp. 85-98.

172. Обрезка – основной элемент формирования высокой и стабильной продуктивности садов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asprus.ru/blog/obrezka-osnovnoj-element-formirovaniya-vysokoj-i-stabilnoj-produktivnosti-sada-grigoreva-lv/>

173. Морозова Н.Г., Кичина В.В. Особенности гибридов яблони с колонновидной кроной Плодоовощное хозяйство. – 1987. – № 10. – С. 19-21.

174. Воробьёв В.Ф., Джура Н.Ю Конструкции крон и сорта яблони на слаборослых подвоях для насаждений интенсивного типа. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня основания Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства - филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Челябинск. – 2021. – С. 26-44.

175. Измайлов А.Ю., Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Кутырев А.И. Обоснование параметров робототехнического средства с опрыскивателем и модулем магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – №(1). – С.3-10.

176. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И., Артюшин А.А. Автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – № 4. – С. 624-642.

177. Хорт Д.О., Кутырёв А.И., Филиппов Р.А., Пупин Д.С. Особенности разработки автоматизированного аппарата для экологически безопасной стимуляции жизненных и ростовых процессов садовых культур // В сборнике: Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии. сборник докладов международной молодежной конференции. Обнинск. – 2019. – С. 300-303.

178. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Оценка эффективности использования автоматизированного агрегата для магнитно-импульсной обработки земляники садовой // Международный научный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 1. – С. 27-33.

179. Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Овчаренко А.С. Прицепная машина гидравлического типа для уничтожения

сорной растительности // Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – 2019. – С. 99-104.

180. Селиванов, Н.И. Эксплуатационные свойства с.-х. тракторов. Учеб. Пособие. Красноярский государственный аграрный университет. Красноярск. – 2010. – 347 с.

181. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Кутырев А.И. Разработка универсальной роботизированной платформы для садоводства Материалы 8-й Международной научно-практической конференции (Новосибирская область, р.п. Краснообск, 21-22 октября 2021 г.) АГРОИНФО-2021. – 2021. – С. 344-347.

182. Смирнов И.Г., Артюшин А.А., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И., Цымбал А.А. Робототехнические средства в растениеводстве // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 118. – С. 1651-1660.

183. Методика оценки технологической универсальности мобильных энергосредств Кутьков Г.М., Кузьмичёв В.В. Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 3. – С. 18-22.

184. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А., Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО. – 2016. – 108 с.

185. Носикова М.В. Системы управления внутрикамерными радиационно-стойкими манипуляторами, дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва. – 2020. – 199 с.

186. Макарова Т.А. Робастное управление безредукторными исполнительными системами роботов с параметрической неопределенностью на основе метода интервальных форм: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.05, Моск. гос. технол. ун-т "СТАНКИН", Москва. – 2016. – 20 с.

187. Ву Дык Куен Модели и алгоритмы многокритериального синтеза конфигурации робототехнического захвата для манипуляций с сельскохозяйственной продукцией: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01 Санкт-Петербург. – 2020. – 142 с.

188. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат. –1985. – 351 с.

189. Усманов Р. Р., Хохлов Н. Ф. Методика опытного дела (с расчетами в программе Excel): практикум // Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. – 2020. – 155 с.

190. Валге А.М. Обработка экспериментальных данных и моделирование динамических систем при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства: учебник, СПб, СЗНИИМЭСХ. – 2002. – 176 с.

191. ГОСТ Р 54783-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения (Переиздание). – № 54783. – 2011. – 23 с.

192. Яцков Р.П. Технологический процесс и оборудование для опрыскивателей с электроподзарядкой капель дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства" (ГНУ ВСТИСП). Москва. – 2005. – 144 с.

193. Костенко М.Ю., Безносюк Р.В., Горячкина И.Н., Рембалович Г.К., Борисов Г.А., Латышенок М.Б. Исследование работы генератора горячего тумана при обработке стеблестоя // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 4 (44). – С. 87-92.

194. Хатунцев В.В., Манаенков К.А., Кузнецов П.Н. Разработка устройства для улавливания плодов при их съеме с деревьев // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 4. – С. 108.

195. Шекихачев Ю.А., Шомахов Л.А., Пазова Т.Х., Балкаров Р.А., Алоев В.З., Шекихачева Л.З., Медовник А.Н., Твердохлебов С.А. Обоснование параметров искусственного дождя // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99. – С. 650-659.

196. Бросалин В.Г., Завражнов А.А., Завражнов А.И., Ланцев В.Ю., Манаенков К.А. Некоторые физико-механические свойства клоновых подвоев яблони в связи с механизацией их возделывания // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – 2015. – № 3. – С. 85-91.

197. Бросалин В.Г., Завражнов А.А., Завражнов А.И., Ланцев В.Ю., Манаенков К.А. Автоматизированное ориентирование рабочих органов машин для маточников клоновых подвоев яблони // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6. – С. 47-53.

198. Тавасиев Р.М., Кудзиев К.Д. О применении теории переменной массы при разработке плодуборочной техники // Известия ФГОУ ВПО. ГГАУ, Т.44. - Владикавказ: «Горский ГАУ». – 2007. – С.56-61.

199. Тавасиев Р.М., Дзиццоев А.П. Конструктивно-технологические параметры устройства для сбора ягод Известия Горского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 53. – № 2. – С. 128-133.

200. Атласкиров А.М., Шекихачев Ю.А., Шомахов Л.А. Агротехническая и экономическая эффективность ротационной садовой косилки Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т.51. – №2. – С. 164-168.

201. ГОСТ Р 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – 2008. – № 53056-2008.

202. Елизаров В.П., Колос В.А., Сапьян Ю.Н. Методика топливно-энергетической оценки производства продукции растениеводства, Москва. – 2004. – С. 29-35.

203. Хорт Д.О. Оценка эффективности применения автоматизированного рабочего места (АРМ) технолога-ягодовода при производстве черной смородины Садоводство и виноградарство. – 2010. – № 6. – С. 40-44.

204. Хорт Д.О. Построение машинной технологии возделывания смородины чёрной: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 05.20.01, Всерос. селекц.-технол. ин-т садоводства и питомниководства, Москва. – 2011. – 170 с.

205. Блюмин А.М. Методические особенности оценки качества информационных ресурсов // Организация и развитие информационного обеспечения органов управления, научных и образовательных учреждений АПК («Информагро-2006»), М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2006. – Ч.1. – С. 109-116.

206. Solovchenko A.E., Dorokhov A.S., Shurygin B.M., Nikolenko A.A., Velichko V.Y., Smirnov I.G., Khort D.O., Aksenov A.G., Kuzin A.I. Linking tissue damage to hyperspectral reflectance for non-invasive monitoring of apple fruit in orchards // Plants. – 2021. – № 2. – Т. 10. С. 310.

207. Методы учета болезней плодовыхягодных культур [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hleb-produkt.ru/fitopatologiya/908-metody-ucheta-bolezney-plodovo-yagodnyh-kultur.html>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Методика отбора и оценки состояния плодов для системы цифрового мониторинга, контроля их состояния и идентификации ареалов заболеваний в промышленных интенсивных насаждениях

Параметры и режимы цифрового мониторинга садовых насаждений:

1. Охватываемый линейный размер листа в диапазоне от 2 до 10 см.
2. Охватываемый диаметральный размер ствола в диапазоне от 0,8 до 25 см.
3. Глубина проникновения в объект исследования от 0,5 до 12 см.
4. Охватываемый диаметральный размер плода от 5 до 18 см.
5. Охватываемый линейный размер очага болезни в диапазоне от 5 до 50 мм.
6. Режим цифровой съёмки – при движении скоростью от 0,5 до 3 км/ч.
7. Съёмка должна иметь возможность эффективно функционировать (т.е. получать снимки требуемой чёткости) при слабой освещённости (до 100 000лк), негативных погодных условиях (дождь, туман, ветер) и температуре окружающего воздуха от 0 до 35 град. по Цельсию.
8. Расстояние от объектива камеры до исследуемых поверхностей от 0,3 до 1,5 м.
9. Спектры цветов, которые должна воспринимать камера: зеленый, красный, белый, коричневый, черный, оранжевый, фиолетовый, бордовый, голубой.
10. Камера должна обеспечивать съемку объектов с измерением их линейных и диаметральных параметров
11. Камера должна в режиме он-лайн передавать полученные изображения в модуль обработки.

Требования к точности измерений:

- точность измерений по каждому из параметров не менее 0,1 ед.
- частота измерений – регулируемая (от 1 изм./минуту до 1 изм./сутки);

- передача данных должна быть в виде цифрового сигнала.

Объекты и оценка пораженности [206]:

Парша яблони. Анализируется по 100 листьев и 100 плодов с каждого дерева (по 20 листьев с одной ветки и 25 плодов без выбора с четырех сторон дерева). Учет проводят на четырех деревьях 2-3 сортов яблони в периоды опадания избыточной завязи, роста плодов, уборки урожая.

Для определения степени поражения листьев используют пятибалльную шкалу:

0 - отсутствие поражения;

1 - единичные мелкие пятна занимают до 1% поверхности листа;

2 - поражено 2-10% поверхности листа;

3 - поражено 11-25% поверхности листа;

4 - поражено 26-50% поверхности листа, пятна крупные с темным налетом гриба;

5 - пятна занимают более 50% поверхности листа, крупные, сливающиеся, с темным налетом спороношения гриба.

Для учета пораженности плодов руководствуются следующей шкалой:

0 - плоды здоровые;

1 - пятна на плодах редкие, неопробковевшие;

2 - пятна на плодах мелкие, единичные, часто опробковевшие;

3 - пятна на плодах единичные (2-3), диаметром 5 мм, со слабым налетом спороношения или старые опробковевшие;

4 - пятна в значительном количестве, крупные (5-10 мм), сливающиеся, с темным налетом спороношения, возможны трещины;

5 - пятна многочисленные, крупные (10 мм и более), местами сливающиеся, с темным налетом спороношения, на плодах возможны глубокие трещины.

Плодовая гниль яблони. Учет проводят в период массового проявления болезни на падалице 2-3 сортов яблони. Для этого осматривают всю падалицу под 10 деревьями, расположенными равномерно на участке.

Определяют количество здоровых и больных (загнивших) плодов и записывают.

Мучнистая роса яблони. Мучнистую росу яблони учитывают отдельно на цветках, листьях, побегах.

Учет пораженности соцветий проводят перед цветением, листьев - в начале цветения и в период максимального проявления болезни (конец июля), побегов - в фазу зеленого конуса и после листопада.

С этой целью осматривают по 4 дерева каждого из 2-3 сортов.

Для учета пораженности цветков и листьев обследуется по 100 соцветий (листьев) с четырех сторон дерева (по 25 с каждой стороны). При этом отмечают отдельно больные и здоровые соцветия (листья) независимо от интенсивности поражения.

Интенсивность поражения побегов оценивают по четырехбалльной шкале:

- 0 - здоровые побеги;
- 1 - незначительное поражение верхней части побега;
- 2 - налет покрывает до 1/4 длины побега;
- 3 - до 1/2 побега налетом и спороношением;
- 4 - мицелий по всей длине побега, верхушка отмирает.

Чёрный рак и цитоспороз яблони.

На участке сада осматривают по 20 деревьев (2-3 сорта), равномерно распределенных среди насаждений. Оценку пораженности деревьев болезнями дают глазомерно по шестибалльной шкале:

- 0 - отсутствие поражения;
- 1 - единичные поверхностные пятна;
- 2 - такие же пятна, но в большем количестве;
- 3 - глубокие чернораковые (ведущие к растрескиванию коры до древесины) или цитоспорозные пятна;
- 4 - большие чернораковые или цитоспорозные пятна, почти опоясывающие ветви пни штабл;

5 - несколько отмирающих ветвей;

6 - гибель дерева.

Последовательность отбора проб пораженных плодов:

Поражённые плоды отбираются с деревьев с одинаковыми габаритными размерами кроны. У многолетних яблонь большая доля вариаций связана с природой самих растений, и эту изменчивость, насколько возможно, следует свести к минимуму.

У большинства видов наследственная изменчивость может быть значительной. Необходимо знать и учитывать происхождение опытных растений и если невозможно использовать растения только из одного источника, то либо каждый блок следует составлять из растений одинакового происхождения.

При отборе проб необходимо учитывать, что неправильно отбирать все растения строго определенной неизменной величины, так как это приводит к тому, что некоторые сорта будут представлены только крупными растениями, а другие только мелкими. Поэтому либо отбор должен производиться из всех имеющихся растений, либо для каждого сорта нужно установить среднюю величину растений и производить отбор, скажем, только из тех деревьев, которые отклоняются от этой средней не более чем на 10%.

Совершенно независимо от уже рассмотренной сортировки по величине следует исключать те деревья, которые слишком малы.

Когда исключены все неподходящие деревья, окончательно подбирать опытные деревья следует методом рандомизации, то есть случайно. В нашем случае в группе экспериментальных деревьев однотипного сорта находят поврежденные вредителями и болезнями плоды, аккуратно срывают, затем группа экспертов визуально классифицирует болезнь и степень повреждения плода. На плане опытной делянки отмечается дерево, с которого собраны плоды. Плод с указанием сорта регистрируется в опытном журнале или в специальной таблице, указывается порядковый номер дерева в ряду,

количество собранных яблок с каждого дерева. Наличие болезни её вид и степень повреждения плода определяется группой экспертов, состоящей не менее чем из 4-5 специалистов, включающей агронома, вирусолога, специалиста по защите растений и специалиста по физиологии растений, используется метод экспертной оценки.

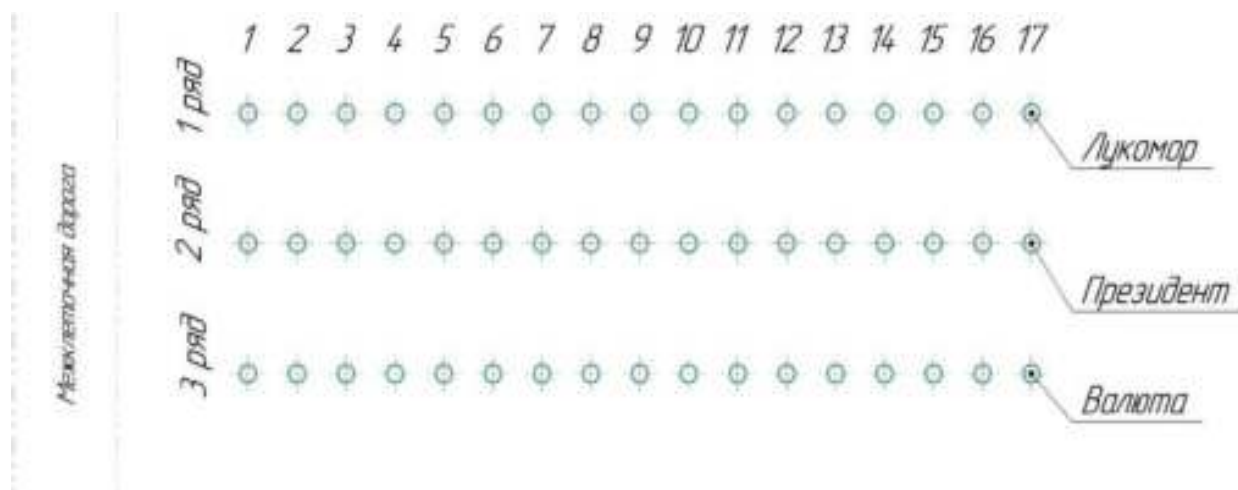


Схема опытной делянки отбора проб плодов яблони

При определении вида болезни или повреждения проводится подсчет решений, отданных экспертом в пользу того или иного заболевания. Далее учитываются решения тех экспертов, которые были приняты согласно мнению большинства остальных экспертов. Каждый эксперт будет выражать своё непредвзятое мнение путём заполнения опросной анкеты по каждому плоду в отдельности. Если мнения разделились, то «спорные» плоды убираются. Группа специалистов при помощи визуального метода производит осмотр каждого отобранного плода, со всех сторон при ярком дневном освещении. Освещённость при осмотре яблок должна быть в пределах 60 000-90 000 люксов. Каждый из экспертов после осмотра проб заносит результаты своих наблюдений в соответствующую таблицу в которой указывает наличие или отсутствие поражения плода каким-либо заболеванием, идентифицирует заболевание, определяет степень поражения плода заболеваниями или его стадию. При осмотре внешнего вида плода

определяется его форма, окраска, состояние поверхности, целостность, свежесть, степень зрелости, типичность соответствия данному сорту.

Недостаточная окраска может свидетельствовать о незрелом состоянии плода, а значит, недостаточном количестве питательных веществ. У перезревших плодов и овощей наблюдается потемнение окраски и ухудшение потребительских свойств. Форма - регламентированное значение показателя, которое предусматривает соответствие эталону определенного природного сорта. Наибольшее значение форма имеет для плодов, так как эстетические свойства для них особенно значимы. Плоды должны иметь форму, типичную для данного природного сорта. Нетипичность формы является признаком, понижающим сортность плодов.

Состояние поверхности плодов характеризуется сухостью и чистотой. Отсутствие увлажнения на их поверхности создает неблагоприятные условия для развития многих патогенных микроорганизмов.

Целостность плодов и овощей предполагает отсутствие на них повреждений: механических, сельскохозяйственными вредителями, микробиологическими физиологическими заболеваниями.

К недостаткам органолептических методов относятся субъективизм оценки, относительное выражение ее результатов в безразмерных величинах, несопоставимость и недостаточная воспроизводимость результатов.

Минимальное значение количества отобранных проб (плодов) с однотипным заболеванием для проведения дальнейших исследований, должно быть не менее 5 шт. каждого сорта и столько же проб в качестве контроля без наличия заболевания.

После обработки результатов осмотра плодов экспертами, составляется итоговая таблица.

Таблица 1 – Условия отбора проб

Показатели	Значение показателей
	Данным лабораторно-полевых испытаний
1	2
Дата проведения оценки	10.09.2020
Место испытаний	п. Измайлово, Ленинский р-на, М.О.
Схема посадки	1х3
Культура, сорт, возраст насаждений	Яблоня «Президент», «Лукомор», «Валюта», 18 лет.
Рельеф	Ровный
Микрорельеф	Мелкогребнистый
Влажность почвы, %, в слое 0-15 см	8,45
Твердость почвы, в слое 0-15 см, МПа	1,6
Возраст насаждений, лет	15-18
Ширина междурядий, м	3,0
Расстояние между деревьями в ряду, м	1
Высота сорняков, см	10 - 22
Масса сорной растительности, кг/га	800
Засоренность камнями и крупными растительными остатками	Отсутствуют

Отбор проб здоровых яблок для сравнительного анализа.

Здоровые яблоки для проведения спектральных снимков и сравнения отбираются в количестве тридцати штук каждого сорта.

Плоды яблони должны быть целыми, чистыми, без излишней внешней влажности, дефекты на поверхности в виде повреждений, типичной для помологического сорта формы и окраски с плодоножкой, допускаются крайне незначительные дефекты кожицы и бурые пятна, не выходящие за пределы полости плодоножки, но без грубой шероховатости. Плоды должны быть съемной степени зрелости, способные выдерживать погрузку, транспортировку и доставку к месту назначения. Наличие плодов без плодоножки не допускается. Наибольший поперечный диаметр плода должен быть не менее 60 мм, масса плода - не менее 90 г. Допускается наличие яблок наибольшим поперечным диаметром плода не менее 50 мм или массой не менее 70,0 г. Для яблок, калибровка которых производится по наибольшему поперечному диаметру, разница в диаметре плодов в одной и той же упаковке не должна превышать 5 мм для яблок высшего, первого и второго сортов, Разница между размерами плода одного сорта не нормируется.

Таблица 2 – Масса плодов с отклонениями

Масса плодов, г	Допускаемые отклонения, г
Для яблок всех товарных сортов, уложенных в упаковку рядами и слоями	
Св. 70,0 до 90,0 включ.	15,0
Св. 90,0 до 135,0 включ.	20,0
Св. 135,0 до 200,0 включ.	30
Св. 200,0 до 300,0 включ.	40
Св. 300,0	50

Содержимое каждой упаковочной тары должно быть однородным и состоять из яблок одного помологического и товарного сорта, происхождения и размера (в случае калибровки), а также одинаковой степени зрелости. В одной упаковочной единице может содержаться смесь яблок различных помологических сортов при условии, что они относятся к одному

товарному сорту и в отношении каждого помологического сорта являются однородными по происхождению.

Материалы, используемые для упаковки, а также чернила, клей, бумага, применяемые для нанесения текста или наклеивания этикеток, должны быть не токсичными и обеспечивать при контакте с плодами сохранение их качества и безопасности.

Требования к фотографическим изображениям.

Для получения фотографических изображений образцов плодов в видимом диапазоне можно использовать цифровой фотоаппарат с общим количеством пикселей не менее 8 млн.

Формат файлов – JPEG (Стандарт сжатия цифрового изображения, определенный в ИСО/МЭК 10918-1), TIFF, разрешение не менее 300 dpi, цветовое пространство sRGB.

Полученные фотографии должны соответствовать следующим требованиям:

- фон должен быть нейтральным, однородным без фактуры, цвет фона должен быть светлее цвета плода;
- объект должен быть расположен в центре фотографии и занимать площадь не менее 35% площади изображения;
- изображение должно быть четким, резким не размытым;
- размер цифровых фотографий должен быть не менее 3602 x 2480 пикселей;
- не должно быть засвеченных участков, резких теней и контрастов.

Для получения качественных фотографий плодов яблони в полевых условиях, необходимо использовать штатив и разместить камеру перед объектом съёмки на расстоянии 1,5-2 метра. Съёмку следует производить в при дневном освещении и освещённостью не менее 20 000 лк. Источник естественного света должен быть находится позади камеры, полученное изображение должно быть чётким.

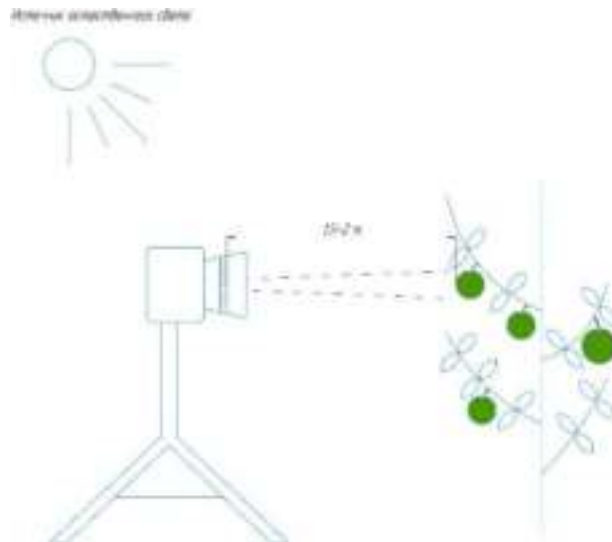


Рисунок 1 – Процесс получения фотографических изображений плодов на открытой местности

Для получения фотографических изображений плодов в условиях помещений необходимо камеру разместить на штативе. Высота штатива должна быть такой, чтобы получить качественное фотографическое изображение с наибольшей площадью поверхности плода. Расстояние a выбирается в пределах 1,5-2 метра до объекта съемки, источник освещения располагают перед объектом съемки на расстоянии 2-2,5 метров. Подставка под объект исследования должна иметь возможность вращения вокруг своей оси с переменной скоростью вращения 1-5 об/мин. Освещение должно быть равномерным, без бликов.

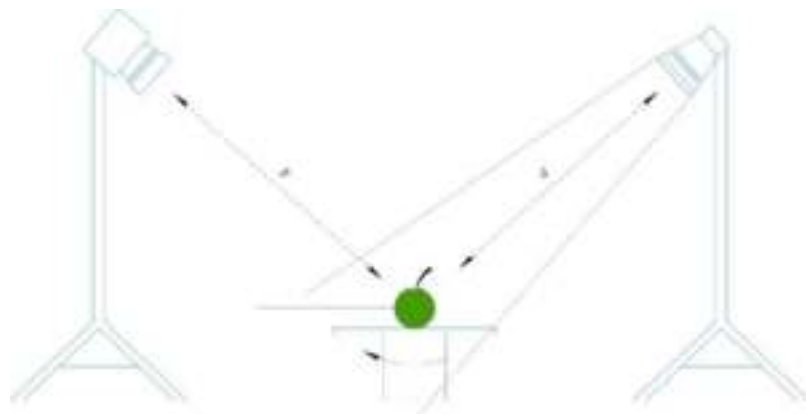


Рисунок 2 – Процесс получения фотографических изображений в помещении

**Обоснование параметров универсальной роботизированной платформы
для ухода за насаждениями и уборки урожая плодов**

Для определения номинального тягового усилия УРП $P_{кр}$ использована известная формула:

$$P_{кр} = A \cdot m_э,$$

где A - коэффициент, варьируется в зависимости от типа шасси;

$m_э$ - эксплуатационная масса шасси, кг

Тяговые параметры роботизированной платформы должно находиться в пределах 1,8-5,4 кН, что соответствует тяговому классу 0,2.

Имея значение номинального тягового усилия, находим из формулы (2.1) эксплуатационную массу УРП.

В соответствии с ГОСТ 27021-86 эксплуатационная масса УРП – масса, состоящая из конструкционной массы энергосредства с основным технологическим оборудованием.

Из ГОСТ 27021-86 для четырехколесных шасси с колесной формулой 4К2, что эксплуатационная масса шасси должна находиться в пределах 350-460кг.

$$m_э = \frac{P_{кр}}{A}$$

Из ГОСТ 27021-86 для четырехколесных шасси с колесной формулой 4К4 коэффициент $A=1.15$ подставляя значение $P_{кр}$ и коэффициента A в формулу получаем, что эксплуатационная масса роботизированного шасси должна находиться в пределах 380-460кг.

Определение наибольшей ширины профиля шин УРП

Наибольшую ширину профиля шин ($b_{ш max}$) определяем исходя из наибольшей вертикальной нагрузки (в кН) на колесо шасси:

$$K_k = \frac{9,81 \gamma m_{т2}}{n_k 10^5},$$

где γ - коэффициент нагрузки для задней оси - 0,6 – 0,65;

для передней примерно 0,5;

$m_{тэ}$ - эксплуатационная масса энергосредства, кг;

n_x - число колес на оси. Подставляя значения в формулу получаем:

$$\text{для передних шин } K_K = \frac{9,81 \cdot 0,5 \cdot 680}{2 \cdot 10^2} = 1,66 \text{ кН};$$

$$\text{для задних колес } K_K = \frac{9,81 \cdot 0,65 \cdot 680}{2 \cdot 10^2} = 2,16 \text{ кН}.$$

Из таблицы 3 выбираем наибольшую ширину профиля шин для УРП.

Для передних и задних колес $b_{ш \max} = 240$ мм

По данным агротребований для колесных машин среднее удельное давление движителей на почву допускается по агротребованиям не более 80...110 кПа.

Максимальное давление соответственно допускается 120...165 кПа при влажности почвы в слое 30 см 0,5НВ...0,7НВ период работы летне-осенний.

Давление колесных движителей на почву, характеризуется вертикальной нагрузкой и площадью пятна контакта с почвой.

Имея фиксированное значение вертикальной нагрузки и норму максимального давления на почву можно определить суммарную площадь пятна контакта с почвой.

Максимальное давление колесного движителя на почву по ГОСТ 26955-86 вычисляется по формуле:

$$q_k = K_2 \bar{q}$$

где $q_{ск}$ - среднее давление колесного движителя на жесткое основание, кПа;

K_2 - коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины по ГОСТ26953-86 равный 1,5.

Среднее давление на почву \bar{q} к определяется по ГОСТ26953-86

$$\bar{q} \text{ к} = \frac{mk \cdot g}{10^2 \cdot F_{кп}}$$

где $F_{кп}$ - суммарная площадь контакта с почвой на жестком основании колесных движителей УРП;

mk - масса, создающая статическую нагрузку колесными движителями, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2

Подставляем формулу в формулу получаем:

$$F_{\text{кп}} = \frac{1,5m_k g}{10^2 q_k}$$

Подставляем значения m_k , g и q_k получаем значение суммарной площади пятна контакта для УРП.

$$F_{\text{кп}} = 0,336 \text{ м}^2$$

Полученное значение $F_{\text{кп}}$ необходимо учитывать при выборе шин. По ГОСТ 7463-2003 «Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин технические условия», подбираются шины следующих типоразмеров: шина передних и задних колёс 255/85R16 для выполнения работ в садах, ягодниках и питомниках.

Уточнение радиуса поворота УРП.

Поворотоспособность платформы оценивается минимальным радиусом поворота (расстоянием от центра поворота до центра заднего моста). Основным способом поворота является отклонение направления движения одной пары колес относительно другой. При этом может отклоняться или одна пара, или обе пары одновременно. При двух отклоняемых парах уменьшается радиус поворота, но задние колеса выезжают в сторону, противоположную повороту. Угол отклонения колес механизмом поворота не совпадает с направлением движения шин.

Так как УРП относится к энергосредствам тягового класса 0,2 радиус поворота должен соответствовать значению не более 4,5 метров.

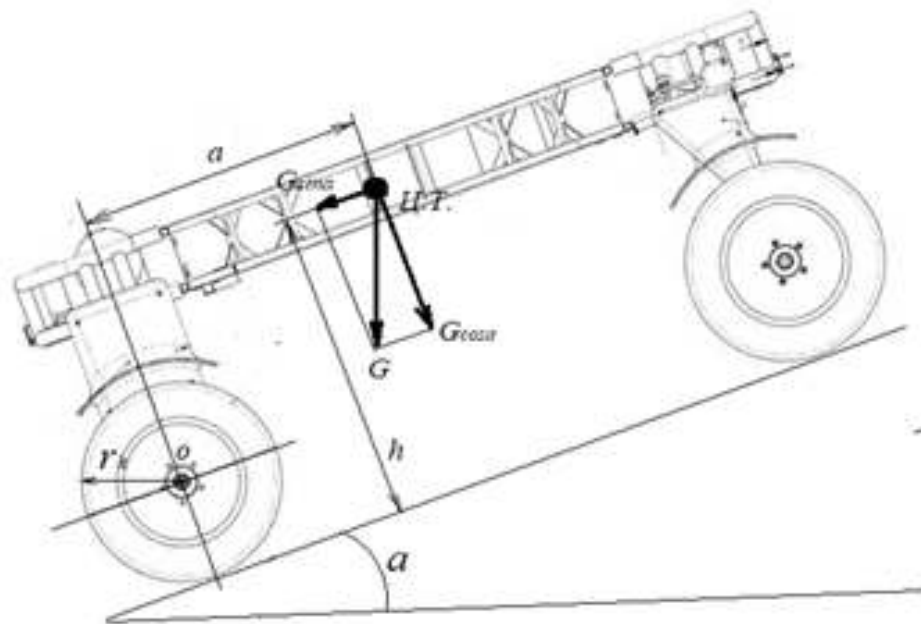
Исследование поперечной и продольной статической устойчивости универсальной роботизированной платформы

Для оценки конструкции УРП с точки зрения продольной устойчивости определены углы подъема α и уклона α' , при которых УРП может стоять, не опрокидываясь, заторможенная без прицепа и навесных орудий, а также

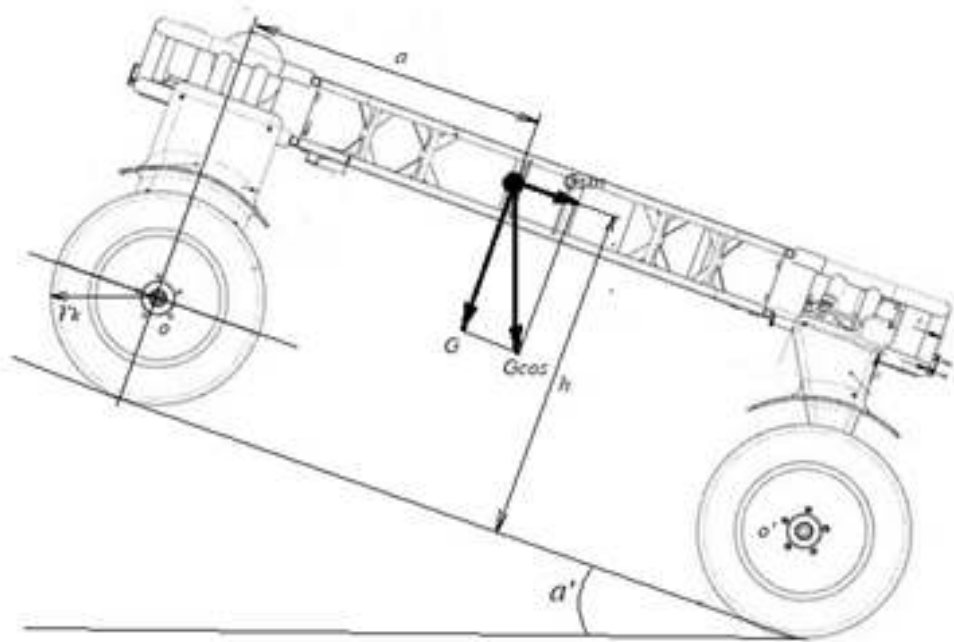
критические углы, при которых УРП может двигаться с орудиями α_k и без прицепа (α'_k). Оценка конструкции шасси с точки зрения поперечной устойчивости проводят по предельным и критическим углам β , при которых может стоять шасси на косогоре, не опрокидываясь и не сползая.

Условия продольной устойчивости заторможенного колесного шасси. На рисунке а и б показаны роботизированные шасси, стоящие в заторможенном состоянии на подъеме и уклоне. Величины этих углов, при которых вертикальная плоскость, проведенная через центр тяжести трактора, проходит через точки O' , около которых может произойти опрокидывание, называют предельными (α_{lim} и α'_{lim}) и определяют по их геометрическим соотношениям, зная координаты центра тяжести a и h и базу шасси L : для предельного угла подъема.

$$tg\alpha_{lim} = \frac{a}{h}$$



а



б

а - на подъёме; б - на спуске

Схема сил действующая на неподвижный УРП

При движении УРП критерием продольной устойчивости является наличие реакции Y_n , т. е. устойчивость УРП обеспечена, если его передние колеса прижаты к земле. В этих случаях всегда справедливо неравенство

$$Y_n \geq 0$$

Величину реакции Y_n в общем случае движения трактора на подъем определяют по уравнению

$$Y_n = \frac{G_a \cos \alpha - P_{кр} h_{кр} - (P_j - G \sin \alpha) h - M_{ск} - M_{jk} - M_{сп} - M_{jn}}{L}$$

Как видно из приведенного уравнения, увеличение угла подъема α и сил $P_{кр}$, P_j и моментов $M_{ск}$, M_{jk} , $M_{сп}$ и M_{jn} ведет к уменьшению реакции Y_n и, следовательно, к возрастанию опасности опрокидывания трактора. Однако при этом следует иметь в виду, что изменения указанных сил и моментов

ограничено предельным значением номинальной величины крутящего момента ведущих колес на первой передаче — $M_{к.ном1}$.

Ниже рассмотрены влияние, силы тяги на крюке на величину угла подъема, определены критический угол подъема и величина силы тяги при данном подъеме.

Наибольшее теоретически возможное значение силы тяги на крюке имеет место при равномерном движении УРП по идеальной дороге при реализации номинального момента двигателя $M_{ном}$, т. е. при номинальной величине касательной силы тяги $P_{к.ном1}$ на первой передаче. В этом случае движения сила P_j и моменты $M_{кj}$, $M_{тj}$, $M_{сж}$ и $M_{сн}$ равны нулю, а величина реакций Y будет:

$$Y_n = \frac{G_a \cos \alpha - P_{кр.мах} h_{кр} - hG \sin \alpha}{L}$$

Зная, что для рассматриваемого случая движения

$$M_{к.ном1} = (P_{кр.мах} + G \sin \alpha) r_k$$

$$P_{кр.мах} = \frac{M_{к.ном1}}{r_k} - G \sin \alpha$$

тогда

$$Y_n = \frac{G_a \cos \alpha - (P_{кр.ном1} - G \sin \alpha) h_{кр} - hG \sin \alpha}{L}$$

Где r_k — динамический радиус; j_1 — передаточное число всей трансмиссии при включенной первой передаче; η_m — механический к. п. д. трансмиссии. Учитывая условие устойчивости, необходимо, чтобы числитель правой части уравнения был больше или равен нулю, т. е.

$$G \cos \alpha - (P_{кр.ном1} - G \sin \alpha) h_{кр} - hG \sin \alpha \geq 0$$

что после преобразования может быть представлено в виде

$$P_{к.ном1} \leq \frac{G(\cos \alpha - h \sin \alpha)}{h_{кр}} + G \sin \alpha$$

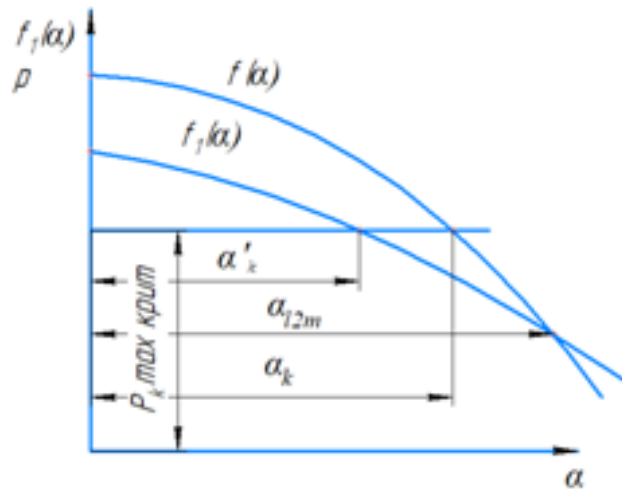
В момент, соответствующий началу опрокидывания, числитель первого слагаемого неравенства, представляющий момент силы тяжести относительно точки опрокидывания, равен нулю, так как вертикальная

плоскость, проведенная через точку центра тяжести УРП, проходит через точки опрокидывания O' . Поэтому условие устойчивости для предельного угла подъема, называемое общим условием продольной устойчивости УРП при его движении на подъеме, выражается следующим неравенством:

$$P_{к.ном1} \leq G \sin \alpha_{lim}$$

При этом следует иметь в виду, что наибольшая величина касательной силы тяги при любом другом угле подъема, меньшем предельного α_{lim} не должна быть больше составляющей массы УРП при предельном подъеме $G \sin \alpha_{lim}$. Если же $P_{к.ном1}$ будет меньше, чем $G \sin \alpha_{lim}$, то движение УРП вообще невозможно, т. е. для обеспечения возможности трогания с места трактор должен работать на подъемах с углом меньше предельного.

Максимальный угол подъема, при котором не нарушается устойчивость, называют критическим α_k . Величину этого угла определяют графически (рисунок 2.2)



Характеристика продольной устойчивости платформы

Для определения α_k строят кривую $f(\alpha)$ по уравнению и, отложив по оси ординат величину $P_{к.ном1}$, проводят горизонталь (линию, параллельную оси абсцисс) до пересечения с кривой $f(\alpha)$. Абсцисса точки их пересечения равна величине угла α_k . Влияние изменения момента сопротивления ведущих колес на устойчивость УРП. Рассмотрим движение УРП на подъеме по исключительно плохой дороге при полном использовании касательной силы

тяги на передвижение. В этом случае силы P_j и $P_{кр}$ и моменты $M_{ж}$ и $M_{п}$ равны нулю. Примем также для надежности равным нулю и момент $M_{сн}$. Реакция Y из уравнения моментов внешних сил относительно оси ведущих колес будет

$$Y_{п} = \frac{G_{а} \cos \alpha - G(h_{кр} - r_k) \sin \alpha - P_{к.ном1} r_k}{L}$$

Исходя из условия продольной устойчивости, так же как и для уравнения имеем, что

$$G_{а} \cos \alpha - G(h - r_k) \sin \alpha - P_{к.ном1} r_k \geq 0$$

откуда

$$P_{к.ном1} \leq G \frac{\alpha \cos \alpha - (h - r_k) \sin \alpha}{r_k} = f_1 \alpha$$

Аналогично изложенному выше для формулы условие устойчивости будет выражаться уравнением, так как правая часть формулы для предельного угла подъема равна $G \sin \alpha_{lim}$.

Как и в предыдущем случае, необходимо определить критический угол подъема α'_k , при котором условие устойчивости не нарушается. Для этого на график наносят кривую $f_1(\alpha)$ из уравнения, абсцисса точки пересечения горизонтали, соответствующей ординате $P_{кн1}$, с кривой $f_1(\alpha)$ равна величине угла α'_k . Из приведенного рисунка, кривые которого называются характеристикой продольной устойчивости УРП. Однако это справедливо только в случаях, если точка прицепа расположена ниже оси ведущих колес.

Определение нормальных реакций почвы на колеса платформы

Нормальные реакции почвы на передний и задний мосты платформы приравниванием к нулю суммы проекций сил на ось OK и суммы моментов относительно точки контакта с почвой его задних колес:

$$\sum K = K_1 + K_2 - Gp - \sum_i F_{zi} = 0$$

$$\sum M = -K_1 L - M_{п1} - M_{п2} + G_2 (l_1 \cos \alpha - h_1 \sin \alpha) - \sum_i (F_{zi} h_i + F_{xi} l_i) = 0$$

где L – продольная база энергосредства, м;

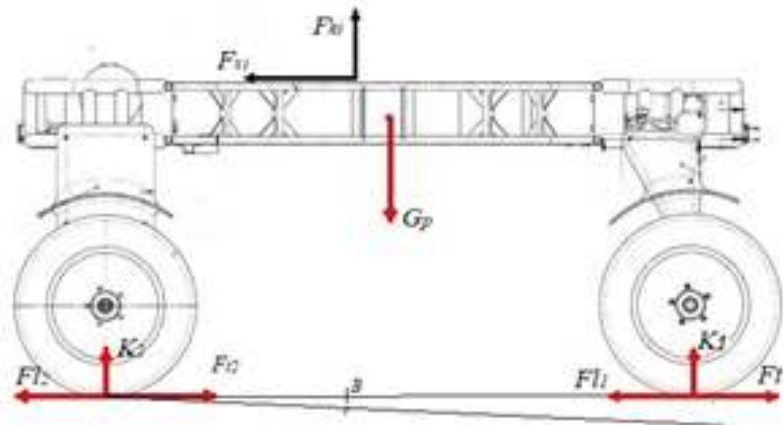
l_r и h_r – продольная и вертикальная координаты центра тяжести энергосредства относительно точки контакта с почвой задних колес;

l_i (с учетом знака) и h_i – продольная и вертикальная координаты точек приложения сил внешнего воздействия относительно точки контакта с почвой задних колес;

F_{r1} и F_{r2} – силы сопротивления качению, соответственно, передней и задней оси;

M_{r1} и M_{r2} – моменты сопротивления качению G_p – вес УРП; K_1 , K_2 – нормальные реакции почвы на колеса, соответственно, переднего и заднего мостов;

F_{t1} и $-F_{t2}$ касательные силы тяги, развиваемые, соответственно, передним и задним мостом; β – угол подъема (рисунок 2.3).



К определению нормальных реакций почвы на колеса

Для сельхозмашин, не имеющих собственных опорных колес (например, монтируемых машин) можно записать:

$$F_{r1} = G_i \sin \beta ; \quad F_{r2} = G_i \sin \beta$$

где G_i – вес i -ой машины, кг.;

Момент сопротивления качению выражается через опорную реакцию:

$$M_r = f_r K,$$

где: f – коэффициент сопротивления качению; r_d – динамический радиус колеса.

Подставляя полученные выражения в уравнения и получим систему линейных уравнений, матричное решение которой можно записать в виде:

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{pmatrix} = A^{-1}b; \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -L - f_1 r_{d1} & -f_2 r_{d2} \end{pmatrix};$$

$$b = \begin{pmatrix} G_p + \sum F_{zi} \\ \sum (F_{zi} h_i + F_{zi} l_i) - G_p (l_r \cos \alpha - h_r \sin \alpha) \end{pmatrix}$$

Распределение тяговых усилий по осям УРП

При отсутствии кинематического несоответствия в приводе ведущих колес буксование первого моста равно буксованию второго, т.е. $\delta_1 = \delta_2$.

Известно, что буксование пневматического двигателя зависит от относительной силы тяги, т.е. $\delta = F_m / K$. Из условия равенства буксования мостов получим соотношение:

$$\delta_1(F_{z1}/Z) = \delta_2(F_{z2}/Z) \Rightarrow \frac{F_{z1}}{K_1} = \frac{F_{z2}}{K_2}$$

Как и в предыдущем случае распределения нормальных реакций получим систему линейных уравнений второго порядка, решая которое в матричной форме, получим:

$$\begin{pmatrix} F_{z1} \\ F_{z2} \end{pmatrix} = A^{-1}b; \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ K_1 & -K_2 \end{pmatrix}; \quad b = \begin{pmatrix} F_{zp} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Выбор параметров тяговых двигателей

Параметры двигателя определяем при максимальной тяговой нагрузке энергосредства.

Распределение вертикальных нагрузок по осям УРП. В расчете приняты следующие исходные данные:

$$G_{\text{п}} = 9 \text{ кН}; \quad F_{\text{тп}} = 6,86 \text{ кН}; \quad l_1 = l_2 = 0,04; \quad r_{d1} = r_{d2} = 0,425 \text{ м}; \quad l_r = 1,748 \text{ м}; \quad L = 2,748 \text{ м}.$$

Результаты расчета:

$$K_1 = 4,4 \text{ кН}; \quad K_2 = 4,6 \text{ кН}.$$

Определяем распределение тяговых усилий по осям. В результате расчета получаем:

$$F_{m1}=5,2 \text{ кН}; F_{m2}=3,6 \text{ кН}.$$

Касательное усилие, которое должно развивать одно мотор-колесо равно:

$$F_{kt}^{max} = 2,66 \text{ кН};$$

Мощность на ведущих колесах энергосредства равна:

$$P_x = P_n \eta_{ur} = 1,8 \cdot 0,88 = 1,584 \text{ кВт},$$

где: P_n – номинальная мощность двигателя; η_m – КПД механической части трансмиссии.

Построение тяговых характеристик УРП

Мощность, подведенная к ведущим колесам платформы, определяется по формуле:

$$P_x(1 - \mu_x) K_2 \eta_x$$

где: P_x – номинальная мощность двигателей; K_2 – коэффициент средней эксплуатационной загрузки; η_x – КПД трансмиссии.

Баланс мощности на ведущих колесах энергосредства запишем в виде:

$$P_x = P_{xp} + P_b = P_{\xi}$$

где: P_{xp} – тяговая мощность УРП; P_b – мощность, затрачиваемая на буксование; P_{ξ} – мощность, затрачиваемая на качение.

Тяговая мощность энергосредства равна:

$$P_{xp} = F_{xp} V$$

Мощность, затрачиваемая на буксование, определяется по формуле:

$$P_b = F_x \delta = (F_{x0} = F_x) \delta$$

Сила и мощность сопротивления качению равны:

$$F_{\xi} = f_1 Z_1 + f_2 Z_2; P_{\xi} = F_{\xi} \cdot V$$

Буксование зависит от относительной силы тяги энергосредства φ :

$$\delta = \delta(\varphi); \varphi = F_{xp} / G_x$$

Кривая буксования хорошо аппроксимируется выражением:

$$\delta = \frac{a\varphi}{b-\varphi}$$

Наличие электродвигателей в трансмиссии, обладает свойством бесступенчатого изменения передаточного числа, может быть реализован режим максимальной тяговой мощности ($K_3=1$).

Построение тяговой характеристики, представляющей собой зависимость скорости движения платформы V от тягового усилия, сводится к решению уравнения тягового баланса, как линейного уравнения относительно V .

Сила тяги, создаваемая колесом P (в Н) для данной скорости движения находится из формулы:

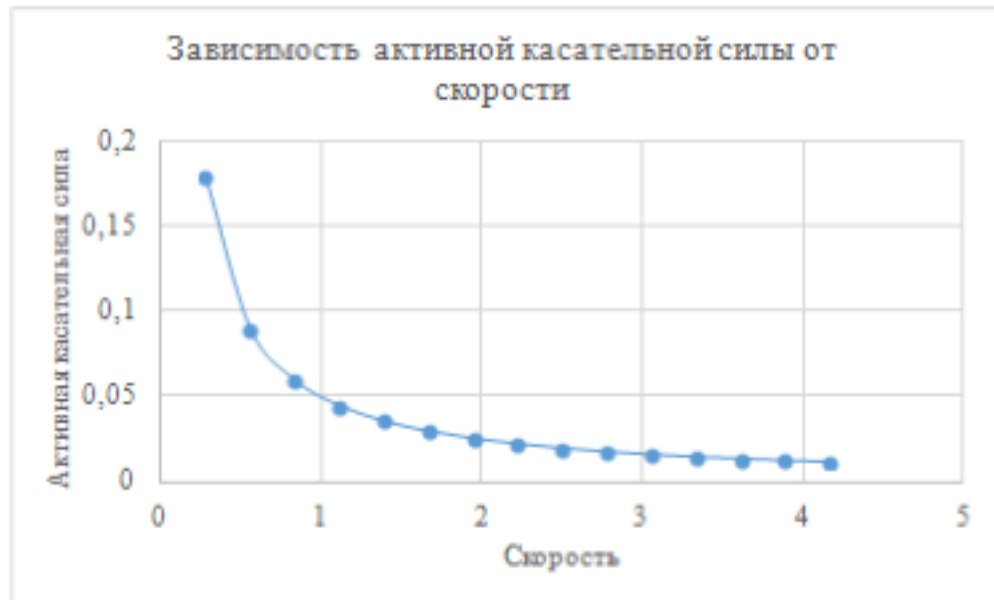
$$P = N/V$$

где N – мощность двигателя (Вт), V – скорость (в м/с).

Таблица – Зависимость активной касательной силы от скорости

V	P
0	0
0,277778	0,18
0,555556	0,09
0,833333	0,06
1,111111	0,045
1,388889	0,036
1,666667	0,03
1,944444	0,025714
2,222222	0,0225
2,5	0,02
2,777778	0,018
3,055556	0,016364
3,333333	0,015
3,611111	0,013846
3,888889	0,012857
4,166667	0,012

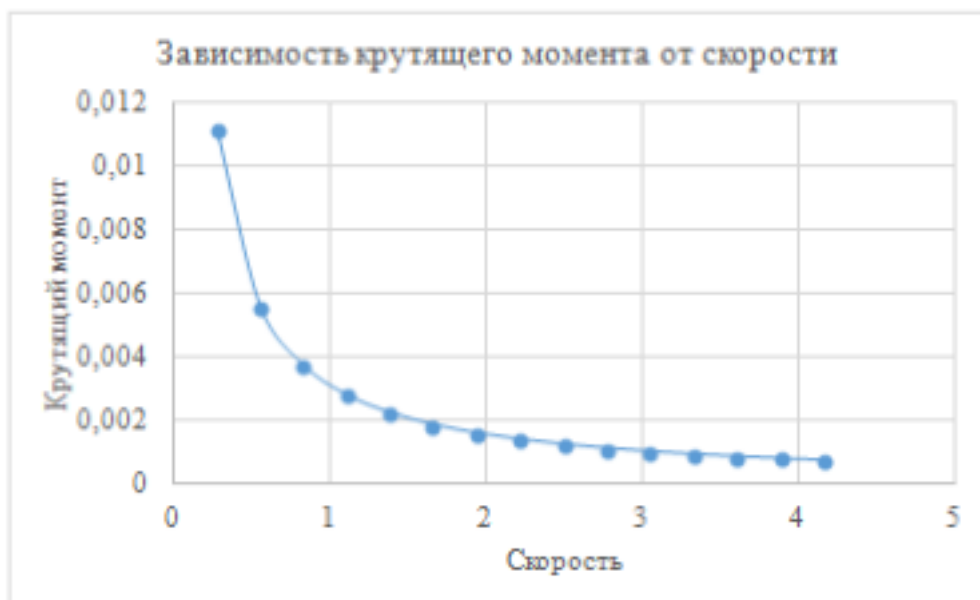
Из графика зависимости активной касательной силы от скорости видно, что активная касательная сила экспоненциально уменьшается с увеличением скорости.



Крутящий момент M н*м рассчитывается по формуле:

$$M = P * r$$

где P – активная касательная сила, r – радиус колеса, м.



Данные параметры рассчитаны для одного электродвигателя.

Из графика зависимости крутящего момента от скорости видно, что крутящий момент экспоненциально уменьшается с увеличением скорости.

Приложение В

Таблица базы данных

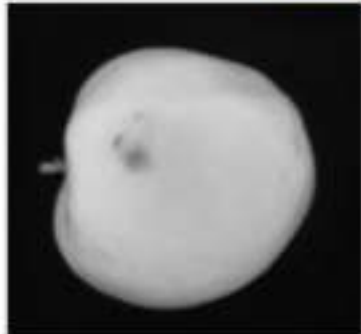
id	culture	klass	bolezni	povrezdenie	opisanie_bolezni	diap_ik_spektr	diap_vid_svet	diap_uf_spektr *1	infoPath
Фил...	Фильтр	Фил...	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр
1	Яблоко	Класс2	Парша. ...	На плодах проявляются в виде точ...	Парша -грибковое ...	10-10	20-20	30-30	C:\БОЛЕЗНЬ\Парша. Сумчатый гриб.

Данные

Культура	Болезнь	Повреждение	Описание	Диап. ИК	Диап. Вид	Диап. УФ
Яблоко	Парша	Точечные пятна	Парша - грибовое	10	20	30
Яблоко	Парша	Парша	Парша - грибовое	10	20	30

Фотографии

Болезнь: Связь:



Показать данные



id	Культура	Болезнь	Повреждение	Описание	Диап. ИК	Диап. Вид	Диап. УФ
1	Яблоко	Парша	Точечные пятна	Парша - грибовое	10	20	30

Порядок работы программно-аппаратного комплекса при построении вариативных машинных агротехнологий в садоводстве

Для запуска модуля по построению вариативных машинных агротехнологий на главной кнопочной форме имеется 4 основные кнопки, которые обеспечивают функциональность данной системы. Для более эффективного проектирования и управления технологией необходимо последовательное нажатие всех кнопок.

Кнопка 1 предназначена для вызова модуля по корректировке цен и технико-экономических данных рисунок 1.



Рисунок 1—Кнопочная форма ввода стоимостей и технико-экономических показателей

Далее последовательно нажимаются кнопки «Цены удобрений», «Цены саженцев», «Экономические показатели тракторов», «Экономические показатели машин», «Стоимость энергии» и «Оплата труда рабочих», при этом раскрываются формы, и в доступные для данных поля вводится соответствующая информация. На рисунках 2, 3 представлены данные формы.

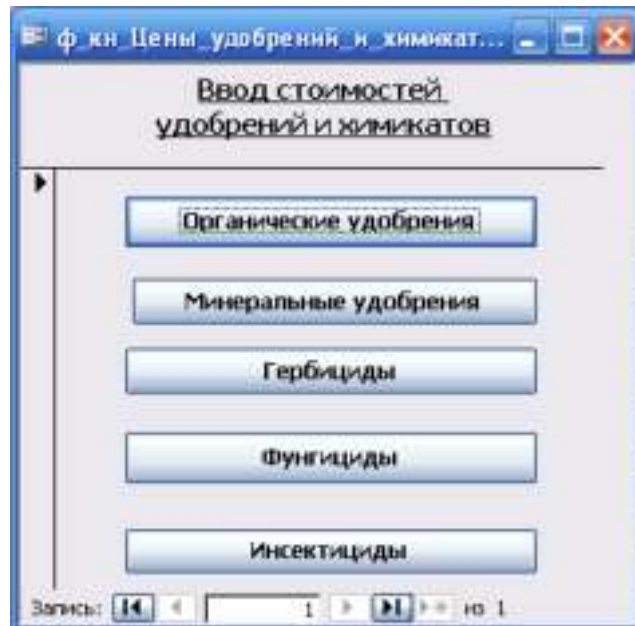


Рисунок 2—Кнопочная форма ввода стоимостей удобрений и химикатов

На форме «Ввод стоимостей удобрений и химикатов» имеются кнопки по вызову окон, в которых непосредственно проводится корректировка стоимостных данных по каждому виду удобрений. На рисунке 3 представлены эти окна в совмещенном виде.

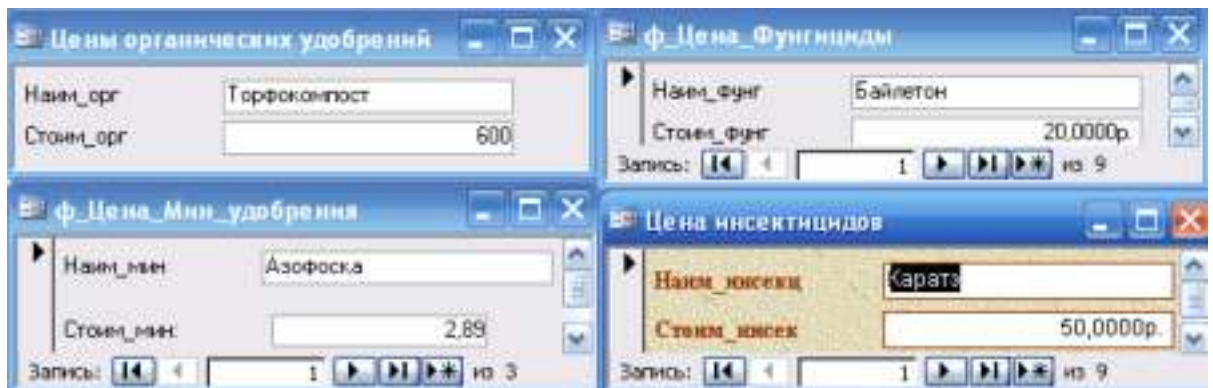
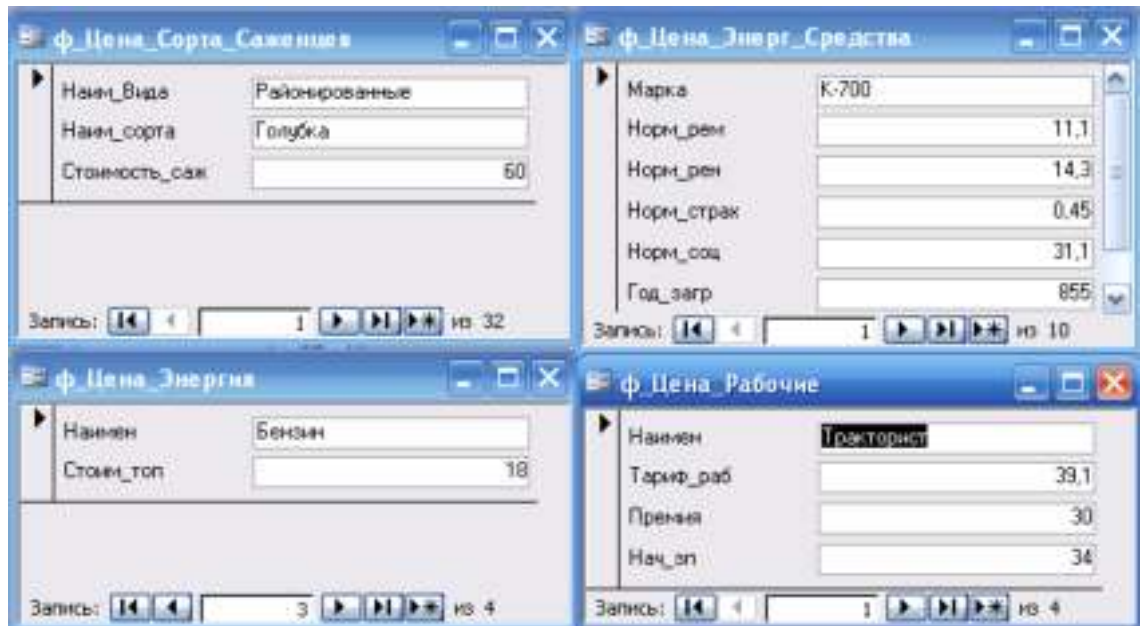


Рисунок 3—Окна корректировки стоимости удобрений

После нажатия остальных кнопок на форме «ввода стоимостей и технико-экономических показателей» (рисунок 3) также открываются соответствующие окна, в которых проводится корректировка стоимостных данных на саженцы, энергетические средства, затрачиваемую энергию, оплату труда рабочих (рисунок 4) и стоимости сельскохозяйственных машин.



Рисунок— Окна корректировки стоимости саженцев, энергетических средств, затрачиваемой энергии и оплаты труда рабочих

При нажатии ЛКМ кнопки «Рабочие» вводятся тарифные ставки механизаторов и рабочих. При нажатии кнопки «Энергетические средства» вводится стоимость тракторов, нормативные начисления, нормативная годовая загрузка.

При нажатии кнопки «Энергия» открывается форма для ввода стоимости используемых энергоносителей. При нажатии кнопки «Техника» открывается форма для ввода расхода топлива, стоимости и нормативной годовой загрузки технических средств. Нормативные отчисления для всех машин уже введены в базу данных по технике и могут быть изменены при редактировании таблицы.

ф_Цена_СХМ			
	Наим_маш	Марка_маш	Стоим_м
	Борона дисковая	БДМ-1,3А	80 000,0р.
	Плуг-лемешно дисковый	ПЛД-3,6С	82 400,0р.
	Борона дисковая садовая	БДС-3,5А	172 210,0р.
	Борона дисковая	БД-1	65 600,0р.
	Плуг лемешный навесной	ПЛН-4-35	39 000,0р.
	Борона дисковая средней тяжести	БДСТ-2,5	84 000,0р.
	Борона зубчатая тяжелая	4БЗТС-1,0	2 500,0р.
▶	Борона дисковая	БДМ-1,3А	80 000,0р.
	Плуг плантажный навесной	ПЛН-40	59 700,0р.
	Плуг плантажный навесной	ПЛН-50	62 700,0р.
	Борона дисковая	БД-1	65 600,0р.
	Борона дисковая тяжелая	БДСТ-3,5А	97 000,0р.
	Культиватор плоскорез глубокорыхлитель	КПГ-250	94 600,0р.
	Культиватор рыхлитель	КР-2,4	64 600,0р.
	Модуль_культиватор_рыхлитель	КСМ-5-03	815 000,0р.

Рисунок 5—Табличное окно корректировки стоимости с/х машин

Далее, на главной кнопочной форме (рисунок 8), аналогично нажимается Кнопка 2 «Ввод условий производства». Нажатие, которой приводит к открытию соответствующей кнопочной формы. Данная форма предусматривает ввод адаптированных данных к условиям производства конкретного производителя, что подчеркивает ее универсальность.

При последовательном нажатии на кнопки, открываются соответствующие оконные формы, которые позволяют делать выбор нужной информации из таблиц базы данных (рисунки 6).

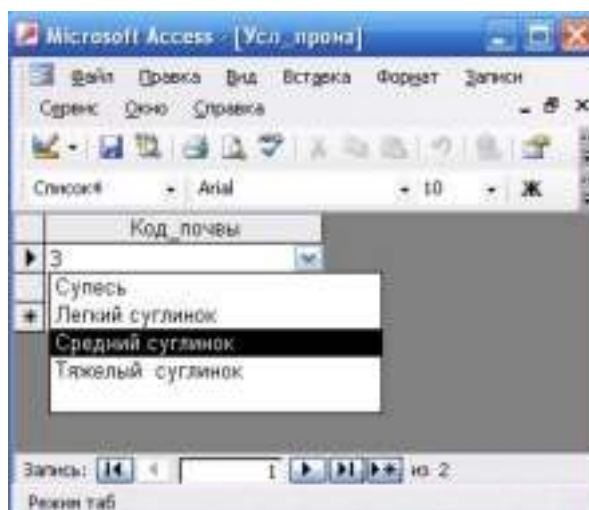


Рисунок 6—Окно для выбора вида почвы

Нажатие кнопок «Формирование технологии» и «Формирование технологической карты» приводит к открытию форм-таблиц для

формирования технологии из технологических операций путем проставления значков выбора против используемых операций в графе «Выбор технологического процесса». Вид открытой формы при нажатии кнопки «Формирование технологии» приведен на рисунке 7.

Наим_опер	Марка_маш	Марка	Кол_мг	Стоим_опер	Выбор
Опрыскивание восьми-кр	ОВГ-2005	МТЗ-82	1	26 005,61р.	<input type="checkbox"/>
Опрыскивание восьми-кр	ОПВ-1204	МТЗ-82	1	28 018,54р.	<input type="checkbox"/>
Опрыскивание восьми-кр	ОУМ-630-2	МТЗ-82	1	34 953,39р.	<input type="checkbox"/>
Опрыскивание восьми-кр	ОМ-400В	ВТЗ-2027	1	27 578,81р.	<input type="checkbox"/>
Опрыскивание восьми-кр	КСМ-5-01	ВТЗ-2027	1	99 996,48р.	<input type="checkbox"/>
Опрыскивание восьми-кр	ОН-400	ВТЗ-2027	1	29 055,26р.	<input type="checkbox"/>
Опрыскивание восьми-кр	МРП-4	ВТЗ-2027	1	105 361,06р.	<input checked="" type="checkbox"/>
Опрыскивание восьми-кр	ОМУ-600	МТЗ-82	1	34 953,39р.	<input type="checkbox"/>
Приготовление раствора	АПЖ-12	МТЗ-82	1	35 368,86р.	<input checked="" type="checkbox"/>
Внесение гербицидов	ОВГ-2005	МТЗ-82	1	23 970,41р.	<input type="checkbox"/>
Внесение гербицидов	ОПВ-2000М	МТЗ-82	1	29 494,06р.	<input type="checkbox"/>
Внесение гербицидов	ОПВ-1204	МТЗ-82	1	28 028,54р.	<input type="checkbox"/>
Внесение гербицидов	ОМ-600С	МТЗ-82	1	45 668,48р.	<input type="checkbox"/>
Внесение гербицидов	КСМ-5-01	ВТЗ-2027	1	99 976,48р.	<input checked="" type="checkbox"/>
Погрузка органических уд	ПФП-1,2	МТЗ-82	1	20 653,30р.	<input checked="" type="checkbox"/>
*					<input type="checkbox"/>

Рисунок 7—Табличная форма «Формирование технологической карты»

При работе с данной формой пользователю выдаётся информация обо всех возможных сельскохозяйственных агрегатах, способных выполнить выбранные в форме по формированию технологии (рисунок 8) операции. Причем система автоматически просчитывает стоимость выполнения технологической операции, с учетом используемого с/х агрегата. Пользователю остается выбрать подходящий для его условий производства агрегат и в поле «Выбор» поставить напротив колонки «стоимость операции» соответствующий значок (рисунок 7). Данный факт обуславливает функциональные возможности ПАКа, которые позволяют эффективно проектировать машинную технологию и подготавливать технологические решения, необходимые для качественного управления рабочими процессами в технологии.

После выбора технологических процессов, операций и их стоимости пользователю необходимо нажать кнопку «Просмотр технологической

карты» (рисунок 8), в результате этого происходит формирование технологической карты по введённым ранее данным и условиям на 4 листах.

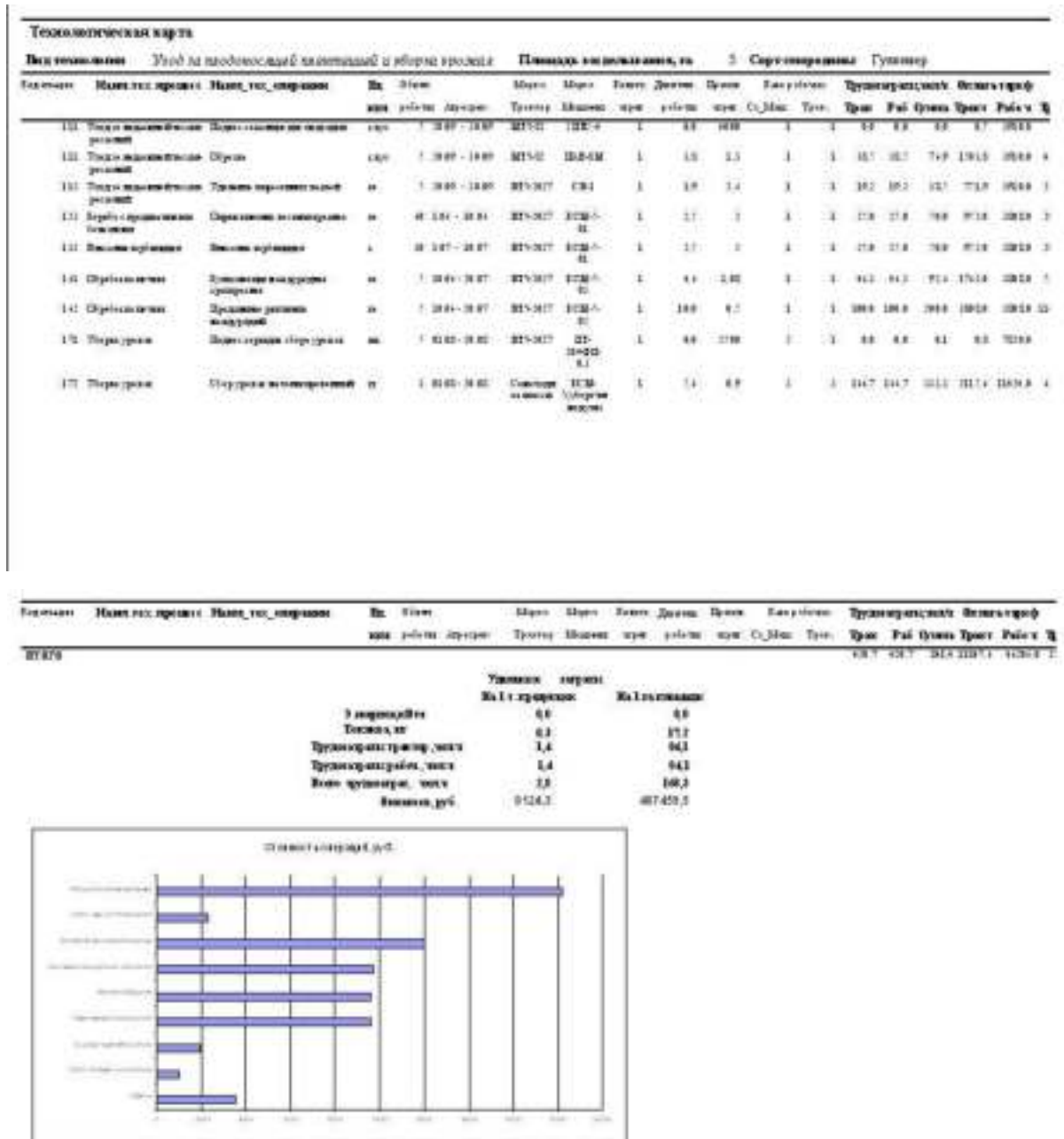


Рисунок 8— Форма для вывода результатов проектирования технологической карты (лист 1,4)

Методика и результаты экспертной оценки программно-аппаратного комплекса «Агроинтеллект ВИМ»

Важным этапом проведения экспертной оценки является составление опросных листов (анкет). При составлении анкеты учитывалось множество задач, которые возложены на программно-аппаратный комплекс. Эти задачи можно свести к следующим основным группам:

- 1) Экспертиза технологических и технических нововведений в сравнении с существующими технологиями и техническими средствами по отдельно взятым и комплексным показателям;
- 2) Оценка технологического или технического нововведения среди существующих технологий и технических средств имеющихся в базе данных.
- 3) Прогнозирование динамики развития сформированного системой технологического и технического решения.

В ходе анализа вышеизложенных задач были сформированы три блока показателей системы, оцениваемые экспертами. Результаты представлены на рисунке 1 .

Дальнейшее составление опросных листов выполнялось в следующей последовательности:

1. Подготовка списка вопросов, отражающих вышеизложенные показатели функциональности системы, по которым необходимо получить мнение эксперта (также в опросные листы был включен блок вопросов по оценке компетентности эксперта).
2. Определение типа каждого вопроса, в зависимости от формы ответа.
3. Разработка шкалы количественной оценки вопросов.



Рисунок 1 – Схема показателей работы ПАК

Опросные листы были разосланы научным сотрудникам (ФНЦ Садоводства, ФНАЦ ВИМ), специалистам-производственникам (ФНЦ Садоводства, ООО «Одоевские сады» Тульской области). В результате было получено 28 анкет из 30 разосланных (10 анкет заполнены специалистами-производственниками).

Обработка полученных данных проводилась по «методике обработки данных опросных листов», разработанной в ИАЭП-филиал ФНАЦ ВИМ, основанной на определении средневзвешенной оценки экспертов с учетом их компетентности. Обсчет анкет проводился по ГОСТ 24026 –80.

Окончательная оценка по каждому экспертируемому вопросу находится как средневзвешенная величина с учётом компетентности эксперта. Все показатели, предложенные в анкете оценивались в баллах по

разработанной нами 10 бальной шкале. Те вопросы, ответ на которые предусматривал выбор вариантов, также переводили в баллы.

Компетентность эксперта определяется, исходя из опыта работы, уровня знаний рассматриваемого вопроса, ширины кругозора. Все это повышает вероятность получения достоверной информации в результате проведения опроса.

Коэффициент компетентности эксперта K_K вычислялся по формуле предложенной Ю.Е. Ершовым:

$$K_K = \sqrt{K_3 K_a},$$

где K_3 - коэффициент степени знакомства эксперта с рассматриваемым вопросом;

K_a - коэффициент аргументированности ответа эксперта;

Коэффициент степени знакомства эксперта с рассматриваемым вопросом мы определяли с учётом продолжительности знакомства эксперта с процессом построения технологий возделывания плодов. Для этого мы переводили вопросы (3-6) в баллы. Например, продолжительность знакомства более 10 лет - 10 баллов, от 7 до лет - 8 баллов, от 4 до 6 лет - 6 баллов, от 2 до 3 лет - 4 балла, 1 год - балла, не знаком - 0 баллов. Нормированная относительно 10 оценка является коэффициентом знакомства эксперта.

Коэффициент аргументированности ответа K_a определяется как нормированная относительно десяти величина среднего балла, набранного по следующим показателям:

1. Квалификация эксперта. Нами выбрана шкала оценки квалификации эксперта по группам.

Первая группа экспертов (научные специалисты): доктор наук - 10 баллов, кандидат наук - 7 баллов, нет учёной степени - 5 баллов.

Вторая группа экспертов (специалисты хозяйств): высшее образование - 10 баллов, н/высшее - 7 баллов, среднее – 5 баллов.

2. Продолжительность знакомства экспертов с экспертируемым вопросом.

3. Количество печатных работ связанных с объектом оценки. Этот показатель был адресован научным сотрудникам. Шкала оценки следующая, более 10 работ - 10 баллов, 7-10 работ - 8 баллов, 4-6 работ - 6 баллов, 2-3 работы - 4 балла, 1 работа - 2 балла, 0 работ - 0.

Для определения коэффициента аргументирования ответа эксперта применена следующая формула:

$$K_a = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} D_i}{10N_n},$$

где D_i -оценка i -го показателя аргументированности в баллах;

N_n - количество показателей;

Минимально допустимые размеры экспертной группы определялись по следующей формуле:

$$n = N_x - \frac{N_x^2 B^2}{t^2 \Delta(1 - \Delta) + N_x B^2},$$

где N_x - количество учреждений участвующих в анкетировании;

B - ошибка доли выборки;

Δ - доля единиц выборки, обладающая данным признаком;

t - доверительный коэффициент, величина, зависящая от вероятности $t = 1$ при $P = 0,683$, $t = 2$ при $P = 0,954$, $t = 3$ при $P = 0,997$.

Условно, к экспертам оптимальной компетенции мы отнесли такого специалиста, который занимается вопросами построения технологий в садоводстве не менее 4 лет. Анализ предварительного списка экспертов показал, что доля экспертов, имеющих заданный признак, составляет 0,9, соответственно доля экспертов с отсутствием данного признака 0,1. При заданной вероятности $P = 0,954$ доверительный коэффициент $t = 2$. Ошибка доли выборки B определяется по формуле:

$$B = \frac{t\sqrt{\Delta(1-\Delta)}}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 - \frac{n}{N_x}}, \quad (4.18)$$

Для заданных условий $B=0,15$, а минимальное количество экспертов в нашем случае должно составлять 12 человек.

После заполнения матрицы ответов экспертов находилась средневзвешенная оценка экспертами каждого вопроса по формуле:

$$A = \frac{\sum_{j=1}^n A_{K_{i,j}} K_{K_{i,j}}}{\sum_{j=1}^n K_{K_{i,j}}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

где $A_{K_{i,j}}$ - оценка в баллах по i -ому вопросу j -тым экспертом;

K_j - коэффициент компетентности j -ого эксперта;

n - количество экспертов.

Общее мнение экспертов из каждого учреждения по всем вопросам с учетом компетентности [33] мы определяли по формуле:

$$A_{B_{k,i}} = \frac{\sum_{j=1}^n O_{K_{i,j}} K_{k,j}}{\sum_{j=1}^{n_e} K_{k,j}} 100\%, \quad i = 1 \dots m,$$

где $A_{B_{ki}}$ - общее мнение экспертов из j учреждения по i -ому вопросу, %;

$O_{K_{i,j}}$ - оценка j -го эксперта по i -ому вопросу, баллов;

n - общее количество экспертов, участвующих в работе;

nB - количество экспертов, из одного учреждения;

Результаты обработки данных представлены на диаграмме (рисунок 37).

При анализе диаграммы из общей массы вопросов выявлялись показатели функциональности системы (приложение 7). В приложении 8 имеется сравнительная диаграмма, отражающая величину средней оценки показателей функциональности системы в сравнении со средневзвешенной величиной оценки, с учетом компетентности экспертов.

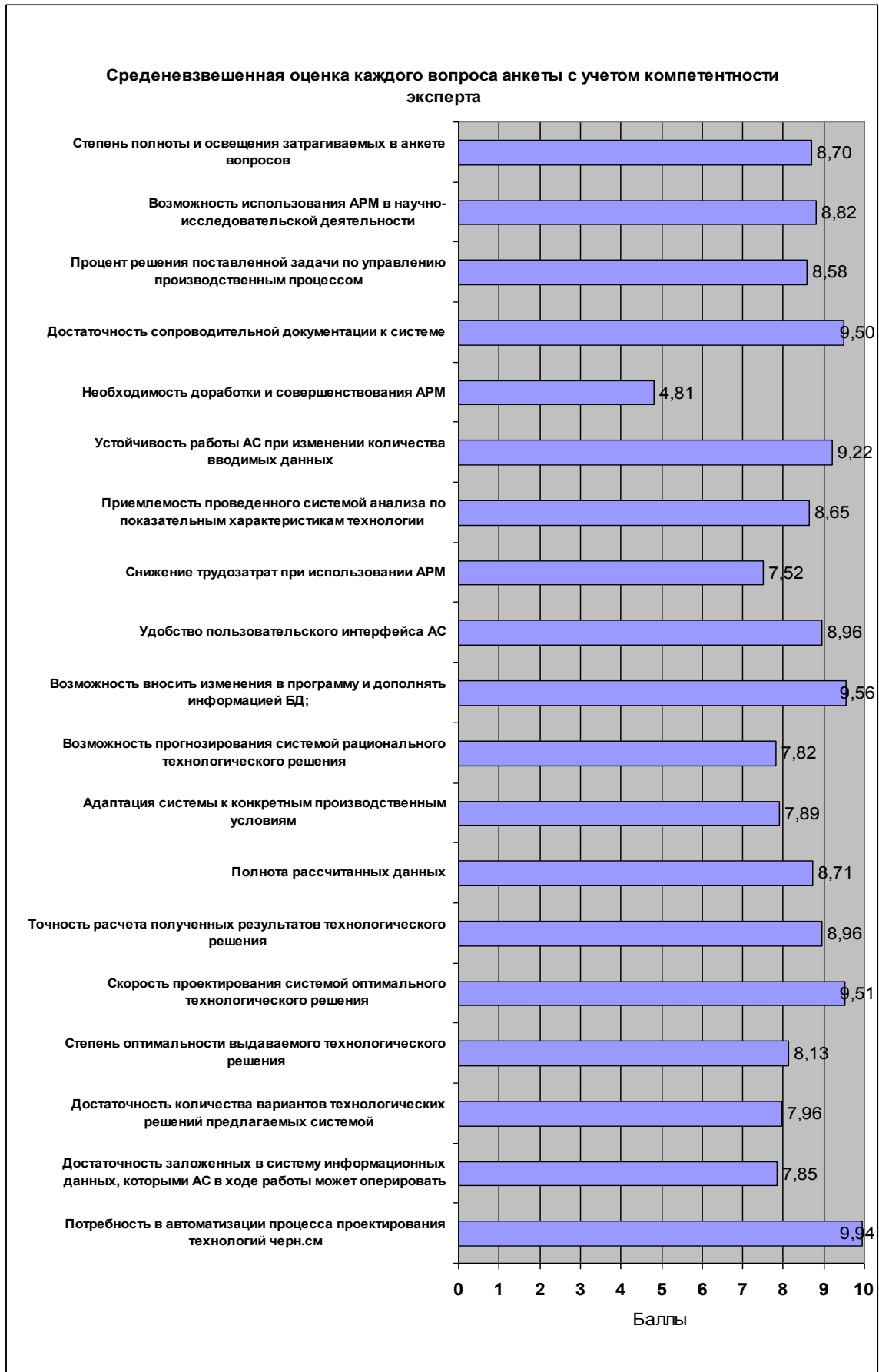


Рисунок 2 – Средневзвешенная оценка экспертами каждого вопроса анкеты

Описание роботизированного манипулятора для съёма плодов

Авторы: Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Кутырев А.И., Филиппов Р.А., Семичев С.В., Пупин Д.С. Вершинин Р.В., Чиликин А.Д., Подковырин А.А.

Сущность разработки – электроприводной трёхзвенный роботизированный манипулятор для съёма плодов с трехпалым захватывающим устройством и возможностью работы с разной степенью автономности. Наклон и перемещения звеньев манипулятора осуществляется посредством актуаторов со встроенными датчиками обратной связи-датчики линейного перемещения.



Рисунок 1 – Роботизированный манипулятор (вид спереди)



Рисунок 2 – Роботизированный манипулятор (вид сбоку)

Назначение - выполнение технологических операции автоматизированного съёма плодов в агрегате с универсальной роботизированной платформой (УРП). Характеристики манипулятора: общая масса манипулятора -45 кг, Масса поднимаемого груза на полном вылете плеча -2 кг. Расстояние полного вылета верхнего плеча – 650 мм. Расстояние полного вылета верхнего и нижнего плеч 2100мм.

Новизна заключается в новых технических решениях заложенных в конструкции манипулятора и новых алгоритмах поиска и распознавания плодов, способствующих увеличению быстродействия и зоны охвата манипулятора при выполнении операции съёма плодов яблони в условиях промышленных насаждений.

Практическая значимость - применение роботизированного манипулятора позволит отработать и внедрить технологию роботизированного сбора плодов в отрасль промышленного садоводства и увеличить производительность на уборочных операциях на 20-25%, сократить производственные издержки на 30-35%.

Приложение Ж

Описание универсальной роботизированной платформы для садоводства

Авторы : Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Кутырев А.И., Семичев С.В., Пупин Д.С. Вершинин Р.В., Чиликин А.Д., Подковырин А.А.

Сущность разработки – универсальная роботизированная платформа на электроприводе ведущих колес и увеличенным клиренсом. Универсальная роботизированная платформа конструктивно состоит из рамы со стойками, энергетической установки, электротрансмиссии, блоков электронной системы управления. В движение универсальную роботизированную платформу приводят 2 мотор редуктора, установленные на задних колесах. Система управления движением, энергоустановкой и электротрансмиссией, позволяют осуществлять работу платформы в трех режимах: дистанционное управление, автономный режим по электронным картам местности с использованием сигналов GPS, а также в беспилотном режиме с помощью модулей машинного зрения.



Рисунок 1 – Общий вид универсальной роботизированной платформы



Рисунок 2 – Обработка насаждений горячим туманом

Назначение - выполнение технологических операций в садоводстве (овощеводстве): мониторинг фитосанитарного состояния насаждений и урожайности, обработка насаждений средствами химической защиты, обработка почвы, роботизированный сбор и транспортировка урожая.

Новизна заключается в оптимальных конструктивных параметрах и комплексированной системе управления, обеспечивающих ее универсальность, многофункциональность при выполнении технологических операций в беспилотном режиме, а так же в автоматической системе подзарядки аккумуляторных батарей во время выполнения технологических операций, что позволяет работать платформе при полной нагрузке не менее 8 часов непрерывной работы и обеспечивает восстановление заряда АКБ не более чем за два часа.

Практическая значимость – применение платформы позволит в автономном режиме без участия человека проводить различные технологические операции. Посредством агрегатирования с большим количеством технологических адаптеров. Возможность автономной непрерывной работы в течение 8-10 часов. При уборочных операциях возможно транспортирование контейнера массой до 300 кг.



УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
д.р.техн.наук, академик РАН

Я.П. Лобачевский

«16» ноября 2020 г.АКТ № 15от «16» ноября 2020 г.

испытания экспериментального образца

программно-аппаратного комплекса автоматизированного управления
агротехнологиями «Агроинтеллект ВИМ»№ 0435-2019-0002 Разработать методы, технологии и технические средства
для мониторинга, диагностики и управления процессами в интеллектуальном
цифровом сельскохозяйственном производствеКомиссия, назначенная приказом № 184 от «17» августа 2020 г., в период
с «10» ноября 2020 г. по «16» ноября 2020 г. проверила факт
испытания экспериментального образца.Место проведения испытаний: лаборатория интеллектуальных цифровых
систем мониторинга, диагностики и управления процессами в
сельскохозяйственном производстве ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.**1. Комиссией установлено:**

- 1.1. Программа приемочных испытаний выполнена полностью.
- 1.2. Состав и комплектность объекта испытаний соответствует документации (приложение 1).
- 1.3. Объект испытаний соответствует техническим параметрам, предъявленным в документации (приложение 1).

2. Рекомендации:

2.1. Программно-аппаратный комплекс автоматизированного управления агротехнологиями «Агроинтеллект ВИМ» готов к взаимодействию с подключаемыми метеостанциями, наборами датчиков, мобильным приложением, внешним программным обеспечением через интерфейс прикладного приложения (API); к работе в автономном режиме в зависимости от возникновения тревог (событий), вызванных отклонением факторов погодных-климатических условий от их оптимальных значений.

2.2. Необходимо провести нагрузочный тест программно-аппаратного комплекса (при подключении большого количества метеостанций с датчиками), в том числе при работе с данными по аэрофотосъемке.

Председатель:Заместитель директора
по научно-организационной работе

А.С. Дорохов

Зам. председателя:


Руководитель научного направления
«Обеспечение надежности
сельскохозяйственной техники»



В.А. Денисов

Секретарь комиссии:

Начальник отдела организации
и координации научной деятельности



С.А. Давыдова

Члены комиссии:

Ученый секретарь



А.В. Соколов

Заведующий лабораторией разработки
специализированных машин и оборудования



В.К. Пышкин

Начальник экспериментального производства



Н.И. Кострыкин

Руководитель научного направления
«Механизация и автоматизация процессов в АПК»




А.Г. Аксенов

Руководитель научного направления
«Энергообеспечение АПК»



А.Н. Васильев

Заведующий отделом механизации
и автоматизации процессов в животноводстве



В.В. Кирсанов

Заведующий лабораторией прогнозирования
развития систем машин и технологий в АПК



И.А. Старостин

Заведующий отделом интеллектуализации,
автоматизации и роботизации
сельскохозяйственного производства



И.Г. Смирнов

Ответственный исполнитель



Д.О. Хорт



УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
Института информатики и вычислительной техники
РАН

Я.П. Лобачевский

19 ноября 2021 г.

АКТ № 59/2021
от « 19 » ноября 2021 г.
испытания экспериментального образца

программно-аппаратного комплекса для идентификации и мониторинга
(подсчета количества) плодов яблони в рядах садовых насаждений

№ 0435-2019-0002 Разработать методы, технологии и технические средства
для мониторинга, диагностики и управления процессами в интеллектуальном
цифровом сельскохозяйственном производстве

Комиссия, назначенная приказом № 232 от «28» сентября 2021 г., в период
с «15» ноября 2021 г. по «19» ноября 2021 г. проверила факт испытания
экспериментального образца.

Место проведения испытаний: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

1. Комиссией установлено:

- 1.1. Программа приемочных испытаний выполнена полностью.
- 1.2. Состав и комплектность объекта испытаний соответствует документации.
- 1.3. Объект испытаний соответствует техническим параметрам, предъявленным в документации.

2. Рекомендации:

- 2.1. Использовать для определения производителями сельскохозяйственной продукции наиболее важных для них параметров: объем урожая в расчете на гектар, качество яблок и их размер (в переводе с пикселей на дюйм), которые помогут спланировать численность сезонных рабочих, объемы хранилищ в распределительно-логистических центрах и поставок в торговые сети, а также снизить затраты на сортировку яблок.

Председатель комиссии:

Заместитель директора
по научно-организационной работе

А.С. Дорохов

Зам. председателя:

Руководитель научного направления
«Обеспечение надежности
сельскохозяйственной техники»



В.А. Денисов

Секретарь комиссии:

Начальник отдела организации
и координации научной деятельности



С.А. Давыдова

Члены комиссии:

Ученый секретарь



А.В. Соколов

Заведующий лабораторией разработки
специализированных машин и оборудования



В.К. Пышкин

Начальник экспериментального производства



Н.И. Кострыкин

Руководитель научного направления
«Механизация и автоматизация процессов в АПК»




А.Г. Аксенов

Руководитель научного направления
«Энергообеспечение АПК»



А.Н. Васильев

Заведующий отделом механизации
и автоматизации процессов в животноводстве



В.В. Кирсанов

Заведующий лабораторией прогнозирования
развития систем машин и технологий в АПК




И.А. Старостин

Заведующий отделом интеллектуализации,
автоматизации и роботизации
сельскохозяйственного производства



И.Г. Смирнов

Ответственный исполнитель



Д.О. Хорт



АКТ № 11
 от «11» декабря 2020 г.
 испытания экспериментального образца

универсальной роботизированной платформы

№ 0581-2019-0003. Разработать цифровые интеллектуальные технологии, роботизированные системы и комплексы машин для возделывания и уборки с-х культур и посадочного материала в садоводстве и питомниководстве

Комиссия, назначенная приказом № 184 от «17» августа 2020 г., в период с «08» декабря 2020 г. по «11» декабря 2020 г. проверила факт испытания экспериментального образца.

Место проведения испытаний: территория демонстрационного «Умного сада ФГБНУ ФНАЦ ВИМ».

1. Комиссией установлено:

- 1.1. Программа приемочных испытаний выполнена полностью.
- 1.2. Состав и комплектность объекта испытаний соответствует документации (приложение 1).
- 1.3. Объект испытаний соответствует техническим параметрам, предъявленным в документации (приложение 1).

2. Рекомендации:

Использовать в качестве автономного энергетического средства для выполнения различных технологических операций в садоводстве: обработка почвы, дифференцированное внесение СЗР, магнитно-импульсная обработка насаждений, уборка и транспортировка урожая.

Председатель:

Заместитель директора
 по научно-организационной работе

А.С. Дорохов


Зам. председателя:

Руководитель научного направления
 «Обеспечение надежности
 сельскохозяйственной техники»

В.А. Денисов

Секретарь комиссии:

Начальник отдела организации
и координации научной деятельности

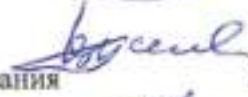
 С.А. Давыдова

Члены комиссии:


Ученый секретарь

 А.В. Соколов

Заведующий лабораторией разработки
специализированных машин и оборудования

 В.К. Пышкин

Начальник экспериментального производства

 Н.И. Кострыкин

Руководитель научного направления
«Механизация и автоматизация процессов в АПК»

 А.Г. Аксенов

Руководитель научного направления
«Энергообеспечение АПК»

 А.Н. Васильев

Заведующий отделом механизации
и автоматизации процессов в животноводстве

 В.В. Кирсанов

Заведующий лабораторией прогнозирования
развития систем машин и технологий в АПК

 И.А. Старостин

Заведующий отделом интеллектуализации,
автоматизации и роботизации
сельскохозяйственного производства

 И.Г. Смирнов

Ответственный исполнитель

 Д.О. Хорт



АКТ № 69/2021
 от « 30 » ноября 2021 г.
 испытания экспериментального образца

роботизированного манипулятора для съема плодов

№ 0581-2019-0003 Разработать цифровые интеллектуальные технологии, роботизированные системы и комплексы машин для возделывания и уборки с.-х. культур и посадочного материала в садоводстве и питомниководстве

Комиссия, назначенная приказом № 232 от «28» сентября 2021 г., в период с «24» ноября 2021 г. по «30» ноября 2021 г. проверила факт испытания экспериментального образца.

Место проведения испытаний: лаборатория машинных технологий для возделывания и уборки плодовых и ягодных культур ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

1. Комиссией установлено:

- 1.1. Программа приемочных испытаний выполнена полностью.
- 1.2. Состав и комплектность объекта испытаний соответствует документации.
- 1.3. Объект испытаний соответствует техническим параметрам, предъявленным в документации.

2. Рекомендации:

2.1. Экспериментальный образец роботизированного манипулятора для съёма плодов семечковых культур (яблоня, груша) рекомендуется использовать для проведения экспериментальных исследований с целью создания и отработки технологии роботизированного сбора плодов в агрегате с универсальной роботизированной платформой (УРП) в условиях промышленных садовых насаждений с использованием исходной информации, выделенной на основе анализа графических данных.

Председатель комиссии:

Заместитель директора
 по научно-организационной работе

А.С. Дорохов

Зам. председателя комиссии:

Руководитель научного направления
«Обеспечение надежности
сельскохозяйственной техники»

 Ю.В. Катаев
Секретарь комиссии:

Начальник отдела организации
и координации научной деятельности

 С.А. Давыдова
Члены комиссии:

Ученый секретарь

 А.В. Соколов

Руководитель научного направления
«Механизация и автоматизация процессов в АПК»

 А.Г. Аксенов

Руководитель научного направления
«Энергообеспечение АПК»

 А.В. Виноградов

Заведующий отделом механизации
и автоматизации процессов в животноводстве

 В.В. Кирсанов

Заведующий лабораторией прогнозирования
развития систем машин и технологий в АПК

 И.А. Старостин


Заведующий лабораторией
разработки специализированных
машин и оборудования

 А.А. Смышляев

Руководитель подразделения

 И.Г. Смирнов

Ответственный исполнитель

 Д.О. Хорт

СПРАВКА

Настоящим подтверждаем, что 01 ноября 2012г. на научно-техническом совете при Министерстве промышленности и торговли России заслушан заключительный отчёт о выполнении научно-исследовательских работ, выполненных в ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, ответственный исполнитель - заведующий лабораторией Хорт Дмитрий Олегович, в рамках государственного контракта № 12411.0816900.20.101 от 02 мая 2012 года по теме: «Разработка конструкторской документации комплекса машин для садоводства, ягодоводства, виноградарства и питомниководства» шифр «АВТ-12-027».

В результате вышеуказанных НИР разработана конструкторская документация, изготовлены макетные образцы и проведены заводские приемочные испытания самоходного универсального высококлиренсного гидрофицированного энергосредства с электронным управлением трансмиссией и работой навесного оборудования, культиватора пропашного высококлиренсного, культиватора фрезерного высококлиренсного, косилки-измельчителя, опрыскивателя-гербицидника высококлиренсного арочного типа; фрезы универсальной садовой с выносной секцией, устройства для внесения гербицидов в приствольную зону.

Разработанный комплекс машин обеспечивает при минимальных ресурсо- и энергозатратах выполнение наиболее трудоёмких технологических операций (междурядная обработка почвы, обрезка, опрыскивание), что позволит на высоком уровне реализовать современные агротехнологии возделывания садов, ягоdnиков и виноградников, нарастить объёмы производства, обеспечить конкурентоспособность продукции в различных категориях хозяйств и способствовать решению проблемы продовольственной безопасности.

По результатам заслушивания отчёта, выполненные работы одобрены, принято положительное решение о развитии этих работ и даны рекомендации по подготовке и организации серийного производства разработанного комплекса машин, с целью последующего внедрения их в технологии промышленного садоводства.

Заместитель директора департамента
сельскохозяйственного, пищевого и
строительно-дорожного машиностроения
Минпромторга России



Киселёв С.Н.

«24» января 2017 г.

ООО «Одоевские сады»
301440, Тульская область,
Одоевский район, р.п. Одоев,
ул. 50 Лет Октября, д. 59

СПРАВКА

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационной работы Хорта Дмитрия Олеговича в виде программно-аппаратного комплекса для цифрового мониторинга урожайности плодов яблони и автоматизированного построения машинных технологий внедрены в промышленное производство, отличаются инновационным подходом в решении задач мониторинга состояния садовых насаждений на основе оптической идентификации, формирования высокоинтенсивных точных технологий возделывания и обеспечения экономически управляемого производства продукции садоводства.

Директор
ООО «Одоевские сады»



В.Н. Хорошилов

15.02.2022г.

ГЕОМИРАКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГЕОМИР»

141006, г. Мытищи, Московской обл., Октябрьский проспект, д. 50, помещение 2

Тел: +7 495 708 8090.

Факс: +7 495 581 0519

E-mail: info@geomir.ru

СПРАВКА**о внедрении результатов диссертационной работы**

Настоящим подтверждаем, что результаты научных исследований Хорта Дмитрия Олеговича – алгоритм цифрового мониторинга урожайности плодов на основе искусственных нейронных сетей и модели для управления производственными процессами при производстве плодов использованы при разработке программного обеспечения специальной версии информационно-аналитической системы (ИАС) "История поля", предназначенной, в том числе, для автоматизации производства плодовых и ягодных культур.

Председатель совета директоров,
Научный руководитель АО «ГЕОМИР»
д.т.н., профессор



В.Н. Воронков

**АКТ**

производственной проверки результатов научно-исследовательской работы
 шифр 0581-2019-0003 «Разработать цифровые интеллектуальные технологии, роботизиро-
 ванные системы и комплексы машин для возделывания и уборки с-х. культур и посадоч-
 ного материала в садоводстве и питомниководстве»

Московская обл., п. Булатниково

«10» июля 2018 г.

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Федерального государственного бюджет-
 ного научного учреждения «Всероссийский селекционно-технологический институт садо-
 водства и питомниководства» (ФГБНУ ВСТИСП) – заместитель директора по научной ра-
 боте, ученый секретарь, кандидат сельскохозяйственных наук, Марченко Л.А. с одной
 стороны, и представители Федерального государственного бюджетного научного учре-
 ждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) –
 научные сотрудники Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. другой стороны, составили
 настоящий акт о том, что ФГБНУ ФНАЦ ВИМ **передал**, а ФГБНУ ВСТИСП **принял** для
 производственной проверки работа для сбора земляники садовой, разработанного в
 ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Техническая новизна подтверждена патентами на изобретения: № 169593, №
 169363, № 2634104, № 167529, 2633431.

В период проведения производственной проверки с 02.07.2018 г. по 10.07.2018 г.
 робот для сбора земляники садовой собрал урожай с площади 0,25 га плантации земляни-
 ки садовой со схемой посадки 0,8 м x 0,2 м. Установлено, что робот качественно выпол-
 няет технологическую операцию сбора ягод земляники садовой за счет разработанной си-
 стемы компьютерного зрения.

Ответственное лицо
 от ФГБНУ ВСТИСП
 Заведующий сектором механизации
 трудоёмких процессов в садоводстве,
 к.т.н.

 Кадыкало Г.И.
 «10» июля 2018 г.

Ответственное лицо
 от ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
 Заведующий отделом технологий
 и машин для садоводства,
 питомниководства и виноградарства,
 к.с.-х.н.

 Хорт Д.О.
 «10» июля 2018 г.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

БЮРО ОТДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗАЦИИ,
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

постановлением от « 3 » февраля 2011 г.

НАГРАЖДАЕТ
ДИПЛОМОМ

№ 101

Аспиранта

*Всероссийского селекционно-технологического
института садоводства и питомниководства*

ХОРТА

ДМИТРИЯ ОЛЕГОВИЧА

ЗА ЛУЧШУЮ ЗАВЕРШЕННУЮ
НАУЧНУЮ РАЗРАБОТКУ 2010 ГОДА

*Разработать систему автоматизированного
проектирования агротехнологий возделывания ягодных
культур на базе СУБД*

ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТ

АКАДЕМИК-СЕКРЕТАРЬ ОТДЕЛЕНИЯ



Москва

Ю. Ф. ЛАБУТА

И. В. ГОРБАЧЕВ

ПРЕЗИДИУМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

НАГРАЖДАЕТ
ДИПЛОМОМ

Заведующего лабораторией
Всероссийского НИИ
механизации сельского хозяйства
кандидата сельскохозяйственных наук

ХОРТА
ДМИТРИЯ ОЛЕГОВИЧА

*За лучшую завершённую научную
разработку 2012 года*

*Инновационные технологии и технические средства для
садоводства*

Президент Российской академии
сельскохозяйственных наук



Г. Романенко

ВЫПИСКА

из протокола № 12 заседания Президиума
Российской академии сельскохозяйственных наук
от 20 декабря 2012 г.

О присуждении дипломов Россельхозакадемии
за лучшие завершённые научные разработки 2012 года

(Вице-президенты, академики-секретари отделений,
председатели Сибирского регионального
отделения, региональных научных центров)

Президиум Россельхозакадемии ПОСТАНОВЛЯЕТ:

В соответствии с Положением «О порядке присуждения дипломов за лучшую завершённую научную разработку года в области АПК России» наградить дипломами Россельхозакадемии авторов лучших завершённых научных разработок 2012 года:

**Отделение механизации, электрификации и
автоматизации**

1. Разработка и внедрение комплекта импортзамещающего доильного оборудования для молочного животноводства. Авторский коллектив Всероссийского НИИ электрификации сельского хозяйства: Цой Ю. А., Танифа В.В., Алексеев А.А., Зеленцов А.И., Мильман И.Э., Седов А.М., Челноков В.В.

2. Инновационные технологии и технические средства для садоводства. Авторский коллектив Всероссийского НИИ механизации сельского хозяйства: Лобачевский Я.П., Куликов И.М., Смирнов И.Г., Утков Ю.А., Хорт Д.О., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю.

п/п Президент

Г.А.Романенко

п/п Главный ученый секретарь

Н.К.Долгушкин

Выписка верна:

Начальник Научно-организационного
отдела Россельхозакадемии



Ю.К.Черепанов

	Некоммерческая организация Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий (Фонд «Сколково»)
Почтовый адрес: Москва, территория инновационного центра «Сколково», ул. Нобеля, д. 5	Заведующему лабораторией Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства» Д.О. Хорт
Тел.: +7 (495) 956-00-33 Факс: +7 (495) 739-53-06 www.sk.ru, e-mail: SKFoundation@sk.ru	109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5 vim_sad@mail.ru
от <u>16.05.2016</u> № <u>16/114-ЗН/16</u> на № _____ от _____	

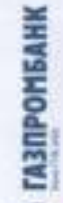
Благодарственное письмо

Уважаемый Дмитрий Олегович, Фонд Сколково выражает Вам глубокую благодарность за активное участие на ежегодной международной конференции по робототехнике «Skolkovo Robotics 2016» 20 мая 2016 года с докладом на тему «Актуальные проблемы точного земледелия в сельскохозяйственном производстве».

И.о. Вице-Президента, Исполнительного директора
 Кластера биологических и медицинских технологий



Е.С. Ткаченко



Администрация Томской области
Агентство стратегических инициатив

СЕРТИФИКАТ

УЧАСТНИКА

Данный сертификат подтверждает, что

Хорт Дмитрий Олегович

Прошел (ла) отбор из 600 претендентов и принял (а) участие в

Научно-технологической проектной сессии

**«Совместные инициативы молодых ученых и бизнес-сообщества
как инструмент реализации целей стратегии научно-технологического развития России
и Национальной технологической инициативы»**

Директор направления "Молодые профессионалы"
Агентства стратегических инициатив
по продвижению новых проектов

Д.Н. Лещов

Заместитель Губернатора Томской области
по научно-образовательному комплексу
и инновационной политике

М.А. Саныкин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020660182**«Нейронная сеть для распознавания плодов и ягод садовых культур»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Хорт Дмитрий Олегович (RU), Кутырёв Алексей Игоревич (RU), Филиппов Ростислав Александрович (RU), Вершинин Роман Владимирович (RU), Смирнов Игорь Геннадьевич (RU)*

Заявка № **2020619124**Дата поступления **14 августа 2020 г.**Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **28 августа 2020 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Изюев Г.П. Изюев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020660387**«Автоматизированный метеокомплекс для управления
машинными технологиями в садоводстве»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр
ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Хорт Дмитрий Олегович (RU), Кутырёв Алексей Игоревич
(RU), Филиппов Ростислав Александрович (RU), Вершинин Роман
Владимирович (RU), Пупин Даниил Сергеевич (RU), Смирнов Игорь
Геннадьевич (RU)*

Заявка № 2020619123

Дата поступления 14 августа 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 02 сентября 2020 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019665035**«Программа для распознавания координат расположения
и степени спелости плодов и ягод садовых культур»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр
ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Измайлов Андрей Юрьевич (RU), Хорт Дмитрий Олегович
(RU), Кутырёв Алексей Игоревич (RU), Смирнов Игорь
Геннадьевич (RU), Филиппов Ростислав Александрович (RU)*

Заявка № **2019663748**Дата поступления **01 ноября 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **18 ноября 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Илларионов Г.П. Илларионов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2708017

**Автоматизированное устройство для гидравлического
удаления сорной растительности**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Измайлов Андрей Юрьевич (RU), Смирнов Игорь
Геннадьевич (RU), Хорт Дмитрий Олегович (RU), Филиппов
Ростислав Александрович (RU), Кутырёв Алексей Игоревич
(RU)*

Заявка № 2019109617

Приоритет изобретения 02 апреля 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 03 декабря 2019 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 02 апреля 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Илизов Г.П. Илизов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации базы данных

№ 2021620285**«База данных спектральных изображений болезней и поврежденных злаковых культур, плодов и клубней картофеля»**

Привладелец: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Дорохов Алексей Семенович (RU), Аксенов Александр Геннадьевич (RU), Хорт Дмитрий Олегович (RU), Кутырёв Алексей Игоревич (RU), Тетерев Артем Валерьевич (RU), Сибирёв Алексей Викторович (RU), Московский Максим Николаевич (RU), Филиппов Ростислав Александрович (RU), Семичев Степан Владимирович (RU), Мосяков Максим Александрович (RU)*

Заявка № **2021620155**Дата поступления **08 февраля 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **16 февраля 2021 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.И. Ильин



























